

UNIVERSIDAD PERUANA
CAYETANO HEREDIA

OÍDO ABSOLUTO Y MEDIDAS P300: UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA Y METAANÁLISIS

TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE MAESTRO EN NEUROCIENCIA

JOSE GABRIEL LAZARO CRUZ

LIMA – PERÚ

2026

ASESOR
MD, PHD, QUISPE GUTIERREZ ANTONIO MARTY

JURADO DE TESIS

DR. ALFONSO ZAVALETA MARTINEZ-VARGAS

PRESIDENTE

MG. HUGO FELIX UMERES CACERES

VOCAL

MG. CARLA MARIA GALLO LOPEZ ALIAGA

SECRETARIO (A)

DEDICATORIA.

A Leonardo y a mi familia.

AGRADECIMIENTOS.

A mi asesor y a los científicos que me inspiraron.

FUENTES DE FINANCIAMIENTO.

Tesis autofinanciada.

UNIVERSIDAD PERUANA
CAYETANO HEREDIA

DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD

Los egresados:

N°	APELLIDOS Y NOMBRES
1.	LAZARO CRUZ JOSE GABRIEL

Pertenecientes al programa de la **MAESTRÍA EN NEUROCIENCIA**, autores del trabajo titulado: **OÍDO ABSOLUTO Y MEDIDAS P300: UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA Y METAANÁLISIS**, el cual ha sido elaborado, sustentado y aprobado, según corresponda, para optar por el grado de **MAESTRO EN NEUROCIENCIA** bajo la modalidad de **TESIS**.

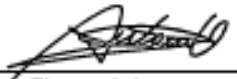
En calidad de docentes asesores de la Universidad Peruana Cayetano Heredia:

N°	APELLIDOS Y NOMBRES DEL DOCENTE	FACULTAD	NIVEL DE ASESORÍA
1.	QUISPE GUTIERREZ ANTONIO MARTY	EPGVAC	ASESOR

Declaramos que el contenido del presente documento es original y que las citas y referencias a otros autores cumplen con las normas académicas establecidas. En ese sentido, hacemos constar que:

- El documento presenta un porcentaje de similitud de **11%**, según el reporte emitido por el software **Turnitin®** (identificador de entrega: **3084973973**; fecha de entrega: **09-11-2026**).
- Tras una revisión detallada del reporte y del contenido del trabajo en cuestión, no se han identificado indicios de plagio.
- Se certifica que el documento respeta los principios de integridad académica y cumple con los requisitos institucionales de originalidad.

Lugar y fecha: **Lima, 09 de noviembre de 2026**



Firma del asesor
N° DNI: 10774189
ORCID: 0000-0003-2100-7423

Firma del Co-asesor
N° DNI:
ORCID:

ÍNDICE

RESUMEN

ABSTRACT

I.	INTRODUCCIÓN	1
II.	OBJETIVOS	6
III.	MARCO TEÓRICO	7
IV.	METODOLOGÍA	29
V.	RESULTADOS	43
VI.	DISCUSIÓN	78
VII.	CONCLUSIONES	97
VIII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	98
IX.	ANEXOS	

RESUMEN:

El oído absoluto (OA) es una habilidad musical poco frecuente (0,01% de la población) que permite identificar o reproducir tonos musicales sin una referencia externa. Esta capacidad se ha vinculado al componente P300 del electroencefalograma (EEG). El presente estudio llevó a cabo una revisión sistemática y un meta-análisis para examinar la relación entre el OA y las medidas de amplitud y latencia del P300 siguiendo las directrices PRISMA. Se incluyeron estudios que compararan participantes con y sin OA en tareas auditivas que midieran la amplitud y la latencia del P300. Se calcularon tamaños de efecto estandarizados (*g* de Hedges) para el meta-análisis utilizando modelos de efectos fijos y aleatorios, según correspondiera. Se evaluó la heterogeneidad entre los estudios (I^2, Q), así como la influencia de estudios individuales y el posible sesgo de publicación mediante gráficos en embudo. Se incluyeron un total de 15 estudios que comprendieron 490 participantes. El metaanálisis mostró una reducción significativa de la latencia del P300 en el grupo con OA en comparación con el grupo sin esta habilidad (g = -0,42, IC 95% [-0,63 – -0,21], p < 0,001), con heterogeneidad moderada (I^2 = 34%). En contraste, el análisis de la amplitud del P300 no reveló diferencias estadísticamente significativas entre los grupos (g = -0,43, IC 95% [-0,86 – 0,00], p = 0,05), presentando una heterogeneidad sustancial (I^2 = 77%). Estos hallazgos indican que el OA se asocia con una reducción en la latencia del P300, lo que sugiere un procesamiento auditivo más eficiente y automático en las personas con esta habilidad. Sin embargo, la evidencia sobre las diferencias en la amplitud del P300 sigue siendo

inconclusa. Los resultados respaldan la existencia de mecanismos neurocognitivos diferenciados en individuos con OA.

Palabras clave: Electroencefalograma (EEG), P300, oído absoluto (OA), oído relativo, tono musical, revisión sistemática.

ABSTRACT:

Absolute pitch (AP) is a rare musical ability (0.01% of the population) that allows individuals to identify or reproduce musical tones without an external reference. This ability has been linked to the P300 component of the electroencephalogram (EEG). The present study conducted a systematic review and meta-analysis to examine the relationship between AP and the amplitude and latency measures of the P300, following PRISMA guidelines. Studies comparing participants with and without AP in auditory tasks that assessed P300 amplitude and latency were included. Standardized effect sizes (Hedges' *g*) were computed for the meta-analysis using both fixed- and random-effects models, as appropriate. Heterogeneity across studies (I^2, Q) was assessed, along with the influence of individual studies and potential publication bias through funnel plot analysis. A total of 15 studies comprising 490 participants were included. The meta-analysis of P300 latency showed a significant reduction in the AP group compared to the non-AP group (g = -0.42, 95% CI [-0.63, -0.21], $p < .001$), with moderate heterogeneity (I^2 = 34%). In contrast, the analysis of P300 amplitude revealed no statistically significant differences between groups (g = -0.43, 95% CI [-0.86, 0.00], p = .05), with substantial heterogeneity (I^2 = 77%). These findings suggest that AP is associated with a reduction in P300 latency, indicating more efficient and automatic auditory processing among individuals with this ability. However, evidence regarding differences in P300 amplitude remains inconclusive. Overall, the results support the existence of distinct neurocognitive mechanisms in individuals with absolute pitch.

Keywords: Electroencephalogram (EEG), P300, absolute pitch (AP), relative pitch, musical tone, Systematic review

I. INTRODUCCIÓN

El oído absoluto (OA) o *absolute pitch* se define como la capacidad de identificar y/o producir notas musicales específicas con alta precisión y rapidez, sin una nota de referencia en el sistema tonal occidental (Bairnsfather et al., 2025; Shibayama et al., 2026). Es una habilidad poco común cuya prevalencia en la población general de Europa y Norteamérica se estima en menos del 0.01% (Deutsch, 2013), mientras que, en estudiantes de nivel profesional, miembros de orquestas y poblaciones de músicos se reportan rangos entre 1% y 15% (Baharloo et al., 1998; Jobling, 2014; Leite et al., 2016). Esta variación se relaciona con la ausencia de métodos estandarizados para su identificación y con criterios de evaluación heterogéneos (Bairnsfather et al., 2025; Bermudez y Zatorre, 2009).

La condición de OA puede co-ocurrir con la sinestesia, fenómeno que consiste en el reconocimiento automático e involuntario mediante el cual la activación de una modalidad sensorial desencadena la de otra (Ward et al., 2024), como ocurre, por ejemplo, al percibir colores a partir de sonidos. Aunque el OA y la sinestesia constituyen rasgos independientes, ambos comparten una prevalencia poco frecuente en la población general y han sido descritos de manera reiterada como coincidentes en los mismos individuos. La evidencia más sólida al respecto proviene de Gregersen et al. (2013), quienes, tras evaluar a 768 personas con OA, hallaron que el 20,1% reportaba algún tipo de sinestesia, particularmente del tipo tono-color.

Por otra parte, la idea de que las personas con síndrome de Williams poseen oído absoluto proviene de estudios tempranos con muestras muy pequeñas. Lenhoff et

al. (2001) evaluaron a cinco individuos con síndrome de Williams, reportaron niveles de OA y plantearon una incidencia mayor que en la población general y un periodo sensible de adquisición prolongado. Sin embargo, Martínez-Castilla et al. (2013) aplicaron tareas de identificación y memoria tonal a 27 participantes con síndrome de Williams, y ningún grupo mostró OA. Según sus conclusiones, esta capacidad sería tan infrecuente en el síndrome de Williams como en el desarrollo típico. La evidencia reciente apunta en la misma dirección: la discriminación tonal en el síndrome de Williams se asocia con la comprensión prosódica, y la práctica musical favorece la prosodia y la memoria verbal (Villatte et al., 2025). En otras palabras, el síndrome de Williams parece caracterizarse por una musicalidad afectiva y motivacional destacada más que por una percepción tonal excepcional.

El presente estudio profundiza en estos procesos automáticos mediante registros de electroencefalograma (EEG), dada la relación reportada entre ciertos potenciales evocados, en particular la atenuación del componente P300, y la presencia de OA. El trabajo clásico de Klein et al. (1984) mostró un P300 reducido o ausente ante tonos poco frecuentes en sujetos con OA, sugiriendo que procesan los estímulos sin necesidad de actualizar el modelo del entorno en memoria de trabajo (Greber y Jäncke, 2020; Klein et al., 1984; Lockhead y Byrd, 1981; Siegel, 1974; Ward y Burns, 1982). Con base en ello, se planteó que las personas con OA poseen etiquetas o plantillas fijas tono–nombre almacenadas a largo plazo (Levitin y Rogers, 2005; Rogenmoser et al., 2015; Takeuchi y Hulse, 1993), por lo que deberían mostrar un P300 mínimo ante tonos nuevos, al no requerir actualización de la memoria de trabajo auditiva (Barnea et al., 1994; Renninger et al., 2003).

La amplitud del P300 tiende a disminuir en individuos con OA durante tareas con demanda de memoria a corto plazo, patrón conocido como efecto del OA y considerado un posible marcador de la estrategia empleada: amplitudes mayores cuando se utiliza memoria de trabajo tonal y atenuadas cuando se recurre a la memoria a largo plazo de etiquetas tonales (Itoh et al., 2005; Leipold et al., 2019b; Renninger et al., 2003). La variabilidad de resultados podría explicarse por diferencias en los diseños experimentales y en la exigencia de las tareas sobre la memoria de tono; por ejemplo, Hantz et al. (1995) señalaron que sus tareas no activaban suficientemente el OA, mientras que Renninger et al. (2003) desarrollaron una tarea más desafiante que reveló el efecto OA y mostró una correlación positiva entre rendimiento en memoria de trabajo tonal y amplitud del P300 en OA.

El OA representa una habilidad excepcional para identificar notas musicales sin referencia tonal externa, pero es un reto al día de hoy explicar esta capacidad desde registros fisiológicos. Estudios iniciales utilizando paradigmas *oddball* auditivos han medido el componente P300 del EEG como marcador de procesamiento atencional y discriminación tonal, encontrando en personas con OA latencias y amplitudes reducidas, lo cual sugiere la existencia de representaciones tonales fijas.

Sin embargo, la variabilidad metodológica en los experimentos de OA como uso de timbres piano, tonos senoidales, duraciones de tonos de 60 a 2000 milisegundos (ms), y criterios OA heterogéneos, a su vez, tamaños muestrales pequeños generan resultados contradictorios.

En este contexto planteamos como principal problema de investigación de la presente revisión sistemática y metanálisis explorar si existen diferencias significativas en amplitud y latencia del componente P300 entre personas con y sin OA. Adicionalmente planteamos como problemas secundarios identificar moderadores metodológicos diversos en la medición de OA (paradigma, estímulos, electrodos) que expliquen la heterogeneidad observada.

La comprensión de los mecanismos neuronales funcionales y estructurales en personas con OA continúa siendo un desafío para la neurociencia. Sin embargo, diversos estudios han evidenciado la existencia de un proceso de etiquetado interno en individuos con OA, caracterizado por su automaticidad y bajo requerimiento de esfuerzo cognitivo. Paradójicamente, esta automatización puede interferir con tareas de reconocimiento tonal, lo que podría representar una desventaja, especialmente en músicos (Miyazaki y Rakowski, 2002).

En las últimas décadas, el OA ha sido estudiado mediante potenciales evocados, especialmente a través del componente P300 del EEG, el cual se asocia con procesos de atención, discriminación auditiva y memoria de trabajo. No obstante, los hallazgos sobre diferencias entre personas con y sin OA en la latencia y amplitud del P300 siguen siendo materia de investigación.

Cabe señalar que las investigaciones existentes sobre OA presentan variabilidad metodológica y, en algunos casos, resultados contradictorios. Para este estudio, se considerarán dos grupos comparativos: personas con OA y personas sin OA, incluyendo en este último tanto a músicos como a no músicos con oído relativo.

Responder a esta pregunta resulta relevante, ya que podría contribuir significativamente a la comprensión del procesamiento cerebral del tono. Además, el estudio de procesos cerebrales auditivos implicados en la identificación tonal tiene implicancias potenciales en contextos clínicos y educativos. El OA está vinculado con procesos de identificación de altura tonal, percepción de frecuencias, memoria auditiva y, en algunos casos, habilidades verbales, lo que refuerza el interés científico por su estudio.

La pregunta de investigación es ¿existen diferencias significativas en la amplitud y latencia del componente P300 del EEG entre personas con Oído Absoluto y sin Oído Absoluto?

II. OBJETIVOS

2.1 Objetivo principal

Evaluar y sintetizar la evidencia disponible sobre las diferencias en la amplitud y latencia del componente P300 del electroencefalograma entre personas con oído absoluto y personas sin esta habilidad.

2.2. Objetivos secundarios

O1: Analizar la relación entre la habilidad de oído absoluto y las características del componente P300 (amplitud y latencia) en personas con esta habilidad, a través de la revisión de estudios.

O2: Evaluar e integrar, mediante un metaanálisis, las diferencias en la amplitud y en la latencia del P300 entre personas con y sin oído absoluto, para determinar si existe un patrón neurofisiológico distintivo asociado a esta habilidad.

O3. Evaluar, mediante metaanálisis, las diferencias en el rendimiento del test de oído absoluto entre personas clasificadas como oído absoluto y sin la habilidad, para establecer la magnitud y consistencia del desempeño entre ambos grupos.

III. MARCO TEÓRICO

3.1. Tonos musicales

El sentido auditivo capta las vibraciones moleculares del aire y las convierte en sonido, cuyas propiedades físicas son forma de onda, fase, amplitud y frecuencia. La amplitud se percibe como sonoridad, la frecuencia como tono y la complejidad como timbre (Englitz et al., 2024). En experimentos con ondas auditivas se emplean dos tipos de tonos: los puros, ondas senoidales de una sola frecuencia y de origen artificial; y los compuestos, formados por la combinación de tonos puros, que constituyen la mayoría de los sonidos naturales (Fung et al., 2025). Los tonos puros y complejos generan activación en la corteza auditiva de orden medio y áreas sensoriomotoras, con una representación integrada de tono que se construye a partir de distintas pistas acústicas (Abrams et al., 2025).

La audición consiste en la transducción de estímulos físico-acústicos en impulsos electroquímicos que alcanzan la corteza cerebral, donde se identifican y comparan con una jerarquía tonal interna (Bonetti et al., 2024). Esta jerarquía se basa en 12 notas o semitonos organizados en 8 octavas, con una frecuencia de referencia de 440 Hz para la nota LA en la cuarta octava (Howard y Angus, 2009, pp. 122,165). Investigaciones sobre la segmentación de flujos auditivos evidencian una "rivalidad" entre tono y timbre: cuando los estímulos son tonos complejos con pocas bandas de frecuencia, los contrastes de timbre favorecen la segregación de flujos, mientras que con más bandas domina la separación de tonos, lo que refuerza la idea de que el sistema auditivo cortical compara propiedades de

frecuencia y complejidad espectral para organizar la percepción (Jhang et al., 2025).

3.2. P300 y procesos auditivos

Un tipo de registro de EEG se realiza mediante los potenciales relacionados con eventos (PRE) o potenciales evocados, que reflejan los potenciales postsinápticos inhibitorios y excitadores de membrana, generados por células piramidales corticales (Lim et al., 2024; Waninger et al., 2018). Los PRE capturan la actividad eléctrica del cuero cabelludo ante estímulos sensoriales o cognitivos (Duncan et al., 2009) y se dividen en dos tipos: exógenos y endógenos (Duarte et al., 2009; Gong et al., 2024). Los exógenos surgen antes de los 100 ms tras el estímulo y dependen de sus características físicas; los endógenos, en cambio, reflejan procesos internos y aparecen después de los 100 ms.

Dentro de los componentes endógenos destaca el P300, que fue reportado por primera vez por Sutton et al. (1965), quien posteriormente (Sutton, 1979) logró promediar las señales neurofisiológicas e identificar una onda con amplitud máxima alrededor de los 300 ms llamada P300, tras la presentación de estímulos psicológicos, consolidando así la caracterización del componente. Este componente se vincula al reconocimiento consciente de cambios en el patrón auditivo.

Los registros de P300 se logran a través de estímulos diversos, para nuestro caso, estímulos auditivos en secuencia o paradigmas. Los estudios basados en PRE presentan una clara ventaja gracias a su excelente resolución temporal, lo que permite registrar respuestas cerebrales a estímulos auditivos con una precisión del

orden de microsegundos. Este tipo de registro puede emplearse, por ejemplo, bajo el paradigma *oddball* auditivo (Hong et al., 2025; Rogenmoser et al., 2015).

Dicho paradigma fue propuesto originalmente por Ritter y Vaughan (1969) y adaptado para estímulos auditivos por Squires et al. (1975). Se sustenta en el enfoque de escucha pasiva, mediante el cual se recolecta información electrofisiológica asociada al procesamiento automático de tonos, con una resolución temporal altamente precisa. En este diseño experimental, se presentan tonos estándar con alta frecuencia (≈80%) y tonos infrecuentes o target con menor frecuencia (≈20%). Estos últimos generan de forma confiable componentes de potenciales evocados en regiones frontales, destacando el P300, vinculado al reconocimiento consciente de cambios en el patrón auditivo.

Un paradigma particular para registros auditivos es el *pitch naming* o etiquetado de tono, que es una condición de escucha pasiva no un *oddball* clásico. Aquí se presentan tonos aislados (piano) a músicos con y sin oído absoluto en dos tareas: escuchar sin responder (*Listening Task*) y nombrar la altura del tono (*Naming Task*). En la tarea de *naming*, los participantes deben dar el nombre de la nota (do, re, mi / C, D, E, etc.), permitiendo comparar los correlatos PRE de oído absoluto u otras clasificaciones. Además, se usa una variante de tipo Stroop auditivo (congruente vs incongruente entre tono y etiqueta verbal) para modular los componentes tardíos (P3b, onda positiva lenta parietal, onda negativa lenta frontal y la de OA negativo) (Itoh et al., 2005).

Complementariamente, el paradigma Go/No-Go es usado en registros auditivos y EEG. Este paradigma evalúa la inhibición de respuestas motoras mediante

estímulos sonoros, comúnmente tonos de diferentes frecuencias o duraciones. En una secuencia repetitiva, los participantes responden (Go) a un tono frecuente (con un 80 a 90% de probabilidad de presentarse) presionando un botón, pero inhiben la respuesta (No-Go) ante un tono raro (usualmente en un 10-20% de probabilidad), similar al oddball. El P300 (especialmente central y parietal) son prominentes en No-Go: la anticipación del P300 genera una mayor amplitud frontal en No-Go vs. Go, lo que refleja no solo inhibición, sino también reducción de actividad motora negativa en Go. Estudios confirman que P300 No-Go y conteo silencioso (sin respuesta) son topográficamente similares, cuestionando atribución exclusiva a inhibición (Fogarty et al., 2020).

En cuanto a su cuantificación, el componente P300 puede evaluarse mediante dos parámetros principales: latencia y amplitud. Este componente se caracteriza por una pendiente positiva dentro del potencial relacionado con eventos, lo que significa que su punto de máxima amplitud o pico de voltaje (μV) es positivo. La latencia hace referencia al intervalo temporal transcurrido desde la presentación del estímulo hasta la aparición de dicha amplitud máxima, situándose típicamente entre los 250 y 500 ms.

Las implicancias de la medición del P300 abarca desde evaluaciones clínicas de activación sensorial, emocional y cognitiva. Por ejemplo, registros de actividad auditiva, hasta trastornos del neurodesarrollo y neurodegeneración. Desde una perspectiva cognitiva, el componente P300 se ha asociado con la detección de estímulos visuales y auditivos relevantes en contextos impredecibles (Cartocci et al., 2025). En el ámbito de la cognición musical, las investigaciones recientes

sugieren que la amplitud del P300 puede reflejar procesos atencionales: a mayor nivel de atención, mayor amplitud registrada. Asimismo, se ha observado que cuando el individuo dispone de una mayor cantidad de información o experiencia previa, la amplitud también tiende a incrementarse (Krystecka et al., 2025).

En cuanto a la latencia, esta varía según las capacidades cognitivas generales del individuo: una latencia menor indica un procesamiento más rápido y eficiente. De igual modo, cuanto más sencilla resulte la discriminación del estímulo, más corta será la latencia (Zygouris et al., 2025). Es importante señalar que la generación del P300 requiere en la mayoría de los casos la participación activa del sujeto para detectar los estímulos objetivo, dado que las tareas pasivas suelen producir amplitudes significativamente menores que aquellas que implican una respuesta consciente o atencional.

Y, de forma complementaria, en el área clínica el P300 se ha asociado a posibles diagnósticos o como marcador electrofisiológico de una condición particular. Por ejemplo, en el trastorno por déficit de atención e hiperactividad, la evidencia converge en un patrón de latencias prolongadas que reflejaría una velocidad de procesamiento cognitivo enlentecida; en niños preescolares con el trastorno por déficit de atención e hiperactividad se han documentado latencias significativamente mayores respecto a controles sanos en múltiples electrodos de la línea media (Fz, Cz, Pz) y en regiones parieto-occipitales, junto con amplitudes incrementadas en Pz y Oz, lo que sugiere alteraciones tempranas en la asignación de recursos atencionales (Tao et al., 2024).

En el trastorno del espectro autista, en cambio, los hallazgos resultan más heterogéneos: las revisiones sistemáticas del procesamiento auditivo señalan que

las alteraciones del P300, tanto en amplitud como en latencia, no siguen una dirección uniforme, sino que dependen de la modalidad del estímulo, del paradigma empleado y la condición del trastorno del espectro autista (niveles de atención 1, 2 o 3), reflejando la propia heterogeneidad del espectro (Gonçalves & Monteiro, 2023). Esto invita a considerar los resultados con cuidado, reconociendo el diseño experimental aplicado.

En otras condiciones, como el Alzheimer, se ha propuesto que los desplazamientos en la latencia y la amplitud del P300 (latencia prolongada y amplitud reducida) podrían complementar la evaluación neuropsicológica en etapas preclínicas (Mohamed et al., 2024). El uso de fármacos también puede alterar los registros de electroencefalograma. Por ejemplo, se ha identificado que el uso de medicación constituye un moderador significativo del tamaño del efecto sobre la amplitud del P300 en un metaanálisis sobre la depresión (McClintock et al., 2025). En conjunto, esta evidencia posiciona al P300 como un marcador transdiagnóstico prometedor, aunque su valor exige controlar variables como el uso de medicación, la edad y los paradigmas de estimulación.

El potencial P300 presenta dos subcomponentes principales: el P3a y el P3b (Polich, 2012). El primero aparece en una ventana temporal anterior (aproximadamente de 220 a 280 ms) y se relaciona con la atención de origen frontal durante la ejecución de una tarea. Por su parte, el P3b surge posteriormente (aproximadamente de 310 a 380 ms) y refleja la actividad de atención temporo-parietal vinculada a la actualización de la memoria (Huang et al., 2015).

Además de estos, se ha descrito una onda lenta que acompaña a los componentes P3a y P3b, así como un subcomponente adicional denominado nP3, relacionado con estímulos novedosos que aparece entre 360 hasta 450 ms según distintos paradigmas (Barry et al., 2019). Los estudios combinados de resonancia magnética funcional y electroencefalografía confirman estos hallazgos: el P3a se origina principalmente en áreas frontales, mientras que el P3b se asocia con activaciones bilaterales en regiones temporo-parietales, áreas premotoras y motoras, y el surco intraparietal anterior, particularmente evidenciado mediante el paradigma *oddball* (Ragazzoni et al., 2019). En pacientes con daño prefrontal se ha observado una disminución en la amplitud del P300 ante estímulos novedosos, lo que refuerza el papel crítico de la corteza prefrontal en la detección de novedad (Oribe et al., 2015).

De acuerdo con el modelo de Polich (2003), la generación del P300 implica la interacción entre regiones frontales y temporo-parietales, áreas donde se observa su máxima positividad y donde se considera que ocurre la detección consciente del estímulo (Huang et al., 2015). En este marco, el P3a se vincula con procesos de atención y memoria de trabajo, mientras que el P3b se asocia con la actualización contextual de la memoria, ambos en paralelo. Este planteamiento sustenta el modelo de actualización de contexto, que explica la relación entre el P300 y el paradigma *oddball*: el componente positivo del PRE emerge ante la detección de estímulos raros o inesperados, reflejando una actualización contextual causada por un nuevo *input* sensorial (Gómez et al., 2019; Pearson et al., 2025).

En el registro de P300 se incluyen Pz (parietal posterior), donde la amplitud de P3b es máxima, reflejando procesos de evaluación de estímulos raros, y Cz (centro), sensible a componentes P3a asociados a atención orientadora. Estos electrodos capturan la deflexión positiva tardía (250-500 ms post-estímulo), generada por tonos raros como en el paradigma *oddball* (20% de probabilidad) entre frecuentes (80% de probabilidad) (Sasatake y Matsushita, 2025).

Según Polich (2003), los individuos comparan de manera continua el *input* sensorial recibido con estímulos previos, clasificándolos como estándares o infrecuentes (*target*). Si el estímulo es familiar, el procesamiento neural se mantiene estable, manifestando amplitudes máximas de P200 o negatividades tempranas N100. En cambio, un estímulo infrecuente demanda redistribución de recursos atencionales y actualización del contexto, lo que genera una deflexión positiva promedio a los 300 ms. Pese a la existencia de posibles subcomponentes adicionales implicados en la actualización contextual, las asociaciones P3a (frontal) y P3b (temporo-parietal) mantienen sólida evidencia empírica (Brydges y Barceló, 2018).

Un factor determinante en la amplitud del P300 es el intervalo entre estímulos *target*. Intervalos más largos tienden a generar amplitudes P300 mayores, lo que concuerda con la hipótesis de actualización de contexto (Steiner et al., 2013). Este efecto también se ha observado en tareas auditivas Go/No-Go (Greber y Jäncke, 2020; Steiner et al., 2014a, 2014b). Del mismo modo, se ha demostrado que intervalos mayores entre *targets* incrementan los componentes P300 y P3b y amplifican la implicación de la memoria de trabajo (Steiner et al., 2013),

sugiriendo que el uso de la memoria modulada por el estímulo *target* es un factor clave en su generación (Gonsalvez et al., 2007).

El subcomponente P3b se asocia con la actualización de la memoria de trabajo o del contexto (Carrasco et al., 2025), lo que se evidencia en tareas en las que ciertos estímulos requieren una reorganización de la información mantenida en memoria de trabajo (Kessler, 2017; Kessler et al., 2017). Además, el P3b puede aparecer incluso cuando una señal anticipa dicho cambio, aunque el estímulo en sí permanezca constante, lo que sugiere que su activación depende de la actualización contextual más que de la novedad física del estímulo. Esto sugiere que el P3b podría reflejar la identificación de señales predictoras de cambio, coherente con la hipótesis de Rac-Lubashevsky y Kessler (2019), según la cual una baja incertidumbre en la previsibilidad del estímulo es necesaria para detonar el P3b durante la identificación sensorial.

En síntesis, el P300 representa una respuesta fisiológica de los procesos cognitivo-perceptivos implicados en la atención, detección de novedades y actualización de contexto. La combinación de técnicas electrofisiológicas y de neuroimagen funcional aportan evidencia más robusta sobre su origen, teniendo en cuenta que su generación depende del tipo de estímulo, las características de la tarea y la presentación de estímulos novedosos (Bairnsfather et al., 2025). Finalmente, las limitaciones metodológicas actuales (costos elevados, tamaños muestrales reducidos y problemas de reproducibilidad) continúan siendo desafíos para la investigación del P300 (Poldrack et al., 2017).

3.3. Componentes del oído absoluto

La comprensión del OA implica distinguir entre procesos perceptivos y cognitivos (Elmer et al., 2015; Levitin y Rogers, 2005). La fase primaria de percepción categórica ha sido ampliamente estudiada mediante la comparación entre individuos con OA y aquellos que no poseen esta habilidad. Los resultados de diversas investigaciones muestran que, durante las fases tempranas tanto del procesamiento auditivo como de la categorización de estímulos sonoros, los poseedores de OA activan de manera más eficiente y focalizada áreas cerebrales específicas como la circunvolución temporal superior. En cambio, los individuos sin OA tienden a reclutar redes neuronales alternativas, particularmente aquellas vinculadas con la memoria de trabajo y el procesamiento perceptivo de orden superior, lo que sugiere la participación de mecanismos compensatorios para la tarea de identificación tonal (Schulze et al., 2009).

Este patrón diferenciado podría relacionarse con la cronotopía, la organización temporal de la actividad neuronal, y con la dinámica temporal de la activación en regiones auditivas como el *planum temporale* y la propia circunvolución temporal superior. Estas estructuras no solo participan en la decodificación inicial del sonido, sino que también integran la representación de los tonos, la comparación con memorias auditivas previas y la categorización consciente de la altura tonal. En esta línea, Benner et al. (2023), a partir del uso combinado de magnetoencefalografía y resonancia magnética funcional, encontraron una activación más temprana y lateralizada hacia el *planum temporale* derecho en

individuos con OA, lo que podría reflejar un procesamiento más automático y eficiente de la información tonal.

De manera complementaria, la circunvolución temporal superior muestra un mayor grosor cortical en los poseedores de OA, lo que puede interpretarse como un marcador de neuroplasticidad estructural asociada a la exposición musical temprana o al entrenamiento auditivo especializado. Asimismo, se ha observado una correlación positiva entre la magnitud de la activación del *planum temporale* izquierdo y el grado de precisión en tareas de identificación de tonos, junto con una relación directa con el volumen total de esta región (Dohn et al., 2015; Ohnishi et al., 2001). No obstante, también se han reportado diferencias morfológicas inversas, como un *planum temporale* derecho más pequeño en personas con OA (Keenan et al., 2001), en paralelo con un mayor volumen del giro de Heschl derecho, implicado en la detección básica de la frecuencia auditiva (Wengenroth et al., 2014). Estos hallazgos sugieren una especialización funcional hemisférica, donde el hemisferio izquierdo podría estar más involucrado en la codificación categórica y el derecho en la precisión sensorial del tono.

Cabe añadir que las personas con OA no solo activan regiones sensoriales de la corteza auditiva primaria, sino también áreas prefrontales y frontotemporales relacionadas con la atención, la planificación y la integración de memoria auditiva a largo plazo (Bermudez et al., 2009). Esto indica que la habilidad no se basa únicamente en una percepción sensorial refinada, sino que incluye procesos cognitivos de orden superior que consolidan asociaciones estables entre tonos y etiquetas verbales o simbólicas.

La evidencia sugiere, además, que la percepción categórica de tonos y la memoria tonal precisa son características fundamentales del OA, y que ambas participan de forma complementaria en la identificación auditiva. No se trata, por tanto, de procesos mutuamente excluyentes, sino de mecanismos integrados que operan sobre representaciones auditivas internalizadas (Schulze et al., 2013). En respaldo de ello, distintos estudios han demostrado que los músicos con OA presentan una percepción más categórica y estable de la altura sonora en comparación con sus pares sin esta habilidad, lo que refleja una mayor automatización de la codificación tonal (Bermudez y Zatorre, 2009; Schulze et al., 2009).

Desde una perspectiva bioquímica, se ha identificado que los individuos con OA poseen niveles reducidos de GABA (ácido gamma-aminobutírico) en el giro temporal superior, con predominancia en el hemisferio izquierdo. Esta reducción implica una menor inhibición sináptica, lo que conlleva un incremento en la excitabilidad neuronal y en la plasticidad cortical de las áreas auditivas. Según Maeshima et al. (2018), dicho desequilibrio podría favorecer la formación de asociaciones rápidas y duraderas entre frecuencias sonoras específicas y sus correspondientes etiquetas categóricas (por ejemplo, “Do”, “La”, “Fa♯”), proceso que constituye parte de la comprensión esencial del OA.

En conjunto, toda esta evidencia converge en la idea de que el oído absoluto no constituye una habilidad completamente fija o inmutable, sino que las representaciones tonales internas presentan cierto grado de variabilidad o inestabilidad. Dicho fenómeno estaría influido por aspectos como la cultura musical, la exposición temprana a sistemas tonales determinados, la familiaridad

con ciertos registros de frecuencia y las condiciones contextuales del entorno auditivo (Hedger et al., 2013; McLachlan et al., 2013).

