
LA VELOCIDAD DE
RESPUESTA EN LA
DETECCIÓN DE
ESTÍMULOS COMO
INDICADOR DE
INTEGRACIÓN
SENSORIAL
ASOCIADA A LA
PRÁCTICA MUSICAL:
META-ANÁLISIS

RESPONSE SPEED IN
STIMULUS DETECTION AS
AN INDICATOR OF
SENSORY INTEGRATION
ASSOCIATED WITH
MUSICAL PRACTICE:
META-ANALYSIS



Jaime Vicente Vayá Lleó

Laura Herrero Pérez
ORCID ID: 0000-0002-9526-8725

*Facultad HM de Ciencias de la Salud.
Universidad Camilo José Cela (UCJC)*

email: lherrero@ucjc.edu

RESUMEN

La integración sensorial es crucial para procesar de forma eficiente estímulos sensoriales de diferentes fuentes. Se ha sugerido que la integración sensorial puede mejorar de manera significativa a través de diferentes actividades llevadas a cabo a lo

ABSTRACT

Sensorial integration is crucial for efficiently processing sensory stimuli from different sources. It has been suggested that sensorial integration can significantly improve through various activities carried out over time, such as

largo del tiempo, como el entrenamiento musical. En este trabajo se llevó a cabo un meta-análisis con el objetivo de evaluar el impacto del entrenamiento musical en la integración sensorial, específicamente en la velocidad de respuesta a estímulos visuales, auditivos y táctiles, mediante la comparación de músicos con no músicos. Aplicando criterios de inclusión rigurosos, se seleccionaron 5 estudios y se utilizó la diferencia de medias estandarizada (DME) como medida del tamaño del efecto, en el contexto de un modelo de efectos aleatorios. Los resultados mostraron un tamaño del efecto moderado en favor de los músicos. Aunque se observó una heterogeneidad moderada, estos resultados refuerzan la potencial inclusión del entrenamiento musical en programas educativos y terapéuticos para mejorar la coordinación sensoriomotora.

PALABRAS CLAVE

Meta-Análisis; Integración Sensorial; Velocidad de Respuesta; Entrenamiento Musical.

musical training. In this study, a meta-analysis was conducted to evaluate the impact of musical training on sensorial integration, specifically on response speed to visual, auditory, and tactile stimuli, by comparing musicians to non-musicians. Applying rigorous inclusion criteria, five studies were selected, and standardized mean difference (SMD) was used as the effect size measure within a random-effects model. The results showed a moderate effect size in favor of musicians. Although moderate heterogeneity was observed, these findings support the potential inclusion of musical training in educational and therapeutic programs to enhance sensorimotor coordination.

KEYWORDS

Meta-Analysis; Sensorial Integration; Response Speed; Musical Training.

INTRODUCCIÓN

La integración sensorial es un concepto fundamental en la neurociencia y la psicología que describe cómo el cerebro procesa y organiza información sensorial de múltiples fuentes para producir una respuesta coherente y adecuada al contexto o situación. Este proceso es esencial para realizar tareas cotidianas complejas, como caminar, hablar y aprender, y es especialmente crítico en actividades que requieren una coordinación precisa entre los sentidos y las acciones. Según Jean Ayres, quien acuñó el término en la década de 1960, la integración sensorial es "el proceso neurológico que organiza la sensación del propio cuerpo y del ambiente para poder usar el cuerpo de manera efectiva dentro del entorno" (Ayres, 1972).

El procesamiento sensorial implica la transmisión y procesamiento de señales a través de las vías sensoriales y su integración en el cerebro. La eficiencia en este proceso depende de la rapidez y precisión con la que se reciben, procesan y transmiten las señales sensoriales. Zatorre et al. (2007) identificaron regiones cerebrales específicas, como el córtex sensorial y las áreas asociativas, que desempeñan un papel crucial en la integración sensorial y la generación de respuestas motoras. La velocidad de respuesta no solo refleja la eficiencia en el procesamiento sensorial, sino que también está estrechamente relacionada con la función cognitiva.

El interés en el estudio de la integración sensorial en psicología se ha centrado en ciertas deficiencias que pueden manifestarse como dificultades en la coordinación motora y el equilibrio, afectando actividades fundamentales de la vida diaria (Ayres, 1972; Bundy et al., 1991). Por ejemplo, se ha analizado su eficacia en la rehabilitación de pacientes con daño cerebral adquirido o enfermedades neurodegenerativas, ayudándoles a recuperar habilidades motoras y cognitivas (Case-Smith & Arbesman, 2008). También se ha estudiado en el contexto de la atención temprana, mostrando mejoras en las habilidades cognitivas y motoras (Baranek, 2002). Y en niños con problemas de desarrollo, aumentando las habilidades de interacción social, y de la planificación y coordinación motora (Pfeiffer et al., 2011).

Uno de los indicadores utilizados en la evaluación de la integración sensorial ha sido la velocidad de respuesta, medida como el tiempo transcurrido entre la presentación de uno o varios estímulos y la ejecución de una respuesta. En este sentido, se considera un indicador crucial de la eficiencia en el procesamiento sensorial y motor. Woods et al. (2015), mostraron que una velocidad de respuesta más rápida estaría asociada con una integración sensorial más eficiente. En contextos clínicos y funcionales, la velocidad de respuesta se utiliza como una medida objetiva para evaluar la eficacia de intervenciones destinadas a mejorar la integración sensorial y la función cognitiva. La terapia ocupacional y otras intervenciones basadas en principios de integración sensorial a menudo buscan mejorar la velocidad de respuesta como parte de la rehabilitación y el desarrollo de habilidades sensoriomotoras y, por lo tanto, la integración sensorial (Baranek, 2002). Además, diferentes estudios han mostrado que los tiempos de reacción más rápidos estarían asociados con un rendimiento cognitivo superior en áreas como la atención, la memoria y las funciones ejecutivas (Landry & Champoux, 2017). Esta asociación sugiere que una mayor integración sensorial puede estar vinculada a un procesamiento cognitivo más ágil y eficiente.

Teniendo en cuenta estas aportaciones, se ha considerado que mejorar la integración sensorial podría resultar en un indicador de protección a largo plazo para el deterioro cognitivo en edades avanzadas (Feldberg et al., 2019). Es más, los conocimientos derivados de mejoras en integración sensorial se han considerado

extrapolables al desarrollo del rendimiento físico general en ámbitos deportivos (Voss et al., 2010; Yarrow, Brown & Krakauer, 2009), e incluso de han desarrollado herramientas de realidad virtual y videojuegos inmersivos y responsivos, donde la sincronización efectiva de estímulos visuales, auditivos y táctiles mejoraría notablemente la experiencia del usuario (Biocca, 1992).

En este contexto, es posible que la práctica musical instrumental se pueda asociar con mejoras en la integración sensorial, ya que requiere el procesamiento simultáneo de estímulos visuales (lectura de las partituras), motores (ejecución de la música escrita de forma precisa) y auditivos (a través de la supervisión de que lo que suena es realmente lo que está escrito). De hecho, algunos estudios han mostrado que los músicos, al tener que integrar estos diversos tipos de información, desarrollan habilidades superiores en áreas como la atención, la memoria de trabajo y, especialmente, la coordinación motora fina (Miendlarzewska & Trost, 2014). Zatorre, Chen y Penhune (2007) destacan la importancia de la integración sensorial evidenciando la interacción de los sistemas auditivos y motores durante la percepción y la producción musical.

