

XVIII Congreso Argentino de Acústica 2023 (AdAA2023)

<<

Influencia del distanciamiento físico y la información visual en la performance musical

Title in the secondary language
AdAA2023-xx

Alejandro Acosta, Nicolás Russell, Ramiro Vergara, Esteban Calcagno.^{†3}

[†] Escuela Universitaria de Artes, Universidad Nacional de Quilmes.

¹ nom1@fca.unb.edu.ar

³ nom3@fca.unb.edu.ar

* Centro de Investigación en Acústica, Comité de Investigaciones Científicas de La Pampa.
Ciudad Universitaria, Paseo del Valle S/N, Santa Rosa, Argentina.

² second.author@second.com

Este proyecto continúa una línea de investigación con objetivos principales en el desarrollo de un sistema de telepresencia para hacer música y estudiar la influencia del distanciamiento físico y la información visual en la performance musical. En esta etapa planteamos estudiar los efectos de la información visual en la performance musical. Las herramientas de Performance Musical en Red brindan salas de ensayo virtuales que carecen de un entorno visual, el cual creemos que puede ser ventajoso para la performance musical a distancia.

Llevamos a cabo experimentos psicofísicos teniendo en cuenta el BPM y la sincronización de parejas de guitarristas tocando juntas y separadas. Montamos un espacio de trabajo, desarrollamos scripts para procesar y analizar datos provenientes de las grabaciones de parejas en distintas instancias. Estos experimentos arrojaron resultados que determinaron diferencias entre performances con y sin información visual.

Palabras clave: palabra1; palabra2; palabra3.

Abstract— Style rules for the submission of papers for the XVIII Argentine Congress of Acoustics (Quilmes 2023), organized by the Acoustical Society of Argentina (AdAA) and the University School of Arts, National University of Quilmes are given, including acceptable formats for pages, titles, abstract, paragraphs, labels, equations, citations, references. The electronic version contains a template that allows authors to comply with the required format by simply pasting text prepared elsewhere. Style recommendations for the use of symbols in accordance to the International System of Units (SI) as well as the correct use of Spanish are also provided.

Keywords: word1; word2; word3.

I. INTRODUCCIÓN

En el contexto pandémico de 2020 creció el interés por herramientas de Performance Musical en Red, ya que brindan nuevas posibilidades a las personas que practican música, permitiéndoles conectarse sin importar las distancias. Consideramos que uno de los principales retos que tiene el diseño de estas plataformas es el manejo de las latencias entre la información de cada extremo. Entre otras plataformas, destacamos Ságora¹. Si bien Ságora brinda una sala de ensayo mediante Internet, carece de un entorno visual que aporte más información, la cual creemos que puede significar una ventaja para la performance musical a distancia.

En el marco de este trabajo, llevamos a cabo una serie de experimentos psicofísicos en tres instancias teniendo en cuenta el BPM y la sincronización de parejas de guitarristas tocando juntas y separadas. En la primera, montamos un espacio de trabajo, una estación de grabación,

¹ <https://sagora.org/>

desarrollamos un script MIR² y realizamos experimentos preliminares con tres parejas. En la segunda, calibramos el sistema y el script para registrar la performance de siete parejas. Por último, comenzamos una tercera instancia registrando veinte parejas. A continuación desarrollaremos el proceso en el cual estos experimentos determinaron diferencias entre la performance con y sin información visual.

II. ESPECIFICACIONES GENERALES

Las metodologías técnicas y experimentales que describimos a continuación son las que utilizamos en el desarrollo de esta investigación y se relacionan con la incidencia del distanciamiento físico en la performance musical multi instrumentista y la influencia de la información visual en esta práctica.

Diseño Experimental:

- Investigación de los efectos del distanciamiento físico en la música multiinstrumentista.
- Consideración de factores como ubicación espacial, contacto visual y auditivo.
- Lecciones aprendidas del experimento preliminar para mejorar la planificación.

Setup de Grabación y Monitoreo:

- Establecimiento de un sistema de grabación adecuado.
- Inclusión de micrófonos, cámaras de video, equipos de alta calidad y monitoreo para músicos.
- Importancia de la calidad y configuración del equipo.

Recopilación de Datos:

- Registro de datos de performance musical, incluyendo audio y video.
- Posible registro de interacción entre músicos, como contacto visual y comunicación verbal.

Análisis de Datos:

- Aplicación de análisis estadísticos y cualitativos a los datos recopilados.
- Uso de herramientas específicas para evaluar la influencia del distanciamiento físico y la información visual.