A nivel cognitivo, se ha propuesto un modelo de dos componentes: etiquetado de tono (*pitch labeling*) y memoria de tono (*pitch memory*). El primero, el etiquetado de tono, o *pitch labeling*, se considera un componente esencial en la manifestación del OA. Desde los estudios iniciales, los mecanismos de etiquetado del tono se han interpretado como la asociación entre un tono específico y una etiqueta interna, capaz de activar de manera significativa la memoria asociativa implícita. Este proceso se concibe como automático y altamente eficiente en los individuos con OA. Mediante estudios de neuroimagen funcional utilizando tomografía por emisión de positrones, se evidenció un incremento del flujo sanguíneo cerebral en la corteza prefrontal dorsolateral de músicos con OA (Zatorre et al., 1998). Posteriormente, se han reportado asociaciones entre una reducción en el grosor cortical de la corteza prefrontal dorsolateral y una mayor eficiencia en la denominación de notas (Bermudez y Zatorre, 2005; Bermudez et al., 2009). Cabe destacar que la corteza prefrontal dorsolateral ha sido vinculada previamente con la memoria asociativa (Petrides et al., 1993), lo que respalda la hipótesis de que el OA podría implicar un proceso de etiquetado de tono basado en dicha región prefrontal.

No obstante, investigaciones más recientes utilizando mediciones de oxigenación cerebral no han replicado esta relación entre la corteza prefrontal dorsolateral y la asociación de etiquetas tonales (Leipold et al., 2019a). De igual forma, estudios con electroencefalografía han mostrado resultados contradictorios: algunos

sugieren la participación de un componente verbal en el etiquetado de tonos (Itoh et al., 2005), mientras que otros, al intentar replicar dichos hallazgos, no encuentran evidencia consistente de tal asociación (Leipold et al., 2019b). Asimismo, una réplica del estudio de Elmer et al. (2015) no logró confirmar una conectividad temporo-frontal izquierda aumentada en individuos con OA (Greber et al., 2020).

Por otra parte, se han identificado dos regiones clave, la corteza auditiva y la corteza prefrontal dorsolateral, ambas con una mayor interconectividad funcional en personas con OA (Elmer et al., 2015). Además, se ha documentado una conectividad incrementada en áreas cognitivas de orden superior, como la circunvolución frontal media anterior izquierda, el surco intraparietal izquierdo y el lóbulo parietal derecho (Brauchli et al., 2019). De manera complementaria, las configuraciones de fibras del fascículo longitudinal superior se han descrito como más complejas en músicos con OA, permitiendo conexiones de materia blanca más robustas entre la corteza temporal y la corteza frontal, aspecto relevante también para las funciones lingüísticas (Oechslin et al., 2010). Igualmente, se ha informado una conectividad local mejorada en el lóbulo temporal (Loui et al., 2011) y, en contraste, una menor interconectividad global en músicos con OA (Jäncke et al., 2012).

En la actualidad, la investigación se ha orientado hacia una evaluación más precisa de las vías de conectividad asociadas al OA. Por ejemplo, diversos estudios (Kim y Knösche, 2016, 2017a, 2017b; Leipold et al., 2019c) proponen que las vías auditivas ventrales desempeñan un papel relevante tanto en los

procesos perceptivos como en el etiquetado tonal, implicando proyecciones del lóbulo temporal hacia la circunvolución frontal inferior. Estos hallazgos coinciden parcialmente, aunque contrastan, con los resultados de Elmer et al. (2015) y Oechslin et al. (2010), quienes apoyan una conexión dorsal entre las regiones temporales y frontales como base del OA. En esta misma línea, la aplicación de estimulación catódica sobre la corteza prefrontal dorsolateral izquierda ha demostrado interferir de forma automática con el proceso de etiquetado de tonos en individuos con OA, lo cual refuerza la idea de que dicha región media causalmente este mecanismo (Rogenmoser et al., 2021).

El segundo componente es la memoria de tono o *pitch memory.* Este proceso parece estar respaldado principalmente por los mecanismos de la memoria explícita, que permiten recuperar conscientemente experiencias auditivas almacenadas. Diversas investigaciones han evidenciado que incluso las personas sin OA pueden demostrar una forma funcional de memoria de tono, como ocurre al reproducir canciones de memoria con una precisión tonal destacable (Jakubowski y Müllensiefen, 2013), o al comparar y reconocer bandas sonoras previamente escuchadas (Schellenberg y Trehub, 2003). Sin embargo, a pesar de esta capacidad compartida, tanto en individuos con OA como en aquellos sin OA, el procesamiento auditivo subyacente parece diferir de manera significativa, incluso cuando los no OA muestran niveles de desempeño similares (Kim y Knösche, 2017a).

Los resultados actuales sugieren que la diferencia principal entre ambos grupos radicaría en los procesos cognitivos asociados a la etapa final de identificación del tono, más que en las fases iniciales de percepción auditiva (Leipold et al., 2019d).

Esto implica que el OA podría involucrar un procesamiento más eficiente o automatizado en el reconocimiento consciente de la altura tonal. No obstante, en cuanto a los correlatos neurofisiológicos de las personas con y sin OA, aún no existe un consenso claro dentro de la literatura científica, debido a que diferentes estudios han reportado resultados contradictorios (Leipold et al., 2019b), e incluso la activación de regiones cerebrales similares en ambos grupos (Wu et al., 2008), lo que sugiere una compleja interacción entre factores perceptivos, cognitivos y de entrenamiento musical.

3.4. Evaluación y clasificación del oído absoluto

La evaluación de OA es una fase que usualmente se realiza antes del registro de EEG. Este proceso tiene como función evaluar en los participantes de los estudios la capacidad de nombrar la altura de un tono sin referencia externa. El procedimiento básico presenta una serie de tonos aislados (sinusoidales o de instrumentos), en orden aleatorio, cubriendo varias octavas. Tras cada tono, la persona identifica su clase (do, re, mi...) y a veces la octava. Suele haber una fase de práctica con retroalimentación y otra de prueba sin ella, que es la que se puntúa, según el paradigma y condiciones establecidas por el estudio. A su vez, estas evaluaciones suelen darse en contexto controlados de laboratorio.

Para comprender la habilidad de OA es necesario considerar su diversidad y los distintos espectros de procesamiento tonal. Tradicionalmente se ha clasificado de manera dicotómica (con o sin OA), pero esta aproximación discreta excluye niveles intermedios; la evidencia respalda que el OA se comporta más como un rasgo continuo (Hedger et al., 2020; Germano et al., 2021).

Por su relación con lenguajes tonales, se ha propuesto que el OA es más frecuente en hablantes de lenguas tonales, como mandarín, cantonés, tailandés o vietnamita (Deutsch, 2002, 2006; Deutsch et al., 2004, 2006, 2009). En estudiantes asiáticos se observa mayor probabilidad de OA (Bairnsfather et al., 2025) y en instituciones musicales de Estados Unidos se ha encontrado mayor presencia en chinos y coreanos que en caucásicos (Gregersen et al., 2001). Sin embargo, también participan factores como la experiencia musical y la memoria de trabajo (Hedger y Nusbaum, 2018), por lo que las diferencias étnicas se entrelazan con habilidades específicas en el desarrollo del OA.

Respecto a la naturaleza del estímulo, la forma de onda y el timbre influyen en la identificación de tono. El rendimiento de los poseedores de OA disminuye con tonos sinusoidales puros frente a sonidos complejos naturales (Gruhn et al., 2018), lo que sugiere preferencias según timbre (Vanzella y Schellenberg, 2010). Además, quienes tienen OA confían en su escala interna más que en comparaciones externas (Mito, 2003) y suelen mostrar tiempos de reacción mayores en tareas de melodías transpuestas, indicando un menor uso del oído relativo (Van Hedger et al., 2023). También se han descrito preferencias por el instrumento principal, asociadas a un oído absoluto específico del instrumento (Reymore y Hansen, 2020), y subtipos como el piano absoluto, donde solo se identifican con precisión los tonos de piano (Levitin y Rogers, 2005).

En cuanto al rendimiento, persisten diferencias en los criterios de clasificación de OA (Veloso y Feitosa, 2013). Se ha descrito el OA genuino, caracterizado por errores principalmente de octava o *chroma* (Bachem, 1955), a veces denominado

alto OA (Greber y Jäncke, 2020). El cuasi OA describe a personas con OA para uno o pocos tonos, con identificación menos rápida y automática, frecuente en cantantes y dependiente de un tono de referencia externo (Wilson et al., 2009), dentro de la cual se ubican quienes usan oído relativo (Deutsch, 2013). Los pseudo OA corresponden a personas sin OA o no músicos que pueden aprender a diferenciar escalas tonales (Levitin y Rogers, 2005).

Finalmente, algunos estudios omiten los errores de semitono al clasificar a un sujeto como poseedor de OA (Bermudez y Zatorre, 2009; Schlemmer, 2009). Esto muestra que la capacidad no es perfecta, pues se registran errores de semitono e incluso de octava, aunque poco frecuentes. Tales variaciones metodológicas refuerzan la necesidad de entender el OA como una habilidad gradual, con alta variabilidad individual, lo que complejiza su estudio.

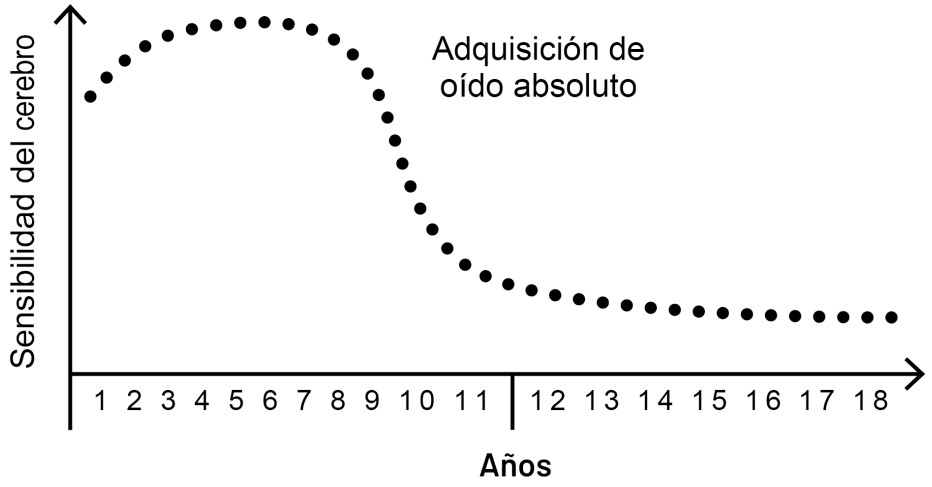
3.5. Desarrollo del oído absoluto

El desarrollo del OA depende principalmente de la exposición temprana a tonos auditivos (ver la Figura 1), destacando períodos sensibles donde el entorno musical es esencial (Deutsch, 2013). Aunque esta capacidad disminuye con la edad, no desaparece; estudios muestran que adultos pueden adquirirla mediante entrenamiento específico, con incrementos de precisión de hasta 128,1% (Wong et al., 2025). La probabilidad de desarrollar OA decae alrededor de los 6 a 7 años sin entrenamiento previo, siendo superior en quienes inician entre los 2 a 5 años (Deutsch et al., 2011; Takeuchi y Hulse, 1993).

Estos períodos sensibles (desde el nacimiento hasta los 6 años) se asemejan a la adquisición del lenguaje (Trainor, 2005), e incluyen factores como horas e

intensidad de práctica (Elmer et al., 2013). Los bebés procesan equivalencia de octava tempranamente, codificando altura (*pitch height*) y croma (*pitch chroma*) a los 3 meses (Ngan et al., 2023), con preferencias iniciales por tonos absolutos que evolucionan (Saffran y Griepentrog, 2001). Además, discriminan tonos complejos (Lau et al., 2017) y su discriminación fonémica temprana vincula exposición musical y lingüística (Gregersen et al., 2001; Kuhl, 2015; Rivera-Gaxiola et al., 2005).

Figura 1. Adquisición de Oído Absoluto dependiente del entrenamiento y exposición musical.



Nota: Adaptado de Deutsch et al., 2011.

Adultos pueden mejorar su OA mediante entrenamiento: hablantes de lenguas tonales logran 90% de precisión similar a poseedores nativos (Hedger et al., 2019; Wong et al., 2019a), mientras que en no tonales solo 2/13 mejoran significativamente (Wong et al., 2020b). El estudio del OA requiere integración

genética y ambiental (Seesjärvi et al., 2016; Zatorre, 2003), ya que la genética sola es insuficiente.

3.6 Factores genéticos del oído absoluto

Se han identificado factores genéticos heredables que influyen significativamente en la habilidad de OA, aunque la exposición temprana a la música también juega un papel crucial en su desarrollo y perfeccionamiento. Estudios relevantes, como los de Baharloo et al. (2000), Gregersen et al. (1999) y Szyfter y Witt (2020), destacan esta interacción entre herencia genética y entrenamiento ambiental, sugiriendo que el OA no surge en aislamiento, sino como resultado de una predisposición innata potenciada por práctica musical intensiva desde edades tempranas, idealmente antes de los 7 años.

Un estudio clave de ligamiento genómico completo analizó 73 familias con miembros poseedores de OA, utilizando genotipado de polimorfismos de un solo nucleótido. Los resultados revelaron un fuerte enlace en la región 8q24.21 para familias de descendencia europea y en 7q22.3 para aquellas de ascendencia del este de Asia, indicando heterogeneidad genética según el origen étnico. Este locus específico en 8q24.21 coincide con áreas implicadas en el procesamiento auditivo preciso, lo que refuerza la idea de que variantes genéticas regionales modulan la capacidad de identificar tonos sin referencia (Theusch et al., 2009).

Posteriormente, Theusch y Gitschier (2011) extendieron esta investigación mediante análisis de gemelos monocigóticos y dicigóticos, junto con sus familias. Concluyeron que el OA no sigue un patrón mendeliano simple de herencia, sino que exhibe una compleja heterogeneidad genética. Factores ambientales (como

variaciones aleatorias en el desarrollo neural) y epigenéticos, modificaciones químicas en el ADN que regulan la expresión génica sin alterar la secuencia, interactúan para determinar la manifestación del rasgo. En gemelos monocigóticos, la concordancia fue del 78.6%, mientras que en dicigóticos bajó al 45.2%, subrayando la contribución genética dominante pero no exclusiva.

Otro avance significativo proviene de Gregersen et al. (2013), quienes evaluaron a 768 individuos con OA y exploraron su vínculo con la sinestesia, una condición sensorial donde estímulos en un sentido (como sonidos) provocan percepciones involuntarias en otro (por ejemplo, colores). El estudio identificó un pico de significancia en el cromosoma 6q, proponiendo una superposición fenotípica y genética entre OA y sinestesia. Esta conexión sugiere que ambos rasgos comparten vías neurales para el procesamiento multisensorial, posiblemente mediadas por redes en la corteza auditiva y áreas parietales.

Kanduri et al. (2015) profundizaron en la expresión génica mediante perfiles transcriptómicos en sangre periférica de músicos expuestos a música clásica. Identificaron genes sobrerregulados asociados directamente al OA: FAM49B, localizado en 8q24.21; reafirmando a Theusch et al. (2009), y HDAC4 en 2q37.3. FAM49B se vincula con el desarrollo de células ciliadas cocleares, esenciales para la discriminación tonal fina, mientras que HDAC4 regula la potenciación a largo plazo sináptica, clave para la memoria auditiva. Estos genes no solo se activan en respuesta a estímulos musicales, sino que su sobreexpresión correlaciona con aptitud musical alta, como medida por pruebas como el test COMB (combinado de ritmo, intervalo y estructura).

Estos descubrimientos ilustran la arquitectura poligénica del OA: múltiples loci cromosómicos (4q22, 8q21-24, 6q, 7q22) interactúan con entrenamiento musical para el desarrollo de esta habilidad.

IV. METODOLOGÍA

En esta investigación se llevó a cabo una revisión sistemática y un metaanálisis convencional de datos individuales, considerando únicamente los estudios que cumplían con los criterios metodológicos de inclusión y exclusión previamente establecidos.

Esta revisión se formuló según el modelo PICO (Moola et al., 2015). Se incluyeron estudios que analizaron a:

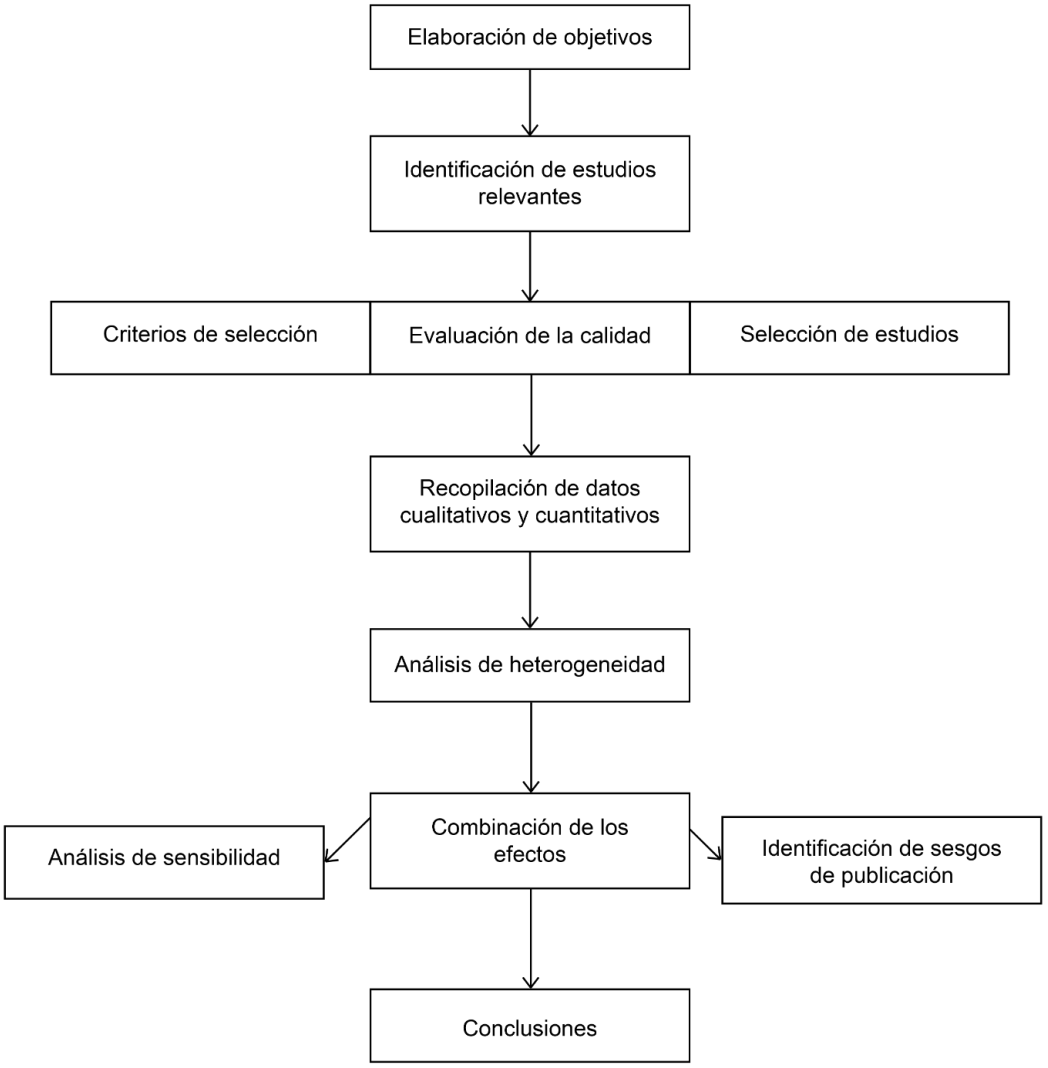
- Paciente, población o problema [P]: personas con/sin OA,
- Intervención [I]: tareas de discriminación auditiva (paradigmas en EEG),
- Comparación o control [C]: personas sin OA, y
- Resultado (outcome) [O]: latencia y amplitud del componente P300.

Esta revisión sistemática y metaanálisis fue elaborada siguiendo las directrices establecidas por la declaración PRISMA 2020 (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*) con el fin de garantizar transparencia, exhaustividad y rigor metodológico en la identificación, selección y síntesis de los estudios incluidos (Page et al., 2021).

Se utilizó el diagrama de flujo PRISMA para documentar las fases del proceso de búsqueda (Ver Figura 2): identificación, selección, elegibilidad e inclusión final de los estudios. Asimismo, se tuvo en cuenta el checklist PRISMA para reportar adecuadamente cada uno de los ítems necesarios en la elaboración del informe, incluyendo la estrategia de búsqueda, criterios de inclusión/exclusión, evaluación del riesgo de sesgo, y análisis de los resultados.

En el Anexo 1 se presenta el checklist PRISMA detallado, el cual constituye los 27 ítems distribuídos en las secciones de título, resumen estructurado, introducción, métodos, resultados y discusión, permitiendo asegurar que la presente revisión cumple con estándares internacionales de calidad metodológica y de comunicación científica.

Figura 2. Diagrama de flujo del proceso de meta-análisis.



El protocolo de esta revisión fue elaborado antes del inicio del proceso de búsqueda y análisis, y se ajustó a las recomendaciones metodológicas actuales

para revisiones sistemáticas con o sin metaanálisis, que fueron registradas en PROSPERO (www.crd.york.ac.uk/prospero/). PROSPERO es un registro internacional de protocolos de revisión sistemática, lanzados por University of York, con el objetivo de mejorar la transparencia de los informes de revisiones sistemáticas y abordar la duplicación excesiva de los mismos (Palepu et al., 2011).

4.1. Fuentes de información y estrategia de búsqueda

Se exploraron las bases de datos MEDLINE/PUBMED, ScienceDirect y Scopus. Además, se revisaron las referencias de los artículos seleccionados para identificar otros estudios relacionados con el tema (ver detalle de estrategia de búsqueda en Anexo 2).

Se incluyeron todos los estudios publicados hasta la fecha de realización de la búsqueda (01 de marzo de 2026). El año 1984 se estableció como punto de partida por ser un hito relevante en la literatura sobre el uso del potencial P300 en el estudio del OA, periodo en el cual comenzaron a difundirse métodos sistemáticos y comparables con los estándares actuales.

Se realizó una búsqueda amplia para aumentar la sensibilidad del proceso y localizar la mayor cantidad posible de estudios relacionados con la pregunta y los objetivos de la investigación. Para ello, la estrategia de búsqueda para Medline usó descriptores MeSH (*Medical Subject Headings*) y términos de palabras de texto como *Auditory perception*, *Electroencephalography*, *P300*, *absolute pitch* y otros.

Para Scopus se aplicó la estrategia de búsqueda con operadores booleanos para las palabras clave “Auditory perception”, “Absolute pitch” y “Electroencephalography”.

4.2. Criterios de elegibilidad

Los estudios fueron seleccionados de acuerdo a las siguientes características:

Criterios de inclusión:

- Participantes: hombres y/o mujeres de cualquier edad, país o etnia.
- Pruebas diagnósticas de interés: estudios con EEG.
- Idioma: trabajos publicados en cualquier idioma.
- Periodo de tiempo: Todos los estudios publicados hasta marzo del año 2026.
- Número mínimo de participantes totales: >10
- Habilidades: con o sin oídos absoluto / con o sin oído relativo.

Criterios de exclusión:

- Referencias duplicadas.
- Estudios preliminares o abstractos de congresos.
- Estudios duplicados de publicaciones previas.
- Estudios basados en datos incompletos.
- Estudios de intervención con otros métodos que no sean los mencionados.
- Estudios publicados en revistas no indizadas o no revisadas por pares.
- Estudios en los que se verifique la inclusión de participantes con algún trastorno neurológico, psiquiátrico o auditivo.

4.3. Selección de estudios y extracción de datos

Dos revisores (JGLC y AMQG) seleccionaron de manera independiente los ensayos e hicieron la extracción de datos; los desacuerdos se resolvieron por consenso, evaluando títulos y resúmenes según los objetivos de la investigación. Para la gestión y extracción se utilizó el gestor bibliográfico Zotero 5.0 (Corporation for Digital Scholarship) y se eliminaron duplicados. Los datos se trasladaron a una hoja de cálculo en Microsoft Excel diseñada ad hoc para esta revisión y adaptada al instrumento de evaluación de OA, registrando de forma sistemática y comparable todas las características y variables de cada estudio incluido. Ver las siguientes:

- Autor(es) y año
- Muestra (n) de OA
- n sin OA
- Estímulo/tarea para EEG
- Paradigma auditivo para EEG
- Electrodos
- Latencia en OA y Desviación estándar (DE)
- Amplitud en OA y DE
- Latencia en sin OA y DE
- Amplitud en sin OA y DE
- Hallazgo principal
- Estímulos para Test OA
- Media de Test OA
- Desviación estándar de OA

- Media de Test sin OA
- Desviación estándar sin OA

La información insuficiente para una variable específica se registró como no reportada y se consideró un dato faltante.

4.4. Riesgo de sesgo en los estudios

Para evaluar la calidad de los artículos incluidos en el metaanálisis se ha utilizado la herramienta de evaluación del riesgo de sesgo de la colaboración Cochrane (Higgins et al., 2011), aplicada a nivel de estudio completo. Esta herramienta contempla seis dominios metodológicos: (1) generación aleatoria de la secuencia, (2) ocultación de la asignación, (3) cegamiento de participantes y personal, (4) datos de resultados incompletos, (5) notificación selectiva de resultados y (6) otras fuentes de sesgo.

La información relevante para cada dominio fue extraída de forma independiente por dos evaluadores, permitiendo clasificar cada ítem como de bajo riesgo, alto riesgo o riesgo poco claro. Las discrepancias se resolvieron por consenso o, en caso necesario, mediante la intervención de un tercer revisor.

La sistematización de los juicios se realizó mediante el RevMan Web lanzado en 2023 (https://revman.cochrane.org/info), lo cual permitió generar gráficos resumidos del riesgo de sesgo individual y global. Esta información se tuvo en cuenta al interpretar la consistencia de los hallazgos en la síntesis narrativa y, cuando correspondía, para realizar análisis de sensibilidad excluyendo los estudios con alto riesgo de sesgo.

4.5. Evaluación de la certeza de la evidencia

La certeza de los hallazgos obtenidos del metaanálisis se evaluó mediante el enfoque GRADE (Grading of Recommendations Assessment, Development and Evaluation), que considera cinco dominios: riesgo de sesgo, inconsistencia, imprecisión, indirectividad y sesgo de publicación. Para cada resultado, se asignó un nivel de certeza (alta, moderada, baja o muy baja) en función de la calidad metodológica de los estudios incluidos, el grado de heterogeneidad y la precisión de los intervalos de confianza. Esta evaluación proporciona una interpretación más sólida y transparente de los resultados del test de OA y de las medidas de P300 (Guyatt et al., 2011).

4.6. Extracción de amplitud y latencia de artículos seleccionados

Para extraer datos cuantitativos de amplitud y latencia de las ondas P300 se siguieron tres opciones secuenciales: (a) búsqueda de datos publicados en artículos, (b) contacto con autores, y (c) extracción manual de figuras de formas de onda (Jelicic Kadic et al., 2016). En el caso (c), se aplicó inspección visual, método común en EEG clínico (Hirsch & Brenner, 2010, pp. 1–5), y el método Peak Picking para identificar picos prominentes en las señales EEG, determinando amplitudes y latencias (Ouyang et al., 2017; Wada et al., 2019).

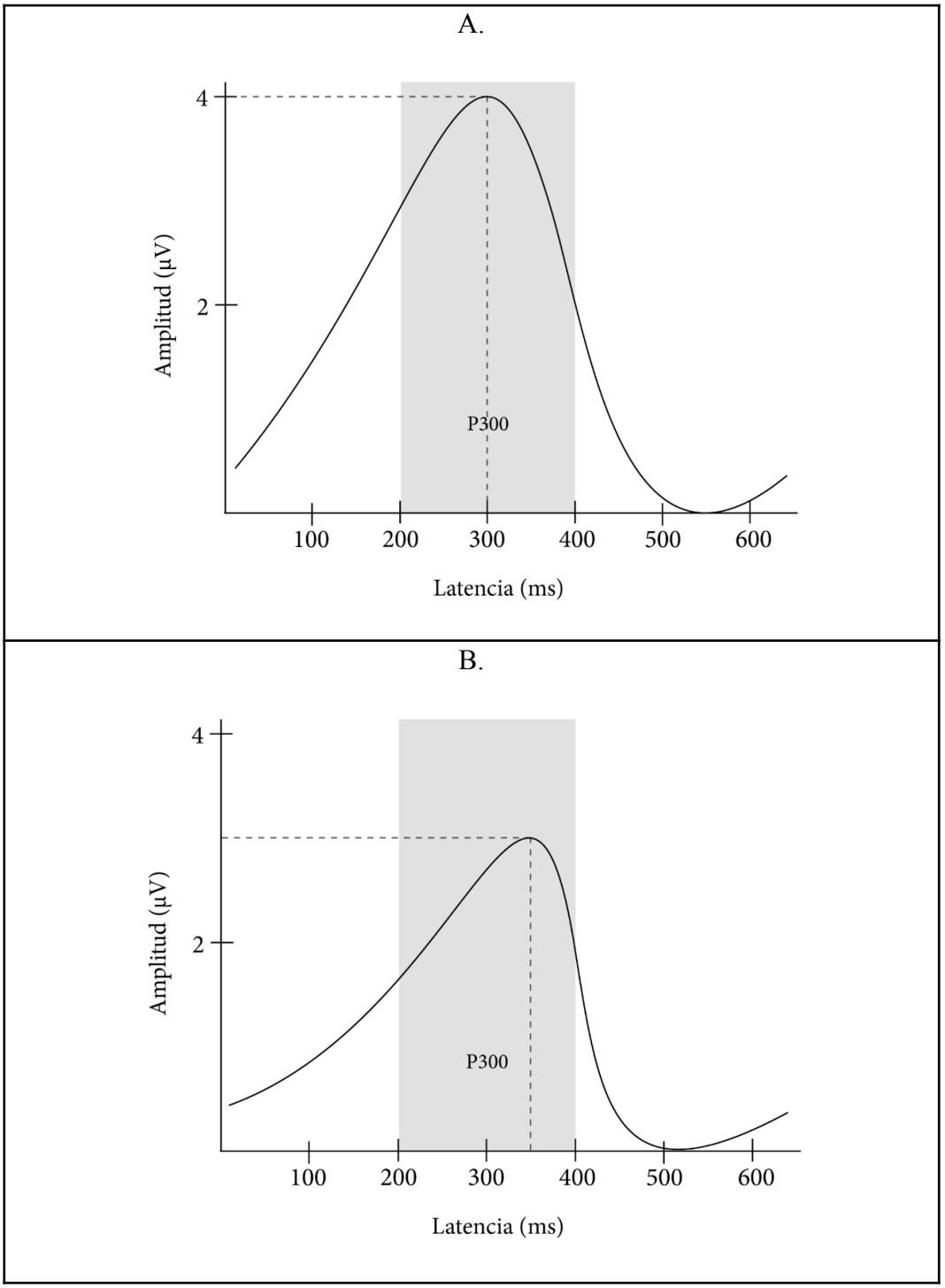
La extracción fue viable porque la mayoría de estudios publicó gráficos de las ondas P300 ya promediados y consolidados (producto de múltiples ensayos o trials), y algunos incluso reportaron resultados desagregados por participante. La extracción consideró el paradigma de estimulación de cada estudio (*oddball*, *pitch naming*, entre otros) y los electrodos específicos registrados (Pz, Cz, u otros

canales). Para cada combinación de paradigma y electrodo se analizaron múltiples gráficos (uno por grupo control, otro experimental), los cuales se cuantificaron mediante *peak picking*. Cada estudio definió su ventana temporal específica para P300 (ver Tabla 2).

La extracción con el método *peak picking* se realizó midiendo píxeles en Adobe Photoshop CC 2020 (v. 21.2.1) con conversión a unidades de tiempo (ms) y amplitud (μV) mediante regla de tres simple, considerando un margen de error de ±2 píxeles. Por ejemplo, en la Figura 3A se ve cómo el pico máximo alcanza una amplitud a la altura de 4 μV, debido a que la línea encaja en este registro. Mientras que la latencia encaja en 300 ms.

Posteriormente, se calcularon medias y desviaciones estándar por grupo de electrodos y paradigmas, agrupándolas en una gran media cuando fue necesario (Howe et al., 2014). Para estudios sin desviación estándar reportada, se utilizó el promedio de las desviaciones estándar de estudios comparables como aproximación (Furukawa et al., 2006).

Figura 3. Onda P300 simulada. La ventana P300 simulada en gris es de 200 a 400 ms.



Nota. (A) basado en inspección visual y selección de picos se determina una amplitud de 4 μV y latencia de 300 ms. (B) basado en inspección visual y

selección de picos se determina por regla de tres simple bajo el conteo de píxeles, se detecta una amplitud 3 μV y latencia de 350 ms.

4.7. Síntesis de resultados y riesgo de sesgo entre los estudios

Para las medidas P300, el análisis de la respuesta neuronal se realizó a partir de los datos de amplitud y latencia del componente, obtenidos mediante la detección de señales en los estudios seleccionados, que son medidas continuas. Cabe mencionar que ninguno de los 15 estudios realiza análisis ROC/AUC en el sentido diagnóstico-clasificatorio.

Para estimar el tamaño del efecto, se utilizó la *g* de Hedges, una medida recomendada por su carácter conservador en contextos con tamaños de muestra pequeños (Borenstein et al., 2011). Para los estudios incluidos, el cálculo del efecto se basó en las medias (amplitud media y latencia media por separado), las desviaciones estándar y el tamaño muestral de cada grupo.