La comparación entre músicos y no músicos en términos de velocidad de respuesta a estímulos sensoriales ha sido un tema de interés creciente en la investigación psicológica y neurocientífica. Los músicos, debido a su entrenamiento extenso y continuo, podrían mostrar una mejor integración sensorial en comparación con los no músicos. Existen numerosas evidencias derivadas de estudios neurológicos y conductuales de las capacidades auditivas mejoradas de los músicos relacionadas con: la detección de patrones auditivos, distinción de tonalidades, velocidad de procesamiento, reconocimiento de melodías o sonidos (Landry & Champoux, 2017; Park Chung et al., 2018; Lu et al., 2014), e incluso una posible relación con la plasticidad cerebral y la protección de las estructuras y procesos cerebrales a largo plazo (Hanna-Pladdy & Mackay, 2011). Indicando una posible mejora en las capacidades cognitivas relacionadas con estímulos sensoriales y la salud cerebral, gracias al entrenamiento musical temprano.

Numerosas investigaciones sugieren que músicos experimentados muestran una integración sensorial superior comparada con individuos sin formación musical (Fuji & Schlaug, 2013; Zuk et al., 2014), mediante evidencias comportamentales de la comparación de ambos grupos de músicos y no músicos. Kraus y Chandrasekaran (2010) revisaron como el entrenamiento musical no solamente mejora las habilidades auditivas, sino que también contribuye a una mejor integración sensorial.

Otros investigadores en cambio han optado por la evaluación mediante técnicas de neuroimagen, como Sluming et al. (2002) o Achlaug et al. (2005) que

reportan una mayor densidad de materia gris en áreas relacionadas con la integración sensorial. O Bangert y Altenmüller (2003) que realizaron una aproximación mediante EEG en un estudio longitudinal para rastrear como la práctica de piano mapea la percepción de la acción, evidenciando una integración sensorial avanzada. Otro estudio realizado por Zatorre et al. (2007) mostró que los músicos tienen una mayor conectividad entre las regiones cerebrales que procesan los estímulos auditivos y los que controlan los movimientos del cuerpo, facilitando una respuesta más rápida y coordinada.

El estudio de las diferencias en los tiempos de reacción entre músicos y no músicos ha proporcionado resultados valiosos sobre cómo el entrenamiento musical intensivo puede influir en las capacidades sensoriomotoras. Los músicos, quienes requieren una coordinación precisa entre cognición, percepción auditiva y respuesta motora, muestran tiempos de reacción más rápidos en comparación con individuos sin entrenamiento musical (Porflitt & Rosas-Díaz, 2019).

Por último, Landry y Champoux (2017) aportaron evidencias sobre la mejora en la velocidad de procesamiento multisensorial de los músicos frente a los no músicos. Concretamente, los músicos reaccionaban más rápido a los estímulos multisensoriales que los no músicos. Estos autores concluyeron que el origen de las diferencias podía deberse a los efectos de un entrenamiento prolongado: la formación musical mejoraría la integración de los estímulos auditivos, táctiles y mixtos.

Sin embargo, mientras que la evidencia sugiere una ventaja cognitiva en músicos, los mecanismos subyacentes que contribuyen a esta mejora en los tiempos de reacción permanecen sujetos a debate. Algunos investigadores proponen que el entrenamiento musical mejora específicamente las habilidades motoras y perceptuales necesarias para una respuesta rápida (Hyde et al., 2009; Chen et al., 2012), mientras que otros argumentan que los beneficios se extienden más ampliamente a diversas áreas de la cognición, incluyendo memoria, atención, y funciones ejecutivas (Zuk et al., 2014; D'Souza et al., 2018).

Otra limitación resulta de una variabilidad significativa existente en los resultados de diferentes estudios, a pesar de la abundancia de estudios individuales que exploran esta relación, como indican en sus limitaciones Hetland (2000), Hille y Schupp (2015) o Mehr et al. (2013), entre otros. Patel (2011), relacionó las diferencias en los resultados de los estudios a la heterogeneidad de las medidas empleadas. Esto incluye diferencias en la forma en la que se define y mide la integración sensorial, la duración del entrenamiento musical y las tareas específicas utilizadas para evaluar las habilidades sensoriomotoras. Además, muchos estudios cuentan con un número de participantes reducido, lo que limita la generalización de los resultados y aumenta la

probabilidad de errores estadísticos, incluyendo errores de tipo I, donde se detectan efectos que no existen realmente, y errores de tipo II, donde no se detectan efectos que sí existen (Cohen, 1988). Las muestras pequeñas también reducen la capacidad de detectar diferencias sutiles o moderadas en la integración sensorial, que pueden ser clínicamente significativas, debido a su insuficiente poder estadístico (Trainor et al., 2009). Finalmente, debe hacerse hincapié en las limitaciones relacionadas con el control de algunas variables extrañas, o la evaluación de los resultados de cada estudio. El control inadecuado de estas variables (nivel socioeconómico, educación previa, acceso a recursos culturales...) puede aumentar artificialmente la relación percibida entre el entrenamiento musical y las mejoras en la integración sensorial y otras capacidades cognitivas (Schellenberg, 2001). En cambio, los resultados favorecedores a las conclusiones de los experimentos pueden ser más propensos a su publicación que aquellos que presenten resultados nulos o desfavorecedores, pudiendo distorsionar la percepción general del efecto del entrenamiento musical (Münste, Atenmüller & Jäncke, 2002).

Teniendo en cuenta todas estas consideraciones, el objetivo de este trabajo consistió en evaluar el impacto del entrenamiento musical en la integración sensorial, específicamente en la velocidad de respuesta a estímulos visuales, auditivos y táctiles, mediante la comparación de músicos con no músicos.

MÉTODO

Recolección de datos

Se realizaron búsquedas en inglés entre los meses de enero y marzo de 2024, para lo que se accedió a las siguientes bases de datos: *Google Scholar*, *Researchgate*, *Scopus*, *Pubmed*, *PsycInfo*. En la Tabla 1 se resumen los términos de búsqueda y las combinaciones realizadas entre ellos. Se delimitó el periodo de búsqueda de artículos a aquellos publicados entre 2004 y 2024.

Para garantizar que los diseños metodológicos fueran comparables, se adoptaron los siguientes criterios de inclusión:

- Artículos empíricos publicados en revistas científicas.
- Estudios transversales correlacionales que hubiesen realizado experimentos que estudiaran el tiempo de respuesta en tareas sensoriomotoras.
- Participantes adultos jóvenes (18-40 años).
- Grupos de músicos y no músicos. El grupo de músicos debía haber llevado

un entrenamiento musical previo de al menos siete años, el grupo de no músicos debía haber recibido un entrenamiento máximo de tres años.

- Utilización de tareas que cuenten con componentes motores integrados con modalidades sensoriales y que registraran la velocidad de respuesta como medida de eficiencia en el procesamiento de la información.