Experimento Preliminar:

- Realización de un experimento preliminar para evaluar el funcionamiento del equipo.
- Uso de resultados para mejorar la planificación y ejecución del experimento principal.

Presentación de Resultados:

- Compartición de resultados del experimento preliminar en las Jornadas de Arte, Música y Tecnología 2022.
- Comunicación de la experiencia y hallazgos a la comunidad académica y artística.

Planificamos un experimento en el que participaron 14 guitarristas. Los agrupamos aleatoriamente en 7 parejas, sin considerar su experiencia musical. Estas tocaron una base sencilla a 100 BPM con una célula rítmica constante. La tarea que debieron realizar fue tocar sincrónicamente 8 compases de un rasgueo simple con diferentes cantidades de compases de silencio entre cada repetición de dicha célula (Figura 1).



Figura 1 - Partitura de la célula rítmica utilizada en el experimento.

En el experimento formal, cada pareja realizó 3 tomas de cada condición (juntas; separadas) y situación (sin silencio; silencio corto; silencio largo; silencio extra-largo). Las tomas incluyeron un metrónomo de referencia y se grabaron en audio en dos pistas (guitarra 1; guitarra 2). Para la condición "separados," las personas no tuvieron

² MIR: Siglas del inglés, Music Information Retrieval.

información visual y solo usaron monitoreo de audio. Se utilizó una tabla de referencia (Tabla I) para nombrar los archivos de audio de manera específica según sus particularidades (Tabla II).

Pareja	Condición	Situación	Guitarra	Toma
P1	J	SS	GTR1	001
P2				
P3		SC		002
P4				
P5	S	SL	GTR2	002
P6				
P7		SXL		003

Tabla I - Tabla de referencia para la nomenclatura de registros sonoros.

Nomenclatura de registros sonoros	
P1; P2; P3; P4; P5; P6; P7	Parejas 1 a 7
J	Condición "juntos"
S	Condición "separados"
SS	Performance musical continua sin silencios
SC	Performance musical con un silencio de 1 compás
SL	Performance musical con un silencio de 2 compases
SXL	Performance musical con un silencio de 4 compases
GTR1; GTR2	Guitarras 1 y 2
001; 002; 003	Tomas 1, 2 ó 3

Tabla II - Descripción de cada elemento de la tabla de referencia.

III. EXTRACCIÓN DE INFORMACIÓN MUSICAL

A partir de las grabaciones de las tomas con cada instrumentista, se trabajó sobre la extracción de datos que nos dieron información sobre cómo fueron afectados el BPM y los Onsets en cada situación y condición. Para ello desarrollamos un script en Python y trabajamos con la librería Essentia. Para la obtención de estos datos utilizamos dos algoritmos que trabajan sobre el tiempo, RhythmExtractor2013[10] y OnsetDetection11[36][37][38][39]. El primero extrae el tempo en BPM para una señal de audio (Figura 2). El segundo algoritmo calcula varias funciones de detección de inicio, denominado "onset", hemos utilizado el método de detección HFC (High Frequency Content) el cual detecta con gran precisión eventos percusivos de alta frecuencia (Figura 3), que en nuestro caso es sumamente válido para el tipo de sonido registrado.

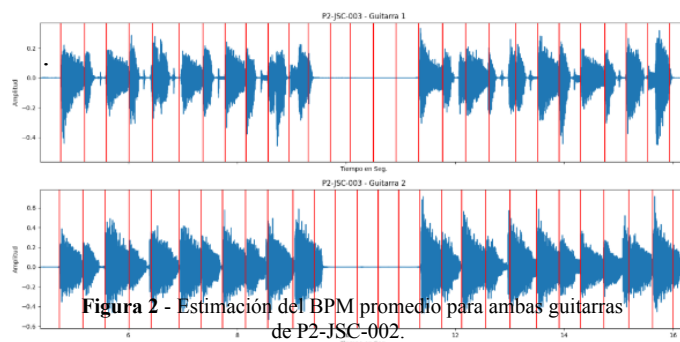


Figura 2 - Estimación del BPM promedio para ambas guitarras de P2-JSC-002.