Para evaluar la heterogeneidad estadística entre estudios se emplearon varias pruebas: la prueba Q de Cochran, que detecta la presencia de heterogeneidad; los índices I^2 de Higgins y H^2, que cuantifican la proporción de variabilidad atribuible a diferencias reales entre estudios; y la varianza entre estudios (τ^2 o tau-squared), que estima la dispersión de los efectos verdaderos. La interpretación del índice I^2 siguió los criterios propuestos por Higgins et al. (2003): valores entre 25% y 50% se consideraron indicativos de heterogeneidad baja, entre 50% y 75% moderada, y superiores al 75 % alta.

La elección del modelo estadístico se basó en la magnitud de la heterogeneidad. En presencia de heterogeneidad sustancial (I^2 > 50%) o cuando se asumía variabilidad entre los efectos verdaderos, se aplicó un modelo de efectos aleatorios, de acuerdo con DerSimonian y Kacker (2007). Por el contrario, si la heterogeneidad era baja y los estudios eran relativamente homogéneos, se optó por un modelo de efectos fijos. Asimismo, las magnitudes del tamaño del efecto se interpretaron según criterios convencionales: pequeño (g = 0,2–0,5), mediano (g = 0,5–0,8) y grande (g > 0,8).

Los resultados se visualizaron mediante un *forest plot*, y se crearon gráficos de embudo (*funnel plot*) para evaluar el sesgo de publicación entre los estudios. Finalmente, la significancia del efecto global se evaluó mediante una prueba Z de dos colas, considerándose un valor de p < 0,05 como estadísticamente significativo.

Por otro lado, se hará un análisis adicional sobre los resultados de los Test de OA. Aunque el Test de OA clasifica finalmente a las personas como OA o sin OA, los puntajes obtenidos corresponden a medidas continuas. Por ello, para estimar la magnitud de la diferencia entre ambos grupos, se calcularon tamaños del efecto estandarizados utilizando la g de Hedges. Esta métrica incluye una corrección por sesgo presente en la d de Cohen, lo que la hace más precisa en estudios con tamaños muestrales pequeños (Borenstein et al., 2011).

Para la evaluación de la heterogeneidad estadística entre estudios se emplearon varias pruebas: la prueba Q de Cochran, que detecta la presencia de heterogeneidad; los índices I^2 de Higgins y H^2, que cuantifican la proporción de

variabilidad atribuible a diferencias reales entre estudios; y la varianza entre estudios (τ^2 o tau-squared), que estima la dispersión de los efectos verdaderos. La interpretación del índice I^2 siguió los criterios propuestos por Higgins et al. (2003): valores entre 25% y 50% se consideraron indicativos de heterogeneidad baja, entre 5 % y 75% moderada, y superiores al 75 % alta.

La elección del modelo estadístico se basó en la magnitud de la heterogeneidad. En presencia de heterogeneidad sustancial ($I^2 > 50\%$) o cuando se asumía variabilidad entre los efectos verdaderos, se aplicó un modelo de efectos aleatorios, de acuerdo con DerSimonian y Kacker (2007). Por el contrario, si la heterogeneidad era baja y los estudios eran relativamente homogéneos, se optó por un modelo de efectos fijos. Asimismo, las magnitudes del tamaño del efecto se interpretaron según criterios convencionales: pequeño (g = 0,2–0,5), mediano (g = 0,5–0,8) y grande (g > 0,8).

La significancia del efecto global se evaluó mediante una prueba Z de dos colas, considerándose un valor de $p < 0.05$ como estadísticamente significativo.

Los resultados se representaron mediante un *forest plot,* y se elaboraron gráficos de embudo (*funnel plots*) para evaluar el sesgo de publicación entre los estudios. Una de las principales fuentes de heterogeneidad fue el efecto umbral (*threshold effect*). Cuando $p > 0.05$, no se observó efecto umbral.

Para los análisis estadísticos se empleó R (versión 4.5.1, R Core Team) junto con su entorno gráfico RStudio (versión 2026.01.1+403, desarrollado por Posit, PBC) para validaciones y visualizaciones complementarias.

Para el cálculo de tamaño de los efectos se realizó mediante la función “scalc()” del paquete *metafor* en R, especificando la medida de diferencia de medias *g* de Hedges como parámetro ‘measure=”SMD”’. Previamente se instalaron los paquetes *metafor* y *tidyverse* utilizando “install.packages()”, se fijó el directorio de trabajo en la carpeta donde se almacenaban el script y un archivo en CSV (con medias, desviación estándar y tamaño de muestra), mediante “read.csv()”, asignándolo al objeto “dat1”. Se verificó que las columnas correspondieran a los parámetros requeridos, y mediante la función “scalc()” se generó automáticamente dos columnas nuevas: Yi (tamaño de efecto) y Vi (varianza) para el metaanálisis.

Seguidamente, se ejecutó el metaanálisis de efectos aleatorios o fijos mediante la función “rma()” del paquete *metafor*, modelando Yi y Vi a partir de los datos contenidos en “dat1” y almacenando los resultados en el objeto “overall_result”. Posteriormente, se generó un *forest plot* utilizando “forest.rma(overall_result, slab=dat1$study_author, header="Study")”. Finalmente, se ejecutó la función “influence(overall_result)” para identificar estudios influyentes en la síntesis global.

Para la evaluación del sesgo de publicación, se construyó un *funnel plot* a partir del modelo de efectos aleatorios o fijos obtenido y se inspeccionó visualmente la asimetría de la distribución de efectos. Se aplicó el método *trim-and-fill* mediante la función “trimfill(overall_result)”, que estimó el número de estudios potencialmente ausentes.

4.8. Consideraciones éticas

Todos los protocolos y procedimientos fueron evaluados por aprobación de la Oficina de Regulación y Valoración Ética de la Investigación (DUICT) de la Universidad Peruana Cayetano Heredia.

V. RESULTADOS

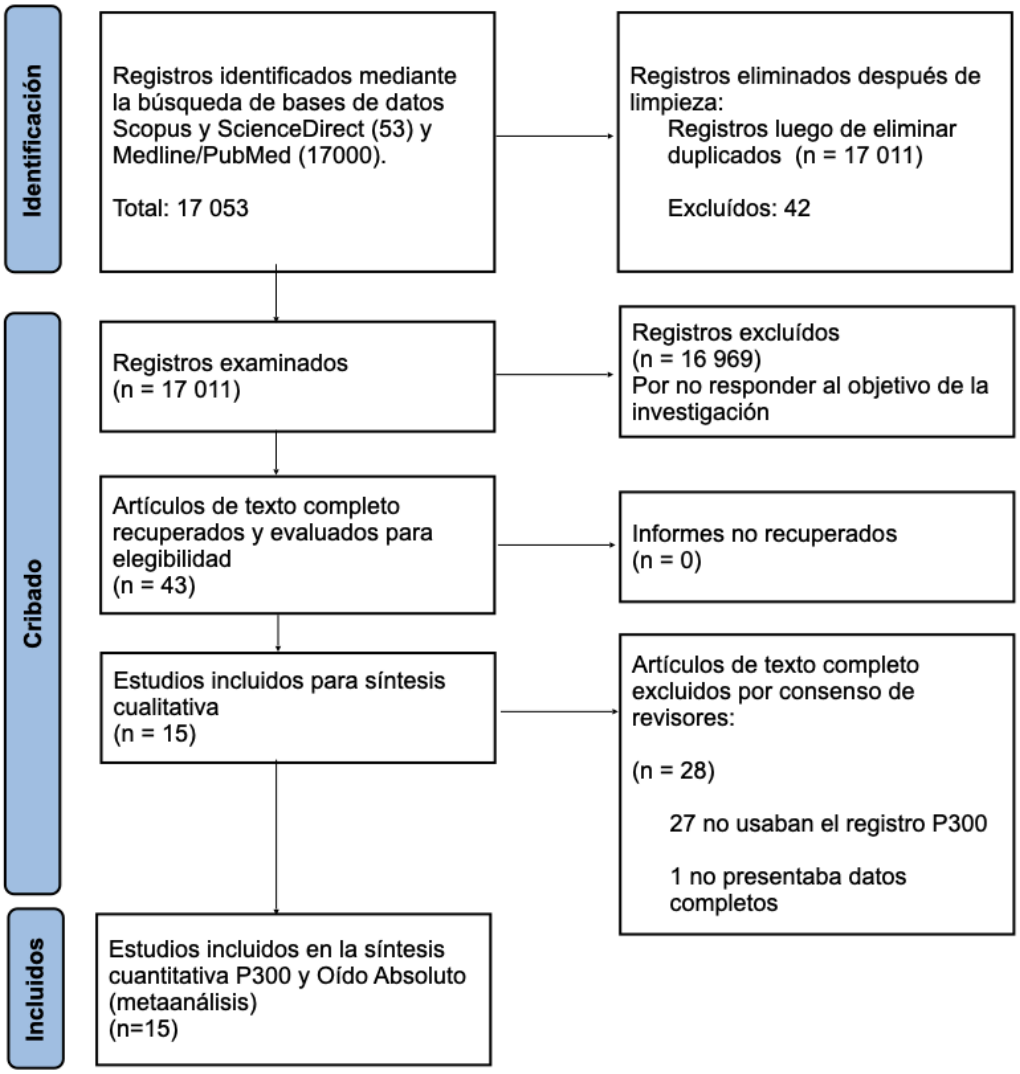
5.1. Selección de estudios

Se identificaron inicialmente 17053 referencias en bases de datos (desde 1984 al 05 de marzo de 2026). De Pubmed/Medline se encontraron 1700 referencias, y para Scopus y ScienceDirect 50, y se añadieron 3 artículos procedentes de otras fuentes. Del total se eliminaron 42 duplicados, quedando 17011 estudios únicos; además, tras el cribado de títulos y resúmenes, se excluyeron 16968 registros por no abordar específicamente el OA y el PRE.

De estos, los 16925 no se abordaba OA, sino temas relacionados a habilidades musicales o registros auditivos: generales o patologías. La mayor cantidad de referencias se daba en poblaciones psiquiátricas y del neurodesarrollo, como esquizofrenia, autismo, Alzheimer, sumaron 5664, y por lo que no pueden ser incluídas. Luego, el procesamiento del lenguaje y el habla (2,333) y potenciales N400, reconocimiento léxico y lectura, ajenos a la discriminación tonal pero sin población de OA. Le siguió la fisiología auditiva: electrococeleografía, otoacústicas y células ciliadas (1,577) más los potenciales de tronco ABR/BAEP (1,349), todos de origen subcortical, pero sin el P300. En temáticas de audiología clínica se encontraron 937 sobre hipoacusia, implante coclear, tinnitus que no pueden ser incluidos por condiciones clínicas preexistentes. Aparecen también análisis de tonos musicales sin OA (837), tales como atención auditiva (710), modelos animales (677) y registros fisiológicos preatencionales (616). Solo 225 usaban P300/oddball, pero sin comparar poseedores de oído absoluto. Por tanto, estas 16925 referencias son excluidas.

De modo que quedaron 43 referencias que pasaron a evaluación de texto completo. Los autores JGLC y AMQG revisaron íntegramente estos 43 artículos y excluyeron 25 por no utilizar el componente P300, 3 por no ser estudios experimentales y 1 por presentar datos incompletos. Los desacuerdos se resolvieron por consenso, resultando en 15 estudios que cumplieron todos los criterios de inclusión y fueron incorporados al análisis final (ver Figura 4).

Figura 4. Diagrama de flujo del proceso de selección de estudios incluidos en el análisis basado en criterio PRISMA.



5.2. Riesgo de sesgo en los estudios seleccionados

En la Figura 5 se resume la evaluación del riesgo de sesgo de los estudios incluidos, realizada mediante la herramienta Cochrane (RevMan). En general, los estudios clasificaron a los participantes con y sin OA a partir de evaluaciones previas, sin describir un método formal de asignación aleatoria, lo que podría generar sesgo en la secuencia. No obstante, este riesgo se considera *no aplicable* por tratarse de una característica estable y no de una intervención. De igual forma, la ocultación de la asignación se considera *no aplicable*, dado que el OA no puede manipularse experimentalmente.

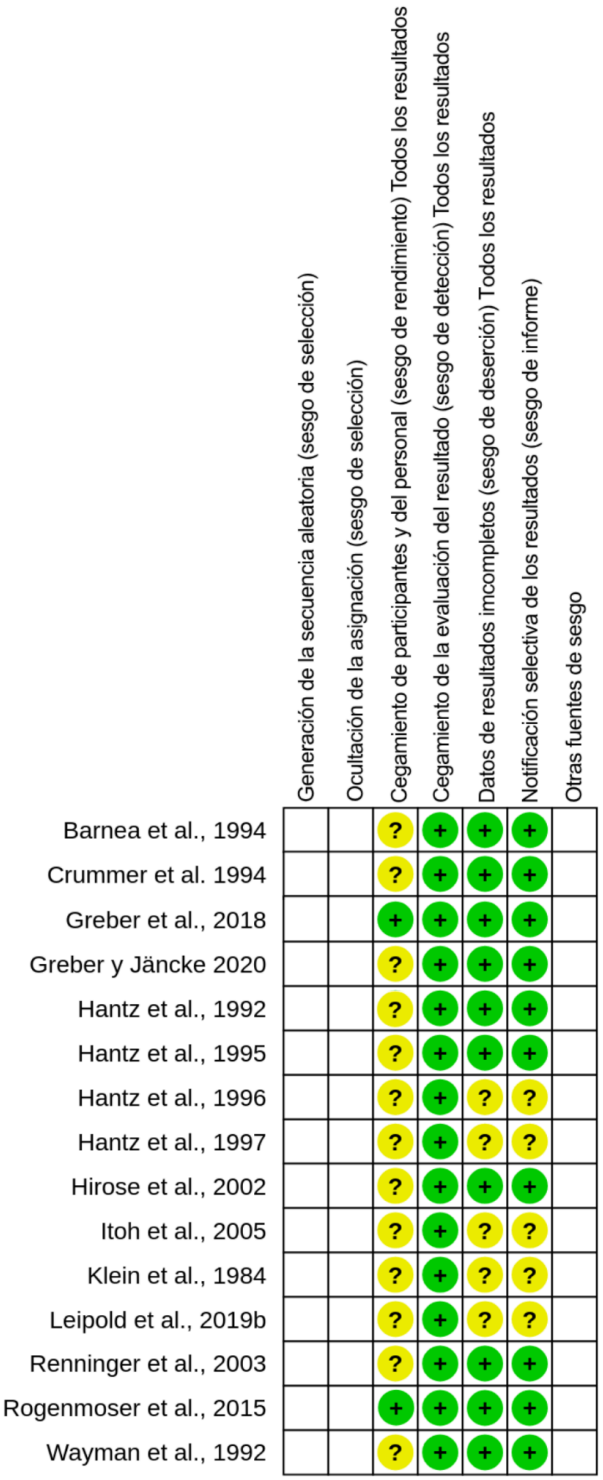
En cuanto al cegamiento de participantes y personal, se asume que los sujetos desconocen los resultados esperados (por ejemplo, la respuesta P300), lo que reduce la posibilidad de influencia consciente; sin embargo, la falta de información explícita lleva a calificar este dominio como riesgo poco claro. Solo los estudios de Greber et al., 2018 y Rogenmoser et al., 2015 tuvieron paradigmas pasivos, lo cual disminuye el riesgo de sesgo, por ello se consideran de bajo riesgo.

Por su parte, el cegamiento en la evaluación del resultado se considera de bajo riesgo, ya que los registros EEG (como el P300) son obtenidos de forma automática y objetiva.

Respecto al sesgo por datos incompletos, algunos estudios presentan omisión sistemática de resultados relevantes, por lo que se califican como *riesgo poco claro* (Hantz et al., 1996, 1997; Itoh et al., 2005; Klein et al., 1984; Leipold et al., 2019b). De forma similar, cerca del 66.67% de los estudios presenta *riesgo poco*

claro por notificación selectiva de resultados, coincidiendo con los mismos trabajos. Finalmente, en el dominio de otros sesgos, no se identificaron fuentes adicionales relevantes.

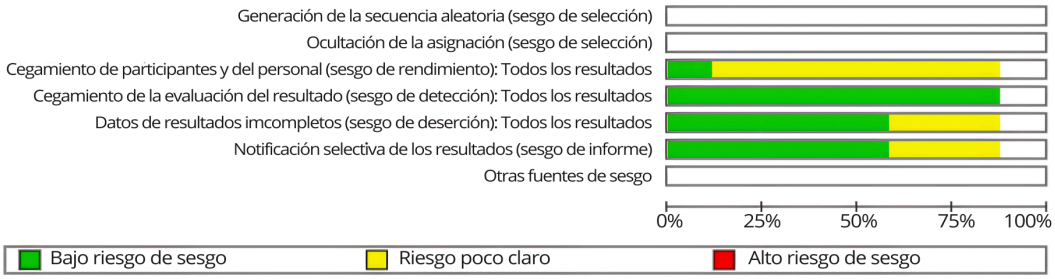
Figura 5. Evaluación del riesgo de sesgo de los estudios incluidos según la Herramienta Cochrane.



Nota: [-] alto riesgo; [+] bajo riesgo; [?] riesgo poco claro. Los cuadros en blanco son “no aplicable”.

De acuerdo al resumen de la Figura 6, se puede observar una mejor calificación de bajo riesgo predominante en la mayoría de estudios seleccionados.

Figura 6. Resumen por dominios de la evaluación de riesgos de sesgos según la herramienta Cochrane.



5.3. Certeza de la evidencia

La certeza de la evidencia fue alta para el desenlace principal de reducción de la latencia del P300, lo que indica una elevada confianza en que el efecto estimado refleja una verdadera aceleración del procesamiento auditivo en personas con OA frente a quienes no poseen esta habilidad. Para el rendimiento en la prueba de OA, la evidencia también fue alta, dado el tamaño del efecto, la consistencia de los resultados entre estudios y el bajo riesgo de sesgo metodológico. En cambio, para la amplitud del P300 la certeza se calificó como baja, debido a la heterogeneidad sustancial observada entre los estudios y a la imprecisión del intervalo de confianza, que incluye la ausencia de efecto, probablemente explicadas por diferencias en los paradigmas utilizados, los electrodos analizados y el tipo de estímulos auditivos empleados, tal como se resume en la tabla 1.

Tabla 1. Análisis GRADE de los estudios incluidos.

Desenlace	N.º de estudios (participantes)	Efecto estimado	Certeza de la evidencia (GRADE)	Justificación
Diferencias en latencia del P300 entre OA y sin OA (ms)	9 estudios	DM estandarizada (*g*) -0,42 (IC 95%: -0,63 a -0,21)	Alta ⊕⊕⊕⊕	Estudios con riesgo de sesgo bajo a moderado, con muestras bien definidas de OA y sin OA y paradigmas *oddball* comparables. Heterogeneidad moderada (I^2 = 34%), consistente con diferencias metodológicas manejables. Intervalos de confianza precisos y efecto clínicamente relevante que indica procesamiento más eficiente en OA.
Diferencias en amplitud del P300 entre OA y NOA (μV)	10 estudios	DM estandarizada (*g*) -0,43 (IC 95%: -0,86 a 0,00)	Baja ⊕⊕◯◯	Se degradó por inconsistencia: heterogeneidad sustancial (I^2 = 77%), atribuible a variaciones en electrodos, tipo de estímulo, tareas y subcomponentes P3a/P3b no diferenciados. Intervalos de confianza amplios que incluyen el nulo, lo que indica imprecisión y baja estabilidad del efecto. Aunque varios estudios muestran tendencia a amplitud reducida en OA, la dirección del efecto no es uniforme.
Rendimiento en el test de OA (puntuación continua)	13 estudios	DM estandarizada (*g*; OA vs sin OA) >1,0 (IC 95%: efecto grande; valores exactos por desenlace en tus tablas de resultados)	Alta ⊕⊕⊕⊕	Diferencias grandes y consistentes en rendimiento entre OA y sin OA en todas las comparaciones analizadas, con escasa superposición de IC. Heterogeneidad moderada atribuible a variaciones en criterios de clasificación (errores de semitono, puntos de corte), sin cambiar la dirección del efecto. Riesgo de sesgo bajo en selección de participantes y aplicación de pruebas, y ausencia de indicios relevantes de sesgo de publicación.

Nota: DM: diferencia de medias estandarizada, OA: oído absoluto; IC: intervalo de confianza; I^2: medida de heterogeneidad.

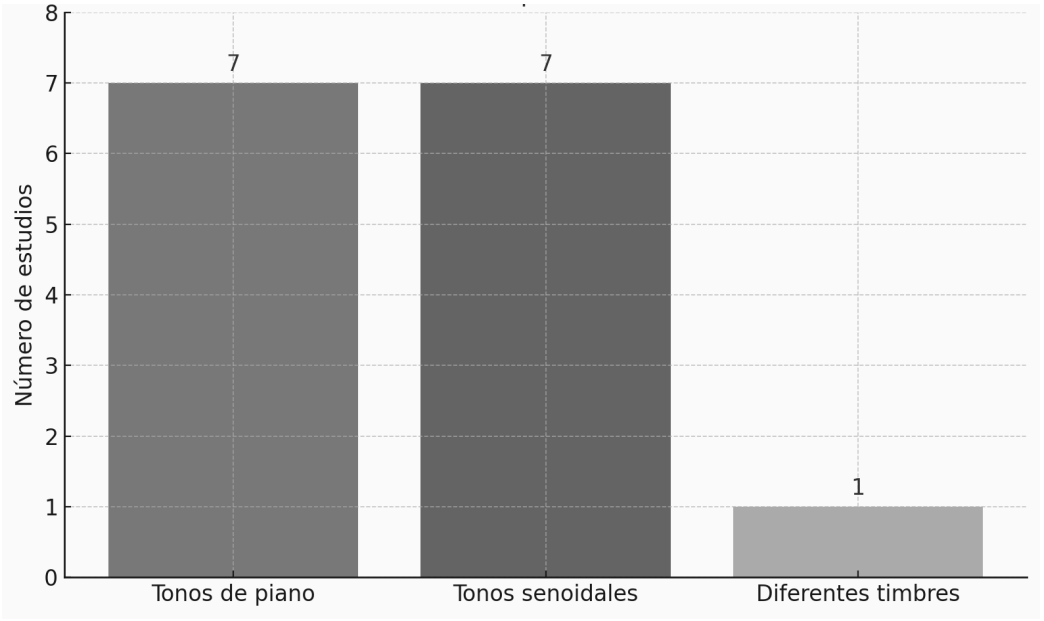
5.4. Características de los estudios

Resultados cualitativos generales

Todos los estudios incluidos (n = 15) fueron publicados entre 1984 y marzo de 2026, y sus características generales se resumen en la Tabla 2.

Los estímulos utilizados en los test de OA muestran una evolución metodológica: los primeros trabajos usaron tonos de piano de larga duración (2000 ms) en un amplio rango frecuencial (32,70–2093 Hz: Barnea et al., 1994; Crummer et al., 1994; Hantz et al., 1992, 1995, 1997; Wayman et al., 1992), mientras que Klein et al. (1984) empleó también tonos de piano, pero más breves (500 ms) y numerosos (500 ensayos). Posteriormente se introdujeron tonos senoidales acústicamente más controlados (Greber et al., 2018; Greber y Jäncke, 2020; Hirose et al., 2002; Itoh et al., 2005; Leipold et al., 2019b; Renninger et al., 2003; Rogenmoser et al., 2015), con duraciones entre 350 y 1000 ms y frecuencias generalmente entre 130 y 987 Hz, siendo Hantz et al. (1996) una excepción al utilizar distintos timbres; esta variabilidad puede influir en la consistencia de los hallazgos sobre el procesamiento auditivo en OA. Puede ver este análisis gráficamente en la Figura 7.

Figura 7. Frecuencia de uso del tipo de timbre en los estudios incluidos para evaluar el oído absoluto.

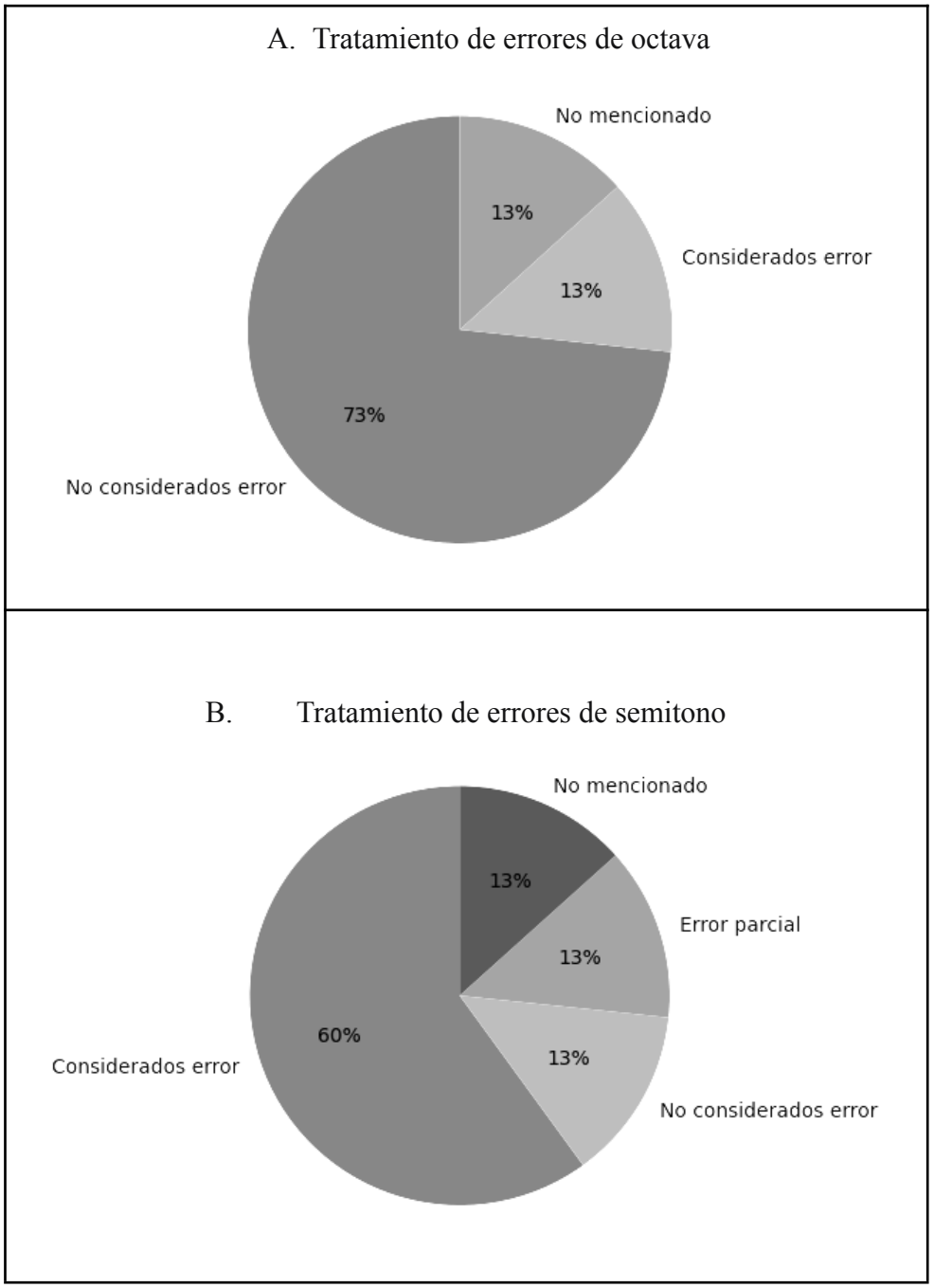


En los criterios de acierto y error del test de OA, la mayoría de estudios no consideró los errores de octava como fallos relevantes, priorizando la identificación de la clase de nota (chroma); así lo hicieron Crummer et al. (1994), Greber et al. (2018), Greber y Jäncke (2020), Hantz et al. (1992), Itoh et al. (2005), Klein et al. (1984), Leipold et al. (2019), Renninger et al. (2003), Wayman et al. (1992). En contraste, Hantz et al. (1995, 1996) aplicaron criterios más estrictos, sin aceptar errores ni de octava ni de semitono, mientras que estudios como Barnea et al. (1994) o Hirose et al. (2002) no especificaron claramente el tratamiento de estos errores.

Respecto a los errores de semitono, la tendencia fue más homogénea: la mayoría de trabajos los consideró errores plenos o parcialmente penalizados (Crummer et al., 1994; Greber et al., 2018; Greber y Jäncke, 2020; Hantz et al., 1992, 1995,

1996, 1997; Itoh et al., 2005; Leipold et al., 2019; Rogenmoser et al., 2015; Wayman et al., 1992), mientras que Renninger et al. (2003) aceptó desviaciones de hasta ±1 semitono, asumiendo un margen de variabilidad perceptual. Estas diferencias metodológicas muestran concepciones distintas sobre qué se considera un acierto en OA y subrayan la necesidad de estandarizar criterios en futuras investigaciones.

Figura 8. Distribución de estudios según el tratamiento de errores de octava (A) y de semitono (B) en el test de oído absoluto.



Nota. A. Se observa que la mayoría de estudios no penalizó los errores de octava. B. mientras que los errores de semitono fueron considerados incorrectos en más de la mitad de los casos.

En los paradigmas auditivos de EEG se emplearon desde tonos sinusoidales simples (500–1100 Hz, 60–333 ms) en los estudios iniciales (Klein et al., 1984; Wayman et al., 1992), hasta estímulos más complejos como pares melódicos (Hantz et al., 1992), notas de piano (Barnea et al., 1994; Hantz et al., 1995) o timbres instrumentales (Crummer et al., 1994), con duraciones de 333–500 ms. Estudios posteriores añadieron tareas cognitivas y estímulos más ecológicos: ruido blanco y tonos musicales (Hirose et al., 2002), tonos diatónicos (Renninger et al., 2003), etiquetado tonal (Itoh et al., 2005) y secuencias de tonos de piano o tonos puros repetidos (Greber et al., 2018; Leipold et al., 2019b; Rogenmoser et al., 2015); Greber y Jäncke (2020) utilizaron un paradigma Go/No-go con tonos afinados y desafinados para examinar también el control inhibitorio.

En total, diez estudios emplearon paradigmas tipo *oddball*, mientras que cinco utilizaron otros diseños (memoria de timbre: Hantz et al., 1996; condiciones *On-pitch*/*Sharp*: Hantz et al., 1997; tareas de *pitch-naming*: Itoh et al., 2005; Leipold et al., 2019b; y Go/No-go: Greber y Jäncke, 2020). El electrodo Pz fue el canal más reportado, aunque varios trabajos también informaron promedios en canales centrales y frontales (Greber et al., 2018; Hantz et al., 1995; Leipold et al., 2019b; Rogenmoser et al., 2015).

En la mayoría de estudios, la categorización de OA fue binaria (OA vs. sin OA); sin embargo, Itoh et al. (2005) subdividió a los sin OA en OA medio, OA bajo y no músicos, en función de las diferencias de onda (denominación–escucha) en la tarea de *pitch naming*, donde la P3b fue significativa en estos grupos, pero no en OA alto. Leipold et al. (2019b) replicó esta aproximación, clasificando la

habilidad en OA medio y OA bajo, lo que refleja una tendencia reciente hacia modelos graduales de OA.

Resultados cualitativos por estudio (P300 y OA)

En el estudio de Klein et al. (1984), los participantes se dividieron en dos grupos de músicos: con OA y sin OA. Los resultados mostraron que los sujetos con OA presentaron una amplitud significativamente menor de la componente P300 en comparación con los controles ($p < 0,05$) al responder a estímulos auditivos infrecuentes o *targets*. Esta disminución se interpretó como evidencia de que un alto desempeño en tareas de identificación tonal se asocia con una menor necesidad de actualización de la memoria de trabajo, reflejada en una P300 reducida. Además, se observó una correlación negativa entre la amplitud del P300 auditivo y el rendimiento en la prueba de OA, lo que respalda la hipótesis de que los individuos con OA acceden a representaciones tonales internas estables, sin requerir comparaciones activas con estándares recientes.

En Wayman et al. (1992), se distinguieron tres grupos de participantes: poseedores de OA, músicos sin OA y no músicos sin OA, que para determinados análisis se reagruparon en un único grupo sin oído absoluto. En el experimento de EEG se emplearon tonos sinusoidales de 500 Hz (estándar) y 1000 Hz (objetivo), con una duración de 333 ms, superior a la utilizada en Klein et al. (1984).

Los resultados mostraron que la latencia del componente P300 fue significativamente menor en el grupo con OA respecto a los no músicos ($p < 0,05$). Por el contrario, la amplitud del P300 fue significativamente más baja en el grupo OA que tanto en los músicos sin OA ($p < 0,02$) como en los no músicos (p

< 0,02), reflejando un perfil de procesamiento más eficiente o menos dependiente de la actualización de la memoria de trabajo en los poseedores de OA.

En Hantz et al. (1992), a diferencia de estudios como el de Klein et al. (1984), se emplearon tonos musicales reconocibles (piano muestreado digitalmente) en lugar de tonos sinusoidales, con una duración de 167 ms por estímulo. En este trabajo se analizaron dos tareas de discriminación de intervalos: una más sencilla, basada en el contorno (intervalo 1), y otra más exigente, que requería diferenciar entre terceras mayor y menor (intervalo 2). En el presente metaanálisis se incluyeron únicamente los datos de amplitud y latencia de la componente P3 correspondientes al intervalo 1, dado que en el intervalo 2 no se observó respuesta P300 en los sujetos con OA. Los poseedores de oído absoluto mostraron amplitudes de P3 significativamente menores que los músicos sin OA ($p < 0,001$) y los no músicos, así como latencias significativamente más cortas que los músicos sin OA ($p < 0,05$). Estas diferencias se interpretan como indicativas del uso de una estrategia basada en representaciones almacenadas en memoria a largo plazo por parte del grupo OA, lo que hace innecesaria la actualización de la memoria de trabajo que típicamente se refleja en la respuesta P3. En contraste, las diferencias entre músicos y no músicos sin OA se atribuyen principalmente al nivel de entrenamiento musical y al grado de atención invertido en la tarea.

