



---

**Universidad de Valladolid**

FACULTAD DE CIENCIAS

# **Grado en Óptica y Optometría**

MEMORIA TRABAJO FIN DE GRADO TITULADO

## Análisis de la velocidad lectora en músicos

Presentado por: Ana Conde Lorenzo

Tutelado por: Irene Sánchez Pavón

Tipo de TFG:  Revisión  Investigación

En Valladolid a, 25 de mayo de 2025

## ÍNDICE

|  |    |
|--|----|
| RESUMEN.....   | 3  |
| ABSTRACT.....  | 3  |
| 1. INTRODUCCIÓN Y JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO.....                   | 5  |
| 2. MATERIAL Y MÉTODOS .....  | 7  |
| 2.1. Sujetos .....   | 7  |
| 2.2. Material .....  | 7  |
| 2.3. Metodología.....  | 7  |
| 2.3.1. Proceso de selección de sujetos.....                        | 7  |
| 2.3.2. Procedimiento .....   | 8  |
| 2.4. Análisis estadístico.....                                     | 8  |
| 3. RESULTADOS .....  | 9  |
| 3.1. Participantes y características demográficas y visuales.....  | 9  |
| 3.2. Comparación de la velocidad lectora de un texto convencional  | 9  |
| 3.3. Análisis de correlaciones en el grupo de los no músicos ..... | 10 |
| 3.4. Análisis de correlaciones en el grupo de músicos.....         | 11 |
| 3.5. Análisis de regresión y gráficas de dispersión.....           | 12 |
| 4. DISCUSIÓN .....   | 13 |
| 4.1. Discusión de los resultados cuantitativos.....                | 13 |
| 4.2. Discusión de los resultados cualitativos .....                | 15 |
| 4.3. Limitaciones del estudio .....                                | 19 |
| 4.4. Implicaciones futuras.....                                    | 19 |
| 5. CONCLUSIONES.....   | 20 |
| 6. BIBLIOGRAFÍA.....   | 21 |
| 7. ANEXOS .....  | 23 |

## RESUMEN

La educación musical ha demostrado inducir cambios neuroplásticos a nivel estructural y funcional en el cerebro, especialmente cuando se inicia a edades tempranas. Estos cambios favorecen el desarrollo de áreas cerebrales implicadas en el procesamiento del lenguaje y la lectura, mejorando habilidades lectoras y de percepción visual. Estas mejoras neurocognitivas pueden tener un impacto directo en la eficiencia de los movimientos oculares, un aspecto fundamental en la evaluación optométrica.

Este estudio pretende analizar la relación entre la formación musical y la eficiencia lectora mediante el uso de un dispositivo orientado al seguimiento ocular y análisis de la mirada, eye tracker. Se realizaron pruebas de velocidad lectora en sujetos con diferentes niveles de formación musical. Asimismo, se recogieron datos sobre el tiempo de formación musical de los sujetos además del inicio de sus estudios y la dedicación semanal a la práctica musical.

El análisis de estos datos tiene como objetivo identificar si existe una correlación entre la formación musical y la eficiencia oculomotora, evaluando si los sujetos con estudios musicales presentan un patrón de lectura más fluido, mayor velocidad en el procesamiento visual. Además, se pretende determinar si la cantidad de años de formación, la edad de inicio o el tiempo en la práctica semanal influyen en la velocidad lectora.

Los resultados obtenidos podrán aportar información relevante sobre la influencia de la estimulación musical en el desarrollo de habilidades visuales y lectoras, abriendo posibles líneas de intervención optométrica en poblaciones infantiles o con dificultades lectoras (dislexia, discapacidades...). De este modo, se podrá establecer un nexo entre la educación musical, neurociencia y optometría, contribuyendo a una comprensión más amplia de los factores que modulan en control oculomotor en tareas como la lectura.

## ABSTRACT

Musical education has been shown to induce neuroplastic changes at both structural and functional levels in the brain, especially when started at an early age. These changes support the development of brain areas involved in language and reading processing, enhancing reading skills and visual perception. These neurocognitive improvements may have a direct impact on the efficiency of eye movements, a key aspect in optometric evaluation.

This study aims to analyse the relationship between musical training and reading efficiency using an eye-tracking device. Reading speed tests were conducted on subjects with different levels of musical training. Additionally, data were collected regarding the subjects' duration of musical training, the age at which they started their studies, and the weekly time dedicated to musical practice.

The analysis of these data aims to identify whether there is a correlation between musical training and oculomotor efficiency, assessing whether subjects with musical education display a more fluid reading pattern and faster visual processing speed. Furthermore, the study seeks to determine whether the

number of years of training, the starting age, or the amount of weekly practice time influences reading speed.

The results obtained may provide relevant information about the influence of musical stimulation on the development of visual and reading skills, opening potential approach for optometric intervention in children or populations with reading difficulties (dyslexia, disabilities, etc.). In this way, a connection can be established between musical education, neuroscience, and optometry, contributing to a broader understanding of the factors that modulate oculomotor control in tasks such as reading.

## 1. INTRODUCCIÓN Y JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO

Numerosos estudios en neurociencia han demostrado que la formación musical genera un impacto significativo en la plasticidad cerebral, entendida como la capacidad del sistema nervioso central para modificar su estructura y función en respuesta a estímulo y experiencias del entorno (1-4). Este efecto parece depender de variables como la edad de inicio de los estudios, la intensidad y la duración de la práctica musical (5,6). La música, al requerir una integración multisensorial, estimula sistemas auditivos, motores y visuales contribuyendo a una reorganización funcional y estructural del cerebro (1,7,8,9).

Los estudios de neuroimagen han evidenciado que los músicos presentan volúmenes mayores de materia gris y mayor conectividad en regiones como el cuerpo caloso anterior, el cerebelo, el córtex auditivo primario, el área motora primaria y el tronco-encéfalo, en comparación con personas sin formación musical (2,8,4).

Estas adaptaciones están asociadas a las demandas cognitivas y motoras específicas de la práctica musical, implicando no solo el procesamiento de los sonidos, sino también la interpretación de símbolos musicales mediante el sistema visual, y la coordinación motora. (10,11,7).

Además de su impacto en las habilidades musicales, la formación musical ha demostrado efectos positivos en funciones cognitivas no musicales, como la memoria, la atención sostenida en el tiempo, la percepción auditiva fina, la capacidad de razonamiento y la percepción espacial (12-15). Este fenómeno, conocido como “transferencia cognitiva”, refleja cómo el entrenamiento intensivo en música puede potenciar dominios cognitivos implicados en otras actividades, incluida la lectura (13,9,16,17).

Desde la perspectiva de la óptica y la optometría, resulta muy relevante la exploración de cómo la formación musical puede influir en procesos de percepción implicados en la lectura. La lectura, al igual que la música, se basa en la decodificación visual de un sistema simbólico: las letras y las palabras en el caso del texto, y las notas y signos en la notación musical (18,19). La lectura eficaz requiere una integración visual y auditiva compleja, así como una adecuada coordinación de movimientos oculares, capacidad de fijación, movimientos sacádicos precisos y el procesamiento rápido de la información visual (20).