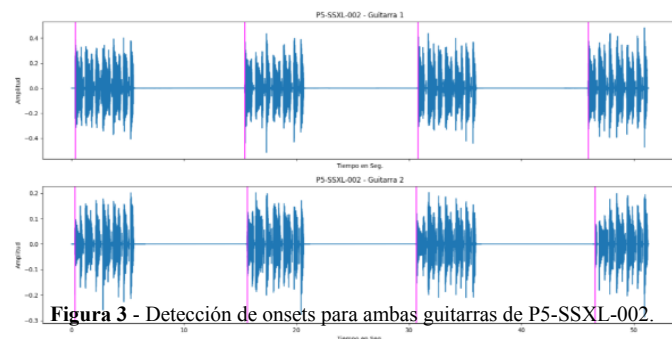


Figura 3 - Detección de onsets para ambas guitarras de P5-SSXL-002.

A partir de estos dos algoritmos, en sus versiones en Python, se generó un script que nos permitió extraer información precisa sobre los BPM de cada pista en cada condición y los onsets de las entradas luego de los silencios de cada toma, así como también almacenar la información obtenida en un archivo de extensión .csv para luego poder realizar un análisis estadístico. Para ello, creamos tres archivos csv:

BPM: este archivo se configura en dos columnas. La primera indica la condición y situación, mientras que la segunda indica el BPM de cada toma de cada uno de los 14 guitarristas. Esto dio un total de 8 condiciones (JSS, JSC, JSL, JSXL, SSS, SSC, SSL, SSXL) y 42 BPM por condición.

Onset: para crear este archivo se extrajeron los onsets calculados por el script de onsets para cada pareja de guitarristas. Para este análisis, se descartó el primer onset de cada archivo de audio, debido a que los músicos contaban con 2 compases de click previo al comienzo de la performance. Luego se calculó la diferencia de cada onset en particular y se calculó su promedio entre tomas de cada condición para cada pareja. El

V. RESULTADOS

archivo está compuesto de dos columnas: una que indica cada una de las 6 condiciones (al calcular onsets no se tienen en cuenta la situación "sin silencio"), y otra con el promedio de las tres tomas de cada pareja participante, para cada condición y situación restantes.

Outliers: este archivo contiene dos columnas, una que indica la condición y situación, y otra que indica la cantidad de outliers³ por condición.

IV. ANALISIS ESTADISTICO

Para el análisis de los datos obtenidos a partir de los scripts de MIR realizados, se utilizó el lenguaje de programación R⁴, dedicado a la computación estadística y gráficos. Mediante esta herramienta se pueden crear scripts que permiten manipular, analizar y graficar los datos, siendo sencillo obtener rápidamente un análisis de los mismos. Tanto para los BPM como para los Onsets se calculó el promedio (mean), la desviación estándar (SD) y el error estándar (SE). En ambos casos las gráficas que se muestran más adelante muestran el promedio con el error estándar para cada condición. Para los Outliers no hizo falta calcular nada, ya que solamente se indica la cantidad de los mismos en cada condición.

Posteriormente, en cuanto al análisis estadístico de los datos, se utilizaron modelos lineales de efectos mixtos (LME, por su sigla en inglés). Estos modelos presentan ventajas sobre los modelos tradicionales (como análisis de la varianza, ANOVA), ya que permiten asignar variabilidad no sólo a efectos fijos (parámetros que no varían) sino también a efectos aleatorios (parámetros que varían de manera aleatoria) y son más flexibles en cuanto a los requerimientos de los datos (por ejemplo, esfericidad). Los mismos fueron implementados utilizando la función lme de la librería nlme del lenguaje de programación R. A continuación mostramos las gráficas con los resultados del análisis de BPM, ONSETS y OUTLIERS.

Los resultados del análisis del promedio de BPM (Figura 4) muestran un incremento del BPM para la condición "separados" respecto de la condición "juntos", para todas las situaciones. A su vez, se observa un incremento en el BPM al pasar de la situación "sin silencio" a "silencio corto". Sin embargo, no se observa que la duración del silencio implique grandes variaciones en el BPM. Podemos observar además que todas las combinaciones de condición y situación con silencios comparten SE similares.