Tabla 1. Métodos de búsqueda para la recopilación de artículos para el meta-análisis

Método de Búsqueda	Base de datos	Sintaxis usada en la búsqueda
Booleanos	<i>PsycInfo,</i> <i>Pubmed,</i> <i>ScienceDirect</i>	("musicians" OR "instrumentalists")
		AND ("non-musicians" OR "nonmusicians")
		AND ("response time" OR "reaction time")
Booleanos	<i>Google Scholar</i>	"musicians" OR "instrumentalists"
		+ "nonmusicians" OR "non-musicians"
		+ "response time" OR "reaction time"
Palabras clave	<i>Researchgate</i>	musicians "non musicians" "non-musicians" "reaction time"

De forma paralela se determinaron los siguientes criterios de exclusión:

- Revisiones teóricas y meta-análisis, capítulos de libro, Tesis doctorales, TFG/TFM, actas de congresos o conferencias.
- Estudios longitudinales.
- Participantes de pertenecientes a un grupo de edad diferente.
- Estudios sin grupo control (correlaciones entre variables solo en un grupo de músicos).
- Estudios con tareas no relacionadas con la integración sensorial o que no utilizaran la velocidad de respuesta como indicador de eficiencia.

El proceso de selección incluyó en primer lugar la exclusión de estudios duplicados y por título. Con los 83 estudios elegibles se procedió a la lectura completa atendiendo a los criterios de inclusión y exclusión (Ver Figura 1). La selección final consistió en 5 estudios, cuyas características principales se pueden ver en la Tabla 2.

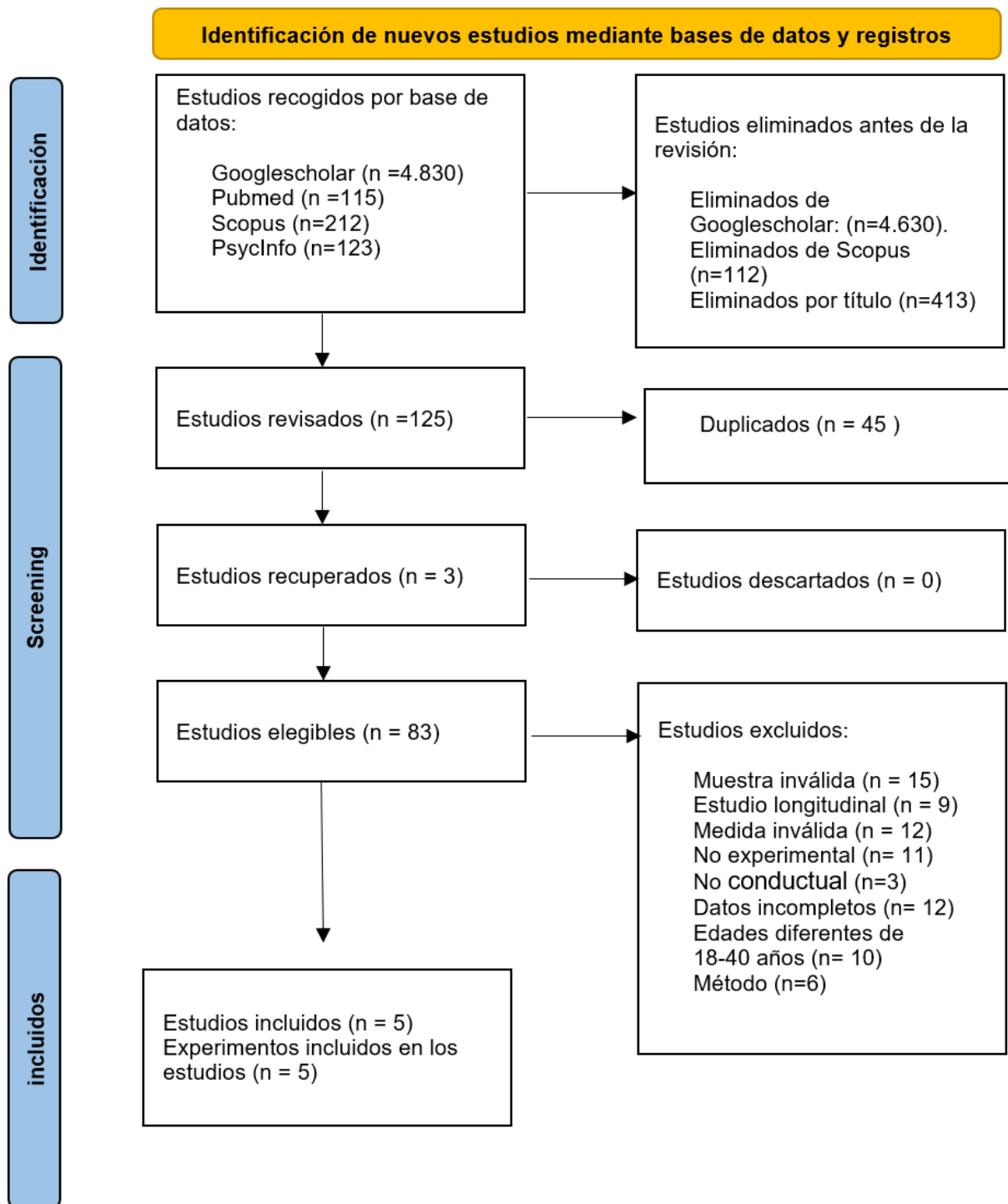


Figura 1. Diagrama de flujo con el proceso de selección de estudios (Prisma 2020).

Tabla 2. Características principales de los estudios seleccionados

Autores y fecha	Título	Proceso	Tarea	Medida	N	n1	n2	Mujeres	Edad	M1	M2
Rodrigues, A.C. Alves, M. Caramelli, P. (2013)	Long-term musical training may improve different forms of visual attention ability	Tiempo de reacción	detección de estímulos visuales	ms	76	38	38	13	33.3 (7.6) ^a 31.3 (5.6) ^b	342 (51)	375 (95)
Chang, X. Wang, P. Zhang, Q., Xu, F. Zhang, C. Zhou, P. (2014)	The effect of music training on unimanual and bimanual responses	Tiempo de reacción	detección de estímulos visuales unimanual derecha	ms	40	20	20	no	21.08 (1.09)	228.64 (16.3)	243.41 (31.3)
Zamorano A.M. Kebler B. Arguissain F. Vuust P. Flor H. Graven-Nielsen T. (2022)	Extensive sensorimotor training enhances nociceptive cortical responses in healthy individuals	Tiempo de reacción	detección de estímulos táctiles (eléctricos)	ms	40	20	20	18	26.7 (4.61)	265 (48)	315 (89)
Hughes, C. M. L. Franz, E. A. (2007)	Experience-Dependent Effects in Unimanual and Bimanual Reaction Time Tasks in Musicians	Tiempo de reacción	detección de estímulos visuales unimanual derecha	ms	40	20	20	12	20.15	216 (50)	245 (72)
Landry, S. P. Champoux, F. (2017)	Musicians react faster and are better multisensory integrators	Tiempo de reacción	detección de estímulos audiotáctiles	ms	35	16	19	25	23.8 ^a 25.1 ^b	167.23 (27.11)	222.12 (80.63)

Nota. Las medidas de *n1* y *n2* corresponden al número de músicos y no músicos respectivamente. Las medidas de *M1* y *M2* corresponden a las medias de músicos y no músicos respectivamente. Desviación típica de las medias entre paréntesis. En cuanto a la edad, cuando existen varias medidas ^a corresponde a media de músicos, ^b corresponde a media de no músicos.