Algunos autores han sugerido que la práctica musical, al entrenar la interpretación rápida y precisa de partituras podría mejorar la velocidad y eficacia de la decodificación visual, facilitando así procesos implicados en la lectura (10,11,20). Una exposición continua a partituras podría desarrollar habilidades visuo-espaciales, anticipaciones de patrones y un procesamiento secuencial eficiente, habilidades compartidas con las tareas de lectura de un texto convencional. (17-19).

Asimismo, la formación musical fortalece redes cerebrales que conectan áreas visuales del lóbulo occipital como regiones frontales y parietales implicadas en la atención y la memoria (1,7,21). Esta mayor conectividad funcional y estructural podría traducirse en una mejora de la capacidad del procesamiento simultáneo de estímulos visuales y auditivos, beneficiando tanto la interpretación musical como la lectura (1,7,16).

En el contexto optométrico, es interesante considerar si estas diferencias neuroanatómicas y funcionales asociadas a la formación musical repercuten en aspectos medibles como la velocidad lectora, una variable dependiente de la eficacia de los movimientos oculares, la amplitud y precisión de las fijaciones y movimientos sacádicos, así como la capacidad del procesamiento visual y cognitivos de las palabras (20).

Investigaciones previas han relacionado las habilidades musicales con una mayor conciencia fonológica y procesamiento fonético, factores fundamentales en la decodificación fonológica durante la lectura (16,22,23).

Además, estudios como el de "Anvari et al." (22) han evidenciado una correlación significativa entre habilidades musicales, procesamiento fonológico y rendimiento lector en niños, lo que sugiere que la formación musical podría actuar como factor potenciador del aprendizaje lector. Aunque la mayoría de las investigaciones se han centrado en población infantil, resulta relevante estudiar si estos beneficios persisten en la vida adulta y si tienen un impacto observable en la velocidad lectora.

Por otra parte, la velocidad lectora disminuye con la edad debido a cambios fisiológicos en el sistema visual, como la presbicia, la reducción de la sensibilidad al contraste y un procesamiento más lento de la información visual. Este fenómeno es relevante para adaptar las estrategias de evaluación optométrica en función de la edad (24,25).

Por tanto, el presente trabajo tiene como objetivo analizar y comparar la velocidad lectora en adultos con y sin formación musical, con el fin de explorar si las diferencias neurofuncionales descritas anteriormente se manifiestan en una mayor fluidez lectora. Este estudio se sitúa en la intersección entre la neurociencia, psicología cognitiva y la optometría, aportando una perspectiva interdisciplinar sobre las relaciones entre la plasticidad cerebral inducida por la música y las habilidades perceptivo-visuales implicadas en la lectura (10,11,22).

## 2. MATERIAL Y MÉTODOS

### 2.1. Sujetos

En este estudio en el que se han incluido sujetos con edades comprendidas entre las edades de dieciocho (18) y cincuenta (50) años con formación musical y sin ella. Posteriormente, este estudio de prueba de concepto podría ser la base para que en el futuro se analicen este tipo de variables teniendo en cuenta todas las propiedades beneficiosas a largo plazo que puede ofrecer este arte.

Se estima que será necesario explorar a 45 voluntarios de los cuales 15 no han tenido formación musical específica, 15 son docentes de formación musical y otros 15 son alumnos de formación musical para este estudio exploratorio. Se excluirán pacientes con opacidad de medios, estrabismos superiores a 10 dioptrías prismáticas y AV inferior a 0,5 en alguno de los dos ojos.

### 2.2. Material

Para la exploración visual de los pacientes se utilizarán el material propio de un gabinete de optometría:

- Proyector con optotipos de Snellen (Topcon ACP-7 o similar).
- Lámpara de hendidura (SL-2E, TOPCON).
- Foróptero (Phorovist200, Rodenstock).
- Retinoscopio (Beta 200, Heine).
- Frontofocómetro automático.
- Test TNO (Lameris OOTECH, Netherlands) con gafas rojo/verde para la medida de la estereopsis.
- Optotipos para la medida de la agudeza visual en visión próxima.
- Luces de worth.

Además, para las pruebas no invasivos que se utilizarán para la medida de la velocidad lectora se utilizará:

- Eye tracker de sobre mesa GP3 de la empresa Gazepoint.
- Texto de lectura (anexo 1).
- Texto de lectura musical (anexo 2).

### 2.3. Metodología

#### 2.3.1. Proceso de selección de sujetos

Los sujetos serán voluntarios seleccionados de manera aleatoria teniendo en cuenta los criterios de inclusión y exclusión. Se reclutará a músicos de diversos ámbitos en el mundo musical y personas sin formación musical teniendo en cuenta mantener la homogeneidad en edad y sexo de ambos grupos.

### **2.3.2. Procedimiento**

Este es un proyecto de investigación clínico prospectivo y analítico.

Cada sujeto será sometido a una exploración optométrica completa para verificar el cumplimiento de los criterios de inclusión y exclusión. Esta exploración, junto con las pruebas no invasivas propias del estudio, será llevada a cabo en el departamento de Física Teórica, Atómica y Óptica (Laboratorio de Optometría, BS01 de la Facultad de Ciencias).

Primeramente, se les ofrecerá el consentimiento informado, donde se explica la naturaleza del estudio, el cual tendrá que ser firmado por el sujeto.

Tras comprobar que los datos coinciden, se le realizará un breve examen optométrico básico para garantizar el cumplimiento de los criterios de inclusión del proyecto.

Posteriormente, se realizarán las pruebas de velocidad lectora registradas con el eye tracker. Estas pruebas constan de la lectura de un texto (anexo 1) durante 1-2 minutos, el registro de movimientos de seguimiento ocular mediante un vídeo y, en el caso de los músicos, la lectura de una partitura corta (anexo 2) durante 1-2 minutos de lectura.

### **2.4. Análisis estadístico**

Se verificará la normalidad de la muestra con la prueba de Kolmogorov-Smirnov, tomando como significación estadística  $p < 0.05$ . Se compararán los grupos con la prueba U de Mann-Whitney ya que esta prueba ayuda a comparar dos grupos independientes y determinar si provienen de la misma distribución o si hay diferencia significativa entre ellos, sin asumir que los datos siguen una distribución normal. Se realizarán correlaciones entre la velocidad lectora de los músicos, la edad a la que empezaron sus estudios musicales, las horas que dedican a la semana a la música y los años de formación musical que han recibido.

### **3. RESULTADOS**

#### **3.1. Participantes y características demográficas y visuales**

En la muestra del estudio se han incluido 18 sujetos músicos (grupo experimental y 12 no músicos (grupo control).

Se estima una media de edad en los músicos de  $26,83 \pm 10,16$  años y en los no músicos  $28,92 \pm 10,41$  años.

También se realizó una estimación del equivalente esférico medio en ambos grupos siendo en el grupo de los músicos de  $-0,93 \pm 2,26D$  y en el grupo de los no músicos de  $-1,21 \pm 1,79D$ .