En Barnea et al. (1994), se emplearon condiciones experimentales distintas a las de Klein et al. (1984). En particular, los estímulos auditivos presentaron una duración mayor (500 ms vs. 60 ms) y consistieron en notas musicales reales con nombres conocidos, a diferencia de los tonos sinusoidales puros utilizados por Klein, cuyas frecuencias no coincidían necesariamente con el temperamento igual.

El diseño incluyó dos tareas principales: escaneo de memoria (experimentos 1–4) y detección de blancos tipo *oddball* (experimento 5). Para este metaanálisis, se consideraron únicamente los datos del experimento 5, que corresponde al paradigma estándar de potenciales evocados auditivos. Se compararon dos grupos de músicos: con OA y sin OA. Los resultados no revelaron diferencias significativas entre ambos grupos ni en la amplitud ni en la latencia del componente P300.

En Crummer et al. (1994), se utilizaron estímulos de timbre de 333 ms muestreados de violonchelo, viola, flauta (de madera y metal) y tuba (Bb y F), para comparar músicos con OA, músicos sin OA y no músicos. Los resultados revelaron que los sujetos con OA exhibieron amplitudes de la componente P300 significativamente menores que los otros grupos en las tres series de timbres auditivos ($p < 0,05$). Respecto a la latencia de la P300, esta resultó significativamente más prolongada en los no músicos para las series de flauta y tuba en comparación con los OA ($p < 0,05$), y marginalmente mayor en los músicos sin OA para la serie de tuba ($p = 0,06$).

Estos hallazgos respaldan la utilidad de los timbres como estímulos en paradigmas de PRE para diferenciar a personas con OA. Dado que los niveles de entrenamiento musical eran equiparables entre músicos con y sin OA, se concluye que la posesión de OA constituyó el principal factor diferenciador.

En Hantz et al. (1995), se emplearon dos series de estímulos auditivos de 500 ms: una tarea de memoria de tono y una condición de control con ruido blanco (esta última no se incluyó en el metaanálisis). Los participantes se dividieron en tres

grupos: músicos con OA, músicos sin OA y no músicos. Los resultados indicaron que tanto los músicos con OA como los sin OA presentaron amplitudes de la componente P3 significativamente mayores que los no músicos. Asimismo, los no músicos mostraron latencias P3 más prolongadas, lo que evidencia un procesamiento más lento de la información auditiva relevante en la tarea de memoria de tono.

En Hantz et al. (1996), se empleó una tarea de memoria para timbres con dos series de estímulos auditivos: una con timbres complejos de instrumentos digitalizados y otra con ráfagas de ruido blanco como condición de control. Aunque se registraron componentes de la onda P300 (P3a y P3b) en sujetos con OA, el objetivo principal no fue investigar específicamente el OA, sino analizar diferencias por sexo en tareas de memoria auditiva y visual. No obstante, se observaron diferencias en las formas de onda P3 en el electrodo Pz, particularmente en la serie de timbres. Los sujetos con OA exhibieron una respuesta P3 (especialmente el componente P3b) más atenuada que los sin OA. Los autores atribuyen estas diferencias en los PRE a posibles factores fisiológicos, estrategias perceptivo-cognitivas distintas o una combinación de ambos.

En el estudio de Hantz et al. (1997) los sujetos con OA mostraron menor amplitud de la P3 (P300) en las regiones de línea media (Fz, Cz, Pz), pero mayor amplitud en regiones laterales temporoparietales, en comparación con los sin OA. Este patrón sugiere que los músicos con OA podrían estar utilizando estrategias cognitivas distintas o diferentes regiones cerebrales para procesar los estímulos. La latencia del componente P300 no mostró diferencias significativas entre los grupos. Sin embargo, se identificó una interacción significativa entre el sexo, el

tipo de estímulo (*target*/*nontarget*) y la entonación, evidenciándose una mayor variabilidad en las respuestas de las participantes femeninas.

En Hirose et al. (2002), se utilizaron tonos puros musicales reconocibles por poseedores de OA (La4 = 440 Hz y Do4 = 262 Hz), a diferencia de los tonos sin nombre empleados en Klein et al. (1984). Se compararon dos grupos: OA con educación musical temprana y sin OA sin dicha formación. El paradigma incluyó dos sesiones para evocar la componente P300; no obstante, en este metaanálisis solo se consideraron los datos de la sesión 2, ya que los autores indican que en la sesión 1 no se requería la habilidad de OA:

"*In session 1, the two auditory stimuli had different sound characteristics; white noise and pure tone. The subjects were requested only to differentiate the pure tone from the white noise, and the AP ability was not necessary*" (p. 249).

Los resultados de la sesión 2 no revelaron diferencias significativas entre grupos en amplitud (p = 0,35) ni latencia (p = 0,91) de la P300.

En Renninger et al. (2003), se emplearon tonos sinusoidales de 350 ms presentados binauralmente, evitando tonos de piano para controlar el efecto de piano absoluto. Se diseñaron dos tareas: memoria de tono (Tarea 1), que requería identificar tonos no diatónicos en una secuencia tonal y demandaba OA; y contorno melódico (Tarea 2), concebida como tarea relativa para evaluar si los sujetos podían ignorar la tonalidad cuando no era relevante:

"*This task was designed to examine the responses of AP and RP subjects in a fundamentally 'relative' task. In addition, it enabled us to examine whether subjects can ignore the relation of the tone to the tonal framework when it is irrelevant to the performance of the task*" (p. 367).

Para este metaanálisis, solo se incluyeron datos de la Tarea 1. Aunque los resultados globales no mostraron diferencias significativas en la amplitud del P300 entre grupos ($p > 0,05$), al excluir cuatro sujetos OA con P300 elevada (OA4, OA8, OA9, OA13), la amplitud restante del grupo OA fue significativamente menor que en el grupo sin OA ($p < 0,05$). Los autores atribuyen esta variabilidad a diferencias individuales en habilidades relativas dentro del grupo OA, así como a la dificultad moderada de la tarea, lo que modula el uso de estrategias absolutas o relativas según el contexto experimental.

En Itoh et al. (2005) la clasificación fue tripartita (OA alto, medio y bajo), además de un grupo no entrenado. Aunque el diseño difiere de otros estudios incluidos en el metaanálisis, se realizaron un par de experimentos: uno de denominación y escucha de tonos (*pitch naming*), y otro de tipo Stroop auditivo. En este último, los sujetos realizaron dos tareas: *pitch Task* (nombrar el tono ignorando la sílaba) y *Syllable Task* (nombrar la sílaba ignorando el tono). Dado que en el *Syllable Task* no se requería identificar el tono, este no se considera relevante para el metaanálisis ("[...] *ignoring pitch*", p. 761).

En el experimento de *pitch naming*, se observó una onda P3b significativa solo en los grupos OA medio, OA bajo y no entrenados ($p < 0,001$), mientras que estuvo ausente en el grupo OA alto. Esto sugiere un procesamiento más automático y

directo en estos últimos, consistente con un sistema de etiquetado verbal fijo característico del oído absoluto. Los resultados respaldan que la capacidad central del OA es esta asociación directa entre tono y nombre, y que su procesamiento involucra regiones auditivas de asociación, como el *planum temporale* izquierdo.

En síntesis, los hallazgos de Rogenmoser et al., (2015) respaldan la hipótesis de que el OA implica un procesamiento auditivo más eficiente, sustentado por mecanismos cognitivos adicionales, como el etiquetado de tono. Este se manifiesta en una menor amplitud de la componente P3a en comparación con los no poseedores de OA, especialmente ante desviaciones categóricas. En particular, el estímulo de 264 Hz del bloque A mostró diferencias significativas entre grupos ($p < 0{,}001$), indicando una menor demanda de recursos atencionales en el grupo OA. Además, se hallaron correlaciones entre la edad de inicio del entrenamiento musical y la respuesta P3a en OA, lo que sugiere que la experiencia musical temprana potencia este tipo de procesamiento especializado. Aunque el estudio no enfatiza diferencias en las latencias de P3a, los resultados refuerzan el rol de este componente como un marcador neurofisiológico sensible a las habilidades del OA, especialmente en contextos de escucha pasiva.

Greber et al. (2018) replicó el estudio de Rogenmoser et al. (2015) utilizando un paradigma de escucha pasiva con registro EEG. Se analizaron principalmente los bloques A y C, centrando el análisis en el componente P3a, registrado en electrodos fronto-centrales. Los autores no hallaron efectos significativos del grupo (OA vs. sin OA) en las amplitudes ni latencias del P3a. Sin embargo, observaron un efecto significativo de la condición de desviación únicamente en el

bloque A, tanto para las amplitudes ($p < 0,001$) como para las latencias ($p = 0,003$). Al no encontrarse diferencias entre los grupos, los resultados no sugieren la existencia de una ventaja cognitiva en los individuos con OA. En otras palabras, no se hallaron evidencias de que identificaran los tonos de manera automática durante la escucha pasiva. Esto no contradice el modelo de dos componentes, que postula un acceso a representaciones de tono a largo plazo, ya que el P3a se relaciona más con procesos atencionales que con memoria tonal.

Los autores argumentan que el OA no se explicaría únicamente por una discriminación auditiva refinada, y que el uso de estrategias absolutas o relativas dependería del contexto. Por ello, recomiendan evaluar el grado de automaticidad del etiquetado tonal, por ejemplo, mediante medidas como el tiempo de reacción. Además, mencionan que su muestra fue equilibrada por género, a diferencia del estudio original, en el que predominaban mujeres, lo cual podría haber influido en los resultados. Finalmente, consideran poco probable que diferencias individuales en las estrategias de escucha expliquen la ausencia del efecto de OA sobre el P3a, aunque no descartan esa posibilidad por completo.

En Leipold et al. (2019), se replicó Itoh et al. (2005) con modificaciones menores en las tareas de EEG, como tonos de 350 ms y respuestas manuales en lugar de verbales. Este fue el segundo estudio en usar una clasificación tripartita por precisión de nombramiento tonal (OA alto, medio y bajo; n = 104). Se hallaron diferencias significativas en el componente P3b; en el electrodo Pz, surgió una interacción significativa ($p = 0,02$), con mayor amplitud en OA bajo vs. OA medio ($p = 0,004$), pero sin diferencias entre OA bajo-alto ($p = 0,19$) ni OA medio-alto ($p = 0,32$). Los autores concluyen una replicación parcial, destacando

respuestas más marcadas en OA bajo, aunque algunas comparaciones no alcanzaron significación por la subdivisión en tres grupos.

En Greber y Jäncke (2020), se exploró la automaticidad del etiquetado tonal en OA y su inhibición mediante tareas Go/No-Go con tonos de piano de 500 ms, comparando músicos OA y sin OA. La amplitud P3d se calculó como diferencia Go/No-Go para aislar el control inhibitorio. No se observaron diferencias grupales en P3d para tonos afinados (p = 0,62) ni desafinados. Los procesos inhibitorios no se vieron modulados por el OA, posiblemente por activación de audición relativa en lugar de absoluta, o por sensibilidad limitada de las medidas.

La síntesis cualitativa revela que la mayoría de estudios incluidos evidencian al menos un efecto del OA en la P300 (amplitud, latencia o topografía) vs. grupos sin OA. Aunque algunos no reportaron diferencias significativas, todos usan paradigmas comparables y miden componentes PRE similares bajo condiciones análogas, justificando su integración cuantitativa en el metaanálisis.

Tabla 2. Características cualitativas de los estudios seleccionados.

N	Título	Autores y año	Estímulos para Test OA	Estímulo /tarea (EEG)	Paradigma auditivo para EEG	Filtro bajo alto	Electrodos	Señal y ventana P300	Hallazgo principal
1	People with Absolute Pitch Process Tones Without Producing a P300	Klein et al., (1984)	Tonos de piano. 500 ms. 500 ensayos. 63 Hz hasta 4186 Hz.	Tonos sinusoidales: 1000 Hz y 1100 Hz, duración 60 ms, rise-fall 10 ms	*Oddball*	-	Pz	300 – 600 ms	Se observó una reducción en la amplitud del P300 en participantes con OA, mientras que la latencia fue similar con los sin OA.
2	Effects of musical training and absolute pitch ability on event-related activity in response to sine tones.	Wayman et al. (1992)	Tonos de piano. 2000 ms. 73 ensayos. 32,70 Hz hasta 2093 Hz.	Tonos sinusoidales: 500 Hz de 333 ms.	*Oddball*	0,1 – 100 Hz	Pz	-	OA tienen menor amplitud y latencia P3, posiblemente por mayor sensibilidad auditiva cortical o estrategias neuropsicológicas distintas.
3	Effects of Musical Training and Absolute Pitch on the Neural Processing of Melodic Intervals: A P3 Event-Related Potential Study	Hantz et al. (1992)	Tonos de piano. 2000 ms. 73 ensayos. 32,70 Hz hasta 2093 Hz.	Tonos sinusoidales (intervalo 1): 160 pares entre La3 y Mib4, ascendentes de 167 ms	*Oddball*	1 – 6 Hz	Pz	-	Se obtuvo una amplitud y latencias P300 más cortas en OA en comparación con los sin OA.
4	Absolute pitch-electrophysiological evidence	Barnea et al., (1994)	Tonos de piano. 2000 ms. 73 ensayos. 32,70 Hz hasta 2093 Hz.	Tonos (experimento 5): 160 en Mi de piano de 500 ms	*Oddball*	0,1 – 120 Hz.	Pz	280 – 550 ms	El estudio no encontró diferencias significativas entre los grupos, sino un claro componente P3 para ambos grupos.
5	Neural processing of musical timbre by musicians, nonmusician, and musicians possessing absolute pitch	Crummer et al. (1994)	Tonos de piano. 2000 ms. 73 ensayos. 32,70 Hz hasta 2093 Hz.	Timbres de instrumentos: 160 en violonchelo, viola, flauta y tuba, con duración de 333 ms afinados en Do4	*Oddball*	1 – 100 Hz	Pz	270 – 750 ms	Los sujetos con OA mostraron latencias P3 más cortas y amplitudes más pequeñas, sugiriendo un procesamiento más rápido de los timbres.
6	Effects of musical training and absolute pitch on a pitch memory task:	Hantz et al. (1995)	Tonos de piano. 2000 ms. 73 ensayos. 32,70 Hz hasta 2093	Tonos de pianos (G4): 160 digitalizados de 500 ms	*Oddball*	0,3 – 130 Hz	Pz, Cz y Fz	275 – 700 ms	La hipótesis de que los sujetos con OA reducirían o eliminarían el P3, no se

N	Título	Autores y año	Estímulos para Test OA	Estímulo /tarea (EEG)	Paradigma auditivo para EEG	Filtro bajo alto	Electrodos	Señal y ventana P300	Hallazgo principal
	An event-related potential study.		Hz.						confirmó.
7	Sex differences in memory for timbre: an event-related potential study	Hantz et al. (1996)	Diferentes timbres. 250 ms	Tonos de timbre	Memoria para timbre	0,3 – 130 Hz	Pz	300 ms (P3a) / 500 - 600 ms (P3b)	Se encontró un P300 reducido en comparación con los sin OA ante estímulos auditivos.
8	Absolute pitch and sex affect event-related potential activity for a melodic interval discriminatio n task	Hantz et al. (1997)	Tonos de piano. 2000 ms. 73 ensayos. 32,70 Hz hasta 2093 Hz.	-	*On-pitch* y *Sharp*	0,3 – 130 Hz	Pz	-	Se encontró un P300 reducido en comparación con los sin OA ante estímulos auditivos.
9	People with absolute pitch process tones with producing P300	Hirose et al. (2002)	Tonos senoidales. 1000 ms. 60 ensayos. 65,5 Hz a 1048 Hz.	Tonos (sesión 1): ruido blanco (80%) y sesión 2: Do4 (80%) ambos de 200 ms	*Oddball*	0,1 – 200 Hz	Pz	-50 – 600 ms	No se encontraron diferencias significativas en las amplitudes y latencias de OA y sin OA.
10	Absolute Pitch and the P300 Component of the Event-Relate d Potential: An Exploration of Variables That May Account for Individual Differences	Renninge r et al., (2003)	Tonos senoidales. 250 ensayos. 63 Hz hasta 4186 Hz.	Tonos diatónicos (tarea 1): 240 entre Do4 y Do5 de 350 ms	*Oddball*	0 – 8 Hz	Pz	300 – 800 ms	Se encontró un P300 reducido en OA en comparación con los sin OA. Solo si se exceptúa a 4 sujetos.
11	Electrophysio logical Correlates of Absolute Pitch and Relative Pitch	Itoh et al. (2005)	Tonos senoidales. 350 ms. 90 ensayos. 262 Hz a 330 Hz.	Tonos de etiquetado	*Pitch naming*	0,05 – 100 Hz.	Pz	300 – 450 ms	Se encontró un P300 auditivo reducido en OA en comparación con los sin OA en el experimento *pitch naming*.
12	Absolute Pitch: Evidence for Early Cognitive Facilitation during	Rogenm oser et al., (2015)	Tonos senoidales. 1000 ms. 108 ensayos. 220 Hz a 880 Hz.	Tonos de piano (bloque A y C): 420 veces (440 y 264 Hz) de 200 ms	*Oddball* (Passive)	0,1 – 100 Hz	Frontal	200 – 350 ms	Se encontró respuestas reducidas P3a en OA tanto en amplitud como latencia.

N	Título	Autores y año	Estímulos para Test OA	Estímulo /tarea (EEG)	Paradigma auditivo para EEG	Filtro bajo alto	Electrodos	Señal y ventana P300	Hallazgo principal
	Passive Listening as Revealed by Reduced P3a Amplitudes								
13	Electrophysiological Correlates of Absolute Pitch in a Passive Auditory Oddball Paradigm: a Direct Replication Attempt	Greber et al. (2018)	Tonos senoidales. 500 ms. 324 ensayos. 130.81 Hz a 987.77 Hz.	Tonos de piano (bloque A y C): 420 veces (440 y 264 Hz) de 200 ms	*Oddball* (Passive)	0,1 – 100 Hz	Frontal y central	-100 – 400 ms	No se encontró diferencias entre amplitud y latencia para OA y sin OA bajo el paradigma *oddball*.
14	A reevaluation of the electrophysiological correlates of absolute pitch and relative pitch: No evidence for an absolute pitch-specific negativity.	Leipold et al. (2019b)	Tonos senoidales. 500 ms. 108 ensayos. 130,81 Hz a 987,77 Hz.	Tonos puros (naming): frecuencias de 262 Hz (Do 4), 294 Hz (Re 4) y 330 Hz (Mi 4) de 350 ms.	*Pitch naming*	0,1 – 100 Hz	Pz, Cz y Fz	300 – 450 ms	Se obtuvo una amplitud P3b más reducida en OA alto y OA medio en comparación con los OA.
15	Suppression of Pitch Labeling: No Evidence for an Impact of Absolute Pitch on Behavioral and Neurophysiological Measures of Cognitive Inhibition in an Auditory Go/NoGo Task	Greber y Jäncke (2020)	Tonos senoidales. 500 ms. 108 ensayos. 130,81 Hz a 987,77 Hz.	Tonos de piano (No-Go-mt): 400 ensayos (Do4, Re4, Mi4, Fa4 y Sol4) y 10 mal afinados y ambientales; todos con 500 ms	Go/NoGo	1 – 30 Hz	Pz	180 – 420 ms (No-Goit-Go) / 320 – 660 ms (NoGo-Gomt)	No se encontró un efecto específico del OA, lo que implica que los resultados de los NOA fueron comparables a los de los OA.

Nota: OA: oído absoluto; -: no reportado; ms: milisegundos; Hz: hertz.

5.5. Síntesis de resultados

Resultados cuantitativos de P300

En la tabla 3 se resumen los datos cuantitativos de los 15 estudios que reportaron numéricamente los picos máximos de amplitud y las latencias, ya sea en el artículo o por correspondencia con los autores. Los valores no reportados se indican explícitamente en la tabla y no se incluyeron en los metanálisis de amplitud ni de latencia (véase Anexo 3: "Resultados cuantitativos de P300").

Cuando los datos no estaban disponibles de forma numérica, se extrajeron a partir de las figuras originales mediante el método de *peak picking*, promediando los valores de los electrodos seleccionados en un único valor de media y desviación estándar para cada condición. Para sintetizar los resultados del *peak picking* y obtener una sola estimación por estudio (media combinada y desviación estándar combinada muestral), se emplearon las fórmulas tradicionales de combinación de medias y varianzas ponderadas por el tamaño muestral, tal como se detalla en la sección de metodología.

Media combinada:

$$\bar{x}_{combined} = \frac{n_1.\bar{x}_1 + n_2.\bar{x}_2}{n_1 + n_2}$$

Desviación estándar combinada muestral:

$$S_{combined} = \sqrt{\frac{(n_1-1)S_1^2 + (n_2-1)S_2^2 + \frac{n_1 n_2}{n_1+n_2}(\bar{x}_1 - \bar{x}_2)^2}{n_1 + n_2 - 1}}$$

Con lo anterior, se completa la siguiente tabla 3.

Tabla 3. Resumen de los resultados cuantitativos de las medidas P300.

N	Estudio	EL	Paradigma	Estímulo/ tarea (EEG)	n OA	LA OA	DE OA	AM OA	DE OA	n sin OA	LA sin OA	DE sin OA	AM sin OA	DE sin OA
1	Klein et al., (1984)	Pz	*Oddball*	Auditivo	7	406	19,8	3,3	1,60	7	413	24,2	7,3	1,41
2	Wayman et al. (1992)	Pz	*Oddball*	Auditivo	10	302	18	9,7	4	25	317	29,6	16,3	6,9
3	Hantz et al. (1992)	Pz	*Oddball*	Auditivo (intervalo 1)	10	369	26,67	4,9	1,93	25	417	57,78	10,1	4,75
4	Barnea et al., (1994)	Pz	*Oddball*	Auditivo (experimento 5)	7	325	16	6,9	1,13	11	346	15	5,2	01,08
5	Crummer et al. (1994)	Pz	*Oddball*	Auditivo (tuba)	10	378	20	7,4	2,5	25	435	84,97	12,6	4,8
	Crummer et al., (1994)	Pz	*Oddball*	Auditivo (flauta)	10	323	15	7,9	3	25	347	27,12	14,9	50,58
	Crummer et al., (1994)	Pz	*Oddball*	Auditivo (cuerdas)	10	324	20	8,9	2,5	25	342	29,13	16,6	18,50
6	Hantz et al. (1995)	Pz, Cz y Fz	*Oddball*	Auditivo (G4)	14	375	63,4	-	-	30	404	85,14	-	-
7	Hantz et al. (1996)	Pz	*Pitch Memory*	Auditivo (timbres)	10	-	-	-	-	20	-	-	-	-
8	Hantz et al. (1997)	Pz	*Oddball*	*On-pitch* / *sharp*	10	-	-	-	-	20	-	-	-	-
9	Hirose et al. (2002)	Pz	*Oddball*	Auditivo (sesión 2)	9	341	13,4	13,5	6,8	7	331	40,2	11,1	8,8
10	Renninger et al., (2003)	Pz	*Oddball*	Auditivo (tarea 1)	16	496	35,67	13,6	8,9	16	521	50,96	13,1	4,18
11	Itoh et al. (2005)	Pz	*Pitch naming*	Auditivo (*naming*)	11	-	-	-	-	34	-	-	-	-
12	Rogenmoser et al., (2015)	Frontal	*Oddball* (Passive)	Auditivo (bloque A y C)	16	-	-	-	0,26	10	-	-	1,6	0,5
13	Greber et al. (2018)	Frontal	*Oddball* (Passive)	Auditivo (bloque A y C)	54	298	38,7	2,9	1,90	50	297	35,5	2,8	1,71
14	Leipold et al. (2019b)	Pz, Cz y Fz	*Pitch naming*	Auditivo (*naming*)	25	-	-	-	-	79	-	-	-	-
15	Greber y Jäncke (2020)	Pz	Go/ No-Go	No-Go(mt)	54	-	-	4,3	3,65	51	-	-	3,9	3,83

Nota: EL, electrodo. LA, latencia. AM, amplitud. DE, desviación estándar.

Resultados del análisis de las latencias P300

Se realizó un meta-análisis de efectos fijos a partir de 9 estudios (incluyendo tres condiciones/tareas del estudio de Crummer et al., 1994, consideradas como comparaciones independientes), con un total de 11 comparaciones. En Hantz et al. (1995) se incluyen los registros de Pz, Cz y Fz; y Greber et al. (2018) los canales frontales como promedios agrupados (*pooled*). Para los demás estudios es Pz. Todos desde el paradigma *oddball*. Se excluyeron estudios que reportaron datos.

Los resultados mostraron que el grupo con OA presentó una latencia del componente P300 significativamente menor en comparación con el grupo sin OA, con un tamaño del efecto global moderado (g = -0,42, IC 95% [-0,63 – -0,21], p < 0,001). Esto indica una ventaja significativa del grupo OA en el procesamiento neuronal evaluado mediante la latencia del P300.

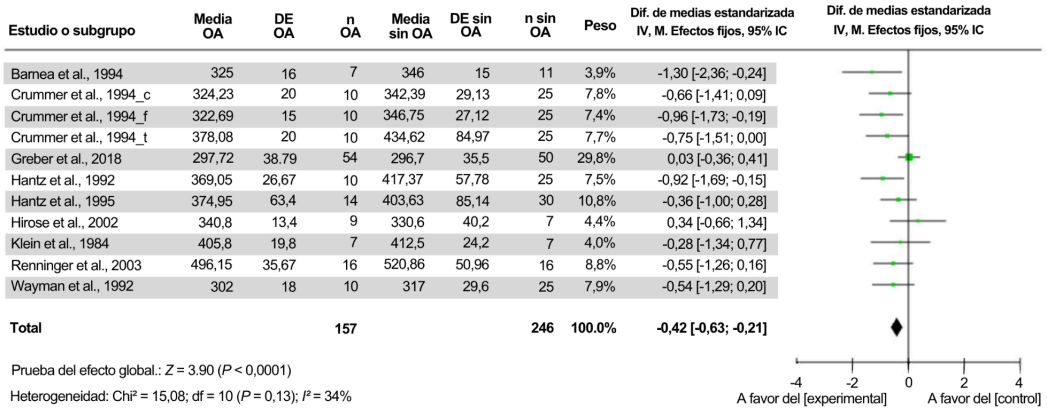
Aunque la prueba Q no alcanzó significación estadística ($Q(10)$ = 15,08 – p = 0,13), el índice de heterogeneidad I^2 fue del 34%, lo que sugiere una heterogeneidad moderada entre los estudios. Dado que el análisis presentado se basa en un modelo de efectos fijos, no se reportan los valores de τ^2 ni H^2, ya que estos índices son propios de los modelos de efectos aleatorios, donde se asume la existencia de una varianza real entre los estudios.

La significancia del efecto global se evaluó mediante una prueba Z de dos colas, obteniéndose Z = 3,90; p < 0,001. Este resultado indica que el efecto promedio difiere significativamente de cero, lo que respalda la existencia de una diferencia sistemática entre los grupos con y sin OA.

A continuación, verificamos si había valores atípicos o estudios con influencia significativa en los resultados. Solo un estudio (Hirose et al., 2002) muestra un efecto en dirección opuesta, aunque sin significancia estadística (g = 0,34 – IC 95% [-1,36 – 2,04]).

Un diagrama de bosque de todos los tamaños del efecto se muestra en la Figura 9.

Figura 9. *Forest Plot* para todos los efectos para latencia P300.

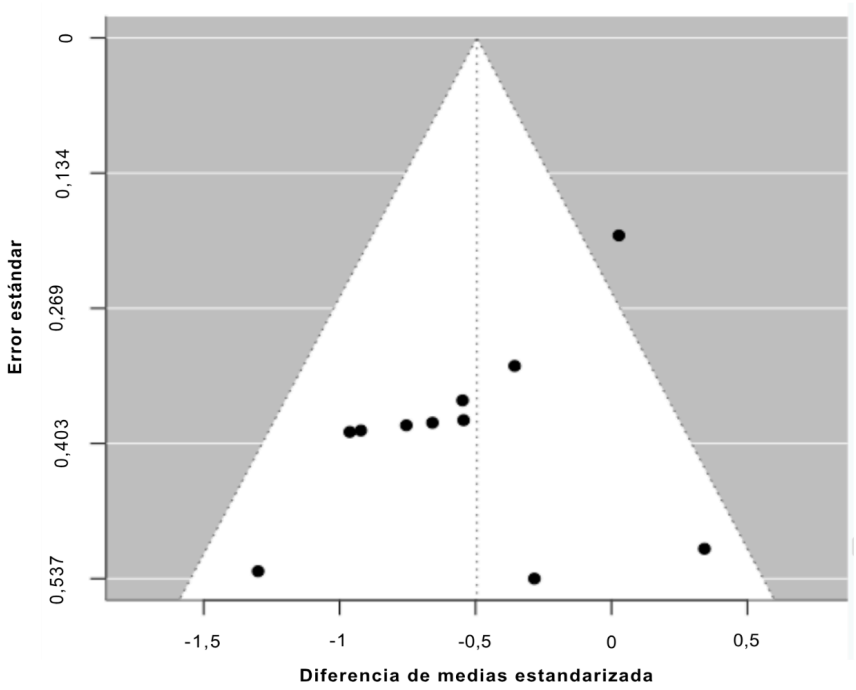


Nota: DE: desviación estándar; n: muestra; IC: intervalo de confianza; Z: valor de prueba de significancia; P: Valor p; Chi^2: Chi-cuadrado; df: grados de libertad; I^2: estadístico I-cuadrado. Condiciones c, f y t: instrumento diferente.

Sesgo de publicación de las latencias P300

Para analizar la posible presencia de sesgo de publicación, se examinó visualmente el gráfico de embudo (*funnel plot*) mostrado en la Figura 10. Aunque se aprecia una ligera asimetría, esta no parece ser marcada ni sistemática. En consecuencia, no se encontraron evidencias claras de sesgo de publicación, por lo que se considera poco probable que este factor afecte de manera significativa la validez del presente metaanálisis.

Figura 10. *Funnel plot* de los efectos observados para la latencia P300.



Resultados del análisis de las amplitudes P300

Se realizó un metaanálisis de efectos aleatorios de 10 estudios (considerando que Crummer et al., 1994 incluye tres tareas analizadas por separado). En Rogenmoser et al., (2015) y Greber et al. (2018) se usan los registros de los canales frontales como promedios agrupados (*pooled*). Para los demás estudios es Pz. Todos desde el paradigma *oddball*. Se excluyeron estudios que reportaron datos.

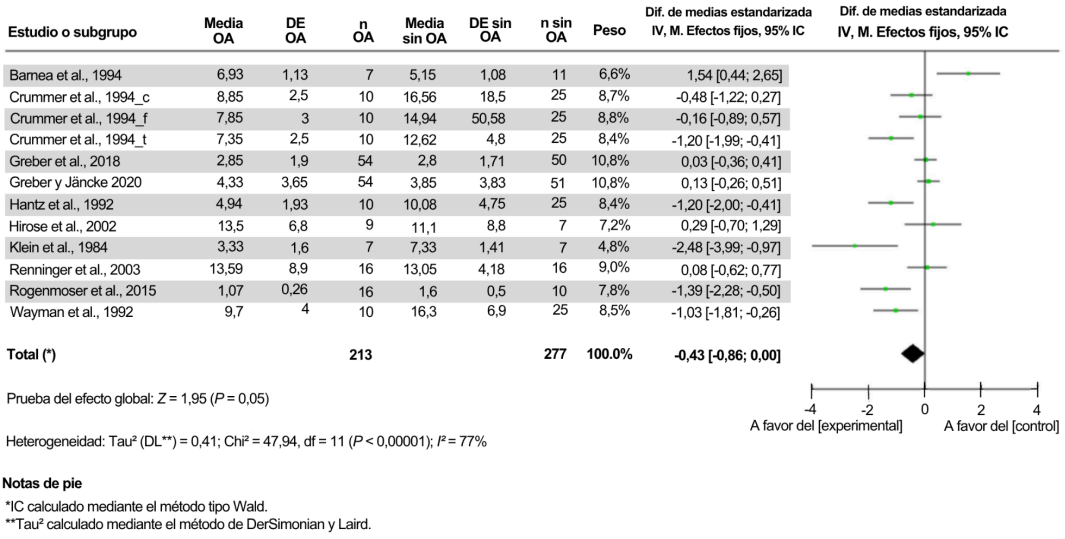
El análisis global mostró una tendencia no significativa a favor del grupo sin OA, con un tamaño del efecto promedio de g = -0,43 (IC 95%: -0,86 – 0,00). Esta diferencia no alcanzó significancia estadística (Z = 1,95, p = 0,05), por lo que no se puede concluir que existan diferencias significativas en la amplitud del P300 entre los grupos con y sin OA.

Encontramos heterogeneidad significativa en la muestra, $Q(11) = 47{,}94$ – $p < 0{,}001$, e I^2 fue 77%, lo que indica que hubo heterogeneidad sustancial. Además, la varianza entre estudios fue $\tau^2 = 0{,}41$ y el índice H^2 fue 4,35 (calculado como $H^2 = Q/\text{df} = 47{,}94 / 11$).