Diseño y análisis de datos

Se llevó a cabo un meta-análisis con un modelo de efectos aleatorios, utilizando la diferencia media estandarizada como indicador del tamaño del efecto, para abordar la variabilidad esperada entre los estudios en términos de metodologías y muestra estudiada. La heterogeneidad, τ^2 , se estimó utilizando el estimador de máxima verosimilitud restringida (Viechtbauer 2005) y la prueba Q de heterogeneidad (Cochran, 1954). Se utilizaron los residuos estudentizados y las distancias de Cook para examinar si los estudios podían ser atípicos y/o influyentes en el contexto del modelo. El análisis de datos se llevó a cabo con el software Jamovi (versión 2.3.26).

RESULTADOS

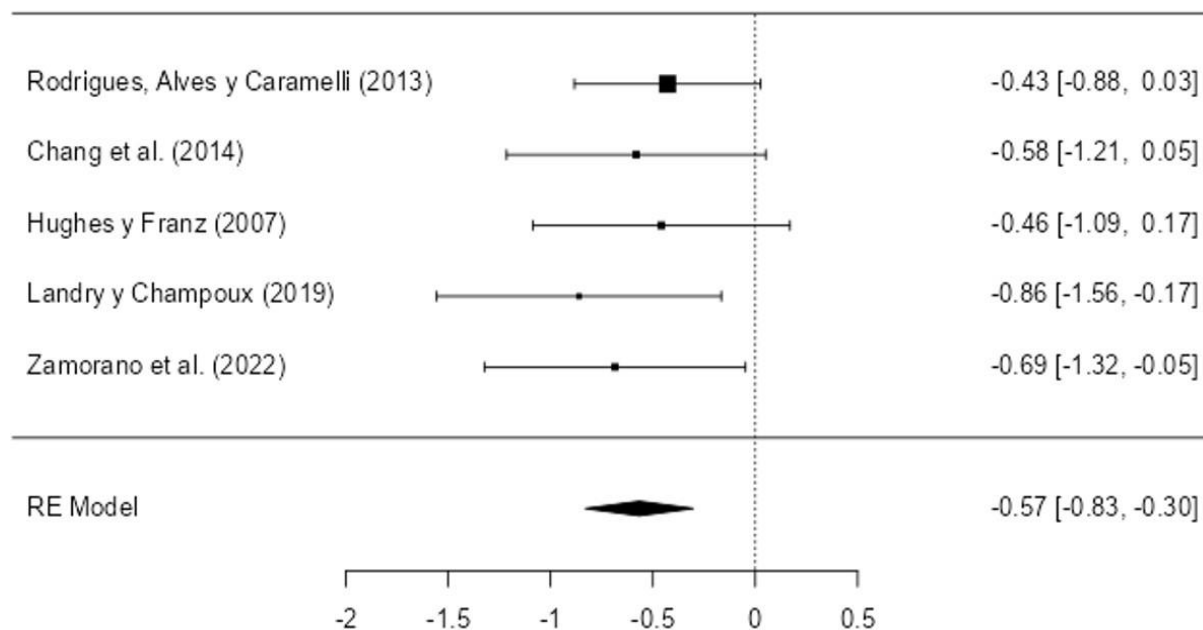
Se incluyeron un total de $k = 5$ estudios en el análisis. Las diferencias medias estandarizadas observadas variaron de -0.8610 a -0.4284, siendo negativas todas ellas. Tal y como se puede apreciar en la Tabla 3, la diferencia media estandarizada promedio estimada basada en el modelo de efectos aleatorios fue $\hat{\mu} = -0.566$, con un intervalo de confianza del 95% que oscila entre -0.8299 a -0.3029. Por lo tanto, el resultado promedio difirió significativamente de cero ($z = -4.21$, $p < 0.001$).

Tabla 3. Modelo de efectos aleatorios (k = 5)

	Estimación $\hat{\mu}$	se	Z	p	IC Límite Inferior	IC Límite Superior
Intercepto	-0.566	0.134	-4.21	< .001	-0.830	-0.303

El diagrama de Bosque (*Forest Plot*, Figura 2) presenta un resumen gráfico de los resultados. En este se ven representadas las DME (Diferencias de Medias Estandarizadas) a la derecha de cada línea para cada estudio, con los intervalos de confianza entre corchetes. Así mismo se ve representado de igual forma el primero en el cuadrado central de cada una de las líneas, y el intervalo de confianza en los extremos de ellas. Por último, situado en la parte inferior del gráfico encontramos la desviación de la media estandarizada combinada del modelo de efectos aleatorios. Las DME de los estudios resultaron en un tamaño medio ($k=3$) a elevado del efecto ($k=2$), el efecto global resultó en un tamaño medio ($\hat{\mu} = 0,566$).

Con relación a la heterogeneidad (Tabla 4), respecto a la prueba Q no hubo una cantidad significativa de heterogeneidad en los resultados verdaderos ($Q(4) = 1.2931$, $p = 0.8625$, $\tau^2 = 0.00$, $I^2 = 0.00\%$). Un examen de los residuos estudentizados reveló que ninguno de los estudios tenía un valor mayor que ± 2.5758 y por lo tanto no había indicación de atípicos en el contexto de este modelo. Según las distancias de Cook, ninguno de los estudios podría considerarse excesivamente influyente.



Nota. Forest plot con los tamaños del efecto de cada estudio reflejando las mejoras asociadas la práctica musical instrumental en la integración sensorial.

Figura 2. Forest Plot.

Tabla 4. Estadísticos de heterogeneidad.

<i>Tau</i>	<i>Tau</i> ²	<i>I</i> ²	<i>H</i> ²	<i>df</i>	<i>Q</i>	<i>p</i>
0.000	0 (SE= 0.0638)	0%	1.000	4.000	1.293	0.863

La Figura 3 muestra el Gráfico de Embudo *-Funnel Plot-* donde el eje X representa la diferencia de media estandarizada entre los grupos analizados en cada estudio, y el eje Y refleja el error estándar asociado a cada tamaño de efecto. En un escenario ideal sin sesgo de publicación, los puntos deberían distribuirse simétricamente alrededor del efecto medio, formando un embudo invertido. La prueba de correlación de rangos indicó asimetría en el gráfico en embudo con una significancia $p= 0.0167$ (Figura 3). La asimetría observada sugiere la presencia de sesgo de publicación, indicando una mayor probabilidad de que estudios con efectos negativos

más fuertes sean publicados o que estudios pequeños con resultados no significativos no se publiquen.