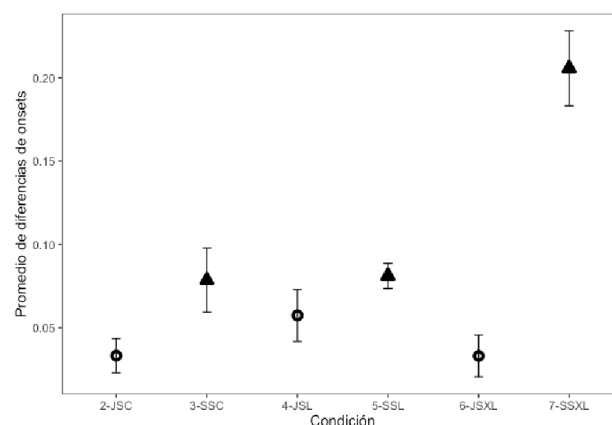


Fig. 4: Se muestran los promedios los BPM de todos y todas las guitarristas por condición. Los círculos abiertos representan las situaciones donde las y los guitarristas tocaban juntos y los triángulos negros las situaciones donde lo hacían por separado.

Los resultados obtenidos del análisis de diferencia de onsets (Figura 5) muestran un incremento en la diferencia de onsets para la condición "separados" respecto de "juntos". Se observa que no hay una diferencia notable entre situaciones para la condición "juntos", mientras que para la condición "separados" la diferencia de onsets aumenta drásticamente para SSXL. Puede observarse también que, para la condición "juntos" las 3 situaciones tienen SE similares. Por otro lado, para la condición "separados" el SE de SSL es menor que para SSC y SSXL, siendo esta última la que mayor SE tiene para esta condición. Para este análisis las diferencias de onsets mayores a 0,75 segundos fueron considerados valores atípicos (outliers).

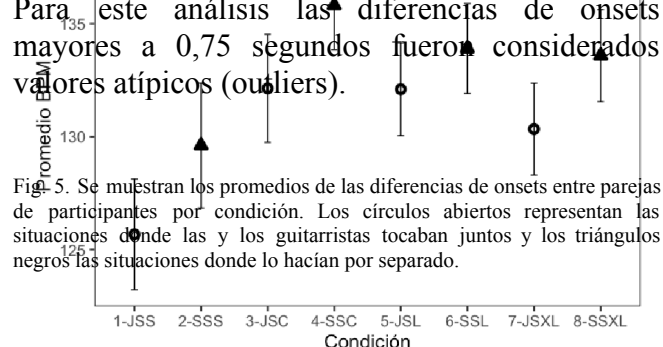


Fig. 5: Se muestran los promedios de las diferencias de onsets entre parejas de participantes por condición. Los círculos abiertos representan las situaciones donde las y los guitarristas tocaban juntos y los triángulos negros las situaciones donde lo hacían por separado.

³ Observación anormal y extrema en una muestra estadística o serie temporal de datos que puede afectar potencialmente a la estimación de los parámetros del mismo.

⁴ R: <https://www.r-project.org/>

En cuanto al análisis estadístico mediante LMEM, ajustamos la condición (“juntos” y “separados”) y la situación (“sin silencio”, “silencio corto”, “silencio largo” y “silencio extra largo”) como efectos fijos e intersecciones aleatorias para cada pareja en cada parámetro (BPM y Onset) (Figura 6). Para el parámetro BPM, verificamos que cuando las parejas contaron con información visual, tuvieron una performance significativamente mejor que al carecer de dicha información ($p=0.04$). Además, a medida que aumentaba el largo del silencio, las parejas fueron aumentando su BPM ($p=0.03$). Por

otro lado, no se encontraron interacciones entre condición y situación ($p=0.9$). En la tabla III se presenta el análisis de varianza del modelo obtenido. La misma muestra los resultados para cada factor (condición y situación). El símbolo “:” representa la interacción entre ambas condiciones.

