

18.- Ciencia, tecnología e innovación.

Información visual en la performance de música popular

Autor: Acosta, Alejandro; Russell, Nicolás; acosta.alejandrodani@gmail.com;
nicopeiton@gmail.com

Orientador/a: Calcagno, Esteban; Vergara, Ramiro; esteban-calca@gmail.com;
topovergara@gmail.com

Escuela Universitaria de Artes, Universidad Nacional de Quilmes

Resumen

Este proyecto propone la continuidad de una línea de investigación que tiene como objetivo principal el estudio de la influencia de la información visual y el distanciamiento físico en la performance musical en pos de desarrollar un sistema de telepresencia para hacer música en red. En esta etapa planteamos estudiar de qué manera afecta la falta de información visual a la performance musical en los factores rítmicos de onset y bpm. En el contexto pandémico de 2020 creció el interés por herramientas de Performance Musical en Red, entre otros 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.

Llevamos a cabo una serie de experimentos psicofísicos teniendo en cuenta el bpm y la sincronización de parejas de guitarristas tocando juntas y separadas. Para ello, montamos una sala de ensayo y una sala de grabación, desarrollamos scripts de recuperación de información musical y analizamos los datos obtenidos. Los resultados de estos experimentos revelaron diferencias significativas entre las performances con y sin información visual, indicando la influencia crucial de este factor en los resultados obtenidos. Estos hallazgos justifican la continuidad del estudio con una muestra más amplia, con el objetivo de obtener datos más específicos y robustos que puedan caracterizar con mayor precisión el impacto de la información visual en la performance musical en grupo.

Palabras clave: Psicoacústica, Sincronización, Música

¹ <https://sagora.org/>

Introducción

La creación musical en grupo es un fenómeno cooperativo y coordinado propio del ser humano que implica un complejo intercambio y adaptación mutua, donde la información visual como medio de comunicación no verbal desempeña una función esencial en la sincronización durante la performance[1][2]. En el contexto pandémico de 2020 creció el interés por herramientas de Performance Musical en Red [3], ya que brindan nuevas posibilidades para hacer música, permitiéndonos conectarnos 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 Ságora [4][5]. Si bien Ságora brinda una sala de ensayo mediante Internet, carece hasta el momento de un entorno visual que aporte este tipo de información, la cual creemos que puede significar una ventaja más para la performance musical a distancia.

En el marco de este trabajo, llevamos a

cabo una serie de experimentos psicofísicos teniendo en cuenta el BPM y la sincronización de parejas de guitarristas tocando juntas y separadas. Montamos un espacio de trabajo que consta de una estación de control y una sala de grabación, desarrollamos scripts de extracción de información musical (MIR) y analizamos los datos obtenidos. Calibramos el sistema y registramos la performance de siete parejas. A continuación desarrollaremos el proceso en el cual estos experimentos determinaron diferencias entre la performance con y sin información visual.

Objetivos

I. Objetivo generales

En este proyecto se propone continuar con una línea de investigación [6] cuyos principales objetivos son el desarrollo de un sistema de telepresencia orientado a la práctica musical en grupo. Nos interesa estudiar de qué manera el distanciamiento físico producido por este tipo de entornos afecta a la performance musical. Específicamente estudiaremos

los efectos de la presencia y ausencia de información visual sobre el BPM y la sincronización de lxs músicxs.

II. Objetivos específicos:

1. Diseño y armado de una estación de grabación y control del experimento.
2. Calibración del sistema de grabación del experimento.
3. Desarrollo de scripts de Recuperación de Información Musical (MIR) para la obtención de datos de los registros sonoros del experimento mediante librerías como Essentia² [7].
4. Realizar experimentos psicoacústicos a pares de guitarristas en presencia y ausencia de información visual (la información visual consiste en que ambos músicos pueden verse durante la performance) para estudiar cómo afecta esta variable sobre la sincronización entre ambos, siendo esta última la coordinación de movimientos rítmicos en función de un ritmo externo, ya sea un metrónomo o una performance musical en conjunto [8].
5. Analizar y cotejar los datos del

experimento y extraer conclusiones acerca del efecto de la información visual sobre la performance musical.