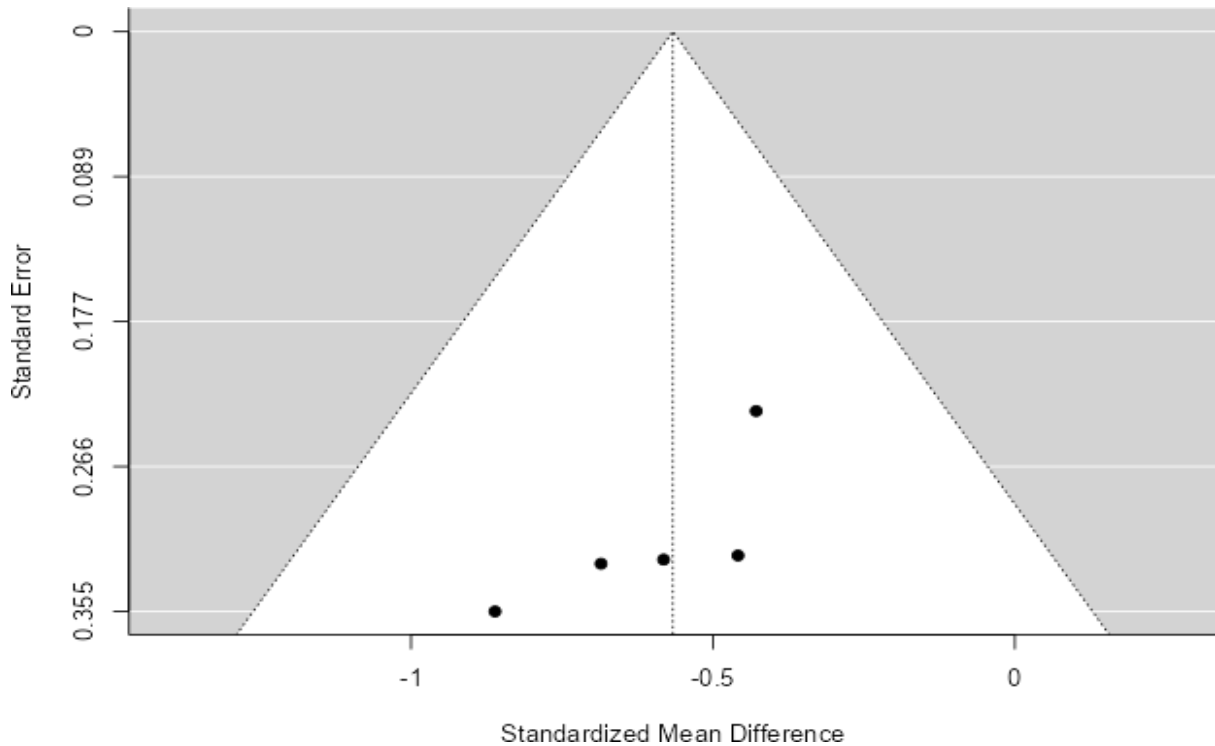


Figura 3. Funnel Plot.

En la evaluación del sesgo de publicación de este meta-análisis (Tabla 4) se emplearon diversas pruebas estadísticas para asegurar la robustez y la validez de los resultados obtenidos.

Comenzando por la prueba Fail-Safe N (Rosenthal, 1979), la que arrojó un resultado de 30, lo cual indica que serían necesarios 30 estudios adicionales con resultados no significativos para invalidar el efecto observado en este meta-análisis. La significancia estadística de esta prueba fue $p < .001$, demostrando una considerable robustez de los resultados frente al sesgo de publicación. El cálculo de esta prueba se realizó utilizando el método de Rosenthal, lo que refuerza la metodología aplicada en la evaluación del sesgo de publicación.

Respecto a la Correlación de Rangos de Begg y Mazumdar (Begg & Mazumdar, 1994): La correlación obtenida fue de -1.0, con un valor p de 0.017. Esta correlación negativa significativa sugiere la posible presencia de un sesgo, indicando que los estudios con mayor precisión tienden a reportar efectos más pequeños, lo que podría indicar un sesgo de publicación.

El valor de la Regresión de Egger (Egger et al., 1997) fue de -0.887, con un valor p de 0.375. Esta prueba no mostró evidencia significativa de sesgo de publicación, indicando que la relación entre los tamaños de efecto de los estudios y su precisión no está sesgada de manera estadísticamente significativa.

Por último, mediante el Método Trim and Fill (Duval & Tweedie, 2000) se estimó que dos estudios adicionales serían necesarios para ajustar cualquier asimetría detectada en el gráfico de embudo (Figura 3). Este resultado sugiere un ajuste menor para alcanzar una simetría en la distribución de los estudios, lo cual indica un posible sesgo mínimo que ha sido corregido mediante este método.

Tabla 4. Evaluación del sesgo de publicación.

Nombre de la prueba	Valor	p
Fail-Safe N	30.000	< .001
Correlación de Rangos de Begg y Mazumdar	-1.000	0.017
Regresión de Egger	-0.887	0.375
Número de estudios Trim and Fill	2.000	-

Nota. Cálculo de Failsafe N utilizando el Método de Rosenthal.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El objetivo de este estudio consistió en llevar a cabo un meta-análisis sobre las mejoras asociadas a la práctica musical respecto a la integración sensorial, desde la evaluación de la velocidad de respuesta sensoriomotora. Mediante este meta-análisis se permite analizar si los efectos encontrados en los estudios individuales resultan estadísticamente significativos. Los resultados reflejados en este estudio parecen indicar que el entrenamiento musical estaría significativamente asociado con mejoras

en la integración sensorial, con unos tamaños del efecto de medio a grande en todos los estudios analizados. Estos resultados son consistentes con los hallazgos de Fuji y Schlaug, 2013 y Zuk et al, 2014, quienes observaron que la formación musical estructurada podía mejorar las habilidades motoras y perceptuales, lo cual es crucial para una buena integración sensorial.

Los resultados del meta-análisis pueden ser indicadores de mejoras en diversos ámbitos relacionados con la integración sensorial, como en la coordinación motora y el equilibrio (Ayres, 1972), e incluso en áreas como la atención, la memoria de trabajo y, especialmente, la coordinación motora fina (Miendlarzewska & Trost, 2014). Además de resultar en un posible factor de protección contra el deterioro cognitivo (Feldberg et al., 2019). Siguiendo el Modelo de Cattell-Horn-Carroll, la velocidad de procesamiento es una de las capacidades cognitivas básicas, siendo un indicador importante de la inteligencia. El entrenamiento musical, por lo tanto, podría también contribuir a un aumento general de la inteligencia, ya que se encuentra altamente relacionada con un procesamiento más rápido (Schellenberg, 2004, 2011).

Los hallazgos de este meta-análisis no solo refuerzan la comprensión del impacto del entrenamiento musical en la integración sensorial, sino que también sugieren aplicaciones prácticas significativas y directrices para futuras políticas educativas. Estas implicaciones se extienden más allá del ámbito académico, ofreciendo estrategias concretas para mejorar los enfoques educativos y terapéuticos, así como inspirando políticas públicas que promuevan la inclusión de programas de música en los currículos escolares. Además, estos resultados subrayan la necesidad de continuar explorando este campo a través de estudios más específicos y diversificados. A continuación, se discuten las principales implicaciones que emergen de este estudio, delineando cómo pueden ser implementadas para maximizar los beneficios del entrenamiento musical en diversos contextos como el educativo o el de la intervención neuropsicológica en el daño cerebral adquirido.