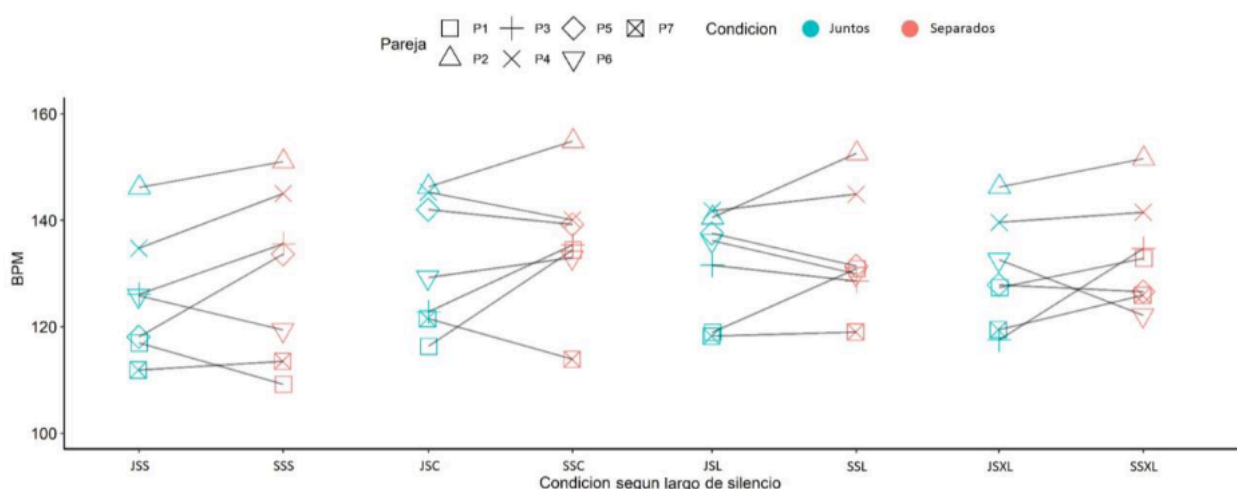


Fig. 8. Resultado del análisis de BPM según condición y situación para cada pareja. Las parejas se representan con símbolos y condiciones en color azul (juntos) y rojo (separados). Las líneas negras unifican la pareja según la condición en cada situación.

```
Type III Analysis of Variance Table with Satterthwaite's method
              Sum Sq Mean Sq NumDF DenDF F value Pr(>F)
Condicion      152.06  152.064      1     42  4.3675 0.04273 *
Situacion      319.13  106.376      3     42  3.0552 0.03866 *
Condicion:Situacion 10.77    3.589      3     42  0.1031 0.95780
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

Tabla III. Resultados para cada factor (condición y situación)

Para el parámetro onset, verificamos que cuando los miembros de las parejas podían verse durante la performance musical, su desempeño fue significativamente mejor que al no poder verse ($p=1.907e-05$). Además, a medida que aumentaba el largo del silencio, las parejas fueron disminuyendo su rendimiento ($p=0.03$). A su vez, se encontraron interacciones entre ambos factores ($p=0.004$). Esta interacción puede visualizarse fácilmente en la figura 9, en donde se muestra que las parejas tuvieron un mejor rendimiento tocando

el pasaje musical en la condición “juntos” tanto para la situación “silencio corto” como “silencio extra largo”. Sin embargo, en la situación “silencio largo” se puede ver que tres parejas tuvieron un peor rendimiento en la condición “juntos” (P2, P3 aprox y P4). En la tabla IV se presenta el análisis de varianza del modelo obtenido. La misma muestra los resultados para cada factor: Condición (“juntos” y “separados”) y situación (“sin silencio”, “silencio corto”, “silencio largo” y “silencio extra largo”). El símbolo “.” representa la interacción entre ambas condiciones.

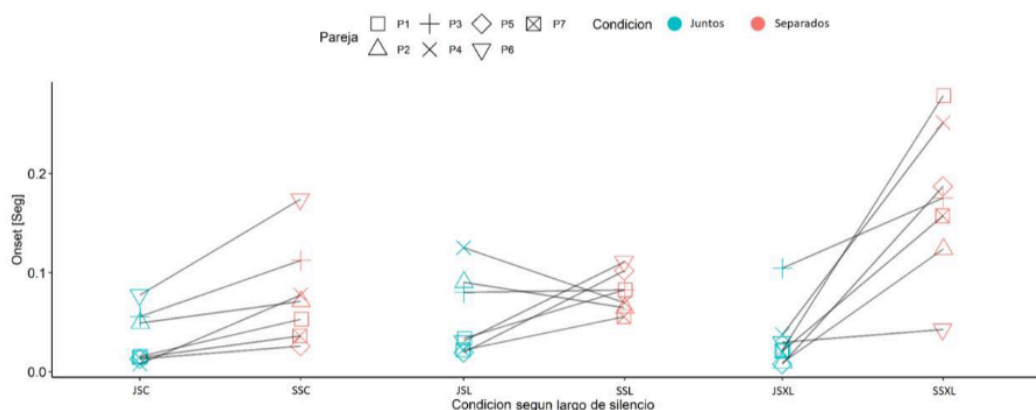


Fig. 9: Resultado del análisis de dif. de onsets según condición y situación para cada pareja. Las parejas se representan con símbolos y las condiciones con color azul (juntos) y rojo (separados). Las líneas negras unifican la pareja según la condición en cada situación.