Materiales y Métodos

I- Especificaciones generales

Las metodologías técnicas y diseño experimentales que describimos a continuación fueron desarrollados en el marco de una investigación preliminar [9] y son las que utilizamos en el desarrollo de este trabajo, ya que 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:

- Clasificación de perfiles para determinar les participantes que forman parte de las unidades experimentales (parejas).
- Organización de las instancias de la performance: Condiciones: Juntas y Separadas; Situaciones: tipos de silencios.
- Análisis de los efectos del distanciamiento físico en la música mediante la observación

² <https://essentia.upf.edu/>

del bpm y onset.

- Consideración de factores como ubicación espacial, contacto visual y auditivo.

Setup de Grabación y Monitoreo:

- Configuración de un sistema de grabación que constó de una consola digital Midas 32, Laptop con sistema operativo Ubuntu, Monitores, auriculares y micrófono dinámico.
- Armado de una sala de grabación que consta de dos guitarras, amplificadores de auriculares, auriculares, micrófono condenser, sillas y biombo acústico.

Recopilación de Datos:

- Grabación de tres trials por cada Situación de 14 guitarristas.
- Tracks separados por Condición y Situación.
- Obtención de datos de onsets mediante la librería Essentia y Librosa.
- Obtención de datos de BPM mediante la librería Essentia y Librosa.
- Confección de tablas para el

posterior análisis de datos.

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.

Presentación de Resultados:

- Exposición 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.
- Continuación del experimento en una versión extendida de veinte parejas para recabar datos aún más específicos.

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 rasqueo 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 cada pareja realizó 3 tomas (Trials) de cada condición (Junta; Separada) y Situación (Sin Silencio; Silencio Corto; Silencio Largo; Silencio Extra-Largo). Las tomas incluyeron un metrónomo inicial de referencia y se grabaron en audio en dos pistas (GTR1; GTR2) (Tabla II). Para la condición Separada la pareja no tuvo información visual y solo usaron monitoreo de audio mediante auriculares. Mientras que para Junta se les pidió que utilicen la comunicación no verbal de la que se dispone. 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				
P4				
P5	S	SL	GTR2	002
P6				
P7		SXL		

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

Nomenclatura	Descripción
P1 / P7	Pareja N°1 / Pareja N°7
GTR1 / GTR2	Guitarra 1 / Guitarra 2
J	Condición: Juntas
S	Condición: Separadas
SS	Situación: Sin Silencio (0 compás)
SC	Situación: Silencio Corto (1 compás)
SL	Situación: Silencio Largo (2 compases)
SXL	Situación: Silencio Extra Largo (4 compases)
001 / 002 / 003	Trial 1 / Trial 2 / Trial 3

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

II. Extracción de información musical

A partir de las grabaciones de las tomas de cada instrumentista, se trabajó sobre la

extracción de datos. Obtuvimos información sobre cómo fueron afectados el BPM y el Onsets en cada Condición y Situación. 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 y OnsetDetection [10][11][12][13]. El primero extrae el tempo en BPM de 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.

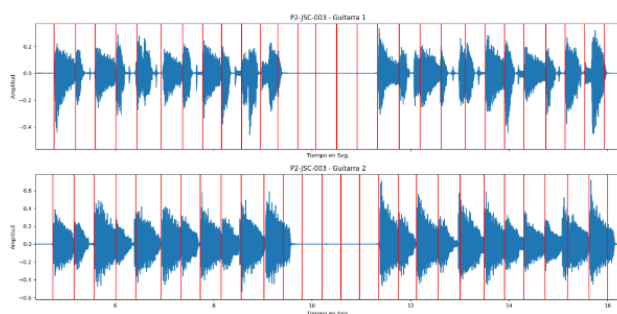


Figura 2. Estimación del BPM promedio para ambas guitarras de P2-JSC-002.