En el caso de los contextos educativos, donde se requiere mejorar la atención, la coordinación, y las habilidades multisensoriales (Hallam, 2010), el entrenamiento musical puede resultar en una mejora en la integración sensorial, lo que puede ser especialmente beneficioso. Desde otra perspectiva, los resultados podrían influir en la formulación de políticas educativas que integren programas de música más robustos en las escuelas, no solo como parte del currículo artístico sino también como un componente fundamental del desarrollo cognitivo y sensorial (Rauscher & Hinton, 2011). Respecto a la rehabilitación de pacientes con daño cerebral adquirido o enfermedades neurodegenerativas ayuda a recuperar habilidades motoras y cognitivas, lo que es esencial para la independencia y calidad de vida de estos pacientes (Case-Smith & Arbesman, 2008).

No obstante, debe tenerse en cuenta que los resultados obtenidos han de ser interpretados de manera cautelosa, no sólo debido al escaso número de estudios, sino a otras limitaciones discutidas a continuación.

En cuanto a los estudios usados para el meta-análisis existe una moderada variabilidad de las edades de los participantes, pudiendo afectar a la velocidad de la respuesta. Los resultados serían extrapolables a una población limitada entre 20 y 33 años. Para futuras investigaciones sería beneficioso considerar franjas de edad amplias para poder extrapolar los resultados a otros ámbitos. Por otro lado, debido a las limitaciones derivadas de las diferencias de la naturaleza sensorial de los diversos estímulos, podrían ofrecerse diferentes velocidades de respuesta a estímulos diferentes (Rodrigues, Alves & Caramelli, 2013; Zamorano et al., 2022). El estudio de estas probables diferencias es primordial para la correcta interpretación de los resultados de este meta-análisis. Así mismo debe valorarse la elaboración y características de los estímulos presentados, pudiendo ofrecer estímulos más complejos una velocidad de respuesta más elevada (Pashler, 1994).

Otra limitación resulta de la ausencia de control del nivel educativo y la procedencia cultural de los participantes, estando altamente relacionados con la mejora en las capacidades cognitivas, entre ellas, la integración sensorial (Lareau, 2011). Todos los estudios hacen uso de una muestra relativamente homogénea, pudiendo ser beneficiosa la variedad muestral para aumentar la representación real de una población. Esto impide vislumbrar una diferencia clara entre la mejora en integración sensorial derivada del entrenamiento musical instrumental y de la mejora derivada del nivel educativo y de la procedencia cultural. Siguiendo a Elpus (2013), es importante considerar ampliar las muestras de investigación para incluir una mayor diversidad en términos de edad (siempre valorando el deterioro cognitivo), origen cultural, nivel educativo y socioeconómico.

Las siguientes limitaciones estarían relacionadas con las diferencias entre el tipo de instrumento musical y la cantidad de entrenamiento: Hay diferencias moderadas en cuanto a los años de entrenamiento musical previo de los grupos de músicos, ocasionando variaciones potenciales en los resultados del análisis. Además de poder verse diferencias entre los diferentes instrumentos, ya que algunos de los estudios valoran múltiples modalidades (e incluso el manejo de varios instrumentos), las diferencias entre los instrumentos practicados pueden resultar en diferencias en cuanto a la velocidad de respuesta (Zamorano et al., 2022; Elpus, 2013). Una división más concreta sobre el instrumento utilizado podría aclarar diferencias entre práctica musical instrumental y la práctica motriz únicamente.

Es importante señalar, siguiendo a Gartlehner (2020), que la revisión de resúmenes individuales podría haber omitido hasta un 13% de los estudios relevantes, lo que sugiere que algunos datos pertinentes pueden no haber sido incluidos en este meta-análisis. Además, dada la predominancia de estudios transversales en la literatura disponible, que son adecuados para detectar efectos instantáneos, pero no cambios a largo plazo, se requiere de estudios longitudinales para una comprensión más profunda de cómo la integración sensorial evoluciona con el entrenamiento musical a lo largo del tiempo. Estudios futuros podrían explorar esta dinámica, como sugieren Hyde et al. (2009), ampliando así nuestro conocimiento sobre los impactos a largo plazo del entrenamiento musical en la integración sensorial.

Para concluir, este meta-análisis indica que el entrenamiento musical puede mejorar significativamente la integración sensorial, evidenciado por una mayor velocidad de respuesta. Estos hallazgos respaldan la incorporación del entrenamiento musical en programas educativos y terapéuticos, destacando su valor en el desarrollo cognitivo y sensoriomotor. Sin embargo, la variabilidad en los resultados sugiere la necesidad de futuras investigaciones para explorar más a fondo cómo diferentes aspectos del entrenamiento musical, como la duración, intensidad y tipo de instrumento, afectan estos beneficios. Además, se recomienda la expansión de las muestras de estudio para incluir una diversidad mayor de contextos culturales y socioeconómicos.

REFERENCIAS

- Ayres, A. J. (1972). *Sensory Integration and Learning Disorders*. Los Angeles (CA): Western Psychological Services.
- Bangert, M., & Altenmüller, E. (2003). Mapping perception to action in piano practice: a longitudinal DC-EEG study. *BMC Neuroscience*, 4(1), 26. <https://doi.org/10.1186/1471-2202-4-26>
- Baranek, G. T. (2002). Efficacy of sensory and motor interventions for children with autism. *Journal Of Autism and Developmental Disorders*, 32(5), 397-422. <https://doi.org/10.1023/a:1020541906063>
- Begg, C. B., & Mazumdar, M. (1994). Operation Se ppg Characteristics of a Rank Correlation Test for Publication Bias. *Biometrics*, 50(4), 1088. <https://doi.org/10.2307/2533446>
- Biocca, F. (1992). Virtual Reality Technology: a tutorial. *Journal Of Communication*, 42(4), 23-72. <https://doi.org/10.1111/j.1460-2466.1992.tb00811.x>
- Bundy, A., Lane, S. J., & Murray, E. (1991). *Sensory Integration: Theory and Practice*. Philadelphia (PA): F.A. Davis.