Asimismo, se calculó la media de la estereopsis en ambos grupos, siendo en el grupo de los músicos de  $76,67 \pm 48,51''$  de arco y en el grupo de los no músicos de  $70,00 \pm 23,35''$  de arco.

Los resultados iniciales muestran que el grupo experimental (músicos) y el grupo control (no músicos) no difieren significativamente en edad, refracción ni estereopsis, lo cual ayuda a asegurar que la homogeneidad entre grupos elimina posibles sesgos visuales o de edad que pudieran explicar por sí mismos la diferencia en la lectura. Por lo tanto, las diferencias halladas se pueden atribuir a la variable independiente, en este caso, la formación musical.

#### **3.2. Comparación de la velocidad lectora de un texto convencional**

En este estudio se consiguió estimar el tiempo de lectura medio de un texto convencional donde el grupo control (no músicos) muestra una media de lectura de  $44,56 \pm 6,30s$  y en el grupo experimental (músicos) se obtiene una media de lectura de  $40,21 \pm 3,77s$ .

Se obtiene a su vez en el análisis estadístico con U de Mann-Whitney el estadístico U de 56,0 y un p-valor de 0,03 por lo que al ser menor de 0,05 esto indica que hay una diferencia estadísticamente significativa entre el grupo de los músicos y los no músicos en el tiempo de lectura del texto convencional, lo que verifica la hipótesis inicial del estudio donde la velocidad de lectura el mayor en los músicos que en los no músicos.

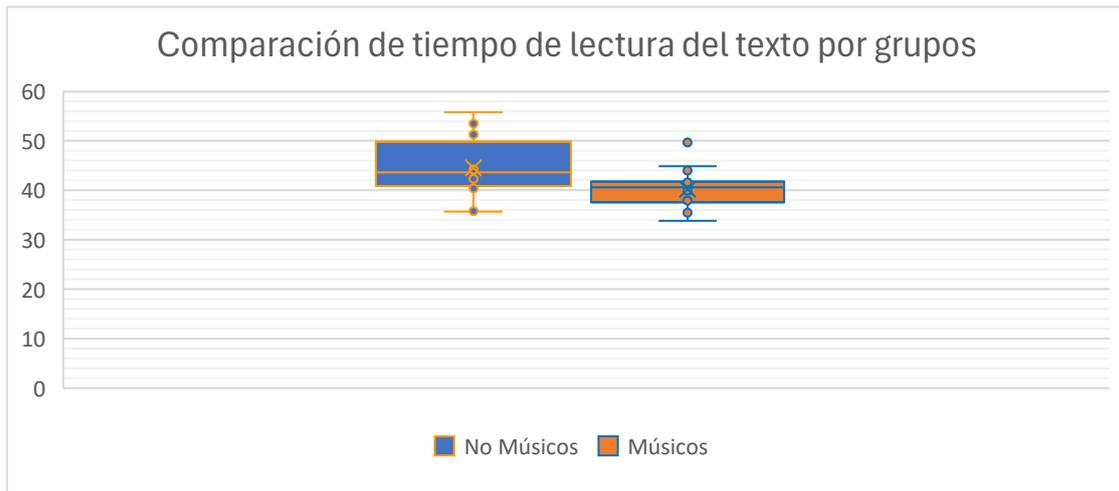


Figura 1. Representación gráfica de la media de la velocidad lectora de un texto convencional del grupo experimental (músicos) y el grupo control (no músicos).

### 3.3. Análisis de correlaciones en el grupo de los no músicos

Se han calculado los coeficientes de correlación de Rho de Spearman ( $r$ ) y sus p-valores entre diversas variables.

| Variable 1                 | Variable 2                  | "r"         | "p-valor"   | Significativo |
|----------------------------|-----------------------------|-------------|-------------|---------------|
| Equivalente esférico medio | Tiempo lectura texto        | 0,03        | 0,88        | No            |
| <b>Edad</b>                | <b>Tiempo lectura texto</b> | <b>0,69</b> | <b>0,01</b> | <b>Sí</b>     |

Tabla 1. Rho de Spearman ( $r$ ) y p-valores para equivalente esférico medio y edad vs. Tiempo de lectura de texto convencional en el grupo control (no músicos).

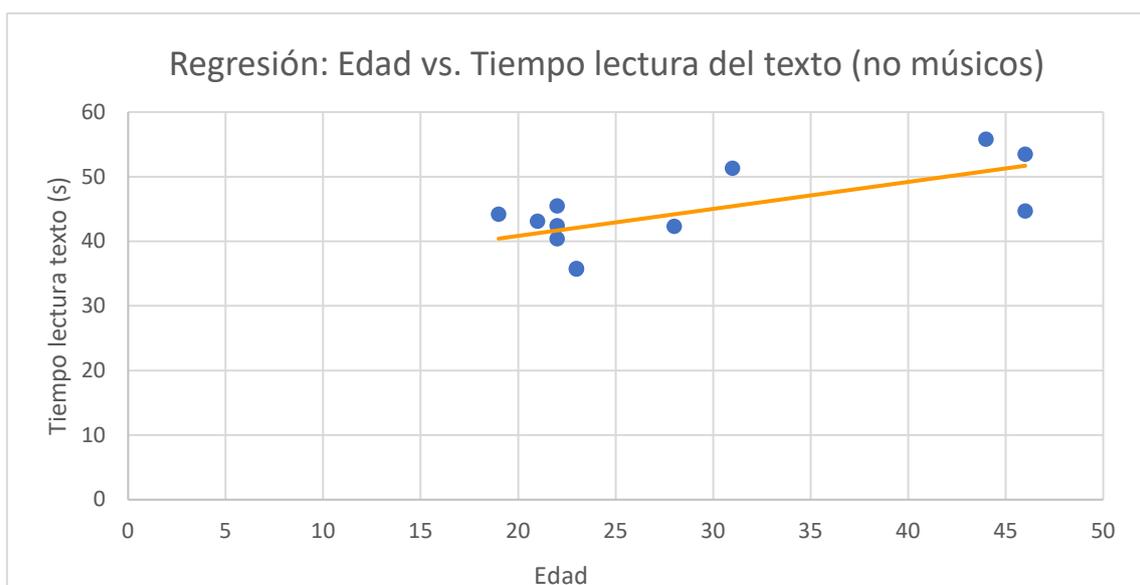


Figura 2. Representación gráfica de regresión lineal entre la edad y el tiempo de la lectura del texto en grupo control (no músicos).

Sólo la edad mostró correlación estadísticamente significativa con la velocidad de lectura del texto con un  $r = -0,69$ ;  $p = 0,01$ . A mayor edad, menor rapidez para leer un texto convencional.