A partir de estos dos algoritmos, 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 tipo tabla 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 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 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 SS), y otra con el promedio de los tres trials de cada pareja.

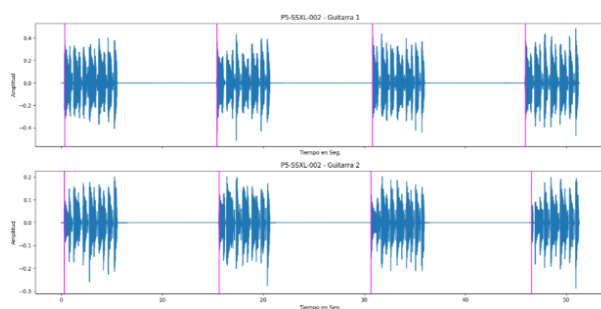


Figura 3. Detección de onsets para ambas guitarras de P5-SSXL-002.

Outliers: este archivo contiene dos columnas, una que indica la Condición y Situación, y otra que indica la cantidad de Outliers³ por condición.

III. Análisis estadístico

Para el análisis de los datos obtenidos a partir de los scripts de MIR realizados, se utilizó el lenguaje de programación estadístico R⁴ [14]. Mediante esta herramienta se pueden crear scripts que permiten manipular, analizar y graficar datos. Tanto para BPM como para Onset 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 (LMEM, 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, Onset y Outlier.

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 <https://posit.co/>

Resultados y Discusión

Los resultados del análisis del promedio de BPM (Figura 4) muestran un incremento del BPM para la condición Separada respecto de la condición Junta, para todas las situaciones. A su vez, se observa un incremento en el BPM al pasar de la situación SS a SC. 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.

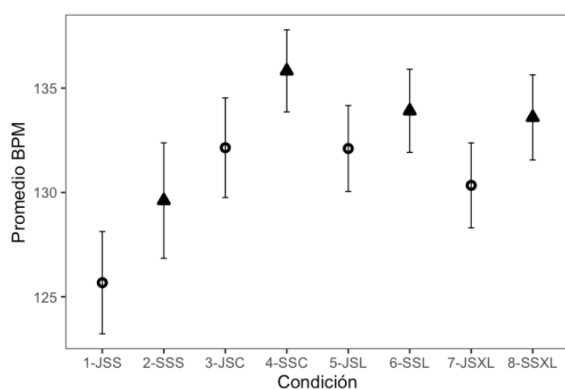


Figura 4. Promedios BPM de parejas por Condición. Círculos: juntas, triángulos : separadas.

Los resultados obtenidos del análisis de Onset (Figura 5) muestran un incremento significativo en la diferencia de onsets para la Condición Separada respecto de Junta. Se observa que no hay una diferencia

notable entre situaciones para la Condición Junta, mientras que para la condición Separada la diferencia de onsets aumenta drásticamente para SXL. Puede observarse también que, para la condición Junta las 3 situaciones tienen SE similares. Por otro lado, para la condición Separada el SE de SL es menor que para SC y SXL, 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).

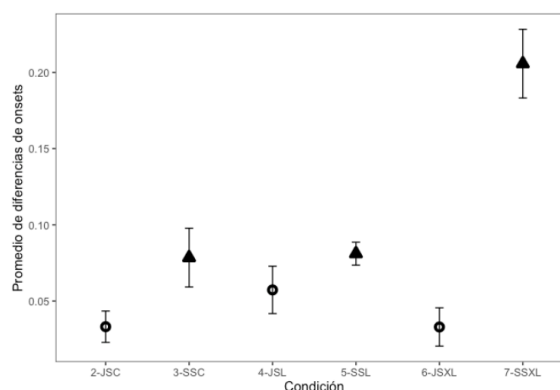


Figura 5. Promedios de Onset de parejas por Condición. Círculos: juntas, triángulos: separadas.