```

Type III Analysis of Variance Table with Satterthwaite's method
          Sum Sq  Mean Sq NumDF DenDF F value    Pr(>F)
Condicion    0.051402 0.051402     1    36 24.2253 1.907e-05 ***
Situacion     0.016836 0.008418     2    36  3.9674 0.027726 *
Condicion:Situacion 0.027150 0.013575     2    36  6.3977 0.004194 **
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

```

Tabla IV. La misma muestra los resultados para cada factor: Condición (“juntos” y “separados”) y situación (“sin silencio”, “silencio corto”, “silencio largo” y “silencio extra largo”).

Estudiamos el efecto de la información visual sobre dos factores de la performance musical: el BPM y la sincronización luego de silencios de diferentes longitudes, lo cual denominamos onsets. Los resultados obtenidos en el análisis de los promedios de BPM fueron relevantes. El principal resultado de este análisis es que en ausencia de información visual los sujetos tienden a aumentar el BPM, independientemente de la condición testada (Figura 5). Este fue un resultado inesperado y sugiere que, de alguna manera, el feedback visual entre lxs músicxs lxs ayuda a mantener un BPM más cercano al tempo inicial que tuvieron como referencia. Por otra parte, los silencios también influyeron sobre el BPM ya que todas las situaciones donde hubo silencios mostraron BPMs mayores que la situación sin silencio independientemente de la condición. A su vez, la duración del silencio implicó un aumento del BPM de la performance musical. Aún nos falta realizar más experimentos y recabar más información sobre estudios previos que nos permitan interpretar el por qué exacto de este comportamiento. En lo que respecta a la sincronización en la performance musical, esta última se ve afectada en instancias donde lxs músicxs no tienen información visual a disposición. En este marco, la sincronización no se ve afectada en situaciones con silencios de 1 y 2 compases, mientras que a partir de silencios de 4 compases (promedio de 7,18 segundos para este experimento) la sincronización se ve completamente comprometida en ausencia de información visual. Por otro lado, la sincronización en la performance musical en grupo se ve afectada positivamente cuando lxs músicxs disponen de información visual, ya que pueden utilizar vías de comunicación no verbal entre ellxs. El hecho de realizar una performance musical con información visual a disposición implica, siempre y cuando esta sea aprovechada por lxs músicxs, una tendencia a la coordinación más allá de los errores que puedan cometerse durante la ejecución. Consideramos que se puede profundizar bastante en este asunto mediante el diseño de nuevos experimentos. Por ejemplo, estudiar si uno de los dos participantes guía al otro en la tarea o el hecho

de que ambos se observen alcanza para desarrollar una buena performance. Nos interesa estudiar también cuál es la información visual mínima necesaria para lograr una buena performance musical, con el fin de simular esta información mediante avatares de baja latencia en los NMPS. En cuanto a las equivocaciones dentro de la performance musical, los músicos cometen más errores cuando no pueden verse y, sorpresivamente, cometen más equivocaciones cuando existen silencios dentro de lo que deben tocar sin importar si carecen o disponen de información visual. En resumen, observamos que la información visual resulta ser de vital importancia en la performance musical, ya que tiene impactos positivos en la sincronización de lxs músicxs y evita que el BPM se incremente en forma desmedida. De hecho, estos efectos fueron observados con fragmentos musicales muy simples, ejecutados por parejas de músicxs, por lo que esperaríamos que los problemas causados por la falta de información visual sean mayores en fragmentos musicales más complejos ejecutados por ensambles musicales con mayor cantidad de miembros, asunto a tratar también en futuras investigaciones. Estos resultados apoyan nuestra idea inicial de que es importante que los NMPS cuenten con información visual relacionada con la performance musical para que las personas de un ensamble (sobre todo de música popular) puedan tener una experiencia lo más cercana posible a la presencialidad en términos de performance musical. En base a la información recabada en este experimento se podría estudiar qué efecto tiene la información visual en conjunto con la latencia característica de los sistemas de telepresencia y tratar de encontrar soluciones a las nuevas problemáticas que surjan de ello.