A continuación, se evaluaron posibles valores atípicos o estudios con influencia desproporcionada en los resultados. El estudio de Klein et al. (1984) presentó un tamaño del efecto particularmente extremo ($g = -2{,}48$), lo que lo señala como un posible valor atípico. No obstante, el estudio no mostró características metodológicas que justificaran su exclusión, por lo que se mantuvo en el análisis global sin modificaciones.

Un diagrama de bosque de todos los tamaños del efecto se muestra en la Figura 11.

Figura 11. *Forest Plot* para todos los efectos de amplitudes P300.

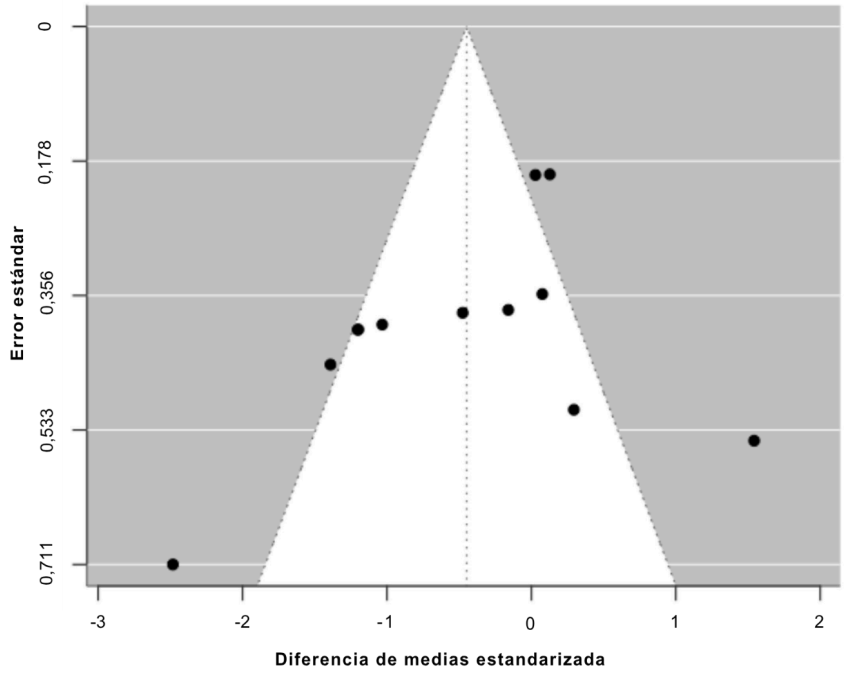


Nota: DE: desviación estándar; n: muestra; IC: intervalo de confianza; Z: valor de prueba de significancia; P: Valor p; Chi^2: Chi-cuadrado; df: grados de libertad; I^2: estadístico I-cuadrado. Condiciones c, f y t: instrumento diferente.

Sesgo de publicación de las amplitudes P300

Con el fin de evaluar si el sesgo de publicación constituía una preocupación relevante, se examinó inicialmente el gráfico de embudo (*funnel plot*) en busca de posibles asimetrías. Como se muestra en la Figura 12, el gráfico de embudo muestra una distribución asimétrica, con evidencia de sesgo de publicación. En general, concluimos que es probable que el sesgo de publicación sea una preocupación significativa en nuestra muestra, y que no nos permite generalizar los resultados.

Figura 12. *Funnel plot* de los efectos observados de amplitudes P300.



Resultados del análisis del rendimiento sobre los Test OA (análisis adicional)

Se analizaron los siguientes 13 estudios (Tabla 3), se excluyeron 2 estudios por falta de datos. Se extrajo las medias y las desviaciones estándar de resultados del

rendimiento sobre los Test OA. Si las medias de los puntajes son altas (de 0 a 100%) significan la presencia de la habilidad de OA, para que luego se analice la relación entre este resultado y el efecto OA. El resumen de selección es mostrado en la Tabla 3.

Tabla 3. Relación de estudios de OA seleccionados para el análisis.

N	Estudio	n OA	Media OA	DE OA	n sin OA	Media sin OA	DE sin OA
1	Klein et al., 1984	7	87,9	3,8	7	48,6	16,7
2	Wayman, et al., 1992	10	89,5	11,5	4	17,6	4,3
3	Hantz, et al., 1992	10	89,5	11,5	4	17,6	4,3
4	Crummer et al., 1994	10	89,5	11,5	25	17,6	4,3
5	Hantz, et al., 1995	14	83,3	2,8	30	30,2	10,7
6	Hantz, et al. 1996	10	85,4	15,0	20	20,6	14,5
7	Hantz, et al. 1997	10	85,4	15,0	20	20,6	14,5
8	Renninger et al., 2003	16	96,3	4,3	16	50,6	26,5
9	Itoh, et al., 2005	11	98,0	3,0	34	26,4	26,7
10	Rogenmoser et al., 2015	16	79,6	18,0	10	8,4	5,4
11	Greber, et al., 2018	54	76,4	19,6	50	24,3	19,0
12	Leipold, et al., 2019b	25	93,6	5,0	79	38,0	12,0
13	Greber y Jäncke, 2020	54	76,4	19,6	51	24,0	18,9

Nota: DE, desviación estándar.

Realizamos un meta-análisis de efectos aleatorios de 13 estudios (el estudio de Wayman et al. (1992) y Hantz et al. (1992) la muestra de sin OA fue de 4 para ambos) y encontramos que la intervención fue significativamente más efectiva que las condiciones de comparación ($g = 4,30 – p < 0,001$).

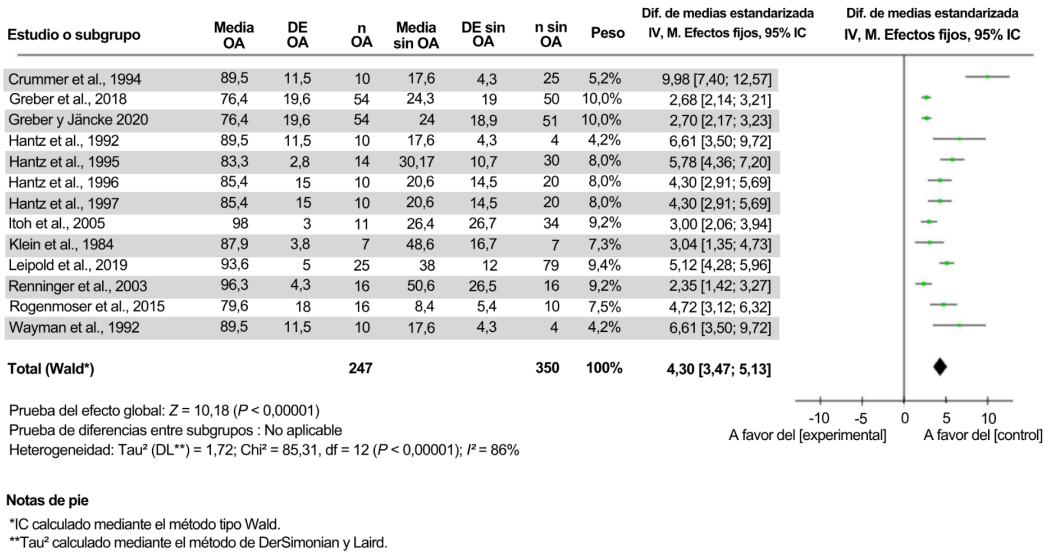
Encontramos heterogeneidad significativa en la muestra, $Q(13) = 85,31$, $p < 0,001$, e I^2 fue 86%, lo que indica que hubo heterogeneidad sustancial. Además, la varianza entre estudios fue $\tau^2 = 1,72$ y el índice H^2 fue 7,11.

La significancia estadística del efecto global se evaluó mediante una prueba *Z* de dos colas, obteniéndose un valor de $Z = 10{,}18$; $p < 0{,}001$, lo que indica un efecto promedio significativamente diferente de cero.

A continuación, verificamos si había valores atípicos o estudios con influencia significativa en los resultados. El estudio de Crummer et al., 1994 ($g = 9{,}98$) resultó ser un valor atípico. Sin embargo, el estudio no fue notablemente diferente de otros en la muestra, por lo que el tamaño del efecto no se eliminó ni se modificó.

Un diagrama de bosque de todos los tamaños del efecto se muestra en la Figura 13.

Figura 13. *Forest Plot* para todos los efectos en el rendimiento del Test OA.

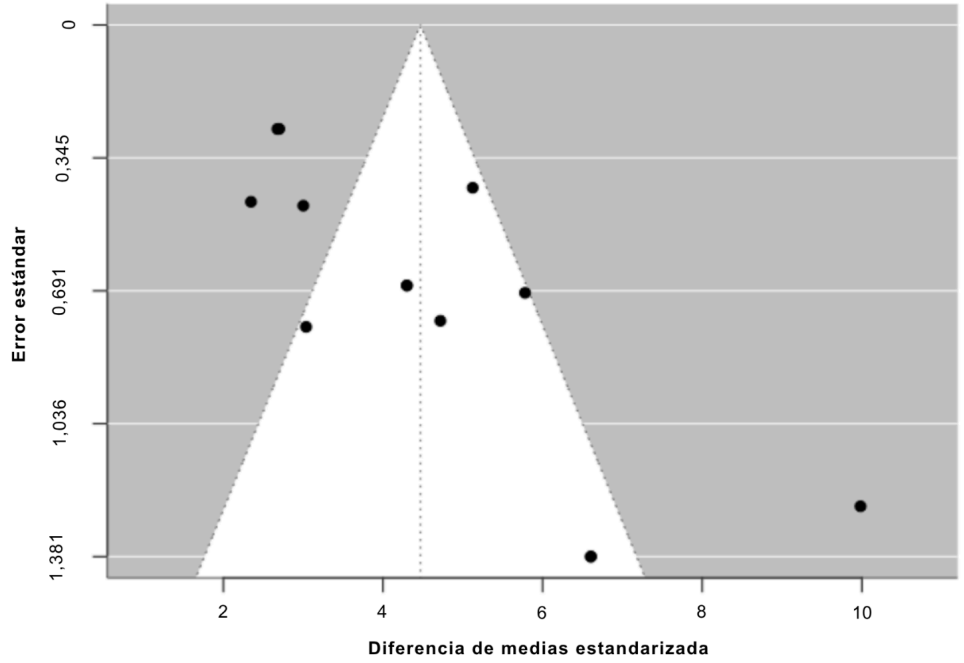


Nota: DE: desviación estándar; n: muestra; IC: intervalo de confianza; Z: valor de prueba de significancia; P: Valor p; Chi^2: Chi-cuadrado; df: grados de libertad; I^2: estadístico I-cuadrado.

Sesgo de publicación sobre los Test OA

Con el propósito de evaluar si el sesgo de publicación representaba una preocupación relevante, se examinó el gráfico de embudo (*funnel plot*) en busca de posibles asimetrías. Como se observa en la Figura 14, el gráfico muestra una ligera asimetría, aunque no lo suficientemente marcada como para indicar un sesgo sustancial.

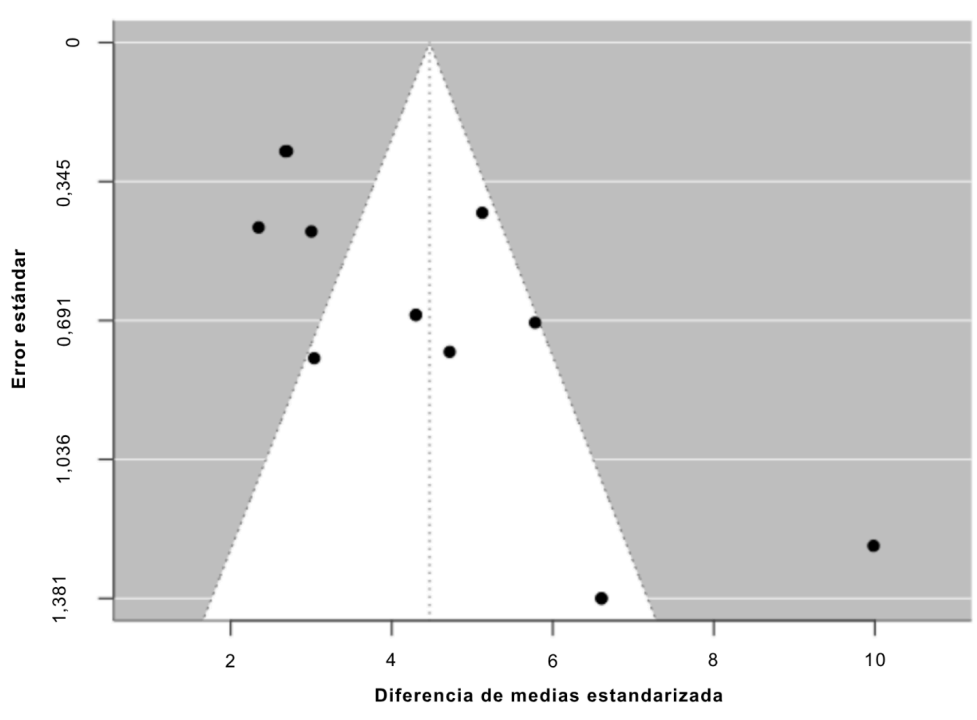
Figura 14. *Funnel plot* de los efectos observados en el rendimiento del Test OA.



A continuación, realizamos un análisis de trim y fill. El análisis mostró que faltaban dos estudios en el lado derecho del embudo (Figura 15). Sin embargo, la imputación de estos estudios no alteró significativamente el tamaño del efecto general (g = 4,4697; p < 0,001) con respecto al tamaño del efecto general encontrado en el metanálisis (g = 4,30; p < 0,001).

Posteriormente, realizamos la regresión de Egger para comprobar la asimetría del gráfico de embudo. La prueba no fue significativa, lo que sugiere que no existe una asimetría significativa en el gráfico de embudo (z = 4,23; b = 1,49; p < 0,001). Una causa potencial de heterogeneidad es el efecto umbral (*threshold effect*). No se observó evidencia significativa de este efecto, ya que el resultado del test correspondiente arrojó un valor de p > 0,05. En general, concluimos que no es probable que el sesgo de publicación sea una preocupación significativa en nuestra muestra.

Figura 15. Gráfico de embudo después de la regresión de Egger en el rendimiento del Test OA.



VI. DISCUSIÓN

Hasta donde sabemos, esta es la primera revisión sistemática y metaanálisis que analiza de forma exhaustiva la relación entre el potencial evocado P300 y la habilidad del OA, destacando la relevancia de integrar la evidencia neurofisiológica existente sobre esta población.

El 82% de las comparaciones incluidas (9 de 11) mostró una latencia del P300 más corta en el grupo con OA en comparación con los controles (Barnea et al., 1994; Crummer et al., 1994 (condiciones c, f y t); Greber y Jäncke, 2020; Hantz et al., 1992; Hantz, et al., 1995; Itoh et al., 2005; Leipold et al., 2019b; Rogenmoser et al., 2015; Wayman et al. 1992). De manera consistente, el metaanálisis reveló una diferencia significativa a favor del grupo OA, con un tamaño del efecto global moderado (g = -0,42, IC 95% [-0,63 – -0.21]; p < 0,001).

Los resultados de la presente investigación mostrarían un 58% de las comparaciones (7 de 12) que han encontrado una amplitud P300 atenuada ante la presencia de la habilidad de OA en músicos a comparación de los controles (Crummer et al., 1994 (para las 3 comparaciones c, f y t; Hantz et al., 1992; Klein et al., 1984; Wayman et al. 1992). Esta diferencia no alcanzó significancia estadística (Z = 1,95; p = 0,05), por lo que no se puede concluir que existan diferencias significativas en la amplitud del P300 entre los grupos con y sin OA.

Además, se realizó un metaanálisis adicional para los datos de performance en el Test OA. El metaanálisis de efectos aleatorios realizado sobre 13 estudios reveló un efecto global significativo a favor de la condición con OA (g = 4,30; Z = 10,18; p < 0,001). Sin embargo, se evidenció una heterogeneidad sustancial entre los

estudios incluidos ($Q(13) = 85{,}31$; $p < 0{,}001$; $I^2 = 86\%$; $\tau^2 = 1{,}72$; $H^2 = 7{,}11$), lo que sugiere una considerable variabilidad metodológica o poblacional en los resultados. Se detallan a continuación algunos aspectos que intervienen en esta variabilidad.

Un primer punto es considerar que las personas con OA pueden usar habilidades de oído relativo para ciertas situaciones. El cual invita a comprender que la habilidad del OA no es del todo automática, sino un posible conjunto de habilidades y no una categoría fija. El estudio de Shibayama et al. (2026) muestra cómo el nivel de habilidad en OA afecta las estrategias para otras tareas como la de oído relativo, revelando que la variabilidad en tests de OA cambia cómo clasificamos a las personas. Se probaron 50 estudiantes con un test de OA y una tarea de solfeo (nombrar Do, Re, etc.) tras acordes en tres contextos: C mayor (fácil), B mayor (conflicto predecible) y tonos aleatorios (muy difícil).

Quienes tenían mayor puntuación en OA acertaban más en oído relativo, pero su ventaja disminuía con contextos complejos; respondían rápido en C mayor, pero usaban transposiciones o escuchaban acordes en casos difíciles, es decir, buscaban apoyo contextual. Según esto, se agrupó a participantes en bajo, medio y alto OA: los de bajo subestimaban intervalos; los de medio/alto confundían con terceros o quintas; y los de alto hacían ajustes semitono a semitono en B mayor. Esta evidencia demuestra que la variabilidad en tests de OA genera un continuo de estrategias cognitivas, alterando clasificaciones dicotómicas (con OA, sin OA) y revelando control flexible en tareas de identificación de tonos.

Desde lo fisiológico, ese apoyo del contexto, o el efecto de actualización de contexto tonal en paradigmas *oddball*, genera una P300 prominente alrededor de 300 ms, observable también en personas con OA (Barnea et al., 1994; Greber et al., 2018; Hirose et al., 2002; Greber y Jäncke, 2020). Lo cual podría explicar, al menos parcialmente, cómo las diferentes variables metodológicas presentes en los estudios incluidos en esta investigación podrían haber dado lugar a resultados de una amplitud P300 presente solo en el 58% de comparaciones.

Esto podría explicarse, en parte, por el grado en que cada paradigma favoreció la habituación sensorial frente a la actualización del contexto tonal. En condiciones donde la repetición de estímulos estándar predomina (como en el *oddball*), cabría esperar una atenuación progresiva de la respuesta que se sumaría a la ya reportada en poseedores de OA; en cambio, los paradigmas que maximizan la infrecuencia del estímulo desviado tenderían a preservar la amplitud.

Esta modulación diferencial es coherente con lo reportado por Wagner-Altendorf et al. (2024), quienes hallaron que la *mismatch negativity* mantiene una amplitud estable a lo largo de múltiples presentaciones de desviados, lo que apunta a un mecanismo de adaptación local más que a una supresión global. Interpretado en el marco del presente análisis, este patrón sugiere que la amplitud P300 atenuada presente solo en el 58% de las comparaciones no reflejaría necesariamente la ausencia de OA, sino la heterogeneidad de las condiciones experimentales. Lo cual nos da paso a indicar sobre la necesidad de estandarización de estímulos y aspectos metodológicos para evaluar el OA.

La habituación mencionada debe interpretarse con cautela, ya que la previsibilidad y errores de predicción modulan el P300, incrementando su amplitud ante violaciones de expectativas, especialmente en músicos con tonos familiares (Valakos et al., 2020; Yanagisawa et al., 2019). Esto alinea con la teoría de actualización de contexto, donde un P300 aumentado refleja demanda de memoria de trabajo; en OA, un menor uso de esta memoria reduce la actualización constante (Barceló y Cooper, 2018; Barnea et al., 1994; Brydges y Barceló, 2018; Donchin y Coles, 1988; Gómez et al., 2019; Rogenmoser et al., 2015).

Esta interpretación se ve reforzada por el modelo de doble flujo del procesamiento auditivo propuesto por Leipold et al. (2019c), que ofrece un marco para atribuir la habituación observada a la interacción entre una ruta sensorial y una ruta cognitiva vinculada a la memoria verbal (López-Barroso et al., 2013). Bajo esta lectura, la atenuación del P300 en poseedores de OA no dependería de un único proceso, sino del acoplamiento entre ambos flujos, cuya contribución relativa variaría según las demandas de cada tarea. Ello concuerda con la dispersión de resultados de amplitud hallada en el presente metaanálisis ($I^2 = 77\%$), en la medida en que paradigmas con distinto peso sensorial y cognitivo activarían estos flujos en proporciones diferentes.

Estos planteamientos coinciden con la hipótesis del etiquetado de tono. Diversos estudios incluidos en el presente metaanálisis respaldan esta idea (Itoh et al., 2005; Leipold et al., 2019b; Rogenmoser et al., 2015; Wayman et al., 1992). No obstante, como señalan Greber et al. (2018), y en especial al etiquetado, no todos

los individuos con OA utilizan activamente, lo que sugiere una variabilidad interindividual en los procesos cognitivos subyacentes a esta habilidad.

En términos generales, se propone que en las personas con OA el etiquetado de tono tiende a activarse de manera automática y resulta difícil de inhibir frente a la exposición a un estímulo sonoro. Sin embargo, investigaciones más recientes, como la de Greber y Jäncke (2020), indican que esta automatización puede fluctuar según las demandas de la tarea, especialmente en contextos que requieren control inhibitorio, lo cual sugiere que dicho proceso no es completamente automático en todos los casos. En concordancia con las hipótesis previas y con los resultados del presente análisis, resulta pertinente considerar los procesos de habituación frente a tonos previamente reconocidos por individuos con OA, ya que podrían generar una respuesta P300 atenuada. Este efecto podría observarse, por ejemplo, ante la presentación de tonos de piano, instrumentos con los que los músicos suelen estar especialmente familiarizados.

Además, las diferencias observadas en la latencia y especialmente en la amplitud del componente P300 en personas con OA dentro de este metaanálisis podrían estar moduladas por factores como la previsibilidad del estímulo y las expectativas del participante. En consecuencia, la ausencia de una atenuación significativa del P300 en ciertos estudios podría no deberse directamente a la ausencia del OA, sino a la utilización de estrategias diferenciadas de procesamiento sensorial y cognitivo. Bajo esta perspectiva, un P300 atenuado reflejaría mecanismos alternativos de procesamiento neuronal. Por ello, se sugiere que futuras investigaciones integren enfoques electrofisiológicos y de

neuroimagen con el fin de explorar con mayor precisión las bases neurales del etiquetado de tono, una capacidad asociativa y cognitiva que parece mantenerse activa en individuos con OA, independientemente de las condiciones experimentales, a diferencia de los sujetos control.

Al analizar el entrenamiento musical en la clasificación de OA, en esta revisión sistemática y metaanálisis, se evidenció alta heterogeneidad en las muestras, especialmente respecto al nivel de formación musical, una variable que puede modular parámetros del P300 y complicar la atribución exclusiva de efectos al OA. Varios estudios analizaron únicamente músicos con y sin OA sin incluir no músicos (Barnea et al., 1994; Greber et al., 2018; Greber y Jäncke, 2020; Hantz et al., 1996; Klein et al., 1984; Leipold et al., 2019b; Renninger et al., 2003; Rogenmoser et al., 2015). Estos trabajos controlan la influencia del entrenamiento, pero limitan la interpretación sobre la especificidad del OA.

Otros estudios incorporaron también no músicos, permitiendo observar gradientes en la respuesta P300 según el nivel de entrenamiento y la posesión del OA (Crummer et al., 1994; Hantz et al., 1992, 1995; Itoh et al., 2005; Wayman et al., 1992). Aunque este enfoque amplía la comparación, incrementa la variabilidad interindividual. El entrenamiento musical, reconocido por modificar la actividad cortical (Lee et al., 2020; Seppänen et al., 2012; Wong et al., 2025), debe considerarse un factor clave, ya que las amplitudes del P300 varían entre músicos y no músicos, pero difieren frente a quienes poseen OA (Itoh et al., 2005). No obstante, los resultados fueron heterogéneos, sugiriendo que el P300 no depende exclusivamente del entrenamiento. Leipold et al. (2019b) replicaron el estudio de Itoh et al. (2005) con algunas variaciones, observando atenuación del P300 en

OA, aunque los grupos con OA medio y OA alto mostraron PRE similares. Las discrepancias podrían vincularse con diferencias muestrales, pero no explicarlas completamente.

Profundizando sobre este aspecto metodológico, la forma en que los estudios clasifican la habilidad de OA: la mayoría de los trabajos incluidos adoptaron una clasificación dicotómica tradicional, distinguiendo únicamente entre poseedores y no poseedores de OA. Si bien esta estrategia resulta práctica para los análisis comparativos, ha sido criticada por su excesiva simplificación y su limitada capacidad para reflejar la diversidad de manifestaciones de esta habilidad (Hedger et al., 2020).

La evidencia reciente sostiene que el OA se expresa como un espectro de habilidades, con categorías intermedias y variaciones individuales significativas en precisión, tiempo de respuesta, timbres preferidos y estrategias de identificación, ya sean verbales, instrumentales u otras (Bairnsfather et al., 2025; Di Stefano y Spence, 2024). De los quince estudios seleccionados, solo dos implementaron una clasificación más matizada: Itoh et al. (2005) y Leipold et al. (2019b), quienes diferenciaron entre OA alto, medio y bajo. Aunque este enfoque tripartito permite identificar gradientes funcionales dentro del grupo con OA, también introduce una segmentación muestral que puede reducir el poder estadístico, como se observó en Leipold et al. (2019b).

La pertinencia de adoptar una clasificación continua se ve respaldada por la variabilidad neurofisiológica documentada en los estudios revisados. Por ejemplo, Barnea et al. (1994) reportaron participantes con OA que no etiquetaban tonos

verbalmente, pero mostraban codificación sensorial automática; Renninger et al. (2003) hallaron individuos que recurrían a estrategias de oído relativo; y Greber et al. (2018) evidenciaron que la activación cerebral específica dependía del tipo de estímulo auditivo utilizado. En conjunto, estos hallazgos refuerzan la idea de que el OA no constituye una habilidad uniforme, sino un conjunto heterogéneo de procesos con distintos grados de precisión, automatización y estrategias cognitivas, modulados por el contexto experimental y las características individuales.

En consonancia con esta perspectiva, se recomienda que los futuros estudios adopten modelos clasificatorios dimensionales que conciban el OA como un constructo continuo, es decir, como un espectro de habilidades y no como una categoría dicotómica. Esta aproximación permitiría capturar con mayor sensibilidad la complejidad cognitiva y neurofisiológica del OA (Germano et al., 2021). De hecho, Levitin y Rogers (2005) ya habían cuestionado la noción de un OA verdaderamente absoluto o perfecto, al demostrar que incluso quienes poseen esta capacidad presentan limitaciones; por ejemplo, en la identificación del timbre, el registro o la discriminación de octavas y semitonos.

La concepción del OA como un espectro se ve, además, reforzada por la evidencia de que la habilidad para reconocer tonos puede desarrollarse incluso en la adultez. Investigaciones han usado protocolos intensivos, gamificados y progresivos, desafiando la idea de un período crítico rígido infantil. Wong et al. (2020a) muestran que adultos cantonoparlantes, tras 12 a 40 horas de entrenamiento perceptivo con retroalimentación adaptativa, aprendieron a nombrar en promedio

7 a 9,4 notas, y que un subgrupo alcanzó a etiquetar las 12 alturas cromáticas con mayor o igual a 90% de exactitud y mantenimiento esta habilidad hasta unos 3 meses, lo que indica plasticidad duradera y generalización parcial a nuevos timbres y octavas. En adultos no tonales o angloparlantes, un protocolo de 20 horas produjo mejoras robustas en precisión, junto con un aumento de la memoria de trabajo tonal, sin cambios en discriminación fina ni juicio de intervalos, sugiriendo un rol específico de la memoria tonal en la adquisición del OA (Wong et al., 2020b).

Finalmente, Wong et al. (2025) reafirman, con un entrenamiento online de aproximadamente 21 horas sobre tres octavas y tiempos de respuesta menores o iguales a 2 s, que la categorización rápida y exacta del tono (cromas) es alcanzable y generaliza parcialmente a timbres no entrenados, reforzando una concepción de OA como pericia perceptiva dependiente de la experiencia, más que como talento fijo determinado por genes y maduración temprana. Estos resultados pueden derivar en un cambio conceptual sobre la definición de OA, y de poder verla como un espectro.

Otro aspecto que evidencia la complejidad del problema es la marcada variabilidad metodológica en el estudio del componente P300 y el OA, especialmente en relación con el tipo de estímulo acústico empleado, en particular el contraste entre tonos afinados y desafinados. Esta variable resulta crítica, dado que trabajos previos han mostrado que los tonos desafinados pueden generar una desventaja específica en personas con OA, posiblemente debido a la rigidez de sus representaciones internas de tono. Por ejemplo, en el estudio de Rogenmoser et al. (2015), el uso de tonos de piano ligeramente desviados se asoció con una mayor

carga cognitiva en los poseedores de OA durante tareas de procesamiento pre-atencional. La misma manipulación fue aplicada en Greber et al. (2018) y Greber y Jäncke (2020), donde tampoco se observaron diferencias significativas en la amplitud del P300 entre individuos con OA y controles, lo que podría sugerir una activación predominante de estrategias de oído relativo.

Diversos estudios han señalado que esta habilidad, aunque ventajosa en contextos musicales normativos, puede volverse desadaptativa ante estímulos tonalmente ambiguos o desafinados. La revisión de Di Stefano y Spence (2024), por ejemplo, propone que el procesamiento automático de etiquetas tonales propio del OA puede generar conflictos perceptivos, similares a un efecto tipo Stroop, cuando el tono percibido no coincide con las expectativas internas del oyente.

De manera complementaria, Bairnsfather et al. (2025) reportan que poseedores de OA experimentan inconfort perceptual o aversión ante música en afinaciones no estándar (Por ejemplo, LA = 432 Hz), lo que influencia en su precisión en tareas de identificación cromática y compromete el rendimiento en procesamientos auditivos superiores. Estas observaciones, junto con la alta variabilidad metodológica en umbrales de precisión (20 a 100%), indican que el OA no se limita a capacidades intrínsecas, sino que depende del contexto tonal y del timbre de la tarea. Este factor es crítico para evaluar respuestas neurofisiológicas como el potencial P300 ante estímulos atípicos o desintonizados, revelando heterogeneidad en la memoria de tono a largo plazo.

Estos hallazgos son coherentes con trabajos clásicos que han mostrado que la transposición de melodías o la exposición a tonos desafinados compromete el

rendimiento de individuos con OA (Miyazaki, 1993; Miyazaki y Rakowski, 2002). Por tanto, se recomienda que futuras investigaciones controlen de manera más rigurosa el tipo de estímulo, incorporando sistemáticamente tonos afinados y desafinados como variable relevante en el estudio de las respuestas cognitivas y perceptuales vinculadas al OA.

Asimismo, la variabilidad en los criterios utilizados para clasificar el rendimiento en los test de OA constituye otra fuente importante de heterogeneidad. En el metaanálisis de la presente revisión se observó una relativa homogeneidad en los promedios de puntuación, pero acompañada de diferencias notables en los criterios de corrección. Por ejemplo, Crummer et al. (1994) y Renninger et al. (2003) aceptaron respuestas con errores de semitono, ya sea parcial o completamente, obteniendo puntuaciones medias del 89.5% y 95.63%, respectivamente, y ambos estudios reportaron atenuación de la onda P300.

En cambio, otros trabajos, como los de Greber y Jäncke (2020), Hantz et al. (1995) y Rogenmoser et al. (2015), no admitieron errores de semitono, lo que se tradujo en puntuaciones promedio más bajas (83.3%, 79.6% y 76.4%, respectivamente). Este tipo de variabilidad en los criterios de corrección se ha documentado en una revisión sistemática sobre la fenotipificación de OA, donde la consideración de errores de semitono condujo a umbrales de clasificación significativamente más bajos en comparación con los estudios que exigían respuestas sin desviaciones tonales, lo que pone en evidencia cómo la definición de correcto en tareas de discriminación tonal impacta directamente sobre las

puntuaciones medias y la comparabilidad entre estudios (Bairnsfather et al., 2025).

Una inconsistencia similar se observa en el tratamiento de los errores de octava. Mientras que estudios como Crummer et al. (1994), Greber et al. (2018) y Klein et al. (1984) los consideraron respuestas válidas, otros trabajos, como el de Leipold et al. (2019), los excluyeron de la puntuación. Sin embargo, dado que los errores de octava son frecuentes incluso entre poseedores inequívocos de OA (Deutsch, 2013), su exclusión podría conducir a clasificaciones menos representativas del fenómeno.

Esta variabilidad en la aceptación de errores en tareas de identificación de tono se relaciona directamente con la ausencia de un umbral estandarizado psicométrico para diagnosticar la posesión de OA. Estudios epidemiológicos, como el de Leite et al. (2016), han demostrado que la prevalencia de OA en cohortes de músicos varía drásticamente según el criterio de *cutoff* adoptado: umbrales conservadores (mayores o iguales a 85% de respuestas exactas) estiman una prevalencia del 4%, mientras que enfoques inclusivos basados en distribuciones binomiales (mayores o iguales a 20% correcto) elevan la cifra al 18%. Esta heterogeneidad refleja no solo sesgos metodológicos, sino también moduladores propios del neurodesarrollo, tales como la edad de inicio del entrenamiento musical (mayor prevalencia pre-púber) y la habilidad musical, evidenciada por tasas superiores en orquestas selectas, llegando a tasas clasificatorias su son inclusivas en un 40%. Tales discrepancias subrayan la necesidad de protocolos unificados.