### 3.4. Análisis de correlaciones en el grupo de músicos

Se calcularon los coeficientes de correlación de Rho de Spearman ( $r$ ) y sus  $p$ -valores entre diversas variables relacionadas con la formación musical, características personales y los tiempos de lectura de texto y de partitura.

| Variable 1                       | Variable 2                      | "r"   | "p-valor" | Significativo |
|----------------------------------|---------------------------------|-------|-----------|---------------|
| Año inicio estudios musicales    | Tiempo lectura partitura        | 0,14  | 0,57      | No            |
| Año inicio estudios musicales    | Tiempo lectura texto            | -0,11 | 0,67      | No            |
| Horas semanales de música        | Tiempo lectura partitura        | -0,23 | 0,30      | No            |
| Horas semanales de música        | Tiempo lectura texto            | 0,41  | 0,09      | No            |
| Tiempo lectura texto             | Tiempo lectura partitura        | 0,12  | 0,65      | No            |
| <b>Años de formación musical</b> | <b>Tiempo lectura partitura</b> | -0,87 | < 0,01    | <b>Sí</b>     |
| Años de formación musical        | Tiempo lectura texto            | 0,10  | 0,70      | No            |
| Edad                             | Tiempo lectura partitura        | -0,44 | 0,06      | No            |
| Edad                             | Tiempo lectura texto            | 0,02  | 0,94      | No            |
| Equivalente esférico medio       | Tiempo lectura partitura        | 0,17  | 0,52      | No            |
| Equivalente esférico medio       | Tiempo lectura texto            | -0,20 | 0,44      | No            |
| Estereopsis                      | Tiempo lectura partitura        | 0,20  | 0,43      | No            |
| Estereopsis                      | Tiempo lectura texto            | -0,17 | 0,50      | No            |

Tabla 2. Rho de Spearman ( $r$ ) y  $p$ -valores entre diferentes variables de estudio en el grupo experimental (músicos)

Sólo los años de formación musical mostró correlaciones estadísticamente significativas con la velocidad de lectura de partituras con un  $r = -0,87$ ;  $p < 0,01$ . A más años de formación musical, mayor rapidez para leer la partitura.

Sin embargo, las otras correlaciones que se muestran en la Tabla 2 (edad de inicio, horas semanales de práctica musical, estereopsis, edad) con la velocidad de lectura mostraron tendencias ( $r$  entre 0,2-0,4) pero no alcanzaron significación estadística ( $p < 0,05$ ).

### 3.5. Análisis de regresión y gráficas de dispersión

Para profundizar en las relaciones observadas en el grupo de población con formación musical, se ha realizado un análisis de regresión lineal y se han generado gráficas de dispersión para las dos asociaciones que han conseguido alcanzar una significación estadística.

El análisis de regresión lineal entre los años de formación musical y el tiempo de lectura de la partitura ha revelado una pendiente negativa pronunciada ( $r = -0,87$ ;  $p < 0,01$ ), indicando que a medida que aumenta el número de años de formación musical, disminuye el tiempo empleado en la lectura de la partitura. La gráfica de dispersión (Figura 3) muestra cada individuo como un punto y la línea de ajuste, que captura claramente esta tendencia descendente.

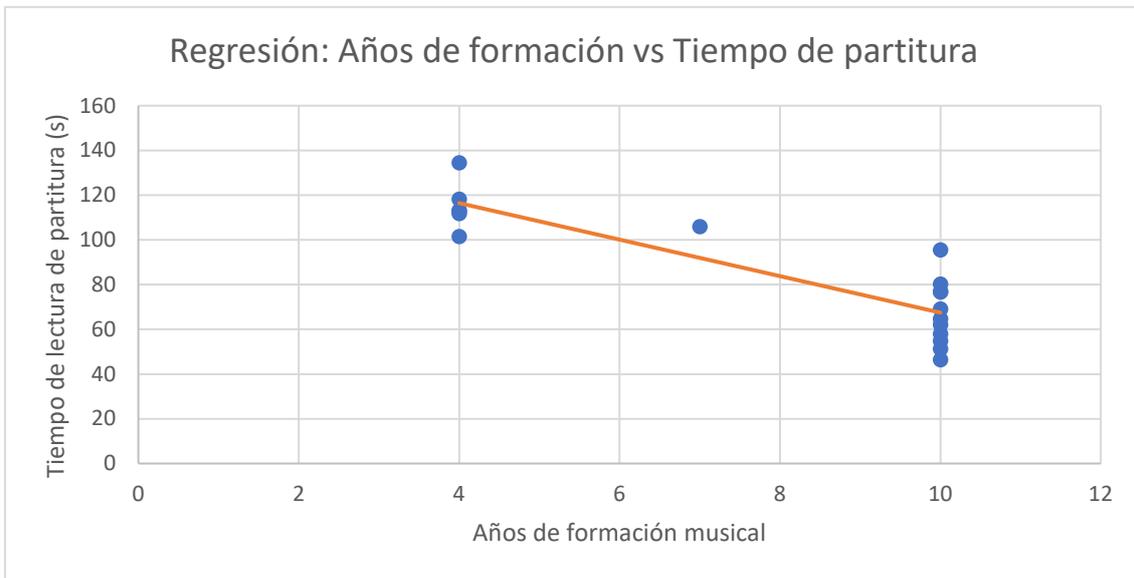


Figura 3. Representación gráfica de regresión lineal entre los años de formación musical vs. El tiempo de lectura de la partitura.

En este gráfico los puntos representan a los 18 sujetos músicos incluidos en el estudio. La fortaleza de las correlaciones ( $|r| > 0,8$ ) y sus p-valores  $< 0,01$  confirman la relevancia práctica de estas asociaciones en nuestra muestra.

## 4. DISCUSIÓN

### 4.1. Discusión de los resultados cuantitativos

Los resultados obtenidos en este estudio muestran que los músicos leen significativamente más rápido un texto convencional que los no músicos, incluso en ausencia de diferencias significativas en edad, refracción y estereopsis entre los grupos. Este hallazgo respalda la hipótesis de que la práctica musical puede potenciar habilidades cognitivas y perceptuales transferibles a la lectura de textos no musicales. Estudios previos ya habían sugerido que la formación musical mejora procesos cognitivos como la atención sostenida, la memoria de trabajo y la capacidad de procesamiento secuencial, factores fundamentales en la lectura (12,19).

Los resultados sugieren que la formación musical potencia habilidades de procesamiento secuencial, atencional y visuo-espacial implicadas en la lectura. “Kraus & Chandrasekaran” (12) y “Moreno et al.” (15), explican que el entrenamiento musical estimula redes cerebrales implicadas en la conciencia fonológica, memoria y procesamiento auditivo rápido, competencias clave para la decodificación lectora.

En el ámbito de la optometría, es relevante que, sin unas claras diferencias refractivas o estereoscópicas, los músicos manifiestan una ventaja en el procesamiento visual-temporal de símbolos lingüísticos (17).

Esto respalda la hipótesis inicial del estudio: el entrenamiento musical se manifiesta en una mejora de las habilidades lectoras a través de un mejor procesamiento visual y auditivo.

La relación entre la formación musical y la velocidad lectora podría explicarse por la estimulación de redes cerebrales implicadas en la integración audiovisual y visuo-motora que se produce durante la práctica instrumental (7).