REFERENCIAS

- [1]Iorwerth, M., & Knox, D. (2019). Playing together, apart: Musicians' experiences of physical separation in a classical recording session. *Music Perception: An Interdisciplinary Journal*, 36(3), 289-299.
- [2]Romero Mascaró, D. "Ságora, Ágora Sonora". En *Resistencias: Foro de las Artes 2020*, Gaspar, F., & Jarpa, G. (2020). ISBN: 978-956-19-1204-5. 2020.
- [3]Cáceres, J. P., Chafe, C. "JackTrip: Under the hood of an engine for network audio". *Journal of New Music Research*, 39(3), 183-187. 2010.
- [4]Tsioutas, K. (2022). "Quality of Musicians' Experience in Network Music Performance". *Economic University of Athens. School of Epistemology and Technology of Informatics. Department of Informatics*. 2022. [5]Loveridge, B. (2020). Networked music performance in virtual reality: current perspectives. *Journal of Network Music and Arts*, 2(1), 2.
- [6]Philippe, R. A., Schiavio, A., & Biasutti, M. (2020). Adaptation and destabilization of interpersonal relationships in sport and music during the Covid-19 lockdown. *Heliyon*, 6(10), e05212.
- [7]Darabi, N., Svensson, P., & Farner, S. (2008). Quantifying the strategy taken by a pair of ensemble hand-clappers under the influence of delay. In *Audio Engineering Society Convention 125*. San Francisco.
- [8]Chafe, C., Gurevich, M., Leslie, G., & Tyan, S. (2004). Effect of time delay on ensemble accuracy. In *Proceedings of the International Symposium on Musical Acoustics* (pp. 3–6). Nara.
- [9]Bartlette, C., Hedlam, D., Bocko, M., & Velikic, G. (2006). Effect of network latency on interactive musical performance. *Music Perception*, 24(1), 49–62.
- [10]Carò t, A., & Werner, C. (2009). Fundamentals and principles of musical telepresence. *Journal of Science and Technology of the Arts*, 1(1), 26–37. <http://doi.org/10.7559/citarj.v1i1.6>
- [11]Pipe, L. (2018). The role of gesture and non-verbal communication in popular music performance, and its application to curriculum and pedagogy (Doctoral dissertation, University of West London). Capítulo 2, apartado 3: Gesture.
- [12]Demos, A. P., Chaffin, R. and Kant, V. (2014) 'Toward a dynamical theory of body movement in musical performance.', *Frontiers in Psychology*, 5, pp. 1–6. doi: 10.3389/fpsyg.2014.0047726
- [13]Jensenius, A. R., & Wanderley, M. M. (2010). Musical gestures: Concepts and methods in research. In *Musical gestures* (pp. 24-47). Routledge.
- [14]Godøy, R. I. and Leman, M. (2010) *Musical Gestures: Sound, Movement and Meaning*. Abingdon: Routledge.
- [15]Camurri, A. et al. (2004) 'Multimodal analysis of expressive gesture in music and dance performances.', *Gesture-Based Communication in Human-Computer Interaction*. Edited by A. Camurri and G. Volpe, pp. 20–39.
- [16]Davidson, Jane W. Bodily movement and facial actions in expressive musical performances by solo and duo instrumentalists: Two distinctive case studies. *Psychology of Music*, vol. 40, n° 5, p. 595-633, 2012. [17]Issartel, J., Marin L., Cadopi, M. (2007). Unintended interpersonal co-ordination: "Can we march to the beat of our own drum?". *Neurosci. Lett.*, 411 (2007), pp. 174-179. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2006.09.086> [18]Frigato, A., & Freire, R. D. (2017). Movimento corporal e gestual na construção da expressividade de harpistas experts. on *Music Performance*, 43.
- [19]de Mello, F. M., Kaminski, L. C., & Ray, S. (2014, May). Comunicação gestual em duos de violão: preparação para performance da obra *Micro Piezas I* de Leo Brouwer. In *Anais do Congresso da Associação Brasileira de Performance Musical* (Vol. 1, No. 1).
- [20]Hill, M., Hartshorne, S., & Jacka, L. (2014). Live music performance in virtual worlds: six musicians' experiences. In *IASPM-ANZ Conference 2013*. IASPM Australia/New Zealand.
- [21]Rogers, L. (2012). Future of work: Musical performance in virtual reality. *Humanity Plus*. Retrieved 19 July 2013.