En cuanto al análisis estadístico mediante LMEM, ajustamos la Condición y la Situación 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 obteniendo un p-valor significativo en el análisis ($p=0.04$). 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.

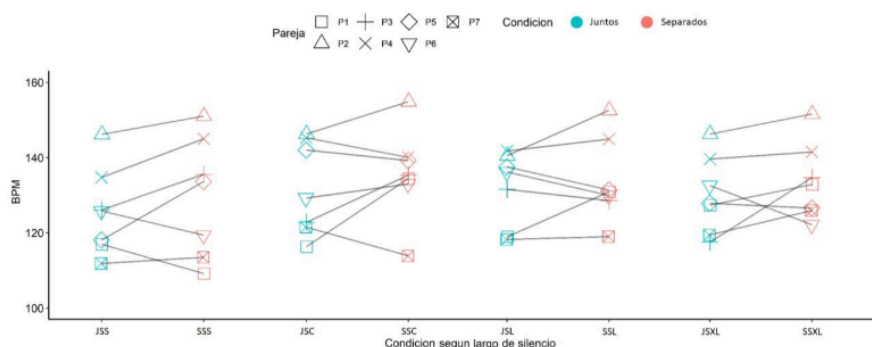


Figura 6. Resultado de análisis de BPM. Parejas: símbolos; Condición: color. Azul (Junta), rojo (Separada). Las líneas negras unifican la pareja según la Condición y Situación.

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

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 SC como SXL. Sin embargo, en la situación SL se puede ver que tres parejas tuvieron un peor rendimiento en la Condición Juntos (P2, P3 y P4). En la tabla IV 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.