Esta falta de consenso también es evidente en trabajos recientes y clásicos, donde los puntos de corte varían considerablemente: desde 61.25% (Usui et al., 2020), 80% (Kim y Knösche, 2017b), 90% (McKetton et al., 2019) hasta 95% (Hirose et al., 2002). En conjunto, estas observaciones subrayan la necesidad urgente de estandarizar tanto los criterios de corrección como los umbrales de clasificación del OA, con el fin de mejorar la comparabilidad entre estudios y evitar interpretaciones erróneas sobre las diferencias neurofisiológicas observadas en el componente P300.

A estas variabilidades experimentales se suma el tipo de timbre empleado, particularmente el uso del piano. Este fenómeno, descrito por Levitin y Rogers (2005), sugiere que el OA podría estar parcialmente condicionado por la experiencia musical temprana. En la misma línea, Bairnsfather et al. (2025) al revisar 160 estudios evidencian un rendimiento significativamente superior en tareas de *pitch naming* con timbres de piano (precisión media 93%, $d = 0,65$) versus tonos puros (81,4%), atribuible a mayor familiaridad al timbre y menor latencia en componentes ERP como P300 (amplitud atenuada en OA, $p < 0,01$). Siendo así, los autores recomiendan el timbre de piano como un posible *gold standard* para pruebas de OA por su validez ecológica.

En el presente estudio se encontró que sólo 6 de los 15 estudios emplearon estímulos o notas de piano en las tareas de identificación tonal (Barnea et al., 1994; Crummer et al., 1994; Hantz et al., 1992; Hantz et al., 1995; Klein et al., 1984; Wayman et al., 1992). Por ejemplo, fueron empleados en investigaciones como las de Greber et al. (2018) y Greber y Jäncke (2020), quienes combinaron

tonos de piano afinados y levemente desafinados en tareas de percepción tonal. Del mismo modo, Rogenmoser et al. (2015) utilizaron tonos de piano desviados para explorar el procesamiento pre-atencional auditivo, hallando una mayor carga cognitiva en poseedores de OA ante tonos mal sintonizados. Asimismo, Itoh et al. (2005) emplearon tonos de piano para evaluar diferencias entre grupos con distintos niveles de OA (alto, medio y bajo), describiendo diferencias en la morfología de las ondas PRE, y Leipold et al. (2019b) recurrieron también a estímulos de piano para estudiar la automatización de la codificación tonal. En general, aunque los tonos de piano aportan mayor validez ecológica, su uso puede inducir respuestas afectivas o estratégicas diferenciadas, especialmente en individuos con OA, influyendo tanto en la amplitud como en la latencia del P300 y debiendo, por ello, considerarse cuidadosamente en el diseño experimental.

Por otro lado, la complejidad de los paradigmas en el registro de P300 en EEG depende en gran medida de la capacidad para identificar adecuadamente los estímulos tonales en el tiempo, lo que determina su eficiencia y validez experimental. Klein et al. (1984) emplearon tonos extremadamente breves de 60 ms, cuya recognoscibilidad es posible, aunque requiere intensidades elevadas para compensar su fugacidad sensorial. De hecho, se ha documentado que estímulos inferiores a 200 ms comprometen el rendimiento en pruebas auditivas discriminativas, demandando mayor procesamiento cognitivo para su categorización (Salisbury et al., 2002). En los estudios revisados (excluyendo Klein et al., 1984), solo uno utilizó 167 ms, mientras que la mayoría optó por duraciones superiores a 200 ms, hasta 500 ms, facilitando así el reconocimiento eficiente.

Esta variabilidad temporal influye directamente en la latencia y amplitud del P300, como evidencian investigaciones. Kalaiah y Shastri (2016) exploraron potenciales evocados corticales auditivos en un paradigma *oddball* con tonos puros de 400 ms y tonos complejos dinámicos que cambian frecuencia a los 200 ms desde el inicio. Se encontró que el P300 surgió aproximadamente a los 340 ms post-estímulo, reflejando detección rápida; sin embargo, en tonos con cambio a 200 ms, se generó un complejo de cambio acústico seguido de un P300, prolongado por el tiempo adicional requerido para procesar y clasificar la desviación. Estos hallazgos subrayan cómo cambios tardíos o duraciones parciales cortas (menor a 200 ms) incrementan la latencia del P300, alineándose con la necesidad de estímulos prolongados para optimizar la discriminación tonal en EEG.

Complementariamente, Salisbury et al. (2002) demostraron que tonos de 50 ms en un *oddball* exhiben latencia de P300 aumentada en presencia de ruido blanco continuo. Este retraso indica mayor profundidad de procesamiento atencional para extraer el tono del fondo, sin afectar amplitud ni topografía. Así, estímulos breves exigen recursos compensatorios, corroborando que duraciones menores de 200 ms comprometen la eficiencia, especialmente en entornos complejos, y justifican paradigmas con tonos mayores a 200 ms para P300 robusto y fiable. Estas evidencias (Kalaiah y Shastri, 2016; Salisbury et al., 2002) enfatizan que las condiciones temporales modulan la viabilidad de paradigmas EEG y P300.

En relación con la distribución de electrodos utilizada para el registro del componente P300.. Es importante señalar que estudios recientes han incorporado configuraciones multicanal que incluyen electrodos como PO8, PO7, POz y CPz,

los cuales han mostrado ser igualmente efectivos para la detección del componente P300 (McCann et al., 2015; Speier et al., 2015).

Coherentemente, en la presente investigación 13 de los 15 estudios incluidos muestrearon prioritariamente al electrodo Pz, otros añadieron Fz y Cz o tomaron en cuenta promedios de regiones frontales y parietales. Lo que, es coherente con reportes anteriores para la evidencia de P300.

Los registros obtenidos mediante esta distribución de electrodos han evidenciado la presencia de una onda P300 prominente en respuesta a estímulos destacados o infrecuentes, aunque irrelevantes, lo que se ha vinculado con mecanismos atencionales de tipo *bottom-up* (Kopp et al., 2020; Richardson et al., 2011). En este sentido, los estudios incluidos en el presente metaanálisis indican que, en personas con OA, la amplitud del componente P300 tiende a ser menor en comparación con individuos sin OA; sin embargo, esta reducción no fue estadísticamente significativa (Crummer et al., 1994; Hantz et al., 1992; Hantz et al., 1996; Itoh et al., 2005; Klein et al., 1984; Leipold et al., 2019b; Rogenmoser et al., 2015; Wayman et al., 1992).

Aunque no se reportaron patrones claros de lateralización hemisférica, otros estudios sí han documentado asimetrías, destacando mayor participación del hemisferio derecho en la generación del P300 (Byczynski y D'Angiulli, 2024). Asimismo, Mugruza-Vassallo y Potter (2019), empleando el mismo paradigma con tonos de 750 Hz frente a estímulos novedosos en controles y pacientes con esquizofrenia, identificaron diferencias en la lateralización del P300, inicialmente a través de los electrodos CP5 (hemisferio izquierdo) y CP6 (derecho).

6.1. Limitaciones

El presente metaanálisis presenta varias limitaciones metodológicas derivadas de la naturaleza heterogénea y fragmentaria de los datos reportados en los estudios originales. Una de las principales dificultades fue la falta de uniformidad en la presentación de las medidas del componente P300, ya que varios artículos no reportaron directamente las medias y desviaciones estándar de amplitud y latencia, lo que obligó a realizar estimaciones indirectas. En casos como los de Crummer et al. (1994) o Klein et al. (1984), se aplicó el método de *peak picking* sobre figuras gráficas para estimar los valores faltantes, introduciendo un margen de error subjetivo que potencialmente afecta la precisión de los resultados.

Asimismo, la necesidad de combinar estadísticamente datos provenientes de diferentes subgrupos, de OA y sin OA, en estudios como Hantz et al. (1992) y Wayman et al. (1992), pudo haber diluido diferencias relevantes entre poblaciones. Dicha combinación se realizó para lograr comparaciones más homogéneas, aunque a costa de sacrificar parte de la especificidad muestral.

Otro aspecto crítico fue la inclusión selectiva de condiciones experimentales. Por ejemplo, en Hantz et al. (1995) se excluyeron estímulos como el ruido blanco por considerarse controles no musicales; aunque esta decisión incrementa la pertinencia del análisis, también limita la representación de todas las condiciones disponibles. En investigaciones recientes, como las de Greber et al. (2018) y Greber y Jäncke (2020), se utilizaron datos provenientes de repositorios abiertos, lo que permitió mejorar la calidad y exactitud de las medidas incluidas. Sin embargo, esta posibilidad no estuvo disponible para todos los casos, y en algunos

estudios (e.g., Hantz et al., 1996; Itoh et al., 2005; Leipold et al., 2019) fue imposible recuperar datos cuantificables, lo que restringió el número total de investigaciones utilizables.

Otra limitación relevante corresponde al número reducido de estudios incluidos, que exige cautela al interpretar los resultados debido al bajo poder estadístico y la precisión limitada, especialmente en el análisis de la amplitud del componente P300. El tamaño del efecto promedio obtenido fue g = -0,43 con un intervalo de confianza del 95% que incluyó el valor nulo (IC 95%: -0,86 a 0,00), reflejando una alta incertidumbre en la estimación. Esta falta de precisión puede atribuirse tanto al escaso número de estudios (k = 12) como a la heterogeneidad sustancial observada (I^2 = 77%). Por ello, se recomienda incluir al menos 30 estudios o más para alcanzar una potencia estadística adecuada y obtener estimaciones más estables y confiables (Lau et al., 2006). Con un corpus ampliado también sería posible realizar análisis moderadores más robustos y explorar con mayor profundidad las fuentes de heterogeneidad.

Además, el presente metaanálisis no distingue entre los subcomponentes P3a, asociado a la atención temprana, y P3b, relacionado con la atención posterior o la actualización de la memoria de trabajo (Huang et al., 2015; Polich, 2007; Soltani y Knight, 2000). Dado que ambos subcomponentes presentan patrones de activación cerebral diferenciados (Bledowski et al., 2004; Ragazzoni et al., 2019), se recomienda considerar esta distinción en futuros estudios sobre el OA. Finalmente, se reconoce la variabilidad metodológica entre los estudios incluidos, tanto en la configuración de los electrodos y montajes de EEG, como en los

parámetros experimentales empleados, como el tipo y duración de los estímulos, complejidad de la tarea, características demográficas (como grupo étnico), criterios de clasificación del OA, y reportes de amplitud y latencia, factores que pueden contribuir significativamente a la heterogeneidad general observada.

6.2. Recomendaciones Recomendaciones

A partir de los hallazgos del presente metaanálisis, se recomienda que las futuras investigaciones sobre el componente P300 en poseedores de oído absoluto controlen de manera más rigurosa el tipo de estímulo, incorporando sistemáticamente tonos afinados para evitar sobrecarga de atención y memoria, y posible mayor de registro de amplitud. A su vez, proporcionar duraciones de estímulos superiores a los 500 ms que garanticen registros robustos. Consigo, el uso de tonos sinusoidales puede ser una óptima alternativa de evitar preferencias de piano o sobrecarga de memoria por uso de tonos de timbres instrumentales diversos.

Finalmente, resulta pertinente adoptar modelos clasificatorios dimensionales que conciban esta habilidad como un constructo continuo, junto con protocolos unificados que estandarice los criterios de corrección y los umbrales de clasificación. Es decir, evitar dicotomías como “poseedor de OA” y “no poseedor de OA”; y hacer una clasificación de alto, medio, bajo, relativo y no poseedor. Finalmente, se sugiere integrar enfoques electrofisiológicos, como el uso estándar de ciertos electrodos centrales.

VII. CONCLUSIONES

1. Desde la revisión sistemática y metaanálisis de los estudios seleccionados se proporciona evidencia consistente acerca de las diferencias neurofisiológicas entre individuos con OA y aquellos sin esta capacidad, particularmente a los registros de P300.
2. Los resultados del metaanálisis de latencias P300 evidencian una ventaja significativa de los individuos con OA en el procesamiento auditivo, reflejada en una menor latencia del componente P300 (g = -0,42; p < 0,001). Esta diferencia sugiere un procesamiento más eficiente y automático de la información tonal por parte de los sujetos con OA, posiblemente mediado por mecanismos de memoria a largo plazo y estrategias de etiquetado tonal automatizado.
3. El metaanálisis de amplitudes P300 no reveló diferencias significativas entre los grupos (g = -0,43; p = 0,05), a pesar de una tendencia hacia menores amplitudes en el grupo OA. La elevada heterogeneidad entre estudios (I^2 = 77%) sugiere que factores contextuales, metodológicos y diferenciales individuales pueden modular la respuesta neurofisiológica.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Abrams, E. B., Marantz, A., Krementsov, I., & Gwilliams, L. (2025). Dynamics of Pitch Perception in the Auditory Cortex. *The Journal of neuroscience : the official journal of the Society for Neuroscience, 45*(12), e1111242025. https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.1111-24.2025
2. Bachem, A. (1955). Absolute pitch. *Journal of the Acoustical Society of America, 27,* 1180–1185. https://doi.org/10.1121/1.1908155
3. Baharloo, S., Johnston, P. A., Service, S. K., Gitschier, J., & Freimer, N. B. (1998). Absolute pitch: an approach for identification of genetic and nongenetic components. *American journal of human genetics, 62*(2), 224–231. https://doi.org/10.1086/301704
4. Baharloo, S., Service, S. K., Risch, N., Gitschier, J., & Freimer, N. B. (2000). Familial aggregation of absolute pitch. *American journal of human genetics, 67*(3), 755–758. https://doi.org/10.1086/303057
5. Bairnsfather, J. E., Mosing, M. A., Osborne, M. S., & Wilson, S. J. (2025). Conceptual coherence but methodological mayhem: A systematic review of absolute pitch phenotyping. *Behavior research methods, 57*(2), 61. https://doi.org/10.3758/s13428-024-02577-z
6. Barceló, F., & Cooper, P. S. (2018). An information theory account of late frontoparietal ERP positivities in cognitive control. *Psychophysiology, 55*(3), 10.1111/psyp.12814. https://doi.org/10.1111/psyp.12814
7. Barnea, A., Granot, R., & Pratt, H. (1994). Absolute pitch—electrophysiological evidence. *International Journal of Psychophysiology, 16*(1), 29-38. https://doi.org/10.1016/0167-8760(94)90039-6
8. Barry, R. J., Steiner, G. Z., De Blasio, F. M., Fogarty, J. S., Karamacoska, D., & MacDonald, B. (2020). Components in the P300: Don't forget the Novelty P3!. *Psychophysiology, 57*(7), e13371. https://doi.org/10.1111/psyp.13371
9. Benner, J., Reinhardt, J., Christiner, M., Wengenroth, M., Stippich, C., Schneider, P., & Blatow, M. (2023). Temporal hierarchy of cortical responses reflects core-belt-parabelt organization of auditory cortex in

musicians. *Cerebral cortex (New York, N.Y. : 1991)*, *33*(11), 7044–7060. https://doi.org/10.1093/cercor/bhad020

10. Bermudez, P., & Zatorre, R. J. (2005). Conditional associative memory for musical stimuli in nonmusicians: implications for absolute pitch. *The Journal of neuroscience: the official journal of the Society for Neuroscience, 25*(34), 7718–7723. https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.1560-05.2005
11. Bermudez, P., Lerch, J. P., Evans, A. C., & Zatorre, R. J. (2009). Neuroanatomical correlates of Musicianship as Revealed by Cortical Thickness and Voxel-Based Morphometry. *Cerebral Cortex, 19*(7), 1583-1596. https://doi.org/10.1093/cercor/bhn196
12. Bermudez, P., & Zatorre, R. J. (2009). A distribution of absolute pitch ability as revealed by computerized testing. *Music Perception, 27*(2), 89–101. https://doi.org/10.1525/mp.2009.27.2.89
13. Bledowski, C., Prvulovic, D., Hoechstetter, K., Scherg, M., Wibral, M., Goebel, R., & Linden, D. E. (2004). Localizing P300 generators in visual target and distractor processing: a combined event-related potential and functional magnetic resonance imaging study. *The Journal of neuroscience: the official journal of the Society for Neuroscience, 24*(42), 9353–9360. https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.1897-04.2004
14. Bonetti, L., Fernández-Rubio, G., Carlomagno, F., Dietz, M., Pantazis, D., Vuust, P., & Kringelbach, M. L. (2024). Spatiotemporal brain hierarchies of auditory memory recognition and predictive coding. *Nature communications*, *15*(1), 4313. https://doi.org/10.1038/s41467-024-48302-4
15. Borenstein M., Hedges L., Higgins J. & Rothstein H. (2011). *Introduction to Meta-Analysis*. John Wiley & Sons; Hoboken, NJ, USA.
16. Brauchli, C., Leipold, S., & Jäncke, L. (2019). Univariate and multivariate analyses of functional networks in absolute pitch. *NeuroImage, 189*, 241–247. https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2019.01.021
17. Brydges, C. R., & Barceló, F. (2018). Functional Dissociation of Latency-Variable, Stimulus- and Response-Locked Target P3

Sub-components in Task-Switching. *Frontiers in human neuroscience, 12*, 60. https://doi.org/10.3389/fnhum.2018.00060

18. Byczynski, G. E., & D'Angiulli, A. (2024). Frontal P300 asymmetry and congruence judgment: Retroactive switching is impaired during school day mornings in female adolescents. *Current research in neurobiology*, *6*, 100128. https://doi.org/10.1016/j.crneur.2024.100128
19. Cartocci, G., Cardon, G., Campbell, J., Inguscio, B. M. S., Rossi, D., Babiloni, F., & Sharma, A. (2025). P300 to Low and High Frequency Stimuli Are Not Influenced by Intensity in Adults with Normal Hearing. *Brain Sciences, 15*(2), 209. https://doi.org/10.3390/brainsci15020209
20. Carrasco, C. D., Simmons, A. M., Kiat, J. E., & Luck, S. J. (2025). Enhanced Working Memory Representations for Rare Events. *Psychophysiology, 62*(3), e70038. https://doi.org/10.1111/psyp.70038
21. Crummer, G. C., Walton, J. P., Wayman, J. W., Hantz, E. C., & Frisina, R. D. (1994). Neural processing of musical timbre by musicians, nonmusicians, and musicians possessing absolute pitch. *The Journal of the Acoustical Society of America, 95*(5 Pt 1), 2720–2727. https://doi.org/10.1121/1.409840
22. DerSimonian, R., & Kacker, R. (2007). Random-effects model for meta-analysis of clinical trials: an update. *Contemporary clinical trials, 28*(2), 105–114. https://doi.org/10.1016/j.cct.2006.04.004
23. Deutsch, D. (2002). The puzzle of absolute pitch. *Current Directions in Psychological Science, 11*(6), 200–204. https://doi.org/10.1111/1467-8721.00200
24. Deutsch, D., Henthorn, T., & Dolson, M. (2004). Absolute pitch, speech, and tone language: Some experiments and a proposed framework. *Music Percept. 21*, 339–356. https://doi.org/10.1525/mp.2004.21.3.339
25. Deutsch, D. (2006). The enigma of absolute pitch. Acoust. *Today 2*, 11–19. https://doi.org/10.1121/1.2961141
26. Deutsch, D., Henthorn, T., Marvin, E., and Xu, H. (2006). Absolute pitch among American and Chinese conservatory students: Prevalence

differences, and evidence for a speech-related critical period. *J. Acoust. Soc. Am. 119*, 719–722. https://doi.org/10.1121/1.2151799

27. Deutsch, D., Dooley, K., Henthorn, T., and Head, B. (2009). Absolute pitch among students in an American music conservatory: Association with tone language fluency. *J. Acoust. Soc. Am. 125*, 2398–2403. https://doi.org/10.1121/1.3081389
28. Deutsch, D., Le, J., Shen, J., & Li, X. (2011). Large-scale direct-test study reveals unexpected characteristics of absolute pitch. *Journal of the Acoustical Society of America, 130*, 2398. https://doi.org/10.1121/1.3654614
29. Deutsch, D. (2013). Absolute pitch. In D. Deutsch (Ed.), *The psychology of music* (3rd ed., pp. 141–182). Elsevier Academic Press. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-381460-9.00005-5
30. Di Stefano, N., & Spence, C. (2024). Should absolute pitch be considered as a unique kind of absolute sensory judgment in humans? A systematic and theoretical review of the literature. *Cognition, 249*, 105805. https://doi.org/10.1016/j.cognition.2024.105805
31. Duncan, C. C., Barry, R. J., Connolly, J. F., Fischer, C., Michie, P. T., Näätänen, R., Polich, J., Reinvang, I., & Van Petten, C. (2009). Event-related potentials in clinical research: guidelines for eliciting, recording, and quantifying mismatch negativity, P300, and N400. *Clinical neurophysiology : official journal of the International Federation of Clinical Neurophysiology*, *120*(11), 1883–1908. https://doi.org/10.1016/j.clinph.2009.07.045
32. Dohn, A., Garza-Villarreal, E. A., Chakravarty, M. M., Hansen, M., Lerch, J. P., & Vuust, P. (2015). Gray- and white-matter anatomy of absolute pitch possessors. *Cerebral cortex (New York, N.Y. : 1991), 25*(5), 1379–1388. https://doi.org/10.1093/cercor/bht334
33. Donchin, E., & Coles, M. G. (1988). Is the P300 component a manifestation of context updating? *Behavioral and Brain Sciences, 11*(3), 357–427. https://doi.org/10.1017/S0140525X00058027

34. Duarte, J. L., Alvarenga, K.deF., Banhara, M. R., Melo, A. D., Sás, R. M., & Costa Filho, O. A. (2009). P300-long-latency auditory evoked potential in normal hearing subjects: simultaneous recording value in Fz and Cz. *Brazilian journal of otorhinolaryngology, 75*(2), 231–236. https://doi.org/10.1016/s1808-8694(15)30783-7
35. Elmer, S., Rogenmoser, L., Kuhnis, J., & Jancke, L. (2015). Bridging the Gap between Perceptual and Cognitive Perspectives on Absolute Pitch. *Journal of Neuroscience, 35*(1), 366-371. https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.3009-14.2015
36. Elmer, S., Sollberger, S., Meyer, M., & Jäncke, L. (2013). An empirical reevaluation of absolute pitch: Behavioral and electrophysiological measurements. *Journal of Cognitive Neuroscience, 25*(10), 1736–1753. https://doi.org/10.1162/jocn_a_00410
37. Englitz, B., Akram, S., Elhilali, M., & Shamma, S. (2024). Decoding contextual influences on auditory perception from primary auditory cortex. *eLife, 13*, RP94296. https://doi.org/10.7554/eLife.94296
38. Flasbeck, V., Enzi, B., Andreou, C., Juckel, G., & Mavrogiorgou, P. (2022). P300 and delay-discounting in obsessive-compulsive disorder. *European archives of psychiatry and clinical neuroscience, 272*(2), 327–339. https://doi.org/10.1007/s00406-021-01302-7
39. Fogarty, J. S., Barry, R. J., & Steiner, G. Z. (2020). The first 250 ms of auditory processing: No evidence of early processing negativity in the Go/NoGo task. *Scientific Reports, 10*, 4041. https://doi.org/10.1038/s41598-020-61060-9
40. Furukawa, T. A., Barbui, C., Cipriani, A., Brambilla, P., & Watanabe, N. (2006). Imputing missing standard deviations in meta-analyses can provide accurate results. *Journal of clinical epidemiology, 59*(1), 7–10. https://doi.org/10.1016/j.jclinepi.2005.06.006
41. Fung, J., Whiteford, K. L., Mehta, A. H., & Lau, B. K. (2025). Pitch perception in school-aged children: Pure tones, resolved and unresolved harmonics. *JASA express letters*, *5*(1), 014403. https://doi.org/10.1121/10.0034894

42. Germano, N., Cogo-Moreira, H., Coutinho-Lourenço, F., & Bortz, G. (2021). A new approach to measuring absolute pitch on a psychometric theory of isolated pitch perception: Is it disentangling specific groups or capturing a continuous ability?. *PloS one, 16*(2), e0247473. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0247473
43. Gómez, C. M., Arjona, A., Donnarumma, F., Maisto, D., Rodríguez-Martínez, E. I., & Pezzulo, G. (2019). Tracking the Time Course of Bayesian Inference With Event-Related Potentials:A Study Using the Central Cue Posner Paradigm. *Frontiers in psychology, 10*, 1424. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.01424
44. Gonçalves, A. M., & Monteiro, P. (2023). Autism Spectrum Disorder and auditory sensory alterations: a systematic review on the integrity of cognitive and neuronal functions related to auditory processing. *Journal of neural transmission (Vienna, Austria : 1996), 130*(3), 325–408. https://doi.org/10.1007/s00702-023-02595-9
45. Gong, M., Liu, T., Chen, Y., & Sun, Y. (2024). Dissociable Effects of Endogenous and Exogenous Attention on Crowding: Evidence from Event-Related Potentials. *Brain sciences, 14*(10), 956. https://doi.org/10.3390/brainsci14100956
46. Gonsalvez, C. J., Barry, R. J., Rushby, J. A., & Polich, J. (2007). Target-to-target interval, intensity, and P300 from an auditory single-stimulus task. *Psychophysiology, 44*(2), 245–250. https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.2007.00495.x
47. Greber, M., & Jäncke, L. (2020). Suppression of Pitch Labeling: No Evidence for an Impact of Absolute Pitch on Behavioral and Neurophysiological Measures of Cognitive Inhibition in an Auditory Go/Nogo Task. F*rontiers in human neuroscience, 14*, 585505. https://doi.org/10.3389/fnhum.2020.585505
48. Greber, M., Klein, C., Leipold, S., Sele, S., & Jäncke, L. (2020). Heterogeneity of EEG resting-state brain networks in absolute pitch. *International Journal of Psychophysiology, 157*, 11–22. https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2020.07.007

49. Greber, M., Rogenmoser, L., Elmer, S., & Jäncke, L. (2018). Electrophysiological Correlates of Absolute Pitch in a Passive Auditory Oddball Paradigm: a Direct Replication Attempt. *eNeuro, 5*(6), ENEURO.0333-18.2018. https://doi.org/10.1523/ENEURO.0333-18.2018
50. Gregersen, P. K., Kowalsky, E., Kohn, N., & Marvin, E. W. (1999). Absolute Pitch: Prevalence, Ethnic Variation, and Estimation of the Genetic Component. *The American Journal of Human Genetics, 65*(3), 911-913. https://doi.org/10.1086/302541
51. Gregersen, P. K., Kowalsky, E., Kohn, N., & Marvin, E. W. (2001). Early childhood music education and predisposition to absolute pitch: teasing apart genes and environment. *American journal of medical genetics, 98*(3), 280–282. https://doi.org/10.1002/1096-8628(20010122)98:3<280::aid-ajmg1083>3.0.co;2-6
52. Gregersen, P. K., Kowalsky, E., Lee, A., Baron-Cohen, S., Fisher, S. E., Asher, J. E., Ballard, D., Freudenberg, J., & Li, W. (2013). Absolute pitch exhibits phenotypic and genetic overlap with synesthesia. *Human molecular genetics, 22*(10), 2097–2104. https://doi.org/10.1093/hmg/ddt059
53. Gruhn W., Ristmägi R., Schneider P., D'Souza A. & Kiilu K. (2018). How stable is pitch labeling accuracy in absolute pitch possessors? *Empirical Musicol. Rev.* 13 https://doi.org/10.18061/EMR.V13I3-4.6637
54. Guyatt, G., Oxman, A. D., Akl, E. A., Kunz, R., Vist, G., Brozek, J., Norris, S., Falck-Ytter, Y., Glasziou, P., DeBeer, H., Jaeschke, R., Rind, D., Meerpohl, J., Dahm, P., & Schünemann, H. J. (2011). GRADE guidelines: 1. Introduction-GRADE evidence profiles and summary of findings tables. *Journal of clinical epidemiology, 64*(4), 383–394. https://doi.org/10.1016/j.jclinepi.2010.04.026
55. Hantz, E. C., Crummer, G. C., Wayman, J. W., Walton, J. P., et al. (1992). Effects of musical training and absolute pitch on the neural processing of melodic intervals: A P3 event-related potential study. *Music Perception, 10*(1), 25–42. https://doi.org/10.2307/40285536

56. Hantz, E. C., Kreilick, K. G., Braveman, A. L., & Swartz, K. P. (1995). Effects of musical training and absolute pitch on a pitch memory task: An event-related potential study. *Psychomusicology: A Journal of Research in Music Cognition, 14*(1-2), 53–76. https://doi.org/10.1037/h0094091
57. Hantz, E. C., Marvin, E. W., Kreilick, K. G., & Chapman, R. M. (1996). Sex differences in memory for timbre: an event-related potential study. *The International journal of neuroscience, 87*(1-2), 17–40. https://doi.org/10.3109/00207459608990751
58. Hantz, E. C., Kreilick, K. G., Marvin, E. W., & Chapman, R. M. (1997). Absolute pitch and sex effect event-related potential activity for a melodic interval discrimination task. *The Journal of the Acoustical Society of America, 102*(1), 451–460. https://doi.org/10.1121/1.419718
59. Hedger, S. C., Heald, S. L., & Nusbaum, H. C. (2013). Absolute pitch may not be so absolute. *Psychological science, 24*(8), 1496–1502. https://doi.org/10.1177/0956797612473310
60. Hedger, S. C., & Nusbaum, H. C. (2018). Individual differences in absolute pitch performance: Contributions of working memory, musical expertise, and tonal language background. *Acta psychologica, 191*, 251–260. https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2018.10.007
61. Hedger, S. C., Heald, S., & Nusbaum, H. C. (2019). Absolute pitch can be learned by some adults. *PloS one, 14*(9), e0223047. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0223047
62. Hedger, S. C., Veillette, J., Heald, S., & Nusbaum, H. C. (2020). Revisiting discrete versus continuous models of human behavior: The case of absolute pitch. *PloS one, 15*(12), e0244308. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0244308
63. Higgins, J. P., Thompson, S. G., Deeks, J. J., & Altman, D. G. (2003). Measuring inconsistency in meta-analyses. BMJ (Clinical research ed.), 327(7414), 557–560. https://doi.org/10.1136/bmj.327.7414.557
64. Higgins, J. P., Altman, D. G., Gøtzsche, P. C., Jüni, P., Moher, D., Oxman, A. D., Savovic, J., Schulz, K. F., Weeks, L., Sterne, J. A., Cochrane Bias Methods Group, & Cochrane Statistical Methods Group (2011). The

Cochrane Collaboration's tool for assessing risk of bias in randomised trials. *BMJ (Clinical research ed.), 343*, d5928. https://doi.org/10.1136/bmj.d5928

65. Hirose, H., Kubota, M., Kimura, I., Ohsawa, M., Yumoto, M., & Sakakihara, Y. (2002). People with absolute pitch process tones with producing P300. *Neuroscience letters, 330*(3), 247–250. https://doi.org/10.1016/s0304-3940(02)00812-1
66. Hirsch, L. J., & Brenner, R. P. (2010). *Atlas of EEG in critical care*. John Wiley & Sons.
67. Hong, Y., Xu, L., Tang, X., Zhang, D., Zheng, W., Qian, Z., Zhao, J., Tang, Y., Su, M., Huang, L., Ye, Y., Zhang, T., Jiao, X., & Wang, J. (2025). Auditory and visual oddball stimulus processing deficits in clinical high risk for psychosis: Forecasting psychosis risk with N200 and P300. *Progress in Neuro-Psychopharmacology and Biological Psychiatry, 140*, 111426. https://doi.org/10.1016/j.pnpbp.2025.111426
68. Howard, D. M., & Angus, J. (2009). *Acoustics and Psychoacoustics 4th Edition.* (4th ed.) Oxford: Focal Press.
69. Howe, A. S., Pinto, A., & De Luca, V. (2014). Meta-analysis of P300 waveform in panic disorder. *Experimental brain research, 232*(10), 3221–3232. https://doi.org/10.1007/s00221-014-3999-5
70. Huang, W. J., Chen, W. W., & Zhang, X. (2015). The neurophysiology of P 300--an integrated review. *European review for medical and pharmacological sciences, 19*(8), 1480–1488.
71. Itoh, K., Suwazono, S., Arao, H., Miyazaki, K., & Nakada, T. (2005). Electrophysiological correlates of absolute pitch and relative pitch. *Cerebral cortex (New York, N.Y. : 1991), 15*(6), 760–769. https://doi.org/10.1093/cercor/bhh177
72. Jakubowski, K., & Müllensiefen, D. (2013). The influence of music-elicited emotions and relative pitch on absolute pitch memory for familiar melodies. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology, 66*(7), 1259–1267. https://doi.org/10.1080/17470218.2013.803136