- Case-Smith, J., & Arbesman, M. (2008). Evidence-Based Review of Interventions for Autism used in or of Relevance to Occupational Therapy. *The American Journal of Occupational Therapy*, 62(4), 416-429. <https://doi.org/10.5014/ajot.62.4.416>
- Chang, X., Wang, P., Zhang, Q., Xu, F., Zhang, C., & Zhou, P. (2014b). The effect of music training on unimanual and bimanual responses. *Musicae Scientiae*, 18(4), 464-472. <https://doi.org/10.1177/1029864914547147>
- Chen, L., Guo, Z., Lai, Y., Liao, W., Liu, Q., Kendrick, K. M., Yao, D., & Li, H. (2012). Musical Training Induces Functional Plasticity in Perceptual and Motor Networks: Insights from Resting-State fMRI. *PLOS ONE*, 7(5), e36568. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0036568>
- Cohen, J. (1988). *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences* (2nd ed.). Hillsdale (NJ): Lawrence Erlbaum Associates, Publishers.
- D'Souza, A. A., Moradzadeh, L., & Wiseheart, M. (2018). Musical training, bilingualism, and executive function: working memory and inhibitory control. *Cognitive Research*, 3(1). <https://doi.org/10.1186/s41235-018-0095-6>
- Duval, S., & Tweedie, R. L. (2000). A Nonparametric "Trim and Fill" Method of Accounting for Publication Bias in Meta-Analysis. *Journal Of the American Statistical Association*, 95(449), 89-98. <https://doi.org/10.1080/01621459.2000.10473905>
- Egger, M., Smith, G. D., Schneider, M., & Minder, C. E. (1997). Bias in meta-analysis detected by a simple, graphical test. *BMJ. British Medical Journal*, 315(7109), 629-634. <https://doi.org/10.1136/bmj.315.7109.629>
- Ellis, R.J., Bruijn, B., Norton, A.C., Winner, E. y Schlaug, G. (2013). Training-mediated leftward asymmetries during music processing: A cross-sectional and longitudinal fMRI analysis. *NeuroImage*, 75, 97-107. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2013.02.045>
- Feldberg, C., Stefani, D., García, L. M., Mailing, I., Caruso, G., Somale, M. V., & Allegri, R. (2019). Medición del entrenamiento musical como indicador de reserva cognitiva: adaptación y validación de la versión argentina del Musical Training Questionnaire. *Neurología Argentina*, 11(1), 3-11. <https://doi.org/10.1016/j.neuarg.2019.01.001>
- Francis, G. (2013). Replication, statistical consistency, and publication bias. *Journal of Mathematical Psychology*, 57, 153-169. <https://doi.org/10.1016/j.jmp.2013.02.003>
- Fujii, S., & Schlaug, G. (2013). The Harvard Beat Assessment Test (H-BAT): a battery for assessing beat perception and production and their dissociation. *Frontiers In Human Neuroscience*, 7. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2013.00771>
- Fujioka, T., Trainor, L. J., Ross, B., Kakigi, R., & Pantev, C. (2004). Musical Training Enhances Automatic Encoding of Melodic Contour and Interval Structure. *J Cogn Neurosci*, 16(6), 1010-1021. <https://doi.org/10.1162/0898929041502706>

- Gardiner, M.F., Fox, A., Knowles, F., & Jeffrey, D. (1996). Learning improved by arts training. *Nature*, 381, 284. <https://psycnet.apa.org/doi/10.1038/381284a0>
- Gartlehner, G., Affengruber, L., Titscher, V., Noel-Storr, A., Dooley, G., Ballarini, N., & König, F. (2020). Single-reviewer abstract screening missed 13 percent of relevant studies: a crowd-based, randomized controlled trial. *Journal Of Clinical Epidemiology*, 121, 20-28. <https://doi.org/10.1016/j.jclinepi.2020.01.005>
- Guhn, M., Emerson, S. D., & Gouzouasis, P. (2020). A population-level analysis of associations between school music participation and academic achievement. *Journal Of Educational Psychology*, 112(2), 308-328. <https://doi.org/10.1037/edu0000376>
- Habibi, A., Damasio, A., Ilari, B., Veiga, R., Joshi, A., Leahy, R., ... Damasio, H. (2018). Childhood music training induces change in micro and macroscopic brain structure: Results from a longitudinal study. *Cerebral Cortex*, 28(12), 4336-4347. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhx286>
- Hallam, S. (2010). The power of music: Its impact on the intellectual, social and personal development of children and young people. *International Journal of Music Education*, 28(3), 269-289. <https://doi.org/10.1177/0255761410370658>
- Hetland, L. (2000). Learning to Make Music Enhances Spatial Reasoning. *The Journal of Aesthetic Education*, 34(3/4), 179. <https://doi.org/10.2307/3333643>
- Herholz, S. C., & Zatorre, R. J. (2012). Musical Training as a Framework for Brain Plasticity: Behavior, Function, and Structure. *Neuron*, 76(3), 486-502. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2012.10.011>
- Hille, A., & Schupp, J. (2015). How learning a musical instrument affects the development of skills. *Economics Of Education Review*, 44, 56-82. <https://doi.org/10.1016/j.econedurev.2014.10.007>
- Hughes, C., & Franz, E. A. (2007). Experience-Dependent Effects in Unimanual and Bimanual Reaction Time Tasks in Musicians. *Journal Of Motor Behavior*, 39(1), 3-8. <https://doi.org/10.3200/jmbr.39.1.3-8>
- Hyde, K. L., Lerch, J. P., Norton, A., Forgeard, M., Winner, E., Evans, A. C., & Schlaug, G. (2009). The Effects of Musical Training on Structural Brain Development. *Annals of The New York Academy of Sciences*, 1169(1), 182-186. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.2009.04852.x>
- Johnson, R. C., McClearn, G. E., Yuen, S., Nagoshi, C. T., Ahern, F. M., & Cole, R. E. (1985). Galton's data a century later. *American Psychologist*, 40(8), 875-892. <https://psycnet.apa.org/doi/10.1037/0003-066X.40.8.875>
- Kail, R. V., & Salthouse, T. A. (1994). Processing speed as a mental capacity. *Acta Psychologica*, 86(2-3), 199-225. [https://doi.org/10.1016/0001-6918\(94\)90003-5](https://doi.org/10.1016/0001-6918(94)90003-5)
- Khaligh-Razavi, S., Habibi, S., Sadeghi, M., Marefat, H., Khanbagi, M., Nabavi, S. M., Sadeghi, E., & Kalafatis, C. (2019). Integrated Cognitive Assessment: Speed and

- Accuracy of Visual Processing as a Reliable Proxy to Cognitive Performance. *Scientific Reports*, 9(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-018-37709-x>
- Killeen, P. R., & Weiss, N. A. (1987). Optimal timing and the Weber function. *Psychological Review*, 94, 455–468. <https://psycnet.apa.org/doi/10.1037/0033-295X.94.4.455>
- Kraus, N., & Chandrasekaran, B. (2010). Music training for the development of auditory skills. *Nature Reviews Neuroscience*, 11(8), 599-605. <https://doi.org/10.1038/nrn2882>
- Krause, V., Schnitzler, A., & Pollok, B. (2010). Functional network interactions during sensorimotor synchronization in musicians and non-musicians. *NeuroImage*, 52, 245–51. <https://psycnet.apa.org/doi/10.1016/j.neuroimage.2010.03.081>
- Lakens, D. (2017). Equivalence tests: A practical primer for t-tests, correlations, and meta- analyses. *Social Psychological and Personality Science*, 1, 1-8. <https://doi.org/10.1177/1948550617697177>
- Landry, S. P., & Champoux, F. (2017). Musicians react faster and are better multisensory integrators. *Brain And Cognition*, 111, 156-162. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2016.12.001>
- Lu, Y., Paraskevopoulos, E., Herholz, S. C., Kuchenbuch, A., & Pantev, C. (2014). Temporal Processing of Audiovisual Stimuli Is Enhanced in Musicians: Evidence from Magnetoencephalography (MEG). *PLOS ONE*, 9(3), e90686. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0090686>
- Mehr, S. A., Schachner, A., Katz, R., & Spelke, E. S. (2013). Two Randomized Trials Provide No Consistent Evidence for Nonmusical Cognitive Benefits of Brief Preschool Music Enrichment. *PLOS ONE*, 8(12), e82007. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0082007>
- Miendlarzewska, E. A., & Trost, W. (2014). How musical training affects cognitive development: rhythm, reward and other modulating variables. *Frontiers In Neuroscience*, 7. <https://doi.org/10.3389/fnins.2013.00279>
- Münte, T. F., Altenmüller, E., & Jäncke, L. (2002). The musician's brain as a model of neuroplasticity. *Nature Reviews Neuroscience*, 3(6), 473-478. <https://doi.org/10.1038/nrn843>
- Park, J. M., Chung, C. K., Kim, J. S., Lee, K. M., Seol, J. H., & Yi, S. W. (2018). Musical Expectations Enhance Auditory Cortical Processing in Musicians: A Magnetoencephalography Study. *Neuroscience*, 369, 325-335. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2017.11.036>
- Perea, M. V., García, R. G., Cañas, M., & Fernández, V. L. (2019). Velocidad de procesamiento de la información en la enfermedad de Alzheimer. *Revista Chilena de Neuro-psiquiatría*, 57(3), 228-237.
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J., Akl, E. A., Brennan, S., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E., Mayo-Wilson, E.,