Como consecuencia de los resultados obtenidos en este estudio, se refuerza la idea de que la experiencia prolongada mejora la automatización de la lectura de símbolos musicales (10).

Desde la perspectiva visual, la lectura de partituras exige una alta coordinación oculomotora, sacádica y de fijaciones, similar a la lectura de un texto, pero con una mayor densidad simbólica y requisitos espaciales. La correlación hallada sugiere que la plasticidad neuro visual derivada del aprendizaje musical podría optimizar circuitos corticales implicados en la coordinación visuo-oculomotora (7).

También, se ha encontrado una correlación inversa muy significativa entre los años de formación musical y el tiempo de lectura, lo que indica que una mayor experiencia musical se asocia a una lectura más rápida de notación musical. Este resultado coincide con los hallazgos de “Stewart et al” (10) y “Altenmüller & Furuya” (3), quienes describen que el aprendizaje prolongado de la música conduce a la automatización de los procesos de decodificación simbólica y a una mayor eficiencia visuo-cognitiva en la interpretación de partituras. Además, esta automatización podría estar mediada por la reorganización neuro funcional de áreas como el cerebelo y la corteza prefrontal dorsolateral, implicadas en la planificación motora y la gestión de información secuencial (1).

Asimismo, los resultados obtenidos en este estudio concuerdan con los estudios previos donde se demostraron que la velocidad de lectura disminuye con la edad. Diversos estudios demuestran que los adultos mayores (entre 50 y 73 años) presentan una mayor dificultad para leer tamaños de letra extremos debido a la pérdida de la sensibilidad al contraste, la reducción del campo visual efectivo y un mayor tiempo para poder procesar los textos (24,25). Aunque en este estudio estas variables no han afectado a la calidad de este, ya que la tipología de letra del texto convencional (anexo 1) era estándar y las edades de los sujetos no han sido mayores de 50 años.

Aunque en este estudio no se han encontrado resultados estadísticamente significativos entre el equivalente esférico medio y el tiempo de lectura de la partitura, se ha observado que una mejor calidad de la imagen retiniana podría ayudar a una lectura más eficiente. Dado que la notación musical exige una alta precisión en la discriminación de detalles (como la identificación exacta de las posiciones de las líneas y espacios del pentagrama), una corrección optométrica adecuada sigue siendo fundamental para optimizar el rendimiento lector. Estudios previos han destacado que déficits en la agudeza visual pueden afectar negativamente a la fluidez de la lectura musical, aumentando la demanda de un esfuerzo acomodativo, así como oculomotor (26,27).

Por otro lado, no se hallaron correlaciones significativas entre otras variables como la edad de inicio de los estudios musicales, las horas semanales de práctica musical, la estereopsis o la edad, y la velocidad lectora, aunque algunas mostraron tendencias moderadas. Este resultado podría deberse a que la automatización de la lectura musical depende más de la acumulación prolongada de experiencia y práctica distribuida a lo largo del tiempo (años totales de estudios) que, de factores como el inicio precoz o la intensidad semanal actual, en línea con las hipótesis de “Penhune” (5) y “Habib & Besson” (18) sobre la existencia de periodos sensibles, pero también de plasticidad continua.

Esta ausencia de significación en la edad de inicio de los estudios musicales y horas semanales de práctica musical podría explicarse porque el número de años acumulados de formación musical es la variable más significativa de automatización lectora musical, como se propone en el estudio de “Norton et al.” (20).

La falta de asociación con la estereopsis también podría explicar que el procesamiento binocular fino no es un factor limitante en la lectura de partituras en 2D (28).

Finalmente, estos resultados apoyan la idea de que la práctica musical intensiva no solo moldea circuitos auditivo-motores, sino también redes perceptivas visuales implicadas en tareas de lectura y procesamiento simbólico, ofreciendo un modelo de plasticidad cerebral que integra lo auditivo, lo motor y lo visual (1,19). Desde una perspectiva optométrica, estos hallazgos subrayan la importancia de considerar las demandas visuales específicas de los músicos en la evaluación clínica.

#### 4.2. Discusión de los resultados cualitativos

Este estudio ha permitido no solo identificar diferencias cuantitativas entre músicos y no músicos, sino también observar comportamientos cualitativos diferenciales en el procesamiento visual y cognitivo durante la lectura de partituras y textos convencionales. Se ha podido observar que algunos músicos, no todos, parpadean en función del ritmo musical a la hora de solfear la partitura propuesta para el experimento. Únicamente solo se han podido analizar los vídeos obtenidos de las pruebas, ya que el análisis cuantitativo de las fijaciones y sacadas es demasiado complejo y requiere un tiempo que se excede el alcance de este TFG (19).

También se ha observado que, a la hora de leer el texto convencional, los músicos muestran una cierta cadencia y entonación particulares que no muestran los no músicos. Esto puede llegar a inducir la idea de que los músicos, cuando leen un texto, introducen una prosodia rítmica y musical a su interpretación, con un sentido musical como lo hacen con una partitura, dándole un toque “artístico” de manera inherente (19,12).

También se ha podido observar, aunque no evidenciar, cómo los músicos llevan y se ciñen a un ritmo propio pero muy marcado. Incluso, si deciden acelerar el ritmo, siguen manteniendo las proporciones correctas dadas por las diferentes notas del compás, y eso lo extrapolan y lo llevan a la lectura de un texto convencional, cosa que no ocurre con los no músicos (3,5). En estos se observa que, al decirles que lean todo lo rápido que puedan, tratan de ahorrar tiempo minimizando los momentos de pausas en la lectura, e incluso simplificando pronunciaciones o énfasis (4). En este estudio no existen registros sobre esta característica, pero si se han podido apreciar durante la fase experimental.

Los músicos muestran una alteración de estructuras oculares como la midriasis al tener errores durante la lectura de la partitura y ante cambios de modulaciones tonales en las obras musicales, posiblemente reflejo de una respuesta autonómica al aumento de la carga cognitiva y emocional en esos momentos de la partitura (29,30).