- [22]Krijn, M., Emmelkamp, P. M., Olafsson, R. P., & Biemond, R. (2004). Virtual reality exposure therapy of anxiety disorders: A review. *Clinical Psychology Review*, 24, 259–281.
- [23]Safir, M. P., Wallach, H. S., & Bar-Zvi, M. (2012). Virtual reality cognitive-behavior therapy for public speaking anxiety: One-year follow-up. *Behavior Modification*, 36, 235–246.
- [24]Selvander, M., & Asman, P. (2012). Virtual reality cataract surgery training: Learning curves and concurrent validity. *Acta Ophthalmologica*, 90, 412–417. [25]Zinchenko, Y. P., Menshikova, G. Y., Chernorizov, A. M., & Voiskounsky, A. E. (2011). Technologies of virtual reality in psychology of sport of great advance: Theory, practice and perspectives. *Psychology in Russia: State of the Art*, 4, 129–15427
- [26]Aufegger, L., Perkins, R., Wasley, D., & Williamon, A. (2017). Musicians' perceptions and experiences of using simulation training to develop performance skills. *Psychology of Music*, 45(3), 417-431.
- [27]Vidwans, A., Gururani, S., Wu, C. W., Subramanian, V., Swaminathan, R. V., & Lerch, A. (2017, June). Objective descriptors for the assessment of student music performances. In *Audio Engineering Society Conference: 2017 AES International Conference on Semantic Audio*. Audio Engineering Society. [28]Nakano, T., Goto, M., and Hiraga, Y., "An automatic singing skill evaluation method for unknown melodies using pitch interval accuracy and vibrato features," *Proc. of the International Conference on Spoken Language Processing (ICSLP)*, 12, pp. 1706–1709, 2006.
- [29]Romani Picas, O., Parra Rodriguez, H., Dabiri, D., Tokuda, H., Hariya, W., Oishi, K., and Serra, X., "A Real-Time System for Measuring Sound Goodness in Instrumental Sounds," in *Proc. of the 138th Audio Engineering Society Convention*, 2015. [30]Barbancho, I., de la Bandera, C., Barbancho, A. M., and Tardon, L. J., "Transcription and expressiveness detection system for violin music," in *Proc. of the International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP)*, pp. 189–192, IEEE, 2009.
- [31]Wu, C.-W., Gururani, S., Laguna, C., Pati, A., Vidwans, A., and Lerch, A., "Towards the Objective Assessment of Music Performances," in *Proc. of the International Conference on Music Perception and Cognition (ICMPC)*, pp. 99–103, San Francisco, 2016, ISBN 1-879346-65-5.
- [32]Repp, Bruno H., and Yi-Huang Su. "Sensorimotor Synchronization: A Review of Recent Research (2006–2012)." *Psychonomic Bulletin & Review* 20, no. 3 (June 2013): 403–52. <https://doi.org/10.3758/s13423-012-0371-2>. [33]Calcagno, E., Romero Marcaró, D., Ramos, J., Russell, N., Vergara, R. (2022). Fundamentos para el diseño y desarrollo de un dispositivo experimental para medición del efecto del distanciamiento físico en la práctica instrumental de música popular. *Jornadas de Acústica, Audio y Sonido UNTREF*. [34]Russell, N., Vergara, R., Calcagno, E. (2022). Influencia del distanciamiento físico en la sincronización de una performance musical: Un estudio preliminar. *Jornadas de Arte, Música y Tecnología 2022*.
- [35]Bogdanov, D., Wack N., Gómez E., Gulati S., Herrera P., Mayor O., et al. (2013). ESSENTIA: an Audio Analysis Library for Music Information Retrieval. *International Society for Music Information Retrieval Conference (ISMIR'13)*. 493-498.
- [36]Bello, Juan P., Chris Duxbury, Mike Davies, and Mark Sandler, On the use of phase and energy for musical onset detection in the complex domain. *Signal Processing Letters, IEEE* 11, no. 6 (2004): 553-55628
- [37]P. Brossier, J. P. Bello, and M. D. Plumbley, "Fast labelling of notes in music signals," in *International Symposium on Music Information Retrieval (ISMIR'04)*, 2004, pp. 331–336.
- [38]D. P. W. Ellis, "Beat Tracking by Dynamic Programming," *Journal of New Music Research*, vol. 36, no. 1, pp. 51–60, 2007. [39]J. Laroche, "Efficient Tempo and Beat Tracking in Audio Recordings," *JAES*, vol. 51, no. 4, pp. 226–233, 2003.
- [40]Allaire, J. (2012). RStudio: integrated development environment for R. Boston, MA, 770(394), 165-171.
- [41]Pinheiro, J., Bates, D., DebRoy, S., Sarkar, D., & Team, R. C. (2007). Linear and nonlinear mixed effects models. R package version, 3(57), 1-89.