- McDonald, S., Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ. British Medical Journal*, 71. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>
- Page, M. J., Moher, D., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J., Akl, E. A., Brennan, S., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., . . . McKenzie, J. E. (2021). PRISMA 2020 explanation and elaboration: updated guidance and exemplars for reporting systematic reviews. *BMJ. British Medical Journal*, 160. <https://doi.org/10.1136/bmj.n160>
- Pashler, H. (1994). Dual-task interference in simple tasks: Data and theory. *Psychological Bulletin*, 116(2), 220-244.
- Patel, A. D. (2011). Language, music, and the brain: a resource-sharing framework. *Oxford University Press eBooks*, 204-223. <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780199553426.003.0022>
- Pfeiffer, B., Koenig, K., Kinnealey, M., Sheppard, M., & Henderson, L. (2011). Effectiveness of Sensory Integration Interventions in Children with Autism Spectrum Disorders: A Pilot Study. *The American Journal of Occupational Therapy*, 65(1), 76-85. <https://doi.org/10.5014/ajot.2011.09205>
- R Core Team (2021). R: A Language and environment for statistical computing. (Version 4.1) [Computer software]. Retrieved from <https://cran.r-project.org>. (R packages retrieved from MRAN snapshot 2022-01-01).
- Rammsayer, T., Buttkus, F., & Altenmüller, E. (2012). Musicians Do Better than Nonmusicians in Both Auditory and Visual Timing Tasks. *Music Perception*, 30(1), 85-96. <http://dx.doi.org/10.1525/mp.2012.30.1.85>
- Rauscher, F. H., & Hinton, S. C. (2011). Music Instruction and its Diverse Extra-Musical Benefits. *Music Perception*, 29(2), 215-226. <https://doi.org/10.1525/mp.2011.29.2.215>
- Rodrigues, A. C., Loureiro, M., & Caramelli, P. (2013). Long-term musical training may improve different forms of visual attention ability. *Brain And Cognition*, 82(3), 229-235. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2013.04.009>
- Rosenthal, R. (1979). The file drawer problem and tolerance for null results. *Psychological Bulletin*, 86(3), 638-641.
- Sachs, M., Kaplan, J., Der-Sarkissian, A. y Habibi, A. (2017). Increased engagement of the cognitive control network associated with music training in children during an fMRI Stroop task. *PLOS ONE*, 12(10), e0187254. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0187254>
- Schellenberg, E. G. (2001). Music and nonmusical abilities. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 930, 355-371. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.2001.tb05744.x>
- Schellenberg, E. G. (2004). Music lessons enhance IQ. *Psychological Science*, 15(8), 511-514. <https://doi.org/10.1111/j.0956-7976.2004.00711.x>

- Schellenberg, E. (2006). Long-term positive associations between music lessons and IQ. *Journal of Educational Psychology*, 98(2), 457-468. <https://psycnet.apa.org/doi/10.1037/0022-0663.98.2.457>
- Schellenberg, E. G. (2011). Examining the association between music lessons and intelligence. *British Journal of Psychology*, 102(3), 283-302. <https://doi.org/10.1111/j.2044-8295.2010.02000.x>
- Sears, A., & Jacko, J. A. (2002). *The Human-Computer Interaction Handbook: Fundamentals, Evolving Technologies and Emerging Applications*. Third Edition. CRC Press.
- Seither-Preisler, A., Parncutt, R. y Schneider, P. (2014). Size and synchronization of auditory cortex promotes musical, literacy, and attentional skills in children. *Journal of Neuroscience*, 34(33), 10937-10949.
- Sluming, V., Barrick, T. R., Howard, M. A., Cezayirli, E., Mayes, A. R., & Roberts, N. (2002). Voxel-Based Morphometry Reveals Increased Gray Matter Density in Broca's Area in Male Symphony Orchestra Musicians. *NeuroImage*, 17(3), 1613-1622. <https://doi.org/10.1006/nimg.2002.1288>
- The jamovi project (2022). jamovi. (Version 2.3) [Computer Software]. Retrieved from <https://www.jamovi.org>
- Trainor, L., Shahin, A. y Roberts, L. (2009). Understanding the benefits of musical training. Effects on oscillatory brain activity. The Neurosciences and Music III—Disorders and Plasticity: *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1169(1), 133-142. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.2009.04589.x>
- Viechtbauer, W. (2010). Conducting meta-analyses in R with the metafor package. *Journal of Statistical Software*, 36, 1-48. <https://doi.org/10.18637/jss.v036.i03>
- Voss, M. W., Prakash, R. S., Erickson, K. I., Basak, C., Chaddock, L., Kim, J., Alves, H., Heo, S., Szabo, A. N., White, S. M., Wójcicki, T. R., Mailey, E. L., Gothe, N. P., Olson, E. A., McAuley, E., & Kramer, A. F. (2010). Plasticity of brain networks in a randomized intervention trial of exercise training in older adults. *Frontiers In Aging Neuroscience*. <https://doi.org/10.3389/fnagi.2010.00032>
- Woodley, M. A., Nijenhuis, J. T., & Murphy, R. (2013). Were the Victorians cleverer than us? The decline in general intelligence estimated from a meta-analysis of the slowing of simple reaction time. *Intelligence*, 41(6), 843-850. <https://doi.org/10.1016/j.intell.2013.04.006>
- Woods, D. L., Wyma, J. M., Yund, E. W., Herron, T. J., & Reed, B. R. (2015). Factors influencing the latency of simple reaction time. *Frontiers In Human Neuroscience*, 9. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2015.00131>
- Yarrow, K., Brown, P., & Krakauer, J. W. (2009). Inside the brain of an elite athlete: the neural processes that support high achievement in sports. *Nature Reviews. Neuroscience*, 10(8), 585-596. <https://doi.org/10.1038/nrn2672>
- Zatorre, R. J., Chen, J. L., & Penhune, V. B. (2007). When the brain plays music: auditory- motor interactions in music perception and production. *Nature Reviews. Neuroscience*, 8(7), 547-558. <https://doi.org/10.1038/nrn2152>

- Zamorano, A. M., Kleber, B., Arguissain, F., Vuust, P., Flor, H., & Graven-Nielsen, T. (2022). Extensive sensorimotor training enhances nociceptive cortical responses in healthy individuals. *European Journal of Pain*, 27(2), 257-277. <https://doi.org/10.1002/ejp.2057>
- Zuk, J., Benjamin, C., Kenyon, A., & Gaab, N. (2014). Behavioral and Neural Correlates of Executive Functioning in Musicians and Non-Musicians. *PLOS ONE*, 9(6), e99868. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0099868>