73. Jäncke, L., Langer, N., & Hänggi, J. (2012). Diminished whole-brain but enhanced peri-sylvian connectivity in absolute pitch musicians. *Journal of cognitive neuroscience, 24*(6), 1447–1461. https://doi.org/10.1162/jocn_a_00227
74. Jelicic Kadic, A., Vucic, K., Dosenovic, S., Sapunar, D., & Puljak, L. (2016). Extracting data from figures with software was faster, with higher interrater reliability than manual extraction. *Journal of clinical epidemiology, 74*, 119–123. https://doi.org/10.1016/j.jclinepi.2016.01.002
75. Jhang, G. Y., Ueda, K., Takeichi, H., Remijn, G. B., & Hasuo, E. (2025). Rivalry between pitch and timbre in auditory stream segregation. *PloS one, 20*(6), e0323964. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0323964
76. Jobling M. A. (2014). The music of the genes. *Investigative genetics, 5*(1), 2. https://doi.org/10.1186/2041-2223-5-2
77. Kalaiah, M. K., & Shastri, U. (2016). Cortical Auditory Event Related Potentials (P300) for Frequency Changing Dynamic Tones. *Journal of audiology & otology, 20*(1), 22–30. https://doi.org/10.7874/jao.2016.20.1.22
78. Kanduri, C., Raijas, P., Ahvenainen, M., Philips, A. K., Ukkola-Vuoti, L., Lähdesmäki, H., & Järvelä, I. (2015). The effect of listening to music on human transcriptome. *PeerJ, 3*, e830. https://doi.org/10.7717/peerj.830
79. Keenan, J. P., Thangaraj, V., Halpern, A. R., & Schlaug, G. (2001). Absolute pitch and planum temporale. *NeuroImage, 14*(6), 1402–1408. https://doi.org/10.1006/nimg.2001.0925
80. Kessler Y. (2017). The Role of Working Memory Gating in Task Switching: A Procedural Version of the Reference-Back Paradigm. *Frontiers in psychology, 8*, 2260. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.02260
81. Kessler, Y., Baruchin, L. J., & Bouhsira-Sabag, A. (2017). Working memory updating occurs independently of the need to maintain task-context: accounting for triggering updating in the AX-CPT paradigm. *Psychological research, 81*(1), 191–203. https://doi.org/10.1007/s00426-015-0717-2

82. Kim, S. G., & Knösche, T. R. (2017a). On the Perceptual Subprocess of Absolute Pitch. *Frontiers in neuroscience, 11*, 557. https://doi.org/10.3389/fnins.2017.00557
83. Kim, S. G., & Knösche, T. R. (2017b). Resting state functional connectivity of the ventral auditory pathway in musicians with absolute pitch. *Human brain mapping, 38*(8), 3899–3916. https://doi.org/10.1002/hbm.23637
84. Kim, S. G., & Knösche, T. R. (2016). Intracortical myelination in musicians with absolute pitch: Quantitative morphometry using 7-T MRI. *Human brain mapping, 37*(10), 3486–3501. https://doi.org/10.1002/hbm.23254
85. Klein, M., Coles, M. G. H., & Donchin, E. (1984). People with Absolute Pitch Process Tones Without Producing a P300. *Science, 223*(4642), 1306-1309. https://doi.ORg/10.1126/science.223.4642.1306
86. Kopp, B., Steinke, A., & Visalli, A. (2020). Cognitive flexibility and N2/P3 event-related brain potentials. *Scientific reports, 10*(1), 9859. https://doi.org/10.1038/s41598-020-66781-5
87. Krystecka, K., Stanczyk, M., Choinski, M., Szelag, E., & Szymaszek, A. (2025). Time to inhibit: P300 amplitude differences in individuals with high and low temporal efficiency. *Cerebral cortex (New York, N.Y. : 1991), 35*(2), bhae500. https://doi.org/10.1093/cercor/bhae500
88. Kuhl P. K. (2015). BABY TALK. *Scientific American, 313*(5), 64–69. https://doi.org/10.1038/scientificamerican1115-64
89. Lau, B. K., Lalonde, K., Oster, M. M., & Werner, L. A. (2017). Infant pitch perception: Missing fundamental melody discrimination. *The Journal of the Acoustical Society of America, 141*(1), 65. https://doi.org/10.1121/1.4973412
90. Lau, J., Ioannidis, J. P., Terrin, N., Schmid, C. H., & Olkin, I. (2006). The case of the misleading funnel plot. *BMJ (Clinical research ed.), 333*(7568), 597–600. https://doi.org/10.1136/bmj.333.7568.597

91. Lee, J., Han, J. H., & Lee, H. J. (2020). Long-Term Musical Training Alters Auditory Cortical Activity to the Frequency Change. *Frontiers in human neuroscience, 14*, 329. https://doi.org/10.3389/fnhum.2020.00329
92. Leipold, S., Brauchli, C., Greber, M., & Jäncke, L. (2019a). Absolute and relative pitch processing in the human brain: neural and behavioral evidence. *Brain structure & function, 224*(5), 1723–1738. https://doi.org/10.1007/s00429-019-01872-2
93. Leipold, S., Oderbolz, C., Greber, M., & Jäncke, L. (2019b). A reevaluation of the electrophysiological correlates of absolute pitch and relative pitch: No evidence for an absolute pitch-specific negativity. *International journal of psychophysiology : official journal of the International Organization of Psychophysiology, 137*, 21–31. https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2018.12.016
94. Leipold, S., Greber, M., & Elmer, S. (2019c). Perception and Cognition in Absolute Pitch: Distinct yet Inseparable. *The Journal of neuroscience : the official journal of the Society for Neuroscience, 39*(30), 5839–5841. https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.0653-19.2019
95. Leipold, S., Greber, M., Sele, S., & Jäncke, L. (2019d). Neural patterns reveal single-trial information on absolute pitch and relative pitch perception. *NeuroImage, 200*, 132–141. https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2019.06.030
96. Leite, R. B. C., Mota-Rolim, S. A., & Queiroz, C. M. T. (2016). Music Proficiency and Quantification of Absolute Pitch: A Large-Scale Study among Brazilian Musicians. *Frontiers in Neuroscience*, *10*. https://doi.org/10.3389/fnins.2016.00447
97. Lenhoff, H. M., Perales, O., & Hickok, G. (2001). Absolute pitch in Williams syndrome. *Music Perception, 18*(4), 491–503. https://doi.org/10.1525/mp.2001.18.4.491
98. Levitin, D. J., & Rogers, S. E. (2005). Absolute pitch: perception, coding, and controversies. *Trends in Cognitive Sciences, 9*(1), 26-33. https://doi.org/10.1016/j.tics.2004.11.007

99. Lim, R. Y., Lew, W. L., & Ang, K. K. (2024). Review of EEG Affective Recognition with a Neuroscience Perspective. *Brain sciences, 14*(4), 364. https://doi.org/10.3390/brainsci14040364

100. Lockhead, G. R., & Byrd, R. (1981). Practically perfect pitch. *Journal of the Acoustical Society of America, 70*, 381. https://doi.org/10.1121/1.386773

101. López-Barroso, D., Catani, M., Ripollés, P., Dell'Acqua, F., Rodríguez-Fornells, A., & de Diego-Balaguer, R. (2013). Word learning is mediated by the left arcuate fasciculus. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 110*(32), 13168–13173. https://doi.org/10.1073/pnas.1301696110

102. Loui, P., Li, H. C., Hohmann, A., & Schlaug, G. (2011). Enhanced cortical connectivity in absolute pitch musicians: a model for local hyperconnectivity. *Journal of cognitive neuroscience, 23*(4), 1015–1026. https://doi.org/10.1162/jocn.2010.21500

103. Maeshima, H., Hosoda, C., Okanoya, K., & Nakai, T. (2018). Reduced γ-aminobutyric acid in the superior temporal gyrus is associated with absolute pitch. *Neuroreport, 29*(17), 1487–1491. https://doi.org/10.1097/WNR.0000000000001137

104. Marcotti F, Anthony, & Rivera R, Sebastián. (2017). Frequency pattern and duration pattern test: Assessment of auditory temporal ordering. *Revista de otorrinolaringología y cirugía de cabeza y cuello, 77*(3), 339-350. https://dx.doi.org/10.4067/s0718-48162017000300339

105. Martínez-Castilla, P., Sotillo, M., & Campos, R. (2013). Do individuals with Williams syndrome possess absolute pitch? *Child Neuropsychology, 19*(1), 78–96. https://doi.org/10.1080/09297049.2011.639755

106. McCann, M. T., Thompson, D. E., Syed, Z. H., & Huggins, J. E. (2015). Electrode subset selection methods for an EEG-based P300 brain-computer interface. Disability and rehabilitation. *Assistive technology, 10*(3), 216–220. https://doi.org/10.3109/17483107.2014.884174

107. McKetton, L., DeSimone, K., & Schneider, K. A. (2019). Larger Auditory Cortical Area and Broader Frequency Tuning Underlie Absolute Pitch. *The Journal of neuroscience : the official journal of the Society for Neuroscience, 39*(15), 2930–2937. https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.1532-18.2019

108. McLachlan, N. M., Marco, D. J., & Wilson, S. J. (2013). Pitch and plasticity: insights from the pitch matching of chords by musicians with absolute and relative pitch. *Brain sciences, 3*(4), 1615–1634. https://doi.org/10.3390/brainsci3041615

109. Mito, H. (2003). Performance at a transposed keyboard by possessor and non-possessor of absolute pitch. *Bulletin of the Council for Research in Music Education,* (157), 18–23. http://www.jstor.org/stable/40319182

110. Miyazaki, K., & Rakowski, A. (2002). Recognition of notated melodies by possessors and nonpossessors of absolute pitch. *Perception & psychophysics, 64*(8), 1337–1345. https://doi.org/10.3758/bf03194776

111. Miyazaki, K. (1993). Absolute pitch as an inability: Identification of musical intervals in a tonal context. *Music Perception, 11*(1), 55–71. https://doi.org/10.2307/40285599

112. Mohamed, M., Mohamed, N., & Kim, J. G. (2024). P300 Latency with Memory Performance: A Promising Biomarker for Preclinical Stages of Alzheimer's Disease. *Biosensors, 14*(12), 616. https://doi.org/10.3390/bios14120616

113. Mugruza-Vassallo, C., & Potter, D. (2019). Context dependence signature, stimulus properties and stimulus probability as predictors of ERP amplitude variability. *Frontiers in Human Neuroscience, 13*, Article 39. https://doi.org/10.3389/fnhum.2019.00039

114. Musiek, F. E., & Chermak, G. D. (2015). Psychophysical and behavioral peripheral and central auditory tests. *Handbook of clinical neurology, 129*, 313–332. https://doi.org/10.1016/B978-0-444-62630-1.00018-4

115. Ngan, V. S. H., Cheung, L. Y. T., Ng, H. T. Y., Yip, K. H. M., Wong, Y. K., & Wong, A. C. (2023). An early perceptual locus of absolute pitch. *Psychophysiology, 60*(2), e14170. https://doi.org/10.1111/psyp.14170

116. Oechslin, M. S., Imfeld, A., Loenneker, T., Meyer, M., & Jäncke, L. (2010). The plasticity of the superior longitudinal fasciculus as a function of musical expertise: a diffusion tensor imaging study. *Frontiers in human neuroscience, 3*, 76. https://doi.org/10.3389/neuro.09.076.2009

117. Ohnishi, T., Matsuda, H., Asada, T., Aruga, M., Hirakata, M., Nishikawa, M., Katoh, A., & Imabayashi, E. (2001). Functional anatomy of musical perception in musicians. *Cerebral cortex (New York, N.Y. : 1991)*, *11*(8), 754–760. https://doi.org/10.1093/cercor/11.8.754

118. Oribe, N., Hirano, Y., Kanba, S., Del Re, E., Seidman, L., Mesholam-Gately, R., Goldstein, J. M., Shenton, M., Spencer, K. M., McCarley, R. W., & Niznikiewicz, M. (2015). Progressive reduction of visual P300 amplitude in patients with first-episode schizophrenia: an ERP study. *Schizophrenia bulletin, 41*(2), 460–470. https://doi.org/10.1093/schbul/sbu083

119. Ouyang, G., Hildebrandt, A., Sommer, W., & Zhou, C. (2017). Exploiting the intra-subject latency variability from single-trial event-related potentials in the P3 time range: A review and comparative evaluation of methods. *Neuroscience and biobehavioral reviews, 75*, 1–21. https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2017.01.023

120. Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., McGuinness, L. A., … Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ, 372*, n71. https://doi.org/10.1136/bmj.n71

121. Palepu A., Kendall C, & Moher D. (2011). Open Medicine endorses PROSPERO. *Open Med. 5*(1):e65-66

122. Pearson, D. V., Shen, Y., Hetrick, W. P., O'Donnell, B. F., Lundin, N. B., McAuley, J. D., & Kidd, G. R. (2025). P300 as an index of speech-in-noise understanding in complex acoustic environments in young and older adults. *Frontiers in neuroscience, 19*, 1497781. https://doi.org/10.3389/fnins.2025.1497781

123. Petrides M, Alivisatos B, Evans AC, Meyer E (1993) Dissociation of human mid-dorsolateral from posterior dorsolateral frontal cortex in memory processing. *Proc Natl Acad Sci USA 90*:873– 877. https://doi.org/10.1073/pnas.90.3.873

124. Poldrack, R. A., Baker, C. I., Durnez, J., Gorgolewski, K. J., Matthews, P. M., Munafò, M. R., Nichols, T. E., Poline, J. B., Vul, E., & Yarkoni, T. (2017). Scanning the horizon: towards transparent and reproducible neuroimaging research. *Nature reviews. Neuroscience, 18*(2), 115–126. https://doi.org/10.1038/nrn.2016.167

125. Polich, J. (Ed.). (2003). Overview of P3a and P3b. en *Detection of Change: Event-Related Potential and fMRI Findings*. Kluwer Academic Press, Norwell, MA. pp. 83-98. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-0294-4

126. Polich J. (2007). Updating P300: an integrative theory of P3a and P3b. *Clinical neurophysiology: official journal of the International Federation of Clinical Neurophysiology, 118*(10), 2128–2148. https://doi.org/10.1016/j.clinph.2007.04.019

127. Polich, J. (2012). Neuropsychology of P300. In S. J. Luck & E. S. Kappenman (Eds.), *Oxford library of psychology. The Oxford handbook of event-related potential components* (p. 159–188). Oxford University Press.

128. Rac-Lubashevsky, R., & Kessler, Y. (2019). Revisiting the relationship between the P3b and working memory updating. *Biological psychology, 148*, 107769. https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2019.107769

129. Ragazzoni, A., Di Russo, F., Fabbri, S., Pesaresi, I., Di Rollo, A., Perri, R. L., Barloscio, D., Bocci, T., Cosottini, M., & Sartucci, F. (2019). "Hit the missing stimulus". A simultaneous EEG-fMRI study to localize the

generators of endogenous ERPs in an omitted target paradigm. *Scientific reports, 9*(1), 3684. https://doi.org/10.1038/s41598-019-39812-z

130. Renninger, L., Granot, R. I., & Donchin, E. (2003). Absolute Pitch and the P300 Component of the Event-Related Potential: An Exploration of Variables That May Account for Individual Differences. *Music Perception, 20*(4), 357-382. https://doi.org/10.1525/mp.2003.20.4.357

131. Reymore, L., & Hansen, N. C. (2020). A Theory of Instrument-Specific Absolute Pitch. *Frontiers in psychology, 11*, 560877. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.560877

132. Richardson, C., Bucks, R. S., & Hogan, A. M. (2011). Effects of aging on habituation to novelty: an ERP study. *International journal of psychophysiology : official journal of the International Organization of Psychophysiology, 79*(2), 97–105. https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2010.09.007

133. Ritter, W., & Vaughan, H. G. (1969). Averaged Evoked Responses in Vigilance and Discrimination: A Reassessment. *Science, 164*(3877), 326–328. doi:10.1126/science.164.3877.326

134. Rivera-Gaxiola, M., Silva-Pereyra, J., & Kuhl, P. K. (2005). Brain potentials to native and non-native speech contrasts in 7- and 11-month-old American infants. *Developmental science, 8*(2), 162–172. https://doi.org/10.1111/j.1467-7687.2005.00403.x

135. Rogenmoser, L., Elmer, S., & Jäncke, L. (2015). Absolute Pitch: Evidence for Early Cognitive Facilitation during Passive Listening as Revealed by Reduced P3a Amplitudes. *Journal of Cognitive Neuroscience, 27*(3), 623-637. https://doi.org/10.1162/jocn_a_00708

136. Rogenmoser, L., Arnicane, A., Jäncke, L., & Elmer, S. (2021). The left dorsal stream causally mediates the tone labeling in absolute pitch. *Annals of the New York Academy of Sciences, 1500*(1), 122–133. https://doi.org/10.1111/nyas.14616

137. Saffran, J. R., & Griepentrog, G. J. (2001). Absolute pitch in infant auditory learning: Evidence for developmental reorganization. *Developmental Psychology, 37*(1), 74–85. doi:10.1037/0012-1649.37.1.74

138. Salisbury, D. F., Desantis, M. A., Shenton, M. E., & McCarley, R. W. (2002). The effect of background noise on P300 to suprathreshold stimuli. *Psychophysiology, 39*(1), 111–115. https://doi.org/10.1017/S0048577202010223

139. Santopetro, N. J., Thompson, B., Garron, A., Keith, L., Brush, C. J., Schmidt, B., & Hajcak, G. (2025). Systematic review and meta-analysis: Impact of unipolar depression on P300 amplitude and latency. *Neuroscience and biobehavioral reviews, 175*, 106230. https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2025.106230

140. Sasatake, Y., & Matsushita, K. (2025). EEG Baseline Analysis for Effective Extraction of P300 Event-Related Potentials for Welfare Interfaces. *Sensors (Basel, Switzerland), 25*(10), 3102. https://doi.org/10.3390/s25103102

141. Seesjärvi, E., Särkämö, T., Vuoksimaa, E., Tervaniemi, M., Peretz, I., & Kaprio, J. (2016). The Nature and Nurture of Melody: A Twin Study of Musical Pitch and Rhythm Perception. *Behavior genetics*, *46*(4), 506–515. https://doi.org/10.1007/s10519-015-9774-y

142. Seppänen, M., Hämäläinen, J., Pesonen, A. K., & Tervaniemi, M. (2012). Music training enhances rapid neural plasticity of n1 and p2 source activation for unattended sounds. *Frontiers in human neuroscience, 6*, 43. https://doi.org/10.3389/fnhum.2012.00043

143. Schellenberg, E. G., & Trehub, S. E. (2003). Good pitch memory is widespread. *Psychological science, 14*(3), 262–266. https://doi.org/10.1111/1467-9280.03432

144. Schlemmer, K. B. (2009). Do absolute pitch possessors have a field independent cognitive style? In *Proceedings of the 7th Tribunal Conference of European Society for the Cognitive Sciences of Music* (pp. 580–486). Jyväskylä, Finland

145. Schulze, K., Gaab, N., & Schlaug, G. (2009). Perceiving pitch absolutely: comparing absolute and relative pitch possessors in a pitch memory task. *BMC neuroscience, 10*, 106. https://doi.org/10.1186/1471-2202-10-106

146. Schulze, K., Mueller, K., & Koelsch, S. (2013). Auditory stroop and absolute pitch: an fMRI study. *Human brain mapping, 34*(7), 1579–1590. https://doi.org/10.1002/hbm.22010

147. Shibayama, K., Shimada, H., & Itoh, K. (2026). Cognitive control in music: adaptive strategies for relative pitch across the absolute-pitch proficiency continuum. *Frontiers in psychology*, *16*, 1723224. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2025.1723224

148. Siegel J. A. (1974). Sensory and verbal coding strategies in subjects with absolute pitch. *Journal of experimental psychology, 103*(1), 37–44. https://doi.org/10.1037/h0036844

149. Soltani, M., & Knight, R. T. (2000). Neural origins of the P300. *Critical reviews in neurobiology, 14*(3-4), 199–224.

150. Speier, W., Deshpande, A., & Pouratian, N. (2015). A method for optimizing EEG electrode number and configuration for signal acquisition in P300 speller systems. *Clinical neurophysiology: official journal of the International Federation of Clinical Neurophysiology, 126*(6), 1171–1177. https://doi.org/10.1016/j.clinph.2014.09.021

151. Squires, N. K., Squires, K. C., & Hillyard, S. A. (1975). Two varieties of long-latency positive waves evoked by unpredictable auditory stimuli in man. *Electroencephalography and clinical neurophysiology, 38*(4), 387–401. https://doi.org/10.1016/0013-4694(75)90263-1

152. Steiner, G. Z., Barry, R. J., & Gonsalvez, C. J. (2013). Can working memory predict target-to-target interval effects in the P300?. *International journal of psychophysiology : official journal of the International Organization of Psychophysiology, 89*(3), 399–408. https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2013.07.011

153. Steiner, G. Z., Barry, R. J., & Gonsalvez, C. J. (2014a). Nontarget-to-nontarget interval determines the nontarget P300 in an auditory equiprobable Go/NoGo task. *International journal of psychophysiology: official journal of the International Organization of Psychophysiology, 92*(3), 113–121. https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2014.03.010

154. Steiner, G. Z., Barry, R. J., & Gonsalvez, C. J. (2014b). Stimulus-to-matching-stimulus interval influences N1, P2, and P3b in an equiprobable Go/NoGo task. *International journal of psychophysiology: official journal of the International Organization of Psychophysiology, 94*(1), 59–68. https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2014.07.003

155. Sutton, S., Braren, M., Zubin, J., & John, E. R. (1965). Evoked-potential correlates of stimulus uncertainty. *Science (New York, N.Y.), 150*(3700), 1187–1188. https://doi.org/10.1126/science.150.3700.1187

156. Sutton, S. (1979). P300—Thirteen years later. En H. Begleiter (Ed.), *Evoked brain potentials and behavior* (pp. 107–125). Plenum Press.

157. Szyfter, K., & Witt, M. P. (2020). How far musicality and perfect pitch are derived from genetic factors?. *Journal of applied genetics, 61*(3), 407–414. https://doi.org/10.1007/s13353-020-00563-7

158. Takeuchi, A. H., & Hulse, S. H. (1993). Absolute pitch. *Psychological bulletin, 113*(2), 345–361. https://doi.org/10.1037/0033-2909.113.2.345

159. Tao, M., Sun, J., Liu, S., Zhu, Y., Ren, Y., Liu, Z., Wang, X., Yang, W., Li, G., Wang, X., Zheng, W., Zhang, J., & Yang, J. (2024). An event-related potential study of P300 in preschool children with attention deficit hyperactivity disorder. *Frontiers in pediatrics, 12*, 1461921. https://doi.org/10.3389/fped.2024.1461921

160. Theusch, E., Basu, A., & Gitschier, J. (2009). Genome-wide study of families with absolute pitch reveals linkage to 8q24.21 and locus heterogeneity. *American journal of human genetics, 85*(1), 112–119. https://doi.org/10.1016/j.ajhg.2009.06.010

161. Theusch, E., & Gitschier, J. (2011). Absolute pitch twin study and segregation analysis. *Twin research and human genetics : the official journal of the International Society for Twin Studies, 14*(2), 173–178. https://doi.org/10.1375/twin.14.2.173

162. Trainor L. J. (2005). Are there critical periods for musical development?. *Developmental psychobiology*, *46*(3), 262–278. https://doi.org/10.1002/dev.20059

163. Usui, K., Shinozaki, J., Usui, N., Terada, K., Matsuda, K., Kondo, A., Tottori, T., Nagamine, T., & Inoue, Y. (2020). Retained absolute pitch after selective amygdalohippocampectomy. *Epilepsy & behavior reports, 14*, 100378. https://doi.org/10.1016/j.ebr.2020.100378

164. Valakos, D., d'Avossa, G., Mylonas, D., Butler, J., Klein, C., & Smyrnis, N. (2020). P300 response modulation reflects breaches of non-probabilistic expectations. *Scientific reports, 10*(1), 10254. https://doi.org/10.1038/s41598-020-67275-0

165. Van Hedger, S. C., Bongiovanni, N. R., Heald, S. L. M., & Nusbaum, H. C. (2023). Absolute pitch judgments of familiar melodies generalize across timbre and octave. *Memory & cognition*, *51*(8), 1898–1910. https://doi.org/10.3758/s13421-023-01429-z

166. Vanzella, P., & Schellenberg, E. G. (2010). Absolute pitch: effects of timbre on note-naming ability. *PloS one, 5*(11), e15449. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0015449

167. Veloso, F., & Feitosa, M. Â. G. (2013). O Ouvido Absoluto: bases neurocognitivas e perspectivas. *Psico-USF*, *18*(3), 357-362. https://doi.ORg/10.1590/S1413-82712013000300002

168. Villatte, J., Lacroix, A., Ibernon, L., Declercq, C., Hippolyte, A., Vivier, G., & Marec-Breton, N. (2025). Music and language in Williams syndrome: An integrative and systematic mini-review. *Behavioral Sciences, 15*(5), 595. https://doi.org/10.3390/bs15050595

169. Wada, M., Kurose, S., Miyazaki, T., Nakajima, S., Masuda, F., Mimura, Y., Nishida, H., Ogyu, K., Tsugawa, S., Mashima, Y., Plitman, E., Chakravarty, M. M., Mimura, M., & Noda, Y. (2019). The P300 event-related potential in bipolar disorder: A systematic review and meta-analysis. *Journal of affective disorders, 256*, 234–249. https://doi.org/10.1016/j.jad.2019.06.010

170. Wagner-Altendorf, T. A., Rein, M., Skeries, V. M., Cirkel, A., Münte, T. F., & Heldmann, M. (2024). Tracking the habituation of the event-related EEG potential in automatic change detection using an

auditory two-tone oddball paradigm. *Cerebral cortex (New York, N.Y. : 1991), 34*(4), bhae157. https://doi.org/10.1093/cercor/bhae157

171. Wagner-Altendorf, T. A., Skeries, V. M., Rein, M., Cirkel, A., Münte, T. F., & Heldmann, M. (2025). Setting standards: Auditory MMN and P3a habituate differentially in a two-syllable oddball task. *Behavioural brain research, 494*, 115743. https://doi.org/10.1016/j.bbr.2025.115743

172. Waninger, S., Berka, C., Meghdadi, A., Karic, M. S., Stevens, K., Aguero, C., Sitnikova, T., Salat, D. H., & Verma, A. (2018). Event-related potentials during sustained attention and memory tasks: Utility as biomarkers for mild cognitive impairment. *Alzheimer's & dementia (Amsterdam, Netherlands), 10*, 452–460. https://doi.org/10.1016/j.dadm.2018.05.007

173. Ward, W. D., & Burns, E. M. (1982). Absolute pitch. In D. Deutsch (Ed.), *The psychology of music* (pp. 431–451). New York: Academic Press.

174. Ward, J., Simner, J., Simpson, I., Rae, C., Del Rio, M., Eccles, J. A., & Racey, C. (2024). Synesthesia is linked to large and extensive differences in brain structure and function as determined by whole-brain biomarkers derived from the HCP (Human Connectome Project) cortical parcellation approach. *Cerebral cortex (New York, N.Y. : 1991), 34*(11), bhae446. https://doi.org/10.1093/cercor/bhae446

175. Wayman, J. W., Frisina, R. D., Walton, J. P., Hantz, E. C., & Crummer, G. C. (1992). Effects of musical training and absolute pitch ability on event-related activity in response to sine tones. *The Journal of the Acoustical Society of America, 91*(6), 3527–3531. https://doi.org/10.1121/1.402841

176. Wengenroth, M., Blatow, M., Heinecke, A., Reinhardt, J., Stippich, C., Hofmann, E., & Schneider, P. (2014). Increased volume and function of right auditory cortex as a marker for absolute pitch. *Cerebral cortex (New York, N.Y. : 1991), 24*(5), 1127–1137. https://doi.org/10.1093/cercor/bhs391

177. Wilson, S. J., Lusher, D., Wan, C. Y., Dudgeon, P., & Reutens, D. C. (2009). The neurocognitive components of pitch processing: insights from absolute pitch. *Cerebral cortex (New York, N.Y. : 1991), 19*(3), 724–732. https://doi.org/10.1093/cercor/bhn121

178. Wong, Y. K., Cheung, L. Y. T., Ngan, V. S. H., & Wong, A. C.-N. (2025). Learning fast and accurate absolute pitch judgment in adulthood. *Psychonomic Bulletin & Review, 32*, 1676–1688. https://doi.org/10.3758/s13423-024-02620-2

179. Wong, Y. K., Lui, K. F. H., Yip, K. H. M., & Wong, A. C. -N. (2020a). Is it impossible to acquire absolute pitch in adulthood? *Attention, Perception, & Psychophysics, 82*(3), 1407–1430. https://doi.org/10.3758/s13414-019-01869-3

180. Wong, Y. K., Ngan, V. S., Cheung, L. Y., & Wong, A. C. (2020b). Absolute pitch learning in adults speaking non-tonal languages. *Quarterly journal of experimental psychology (2006)*, 73(11), 1908–1920. https://doi.org/10.1177/1747021820935776

181. Wu, C., Kirk, I. J., Hamm, J. P., & Lim, V. K. (2008). The neural networks involved in pitch labeling of absolute pitch musicians. *Neuroreport, 19*(8), 851–854. https://doi.org/10.1097/WNR.0b013e3282ff63b1

182. Yanagisawa, H., Kawamata, O., & Ueda, K. (2019). Modeling Emotions Associated With Novelty at Variable Uncertainty Levels: A Bayesian Approach. *Frontiers in computational neuroscience, 13*, 2. https://doi.org/10.3389/fncom.2019.00002

183. Zatorre R. J. (2003). Absolute pitch: a model for understanding the influence of genes and development on neural and cognitive function. *Nature neuroscience, 6*(7), 692–695. https://doi.org/10.1038/nn1085

184. Zatorre, R. J., Perry, D. W., Beckett, C. A., Westbury, C. F., & Evans, A. C. (1998). Functional anatomy of musical processing in listeners with absolute pitch and relative pitch. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 95*(6), 3172–3177. https://doi.org/10.1073/pnas.95.6.3172

185. Zygouris, N. C., Dermitzaki, I., Patrikelis, P., Messinis, L., & Toki, E. I. (2025). Associations Between P300 Latency and Reaction Time on Event-Related Potentials in Children with Varying Levels of Fluid Intelligence. *Clinical and Translational Neuroscience, 9*(2), 24. https://doi.org/10.3390/ctn9020024

IX. ANEXOS

Anexo 1. Tabla de la lista de comprobación de los principios de PRISMA.