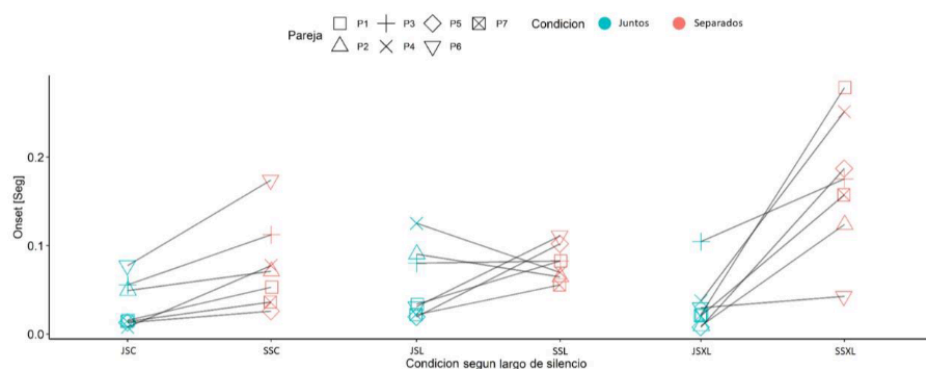


Figura 7. Resultado del análisis de Onset. Parejas: símbolos; Condición: color. Azul (Juntos), rojo (Separada). Las líneas negras unifican la pareja según la Condición y Situación.

```
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:Situacion0.027150  0.013575     2    36  6.3977  0.004194 **
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

Tabla IV. Resultados para cada factor

Conclusiones

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 Onset. 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 participantes 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 participantes contribuye 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 tempos mayores que la Situación SS 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 por qué sucede este comportamiento. En lo que respecta a la sincronización en la performance musical, esta última se ve afectada en instancias donde los participantes 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 9,6 segundos a 100 BPM) la sincronización se ve completamente comprometida en ausencia de información visual. Por otro lado, la sincronización en la performance musical en grupo se ve positivamente afectada cuando las personas disponen de información visual, ya que pueden utilizar comunicación no verbal entre estas. El hecho de realizar una performance musical con información visual a disposición implica una tendencia a la coordinación más allá de los errores que puedan cometerse durante la ejecución. Consideramos que se puede profundizar aún más en este asunto mediante el diseño de nuevos experimentos. Por ejemplo, estudiar si existen y cómo se dan las relaciones de líder y seguidor, agrupar a las y los participantes según el tipo, nivel y años de experiencia con el instrumento, experimentar una performance donde solo un participante cuente con información visual así como investigar si el hecho de que ambos se observen alcanza para llevar a cabo una buena performance o bien mediante el desarrollo de dispositivos de emisión de señales visuales. Por ello,

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. Por esto último, actualmente nos encontramos analizando de manera general y también clasificando según nivel de experiencia el Onset y BPM de un experimento con un tamaño de muestras de veinte parejas. En un análisis inicial notamos que frente a la ausencia de señales visuales el Onset de estas veinte unidades se ve fuertemente comprometido a medida que aumentan los silencios en las situaciones de la Condición Separadas. Mientras que en el BPM contrariamente al estudio presente se puede ver una desaceleración en el tempo, estimamos que esto puede deberse a una conjunción entre el nuevo fragmento musical propuesto y la nueva clasificación según la experiencia de los y las participantes. En resumen, volviendo a nuestro experimento de siete parejas, observamos que la información visual resulta ser de vital importancia en la performance musical, ya que tiene impactos positivos en la sincronización de las y los músicos 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 músicos, 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 o distintos niveles de experiencias, 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. Actualmente estamos llevando a cabo el análisis de un experimento con un N de veinte parejas que ejecutaron condiciones y situaciones en modo aleatorio, el cual hasta el momento ha arrojado resultados que son útiles para seguir discutiendo el tópico y avanzar en nuestros estudios acerca de la influencia de la información visual y el distanciamiento físico en la performance de música en grupo.

Referencias

- [1]Colley I., M. Varlet, J. MacRitchie, P. E. Keller. (2020).The influence of a conductor and co-performer on auditory-motor synchronisation, temporal prediction, and ancillary entrainment in a musical drumming task, *Human Movement Science*, vol. 72.
- [2]Laroche J., Tomassini A., Volpe G. , Camurri A., Fadiga L., D'Ausilio A. (2022). Interpersonal sensorimotor communication shapes intrapersonal coordination in a musical ensemble», *Front. Hum. Neurosci.*, vol. 16.
- [3]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.
- [4]Romero Mascaró, D., "Ságora, Ágora Sonora". (2020). En *Resistencias: Foro de las Artes 2020*, Gaspar, F., & Jarpa, G. ISBN: 978-956-19-1204-5. 2020.
- [5]Cáceres, J. P., Chafe, C. (2010). "JackTrip: Under the hood of an engine for network audio". *Journal of New Music Research*, 39(3), 183-187.
- [6]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*.
- [7]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.
- [8]Repp, H., Yi-Huang Su. (2006–2012). "Sensorimotor Synchronization: A Review of Recent Research." *Psychonomic Bulletin*. <https://doi.org/10.3758/s13423-012-0371-2>.
- [9]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*.
- [10]Bello, J., Chris Duxbury, Mike Davies, 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
- [11] Brossier, P., Bello J., Plumbley, M. (2004). "Fast labelling of notes in music signals," in *International Symposium on Music Information Retrieval (ISMIR'04)*, 2004, pp. 331–336.
- [12]Ellis, D. (2003). "Beat Tracking by Dynamic Programming," *Journal of New Music Research*, vol. 36, no. 1, pp. 51–60, 2007.
- [13]Laroche, J. (2003). "Efficient Tempo and Beat Tracking in Audio Recordings," *JAES*, vol. 51, no. 4, pp. 226–233,.
- [14]Allaire, J. (2012). *RStudio: integrated development environment for R*. Boston, MA, 770(394), 165-171.