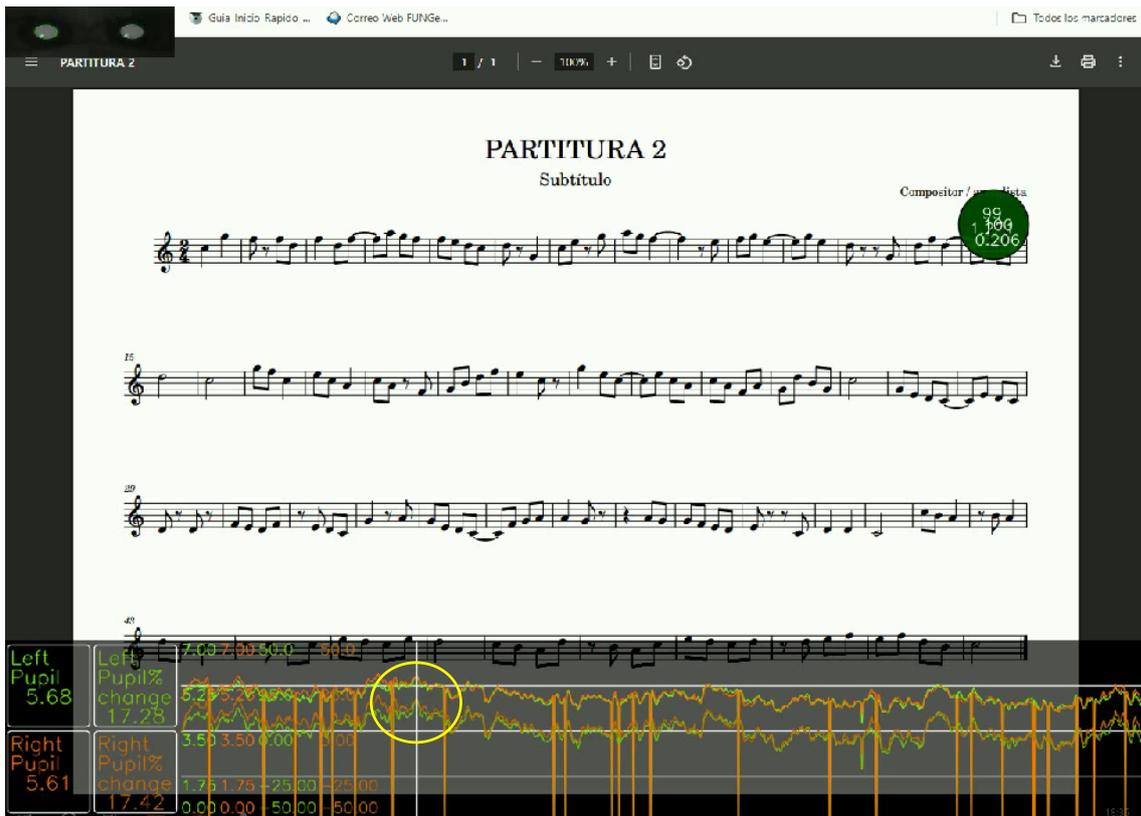


Figura 4. Captura de vídeo donde el sujeto tiene un error de lectura y se ve una leve midriasis.

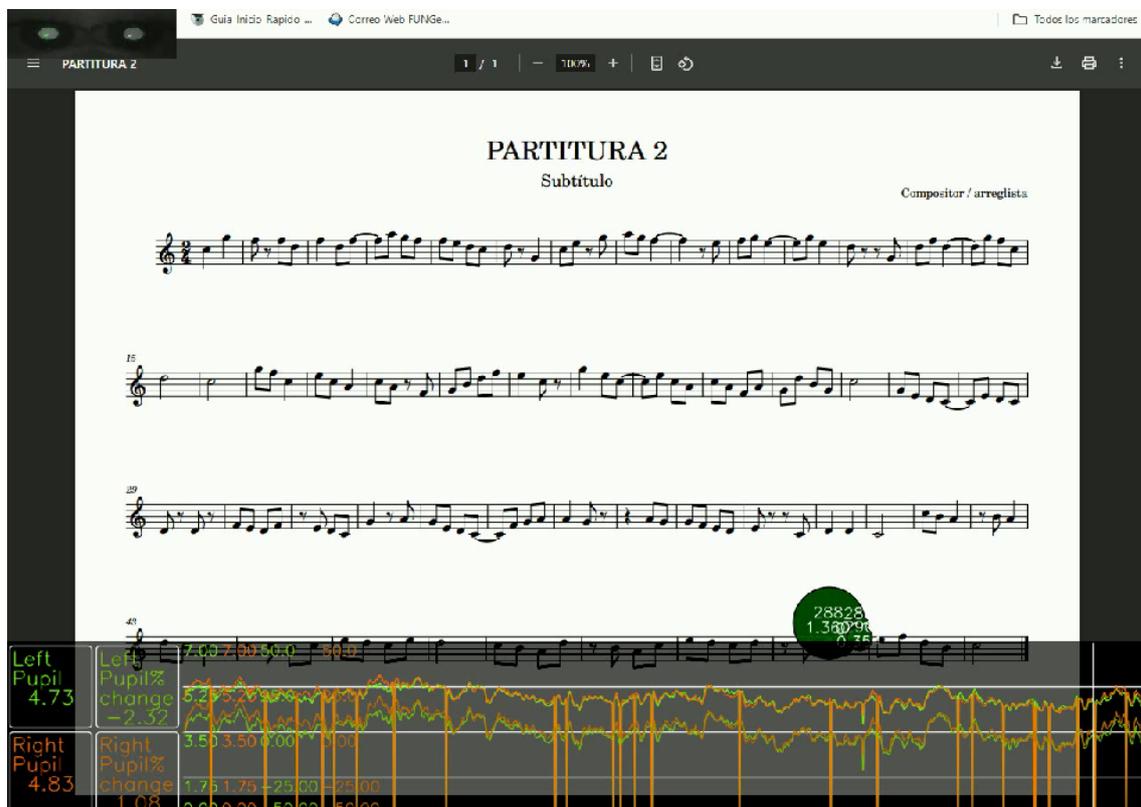


Figura 5. Captura de vídeo del mismo sujeto que la figura anterior (Figura 4) donde al final de la partitura no hubo errores y no hay midriasis.

La dilatación pupilar ha sido asociada en la literatura con incrementos en el esfuerzo atencional y la activación del “locus coeruleus”<sup>1</sup>, implicado en la modulación de la alerta y el procesamiento de la novedad, lo cual apoya la hipótesis de un mayor involucramiento neurocognitivo en momentos críticos de la lectura musical (29,30).

Otra diferencia significativa es que las sacadas de los músicos no se inician en puntos de interés musical (como cadencias, inicios de compás, cambios de ritmos o diferentes figuras musicales) ni puntos llamativos para la visión, aunque estos últimos pueden influenciar dichas sacadas (7) (para más información sobre conocimiento musical básico para el análisis de la partitura referirse al anexo 3). Esto se ve reflejado en los registros de los pacientes, como cada uno tiene sus propias referencias visuales donde inician y terminan las sacadas. Estos mismos registros confirman que los músicos tienden a agrupar en una única sacada conjuntos de notas de una duración menor a la predominante en el compás, así como sucesiones de notas simple respecto a agrupaciones más delicadas de interpretar (10).

## PARTITURA 2

Subtítulo

Compositor / arreglista

The image shows a musical score for 'PARTITURA 2'. It consists of four staves of music. The notes are highlighted with colored backgrounds: green for easy difficulty, orange for intermediate, and red for difficult. The staves are numbered 15, 29, and 43. The music is written in a single treble clef with a 2/4 time signature. The first staff starts with a treble clef and a 2/4 time signature. The second staff starts with a treble clef and a 2/4 time signature. The third staff starts with a treble clef and a 2/4 time signature. The fourth staff starts with a treble clef and a 2/4 time signature. The notes are highlighted with colored backgrounds: green for easy difficulty, orange for intermediate, and red for difficult.

Figura 6. Partitura analizada por dificultad. Los compases subrayados en color verde denotan dificultad fácil, los naranjas, intermedia y los rojos, difícil.

<sup>1</sup>“locus coeruleus”: principal fuente de noradrenalina del sistema nervioso central (simpático).

Las fijaciones parece que se ven influenciadas, en muchas ocasiones, no por estímulos visuales inmediatos ni por el resultado final de la pieza, sino por la intención de mantener una especie de flujo de información continua de acuerdo con la dificultad de cada compás. Eso explica que las fijaciones traten de agrupar fragmentos de acuerdo con la dificultad que presentar interpretarlos. Así, fragmentos más predecibles se tienden a agrupar en una fijación más genérica mientras que compases más complejos o menos predecibles ralentizaban la lectura y aumentaban el tiempo de fijación, llegando a emplear una fijación para cada nota (3,31).

The image shows a screenshot of a musical score titled "PARTITURA 2" with a subtitle "Subtítulo". The score is in 2/4 time and features a complex rhythmic pattern. A video overlay shows fixation markers (circles with numbers) placed over the notes, indicating where the subject's gaze stopped. The markers are numbered 1 through 13, showing a high density of fixations on the more complex parts of the music. A video player interface is visible at the bottom, showing a progress bar and a timestamp of 7:00.

Figura 7. Captura de vídeo de un sujeto donde en un compás complejo, se ve como las fijaciones se efectúan en cada nota al ser más complicado de leer.

Un hallazgo importante, con implicaciones tanto educativas como optométricas, fue la diferencia cualitativa observada entre músicos profesionales y no profesionales. Los primeros mostraban lectura a primera vista más eficiente, con menos fijaciones y sacadas más largas, que agrupaban mayor cantidad de información visual en cada fijación, mientras que los no profesionales necesitaban tiempos de estudio previos y una fragmentación mayor de la información visual (2,8). Esto sugiere que la experiencia musical no solo optimiza las habilidades motoras y auditivas, sino también la eficiencia de las estrategias de exploración visual, lo que podría explicarse por un mayor agrupamiento de patrones simbólicos (32,5).

Los resultados podrían aportar implicaciones prácticas para la evaluación y entrenamiento de habilidades visuales y lectoras en el ámbito optométrico, así como para el diseño de intervenciones educativas o terapéuticas que integren la música como herramienta de estimulación cognitiva y neurosensorial (13,9,16).

Finalmente, estos resultados cualitativos refuerzan la hipótesis de que la lectura musical constituye una tarea visuo-cognitiva compleja, mediada tanto por las propiedades visuales de la notación como por su estructura musical

subyacente. Desde la perspectiva optométrica, esta especificidad en las estrategias oculomotoras de los músicos plantea la necesidad de evaluaciones clínicas adaptadas a las demandas visuales propias de la lectura musical, considerando tanto la agudeza visual y refracción como las habilidades de exploración ocular dinámica, la velocidad sacádica y la estabilidad de fijación en tareas secuenciales de alta densidad simbólica (17,20).

#### **4.3. Limitaciones del estudio**

A pesar de los hallazgos obtenidos, este estudio presenta varias limitaciones que deben considerarse al interpretar los resultados de la muestra:

1. Tamaño muestral reducido, que ha limitado la generalización de los hallazgos a poblaciones más amplias por una escasez de sujetos voluntarios para la realización del estudio.
2. Heterogeneidad en la formación musical de los participantes, con diferencias en el tipo de instrumento, género musical y contexto educativo, lo que podría influir en las estrategias de lectura.
3. No se incluyeron medidas electrofisiológicas ni registros neurológicos complementarios que permitan correlacionar directamente las respuestas oculomotoras con la actividad cerebral.
4. El diseño transversal no permite establecer relaciones causales ni evaluar la evolución de las habilidades visuales a lo largo del tiempo o con intervenciones específicas.
5. El análisis cuantitativo de las fijaciones y sacadas es demasiado complejo y requiere un tiempo que se excede el alcance de este TFG.

#### **4.4. Implicaciones futuras**

Los resultados obtenidos podrían abrir diversas líneas de investigación y aplicación futura, tanto en el ámbito clínico como educativo:

- Incorporar evaluaciones visuales específicas para músicos en las consultas optométricas, incluyendo test de movimientos sacádicos, fijaciones y procesamiento visual secuencial.
- Desarrollar programas de entrenamiento oculomotor y visuo-cognitivo para músicos en formación, que mejoren su eficiencia lectora y reduzcan el riesgo de fatiga visual o errores interpretativos.
- Investigar los efectos de la corrección óptica personalizada, por ejemplo, lentes ocupacionales adaptadas a diferentes distancias de lectura musical dependiendo de la necesidad de cada músico, para una mayor velocidad y precisión de la lectura de partituras.
- Ampliar el estudio con muestras longitudinales y técnicas de neuroimagen funcional, que permitan profundizar en los mecanismos cerebrales subyacentes a las estrategias de lectura musical.

## 5. CONCLUSIONES

Los resultados confirman que la práctica musical prolongada favorece la plasticidad cerebral (con un aumento de la materia gris y conectividad en redes fronto-parietales, occipitales y motoras), lo que se traduce en una decodificación visual y secuencial más eficiente y, por ende, en una mayor velocidad lectora en músicos frente a no músicos. Además, este beneficio crece con los años de formación musical, reflejando una dependencia positiva entre duración de la práctica y mejoras visuo-cognitivas, mientras que el envejecimiento ocasiona un leve declive lector ligado a cambios fisiológicos en el sistema visual. Estos hallazgos acentúan la transferencia cognitiva de la música a la lectura y justifican el desarrollo de protocolos optométricos adaptados (que incluyan evaluación de movimiento oculares dinámicos y coordinación visuo-motora), así como la colaboración interdisciplinar entre optometría, neurociencia y pedagogía musical para optimizar la salud visual y el rendimiento lector.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

1. Schlaug G. Musicians and music making as a model for the study of brain plasticity. *Prog Brain Res.* 2015;217:37-55.
2. Gaser C, Schlaug G. Brain structures differ between musicians and non-musicians. *J Neurosci.* 2003;23:9240-5.
3. Altenmüller E, Furuya S. Brain plasticity and the concept of metaplasticity in skilled musicians. *Adv Exp Med Biol.* 2017;957:3-22.
4. Schlaug G. The brain of musicians. A model for functional and structural adaptation. *Ann N Y Acad Sci.* 2001;930:281-99.
5. Penhune VB. Sensitive periods in human development: evidence from musical training. *Cortex.* 2011;47:1126-37.
6. Habibi A, Cahn BR, Damasio A, Damasio H. Neural correlates of accelerated auditory processing in children engaged in music training. *Dev Cogn Neurosci.* 2016;21:1-14.
7. Zatorre RJ, Chen JL, Penhune VB. When the brain plays music: auditory-motor interactions in music perception and production. *Nat Rev Neurosci.* 2007;8:547-58.
8. Hyde KL, Lerch J, Norton A, Forgeard M, Winner E, Evans AC, et al. Musical training shapes structural brain development. *J Neurosci.* 2009;29:3019-25.
9. Schlaug G, Norton A, Overy K, Winner E. Effects of music training on the child's brain and cognitive development. *Ann N Y Acad Sci.* 2005;1060:219-30.
10. Stewart L. Brain structures and mechanisms involved in musical perception and performance. In: Hallam S, Cross I, Thaut M, editors. *The Oxford Handbook of Music Psychology.* Oxford: Oxford University Press; 2016. p. 201-12.
11. Janata P, Tomic ST, Haberman JM. Sensorimotor coupling in music and the psychology of the groove. *J Exp Psychol Gen.* 2012;141:54-75.
12. Kraus N, Chandrasekaran B. Music training for the development of auditory skills. *Nat Rev Neurosci.* 2010;11:599-605.
13. Besson M, Chobert J, Marie C. Transfer of training between music and speech: common processing, attention, and memory. *Front Psychol.* 2011;2:94.
14. Schellenberg EG. Music lessons enhance IQ. *Psychol Sci.* 2004;15:511-4.
15. Moreno S, Marques C, Santos A, Santos M, Castro SL, Besson M. Musical training influences linguistic abilities in 8-year-old children: more evidence for brain plasticity. *Cereb Cortex.* 2009;19:712-23.
16. Tierney A, Kraus N. Music training for the development of reading skills. *Prog Brain Res.* 2013;207:209-41.
17. Patel AD. *Music, language, and the brain.* New York: Oxford University Press; 2008.

18. Habib M, Besson M. What do music training and musical experience teach us about brain plasticity? *Music Percept.* 2009;26:279-85.
19. Moreno S, Bidelman GM. Examining neural plasticity and cognitive benefit through the unique lens of musical training. *Hear Res.* 2014;308:84-97.
20. Norton A, Winner E, Cronin K, Overy K, Lee DJ, Schlaug G. Are there pre-existing neural, cognitive, or motoric markers for musical ability? *Brain Cogn.* 2005;59:124-34.
21. Koelsch S. Towards a neural basis of music perception – a review and updated model. *Front Psychol.* 2011;2:110.
22. Anvari SH, Trainor LJ, Woodside J, Levy BA. Relations among musical skills, phonological processing, and early reading ability in preschool children. *J Exp Child Psychol.* 2002;83:111-30.
23. Forgeard M, Winner E, Norton A, Schlaug G. Practicing a musical instrument in childhood is associated with enhanced verbal ability and nonverbal reasoning. *PLoS One.* 2008;3:e3566.
24. Chen AH, Ling YL, Khuan LH, Alias N, Md Din N, Rahim SA. Validation of the Buari-Chen Malay Reading Chart and its clinical application. *PLoS One.* 2019;14:e0219520. doi:10.1371/journal.pone.0219520.
25. Liu R, Patel BN, Kwon M. Age-related changes in crowding and reading speed. *Sci Rep.* 2017;7:8271. doi:10.1038/s41598-017-08066-7.
26. McLachlan NM, Greaves S. The challenge of reading music notation for pianists with low vision. *Assist Technol.* 2020;32(5):259-66. doi:10.1080/10400435.2019.1661315.
27. Wong YK, Gauthier I. Music-reading expertise alters visual spatial resolution for musical notation. *Psychon Bull Rev.* 2012;19:503-9. doi:10.3758/s13423-012-0242-x.
28. Vishwanath D, Hibbard PB. Seeing in 3-D with just one eye: Stereopsis without disparity. *Psychol Sci.* 2013;24(9):1673-1685.
29. Laeng B, Sirois S, Gredebäck G. Pupillometry: A window to the preconscious?. *Perspect Psychol Sci.* 2012;7:18-27.
30. Wierda SM, van Rijn H, Taatgen NA, Martens S. Pupil dilation deconvolution reveals the dynamics of attention at high temporal resolution. *Proc Natl Acad Sci U S A.* 2012;109:8456-60.
31. Draï-Zerbib V, et al. Eye movement patterns during music reading. *Psychol Music.* 2012;40:216-35.
32. Baccino T, Draï-Zerbib V, Perra O. Classifying musical reading expertise by eye-movement patterns. *Front Psychol.* 2024;15:1417011.

## 7. ANEXOS

### Anexo 1: Texto de lectura convencional utilizado en el estudio.

En el pasado, se creía que las arañas eran capaces de protegerse de la sustancia pegajosa que ellas mismas producen para tejer sus telas, mientras que las moscas y demás insectos no tenían esa protección. Pero descubrimientos científicos recientes han demostrado que eso no es cierto. Las arañas también quedarían atrapadas en sus propias redes si no recurriesen a un truco. Pueden producir dos tipos de hilo. Así, primero hacen una tela a base de hilos secos que no pegan. Cuando la han acabado, tejen el material pegajoso encima. Esta tela encima de la tela es la que atrapa los insectos que la tocan. Para no quedar atrapadas ellas, las arañas dejan partes de su tela libres de material adherente. Esos huecos están colocados de una manera tan hábil que les permite alcanzar cualquier punto de la red sin quedarse pegadas.

Texto 8. V4 Inicial

Anexo 2: Partitura utilizada en el estudio.

PARTITURA 2

Subtítulo

Compositor / arreglista

The musical score is written in 2/4 time and consists of four staves. The first staff begins with a treble clef and a key signature of one flat (Bb). The notation includes various rhythmic values such as quarter notes, eighth notes, and sixteenth notes, along with rests and slurs. The second staff starts at measure 15, the third at measure 29, and the fourth at measure 43. The piece concludes with a double bar line at the end of the fourth staff.

## Anexo 3: Explicación básica de conocimientos musicales.

Como se explicaba en la discusión de los resultados cualitativos del estudio, los músicos no inician las sacadas en puntos de interés musical. Algunos de estos puntos son las cadencias, puntos de reposo musical, que, en el caso de la partitura que se muestra en el estudio, serían las blancas. También se pueden observar cambios de ritmos o diferentes figuras musicales en los diversos compases de la partitura donde se entrelazan compases con notas de duración más larga como son las blancas, negras y silencios de negra junto con notas con duración más corta como son las corcheas y silencios de corchea.

| Figura musical   | Duración en compás 4/4 | Equivalencia en negras |
|--|------------------------|------------------------|
|  Máxima           | 32 tiempos             | 32 tiempos             |
|  Longa            | 16 tiempos             | 16 negras              |
|  Cuadrada         | 8 tiempos              | 8 negras               |
|  Redonda          | 4 tiempos              | 4 negras               |
|  Blanca          | 2 tiempo               | 2 negra                |
|  Negra          | 1 tiempo               | 1 negra                |
|  Corchea        | ½ tiempo               | ½ negra                |
|  Semicorchea    | ¼ tiempo               | ¼ negra                |
|  Fusa           | ⅛ tiempo               | ⅛ negra                |
|  Semifusa       | 1/16 tiempo            | 1/16 negra             |
|  Garrapatea     | 1/32 tiempo            | 1/32 negra             |
|  Semigarrapatea | 1/64 tiempo            | 1/64 negra             |