Sección/tema	Ítem N.º	Ítem de la lista de comprobación	Informado en página N.º
Título y resumen			
Titulo	1	Identifica la publicación como revisión sistemática, meta-análisis o ambas. Si se especifica que se trata de una revisión sobre ensayos clínicos ayudará a priorizarla frente a otras revisiones	Título
Resumen estructurado	2	Que incluya: antecedentes; objetivos; fuente de los datos; criterios de elegibilidad de los estudios, participantes e intervenciones; evaluación de los estudios y métodos de síntesis; reclutados; limitaciones; conclusiones e implicaciones de los hallazgos principales; número de registro de la revisión sistemática.	[8]
Introducción			
Justificación	3	Implica describir lo que se conoce del tema y comentar la necesidad de la revisión sistemática haciendo referencia a la importancia del problema y a la controversia existente sobre las intervenciones que se desea revisar.	4
Objetivos	4	Plantear de forma explícita las preguntas que se desea contestar en relación a con los participantes, las intervenciones, las comparaciones, los resultados y el diseño de los estudios.	5
Métodos			
Protocolo y registro	5	Indicar si existe un protocolo de revisión al que se pueda acceder (por ejemplo; dirección web) y, si está disponible la información sobre el registro, incluyendo su número de registro.	28
Criterios de elegibilidad	6	Especificar las características de los estudios y de las características de la búsqueda (por ejemplo: años abarcados, idiomas o estatus de publicación) utilizadas como criterios de elegibilidad y su justificación.	31
Fuentes de información	7	Describir todas las fuentes de información (por ejemplo: bases de datos y períodos de búsqueda, contacto con los autores para identificar estudios adicionales, etc.) y la fecha de la última búsqueda realizada.	30
Búsqueda	8	Presentar la estrategia completa de búsqueda electrónica en al menos una base de datos, incluyendo	30

Sección/tema	Ítem N.º	Ítem de la lista de comprobación	Informado en página N.º
		los límites utilizados, de tal forma que pueda ser reproducible.	
Selección de los estudios	9	Especificar el proceso de selección de los estudios, con los criterios de inclusión y exclusión. Definir la elegibilidad de los estudios incluidos en la revisión sistemática y, cuando sea pertinente, en el meta-análisis.	32
Proceso de extracción de datos	10	Describir los métodos para la extracción de datos de las publicaciones (por ejemplo: formularios pilotados, por duplicado y de forma independiente) y cualquier proceso para obtener y confirmar datos por parte de los investigadores.	34
Lista de datos	11	Listar y definir todas las variables para las que se buscaron los datos y cualquier asunción y simplificación que se hayan hecho.	37
Riesgo de sesgo en los estudios individuales	12	Describir los métodos utilizados para evaluar el riesgo de sesgo en los estudios individuales (especificar si se realizó a nivel de los estudios o de los resultados) y cómo está información se ha utilizado en la síntesis de datos.	33
Medidas de resumen	13	Especificar las principales medidas de resumen (por ejemplo: razón de riesgos o diferencias de medias).	37
Síntesis de resultados	14	Describir los métodos para manejar los datos y combinar los resultados de los estudios, cuando esto es posible, incluyendo medidas de consistencia para cada meta-análisis.	37
Riesgo de sesgo entre los estudios	15	Especificar cualquier evaluación del riesgo de sesgo que pueda afectar la evidencia acumulativa (por ejemplo: sesgo de publicación o comunicación selectiva)	37
Análisis adicionales	16	Describir los métodos adicionales de análisis (por ejemplo: análisis de sensibilidad o de subgrupos), en el caso de que se hiciera, indicar cuales fueron pre-especificados.	39
Resultados			
Selección de estudios	17	Facilitar el número de estudios cribados, evaluados para su elegibilidad e incluidos en la revisión sistemática, y detallar las razones para su exclusión en cada etapa, idealmente mediante un diagrama de flujo. El diagrama de flujo se convierte en un elemento esencial en las revisiones sistemáticas, en donde se valora el número de registros en cada etapa: identificación, cribado, elegibilidad e inclusión.	42

Sección/tema	Ítem N.º	Ítem de la lista de comprobación	Informado en página N.º
Características de los estudios	18	Para cada estudio presentar las características para las que se extrajeron los datos y proporcionar las citas bibliográficas	49
Riesgo de sesgo en los estudios	19	Presentar datos sobre el riesgo de sesgo en cada estudio y, si está disponible cualquier evaluación del sesgo en los estudios (Ver ítem 12).	70
Resultados de los estudios individuales	20	Para cada resultado considerado en cada estudio (beneficios o daños, presentar: a) el dato resumen para cada grupo de intervención y b) la estimación del efecto con su intervalo de confianza, idealmente de forma gráfica mediante un diagrama de bosque ("*forest plot*").	54
Síntesis de los resultados	21	Presentar los resultados de todos los meta-análisis realizados, incluyendo los intervalos de confianza y las medidas de consistencia.	66
Riesgo de sesgo entre los estudios	22	Presentar los resultados de cualquier evaluación del riesgo de sesgo entre los estudios (ver ítem 15).	66
Análisis adicionales	23	Facilitar los resultados de cualquier análisis adicional, en el caso de que se hayan realizado (por ejemplo: análisis de sensibilidad o de subgrupos (ver ítem 16).	73
Discusión			
Resumen de la evidencia	24	Resumir los hallazgos principales, incluyendo la fortaleza de las evidencias para cada resultado principal; considerar su relevancia para grupos clave (por ejemplo: proveedores, usuarios y decisores en salud).	77
Limitaciones	25	Discutir las limitaciones de los estudios y de los resultados (por ejemplo, riesgo de sesgo) y de la revisión (por ejemplo, obtención incompleta de los estudios identificados o comunicación selectiva).	93
Conclusiones	26	Proporcionar una interpretación general de los resultados en el contexto de otras evidencias, así como las implicaciones para la futura investigación. En las revisiones sistemáticas o meta-análisis son esenciales los apartados finales de “implicaciones para la práctica clínica” e “implicaciones para la investigación”.	96
Financiación			
Financiación	27	Describir las fuentes de financiación de las revisiones sistemáticas y otros tipos de apoyos (por ejemplo, aporte de los datos), así como el papel de los financiadores en las revisiones sistemáticas.	-

Anexo 2. Estrategias de búsquedas desarrolladas.

a. **Cadena de búsqueda para Pubmed/Medline**

(("Auditory Perception"[MeSH Terms]) OR "Pitch Perception"[MeSH Terms] OR "Pitch Discrimination"[MeSH Terms] OR "Auditory Perceptions"[Title/Abstract] OR "Perception, Auditory"[Title/Abstract] OR "Pitch Perceptions"[Title/Abstract] OR "Perception, Pitch"[Title/Abstract] OR "Pitch Discriminations"[Title/Abstract] OR "Discrimination, Pitch"[Title/Abstract] OR "Absolute pitch"[Title/Abstract] OR "Relative pitch"[Title/Abstract] OR "Pitch chroma"[Title/Abstract] OR "Pitch processing"[Title/Abstract] OR "Absolute Pitch Memory"[Title/Abstract] OR "Musical perfect pitch"[Title/Abstract]) AND ("Electroencephalography"[MeSH Terms] OR "Evoked Potentials"[MeSH Terms] OR "Event-Related Potentials, P300"[MeSH Terms] OR "Evoked Potentials, Auditory"[MeSH Terms] OR "EEG"[Title/Abstract] OR "Electroencephalograms"[Title/Abstract] OR "Electroencephalogram"[Title/Abstract] OR "Event Related Potentials"[Title/Abstract] OR "Event-Related Potential"[Title/Abstract] OR "Event-Related Potentials"[Title/Abstract] OR "Potential, Event-Related"[Title/Abstract] OR "Potentials, Event-Related"[Title/Abstract] OR "Waves, P2"[Title/Abstract] OR "P300 Components"[Title/Abstract] OR "P300 Component"[Title/Abstract] OR "P300 Event-Related Potentials"[Title/Abstract] OR "Event-Related Potentials, P3"[Title/Abstract] OR "Event-Related Potential, P300"[Title/Abstract] OR "P3 Event Related Potentials"[Title/Abstract] OR "P3a Event-Related Potentials"[Title/Abstract] OR "Event-Related Potential, P3b"[Title/Abstract] OR "P3b Event-Related Potential"[Title/Abstract] OR

"Auditory Evoked Response"[Title/Abstract] OR "Auditory Evoked Potentials"[Title/Abstract])

b. Cuadro de estrategia de búsqueda Medline

ID	Búsqueda
#1	MeSH descriptor: [Auditory Perception]
#2	MeSH descriptor: [Pitch Perception]
#3	MeSH descriptor: [Pitch Discrimination]
#4	"Auditory Perceptions" OR "Perception, Auditory" OR "Pitch Perceptions" OR "Perception, Pitch" OR "Pitch Discriminations" OR "Discrimination, Pitch" OR "Absolute pitch" OR "Relative pitch" OR "Pitch chroma" OR "Pitch processing" OR "Absolute Pitch Memory" OR "Musical perfect pitch"
#5	#1 OR #2 OR #3 OR #4
#6	MeSH descriptor: [Electroencephalography]
#7	MeSH descriptor: [Evoked Potentials]
#8	MeSH descriptor: [Event-Related Potentials, P300]
#9	MeSH descriptor: [Evoked Potentials, Auditory]
#10	"EEG" OR "Electroencephalograms" OR "Electroencephalogram" OR "Event Related Potentials" OR "Event-Related Potential" OR "Event-Related Potentials" OR "Potential, Event-Related" OR "Potentials, Event-Related" OR "Potentials, Event Related" OR "Waves, P2" OR "P300 Components" OR "P300 Component" OR "P300 Event-Related Potentials" OR "P300 Event-Related Potential" OR "Event-Related Potentials, P3" OR "Event-Related Potential,

	P300” OR “P3 Event Related Potentials” OR “Event-Related Potential, P3” OR “P300 Event Related Potentials” OR “Evoked Potentials, P300 Component” OR “P3 Event-Related Potential” OR “Event Related Potentials, P3” OR “Event Related Potentials, P300” OR “P3 Event-Related Potentials” OR “P3a Event-Related Potentials” OR “P3a Event Related Potentials” OR “Event-Related Potential, P3a” OR “Event-Related Potentials, P3a” OR “P3a Event-Related Potential” OR “Event-Related Potential, P3b” OR “P3b Event-Related Potential” OR “P3b Event-Related Potentials” OR “P3b Event Related Potentials” OR “Potentials, Auditory Evoked” OR “Auditory Evoked Response” OR “Auditory Evoked Potentials” OR “Auditory Evoked Responses” OR “Evoked Responses, Auditory” OR “Evoked Potential, Auditory” OR “Evoked Response, Auditory” OR “Auditory Evoked Potential”
#11	#6 OR #7 OR #8 OR #9 OR #10
#15	#5 AND #11

c. **Cadena de búsqueda para Scopus**

TITLE-ABS-KEY("auditory perception" OR "pitch perception" OR "pitch discrimination" OR "auditory perceptions" OR "perception, auditory" OR "pitch perceptions" OR "perception, pitch" OR "pitch discriminations" OR "discrimination, pitch" OR "absolute pitch" OR "relative pitch" OR "pitch chroma" OR "pitch processing" OR "absolute pitch memory" OR "musical perfect pitch") AND TITLE-ABS-KEY("EEG" OR "electroencephalography" OR "electroencephalogram" OR "event-related potentials" OR "ERP" OR "P300" OR "P3a" OR "P3b" OR "auditory evoked potentials" OR "evoked responses")

Anexo 3. Detalles particulares en la extracción de resultados cuantitativos de P300.

En el estudio original de Klein et al. (1984) se reportaron medidas de amplitud y área del componente P300, pero no se informaron las latencias. Por tanto, en el presente análisis, se aplicó el método *peak picking* para estimar las latencias individuales del P300, a partir de las cuales se calcularon la media y la desviación estándar.

En Wayman et al. (1992), se dividieron a los participantes en dos grupos: aquellos con OA y aquellos sin OA. En consecuencia, para la síntesis, se analizaron las latencias, amplitudes y sus respectivas desviaciones estándar de los músicos y no músicos que no presentaban OA. Para este proceso se utilizaron la media combinada y la desviación estándar combinada, porque son de dos grupos diferentes de muestra.

Para incluir los datos de Hantz et al. (1992) en el presente metaanálisis, se extrajeron las medias y desviaciones estándar de la amplitud y latencia del P300 reportadas para los grupos OA y sin OA (músicos y no músicos). Luego, se calcularon las medias combinadas y desviaciones estándar agrupadas para el grupo "sin OA", a fin de compararlo directamente con el grupo OA.

En Barnea et al. (1994) se indican las latencias y amplitudes de forma numérica. Se extrae del estudio directamente.

En el estudio de Crummer et al. (1994), se reportaron los resultados de amplitud y latencia de la P300 mediante figuras, por lo que para el presente análisis se estimaron valores cualitativos mediante el método de *peak picking*. Con el fin de

comparar sujetos con y sin OA, se combinó la media y la desviación estándar de los grupos de músicos y no músicos sin OA, dado que ambos grupos carecían de la habilidad específica. Sin embargo, se conservaron separados los resultados correspondientes a los tres tipos de estímulos (tuba, flauta y cuerdas), debido a las diferencias significativas y a la variabilidad en complejidad perceptiva que cada timbre representó, según lo reportado por los autores.

En el estudio de Hantz et al. (1995), se reportaron las latencias P3 para los electrodos Pz, Cz y Fz, pero para el metaanálisis se extrajeron únicamente los datos del electrodo Pz en respuestas a estímulos targets. Esta decisión siguió la estrategia previamente descrita de combinación de medias y desviaciones estándar. Se excluyó el estímulo de ruido blanco (*white noise*), ya que actuaba como condición de control no musical, mientras que el estímulo G4 correspondía a una tarea de memoria auditiva musical. Incluir ambos estímulos habría comprometido la especificidad del análisis en relación con el procesamiento musical.

Hantz et al. (1996) no muestra datos concretos para los registros de amplitud y latencias, a su vez, las medias y desviaciones estándar no son posibles de extraer.

Hantz et al. (1997) no muestra datos concretos para los registros de amplitud y latencias, a su vez, las medias y desviaciones estándar no son posible extraer.

En Hirose et al. (2002) se incluyeron dos sesiones con tareas tipo *oddball* que diferían en la naturaleza del estímulo *no-target*. En la sesión 1, el estímulo no-target fue ruido blanco, mientras que en la sesión 2 fue un tono puro (C4). Debido a esta diferencia fundamental en las características acústicas y cognitivas

de los estímulos no-target, resulta metodológicamente más adecuado tratar los datos de cada sesión por separado en el metaanálisis, ya que podrían involucrar procesos de detección y atención distintos.

En el estudio de Renninger et al. (2003), se utilizaron tonos sinusoidales de 350 ms de duración para evitar el efecto del piano absoluto. Se incluyeron dos tareas: una de memoria de tono (Tarea 1) y otra de contorno (Tarea 2), aunque para este metaanálisis solo se consideraron los resultados de la Tarea 1, por ser la más directamente relacionada con el procesamiento absoluto del tono. Aunque los autores reportan una reducción significativa en la amplitud del P300 del grupo con OA al excluir a cuatro sujetos con potencial uso de oído relativo, en el presente análisis se mantuvo la muestra completa, agrupando a todos los participantes según los criterios originales (OA y sin OA), sin exclusiones. Las amplitudes y latencias del componente P300 fueron extraídas a partir de las figuras del artículo original, y se calcularon la media y desviación estándar combinadas para cada grupo, de acuerdo con los métodos establecidos de metaanálisis. Esta decisión metodológica busca mantener fidelidad a la clasificación original del estudio y permitir una comparación más amplia y representativa entre grupos.

En el estudio de Itoh et al. (2005), no muestra datos concretos para los registros de amplitud y latencias, a su vez, las medias y desviaciones estándar no son posibles de extraer. Se clasificó a los participantes con High-AP como poseedores de OA, mientras que los grupos Mid-AP, Low-AP y untrained fueron considerados no poseedores. El experimento auditivo relevante para el metaanálisis es el *pitch-naming experiment*, ya que evalúa la capacidad del participante para identificar tonos, contrastando esta tarea activa con una condición de escucha

pasiva. Por su parte, el experimento *Auditory Stroop* se centró en analizar cómo la incongruencia entre tono y nombre influía en las respuestas, explorando si los componentes reflejaban una transformación asociativa tono-nombre. Aunque el componente P3b también fue registrado en este experimento, su modulación no se vio afectada significativamente por la incongruencia en ninguno de los grupos.

En el estudio de Rogenmoser et al., (2015) se utilizaron tonos estándar (bloque A) y desafinados (bloque C) con el objetivo de evidenciar el efecto del OA. Ambos tipos de estímulos fueron incluidos en el metaanálisis, aplicando la media de las diferencias y desviación estándar muestral de las diferencias debido a que son resultados de una misma muestra. Los datos de amplitud del componente P3a se extrajeron de la figura 6 del artículo, mientras que, en el caso de las latencias, no se reportaron valores concretos. Para las amplitudes del componente P3a para ambos grupos y todas las condiciones de desviación, se utilizó un conjunto frontal de electrodos (*frontal pool of electrodes*). Estos electrodos incluyeron F3, Fz, F4, FC3, FCz, FC4, C3, Cz y C4. Se agruparon en una única Región de Interés para aumentar la relación señal/ruido y evitar comparaciones múltiples entre electrodos vecinos.

En Greber et al. (2018) se agruparon (*pooling*) los valores pico de las ondas de diferencia correspondientes al componente P3a a partir de una agrupación de nueve electrodos frontales y centrales (F3, Fz, F4, FC3, FCz, FC4, C3, Cz, C4). El estudio no reporta directamente los valores de amplitud y latencia promedio ni sus desviaciones estándar, y estos no pueden ser extraídos con precisión a partir de las figuras disponibles. Por este motivo, se contactó a los autores por correo electrónico solicitando el acceso al conjunto de datos original (ver

https://osf.io/7qxjs/). Tras recibir una respuesta afirmativa, se utilizaron dichos registros para calcular las medias y desviaciones estándar muestrales de las amplitudes y latencias del P3a. Para el análisis se incluyeron los datos de los bloques A (tono estándar 440 Hz) y C (tono estándar 264 Hz), los cuales contenían desviantes con distintas magnitudes de desafinación. Ambos bloques fueron incluidos en el metaanálisis como condiciones dependientes dentro de una misma muestra, por lo que se emplearon los promedios de las diferencias y sus desviaciones estándar muestrales considerando la dependencia intraindividual.

En Leipold et al., (2019) no muestra datos concretos para los registros de amplitud y latencias, a su vez, las medias y desviaciones estándar no son posibles de extraer.

En el estudio de Greber y Jäncke (2020), se accedió al conjunto de datos públicos disponibles en el repositorio OSF (https://osf.io/f5nkx/). A partir de dichos registros, se extrajeron los valores de amplitud y latencia para el análisis de los potenciales evocados. En particular, se utilizaron los datos correspondientes a la condición “Mist-Go” (No-Go con tonos desafinados), específicamente la variable “MeanAmplitude.Mist-Go_P3d_Pz”, que representa la amplitud media de la componente P3d en el electrodo parietal Pz. A partir de esta variable se calcularon la media y la desviación estándar muestral necesarias para el análisis estadístico.

Anexo 4. El uso de Inteligencia Artificial en el presente trabajo

Para mejorar la presentación textual de este trabajo, la inteligencia artificial generativa (Claude Opus 4.7) sirvió como herramienta auxiliar. Este recurso se

usó únicamente para: (a) comprobaciones de gramática y estilo, (b) encontrar una estructura expositiva y (c) garantizar la claridad en la redacción de párrafos.

UNIVERSIDAD PERUANA
CAYETANO HEREDIA

DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD

Los egresados:

N°	APELLIDOS Y NOMBRES
1.	LAZARO CRUZ JOSE GABRIEL

Pertenecientes al programa de la **MAESTRÍA EN NEUROCIENCIA**, autores del trabajo titulado: **OÍDO ABSOLUTO Y MEDIDAS P300: UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA Y METAANÁLISIS**, el cual ha sido elaborado, sustentado y aprobado, según corresponda, para optar por el grado de **MAESTRO EN NEUROCIENCIA** bajo la modalidad de **TESIS**.

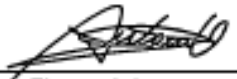
En calidad de docentes asesores de la Universidad Peruana Cayetano Heredia:

N°	APELLIDOS Y NOMBRES DEL DOCENTE	FACULTAD	NIVEL DE ASESORÍA
1.	QUISPE GUTIERREZ ANTONIO MARTY	EPGVAC	ASESOR

Declaramos que el contenido del presente documento es original y que las citas y referencias a otros autores cumplen con las normas académicas establecidas. En ese sentido, hacemos constar que:

- El documento presenta un porcentaje de similitud de **11%**, según el reporte emitido por el software **Turnitin®** (identificador de entrega: **3084973973**; fecha de entrega: **09-11-2026**).
- Tras una revisión detallada del reporte y del contenido del trabajo en cuestión, no se han identificado indicios de plagio.
- Se certifica que el documento respeta los principios de integridad académica y cumple con los requisitos institucionales de originalidad.

Lugar y fecha: **Lima, 09 de noviembre de 2026**



Firma del asesor
N° DNI: 10774189
ORCID: 0000-0003-2100-7423

Firma del Co-asesor
N° DNI:
ORCID:

ÍNDICE

RESUMEN

ABSTRACT

I.	INTRODUCCIÓN	1
II.	OBJETIVOS	6
III.	MARCO TEÓRICO	7
IV.	METODOLOGÍA	29
V.	RESULTADOS	43
VI.	DISCUSIÓN	78
VII.	CONCLUSIONES	97
VIII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	98
IX.	ANEXOS	

RESUMEN:

El oído absoluto (OA) es una habilidad musical poco frecuente (0,01% de la población) que permite identificar o reproducir tonos musicales sin una referencia externa. Esta capacidad se ha vinculado al componente P300 del electroencefalograma (EEG). El presente estudio llevó a cabo una revisión sistemática y un meta-análisis para examinar la relación entre el OA y las medidas de amplitud y latencia del P300 siguiendo las directrices PRISMA. Se incluyeron estudios que compararan participantes con y sin OA en tareas auditivas que midieran la amplitud y la latencia del P300. Se calcularon tamaños de efecto estandarizados (*g* de Hedges) para el meta-análisis utilizando modelos de efectos fijos y aleatorios, según correspondiera. Se evaluó la heterogeneidad entre los estudios (I^2, Q), así como la influencia de estudios individuales y el posible sesgo de publicación mediante gráficos en embudo. Se incluyeron un total de 15 estudios que comprendieron 490 participantes. El metaanálisis mostró una reducción significativa de la latencia del P300 en el grupo con OA en comparación con el grupo sin esta habilidad (g = -0,42, IC 95% [-0,63 – -0,21], p < 0,001), con heterogeneidad moderada (I^2 = 34%). En contraste, el análisis de la amplitud del P300 no reveló diferencias estadísticamente significativas entre los grupos (g = -0,43, IC 95% [-0,86 – 0,00], p = 0,05), presentando una heterogeneidad sustancial (I^2 = 77%). Estos hallazgos indican que el OA se asocia con una reducción en la latencia del P300, lo que sugiere un procesamiento auditivo más eficiente y automático en las personas con esta habilidad. Sin embargo, la evidencia sobre las diferencias en la amplitud del P300 sigue siendo

inconclusa. Los resultados respaldan la existencia de mecanismos neurocognitivos diferenciados en individuos con OA.

Palabras clave: Electroencefalograma (EEG), P300, oído absoluto (OA), oído relativo, tono musical, revisión sistemática.

ABSTRACT:

Absolute pitch (AP) is a rare musical ability (0.01% of the population) that allows individuals to identify or reproduce musical tones without an external reference. This ability has been linked to the P300 component of the electroencephalogram (EEG). The present study conducted a systematic review and meta-analysis to examine the relationship between AP and the amplitude and latency measures of the P300, following PRISMA guidelines. Studies comparing participants with and without AP in auditory tasks that assessed P300 amplitude and latency were included. Standardized effect sizes (Hedges' *g*) were computed for the meta-analysis using both fixed- and random-effects models, as appropriate. Heterogeneity across studies (I^2, Q) was assessed, along with the influence of individual studies and potential publication bias through funnel plot analysis. A total of 15 studies comprising 490 participants were included. The meta-analysis of P300 latency showed a significant reduction in the AP group compared to the non-AP group (g = -0.42, 95% CI [-0.63, -0.21], $p < .001$), with moderate heterogeneity (I^2 = 34%). In contrast, the analysis of P300 amplitude revealed no statistically significant differences between groups (g = -0.43, 95% CI [-0.86, 0.00], p = .05), with substantial heterogeneity (I^2 = 77%). These findings suggest that AP is associated with a reduction in P300 latency, indicating more efficient and automatic auditory processing among individuals with this ability. However, evidence regarding differences in P300 amplitude remains inconclusive. Overall, the results support the existence of distinct neurocognitive mechanisms in individuals with absolute pitch.

Keywords: Electroencephalogram (EEG), P300, absolute pitch (AP), relative pitch, musical tone, Systematic review

I. INTRODUCCIÓN

El oído absoluto (OA) o *absolute pitch* se define como la capacidad de identificar y/o producir notas musicales específicas con alta precisión y rapidez, sin una nota de referencia en el sistema tonal occidental (Bairnsfather et al., 2025; Shibayama et al., 2026). Es una habilidad poco común cuya prevalencia en la población general de Europa y Norteamérica se estima en menos del 0.01% (Deutsch, 2013), mientras que, en estudiantes de nivel profesional, miembros de orquestas y poblaciones de músicos se reportan rangos entre 1% y 15% (Baharloo et al., 1998; Jobling, 2014; Leite et al., 2016). Esta variación se relaciona con la ausencia de métodos estandarizados para su identificación y con criterios de evaluación heterogéneos (Bairnsfather et al., 2025; Bermudez y Zatorre, 2009).

La condición de OA puede co-ocurrir con la sinestesia, fenómeno que consiste en el reconocimiento automático e involuntario mediante el cual la activación de una modalidad sensorial desencadena la de otra (Ward et al., 2024), como ocurre, por ejemplo, al percibir colores a partir de sonidos. Aunque el OA y la sinestesia constituyen rasgos independientes, ambos comparten una prevalencia poco frecuente en la población general y han sido descritos de manera reiterada como coincidentes en los mismos individuos. La evidencia más sólida al respecto proviene de Gregersen et al. (2013), quienes, tras evaluar a 768 personas con OA, hallaron que el 20,1% reportaba algún tipo de sinestesia, particularmente del tipo tono-color.

Por otra parte, la idea de que las personas con síndrome de Williams poseen oído absoluto proviene de estudios tempranos con muestras muy pequeñas. Lenhoff et

al. (2001) evaluaron a cinco individuos con síndrome de Williams, reportaron niveles de OA y plantearon una incidencia mayor que en la población general y un periodo sensible de adquisición prolongado. Sin embargo, Martínez-Castilla et al. (2013) aplicaron tareas de identificación y memoria tonal a 27 participantes con síndrome de Williams, y ningún grupo mostró OA. Según sus conclusiones, esta capacidad sería tan infrecuente en el síndrome de Williams como en el desarrollo típico. La evidencia reciente apunta en la misma dirección: la discriminación tonal en el síndrome de Williams se asocia con la comprensión prosódica, y la práctica musical favorece la prosodia y la memoria verbal (Villatte et al., 2025). En otras palabras, el síndrome de Williams parece caracterizarse por una musicalidad afectiva y motivacional destacada más que por una percepción tonal excepcional.

El presente estudio profundiza en estos procesos automáticos mediante registros de electroencefalograma (EEG), dada la relación reportada entre ciertos potenciales evocados, en particular la atenuación del componente P300, y la presencia de OA. El trabajo clásico de Klein et al. (1984) mostró un P300 reducido o ausente ante tonos poco frecuentes en sujetos con OA, sugiriendo que procesan los estímulos sin necesidad de actualizar el modelo del entorno en memoria de trabajo (Greber y Jäncke, 2020; Klein et al., 1984; Lockhead y Byrd, 1981; Siegel, 1974; Ward y Burns, 1982). Con base en ello, se planteó que las personas con OA poseen etiquetas o plantillas fijas tono–nombre almacenadas a largo plazo (Levitin y Rogers, 2005; Rogenmoser et al., 2015; Takeuchi y Hulse, 1993), por lo que deberían mostrar un P300 mínimo ante tonos nuevos, al no requerir actualización de la memoria de trabajo auditiva (Barnea et al., 1994; Renninger et al., 2003).

La amplitud del P300 tiende a disminuir en individuos con OA durante tareas con demanda de memoria a corto plazo, patrón conocido como efecto del OA y considerado un posible marcador de la estrategia empleada: amplitudes mayores cuando se utiliza memoria de trabajo tonal y atenuadas cuando se recurre a la memoria a largo plazo de etiquetas tonales (Itoh et al., 2005; Leipold et al., 2019b; Renninger et al., 2003). La variabilidad de resultados podría explicarse por diferencias en los diseños experimentales y en la exigencia de las tareas sobre la memoria de tono; por ejemplo, Hantz et al. (1995) señalaron que sus tareas no activaban suficientemente el OA, mientras que Renninger et al. (2003) desarrollaron una tarea más desafiante que reveló el efecto OA y mostró una correlación positiva entre rendimiento en memoria de trabajo tonal y amplitud del P300 en OA.

El OA representa una habilidad excepcional para identificar notas musicales sin referencia tonal externa, pero es un reto al día de hoy explicar esta capacidad desde registros fisiológicos. Estudios iniciales utilizando paradigmas *oddball* auditivos han medido el componente P300 del EEG como marcador de procesamiento atencional y discriminación tonal, encontrando en personas con OA latencias y amplitudes reducidas, lo cual sugiere la existencia de representaciones tonales fijas.

Sin embargo, la variabilidad metodológica en los experimentos de OA como uso de timbres piano, tonos senoidales, duraciones de tonos de 60 a 2000 milisegundos (ms), y criterios OA heterogéneos, a su vez, tamaños muestrales pequeños generan resultados contradictorios.

En este contexto planteamos como principal problema de investigación de la presente revisión sistemática y metanálisis explorar si existen diferencias significativas en amplitud y latencia del componente P300 entre personas con y sin OA. Adicionalmente planteamos como problemas secundarios identificar moderadores metodológicos diversos en la medición de OA (paradigma, estímulos, electrodos) que expliquen la heterogeneidad observada.

La comprensión de los mecanismos neuronales funcionales y estructurales en personas con OA continúa siendo un desafío para la neurociencia. Sin embargo, diversos estudios han evidenciado la existencia de un proceso de etiquetado interno en individuos con OA, caracterizado por su automaticidad y bajo requerimiento de esfuerzo cognitivo. Paradójicamente, esta automatización puede interferir con tareas de reconocimiento tonal, lo que podría representar una desventaja, especialmente en músicos (Miyazaki y Rakowski, 2002).

En las últimas décadas, el OA ha sido estudiado mediante potenciales evocados, especialmente a través del componente P300 del EEG, el cual se asocia con procesos de atención, discriminación auditiva y memoria de trabajo. No obstante, los hallazgos sobre diferencias entre personas con y sin OA en la latencia y amplitud del P300 siguen siendo materia de investigación.

Cabe señalar que las investigaciones existentes sobre OA presentan variabilidad metodológica y, en algunos casos, resultados contradictorios. Para este estudio, se considerarán dos grupos comparativos: personas con OA y personas sin OA, incluyendo en este último tanto a músicos como a no músicos con oído relativo.

Responder a esta pregunta resulta relevante, ya que podría contribuir significativamente a la comprensión del procesamiento cerebral del tono. Además, el estudio de procesos cerebrales auditivos implicados en la identificación tonal tiene implicancias potenciales en contextos clínicos y educativos. El OA está vinculado con procesos de identificación de altura tonal, percepción de frecuencias, memoria auditiva y, en algunos casos, habilidades verbales, lo que refuerza el interés científico por su estudio.

La pregunta de investigación es ¿existen diferencias significativas en la amplitud y latencia del componente P300 del EEG entre personas con Oído Absoluto y sin Oído Absoluto?

II. OBJETIVOS

2.1 Objetivo principal

Evaluar y sintetizar la evidencia disponible sobre las diferencias en la amplitud y latencia del componente P300 del electroencefalograma entre personas con oído absoluto y personas sin esta habilidad.

2.2. Objetivos secundarios

O1: Analizar la relación entre la habilidad de oído absoluto y las características del componente P300 (amplitud y latencia) en personas con esta habilidad, a través de la revisión de estudios.

O2: Evaluar e integrar, mediante un metaanálisis, las diferencias en la amplitud y en la latencia del P300 entre personas con y sin oído absoluto, para determinar si existe un patrón neurofisiológico distintivo asociado a esta habilidad.

O3. Evaluar, mediante metaanálisis, las diferencias en el rendimiento del test de oído absoluto entre personas clasificadas como oído absoluto y sin la habilidad, para establecer la magnitud y consistencia del desempeño entre ambos grupos.

III. MARCO TEÓRICO

3.1. Tonos musicales

El sentido auditivo capta las vibraciones moleculares del aire y las convierte en sonido, cuyas propiedades físicas son forma de onda, fase, amplitud y frecuencia. La amplitud se percibe como sonoridad, la frecuencia como tono y la complejidad como timbre (Englitz et al., 2024). En experimentos con ondas auditivas se emplean dos tipos de tonos: los puros, ondas senoidales de una sola frecuencia y de origen artificial; y los compuestos, formados por la combinación de tonos puros, que constituyen la mayoría de los sonidos naturales (Fung et al., 2025). Los tonos puros y complejos generan activación en la corteza auditiva de orden medio y áreas sensoriomotoras, con una representación integrada de tono que se construye a partir de distintas pistas acústicas (Abrams et al., 2025).

La audición consiste en la transducción de estímulos físico-acústicos en impulsos electroquímicos que alcanzan la corteza cerebral, donde se identifican y comparan con una jerarquía tonal interna (Bonetti et al., 2024). Esta jerarquía se basa en 12 notas o semitonos organizados en 8 octavas, con una frecuencia de referencia de 440 Hz para la nota LA en la cuarta octava (Howard y Angus, 2009, pp. 122,165). Investigaciones sobre la segmentación de flujos auditivos evidencian una "rivalidad" entre tono y timbre: cuando los estímulos son tonos complejos con pocas bandas de frecuencia, los contrastes de timbre favorecen la segregación de flujos, mientras que con más bandas domina la separación de tonos, lo que refuerza la idea de que el sistema auditivo cortical compara propiedades de

frecuencia y complejidad espectral para organizar la percepción (Jhang et al., 2025).

3.2. P300 y procesos auditivos

Un tipo de registro de EEG se realiza mediante los potenciales relacionados con eventos (PRE) o potenciales evocados, que reflejan los potenciales postsinápticos inhibitorios y excitadores de membrana, generados por células piramidales corticales (Lim et al., 2024; Waninger et al., 2018). Los PRE capturan la actividad eléctrica del cuero cabelludo ante estímulos sensoriales o cognitivos (Duncan et al., 2009) y se dividen en dos tipos: exógenos y endógenos (Duarte et al., 2009; Gong et al., 2024). Los exógenos surgen antes de los 100 ms tras el estímulo y dependen de sus características físicas; los endógenos, en cambio, reflejan procesos internos y aparecen después de los 100 ms.

Dentro de los componentes endógenos destaca el P300, que fue reportado por primera vez por Sutton et al. (1965), quien posteriormente (Sutton, 1979) logró promediar las señales neurofisiológicas e identificar una onda con amplitud máxima alrededor de los 300 ms llamada P300, tras la presentación de estímulos psicológicos, consolidando así la caracterización del componente. Este componente se vincula al reconocimiento consciente de cambios en el patrón auditivo.

Los registros de P300 se logran a través de estímulos diversos, para nuestro caso, estímulos auditivos en secuencia o paradigmas. Los estudios basados en PRE presentan una clara ventaja gracias a su excelente resolución temporal, lo que permite registrar respuestas cerebrales a estímulos auditivos con una precisión del

orden de microsegundos. Este tipo de registro puede emplearse, por ejemplo, bajo el paradigma *oddball* auditivo (Hong et al., 2025; Rogenmoser et al., 2015).

Dicho paradigma fue propuesto originalmente por Ritter y Vaughan (1969) y adaptado para estímulos auditivos por Squires et al. (1975). Se sustenta en el enfoque de escucha pasiva, mediante el cual se recolecta información electrofisiológica asociada al procesamiento automático de tonos, con una resolución temporal altamente precisa. En este diseño experimental, se presentan tonos estándar con alta frecuencia (≈80%) y tonos infrecuentes o target con menor frecuencia (≈20%). Estos últimos generan de forma confiable componentes de potenciales evocados en regiones frontales, destacando el P300, vinculado al reconocimiento consciente de cambios en el patrón auditivo.

Un paradigma particular para registros auditivos es el *pitch naming* o etiquetado de tono, que es una condición de escucha pasiva no un *oddball* clásico. Aquí se presentan tonos aislados (piano) a músicos con y sin oído absoluto en dos tareas: escuchar sin responder (*Listening Task*) y nombrar la altura del tono (*Naming Task*). En la tarea de *naming*, los participantes deben dar el nombre de la nota (do, re, mi / C, D, E, etc.), permitiendo comparar los correlatos PRE de oído absoluto u otras clasificaciones. Además, se usa una variante de tipo Stroop auditivo (congruente vs incongruente entre tono y etiqueta verbal) para modular los componentes tardíos (P3b, onda positiva lenta parietal, onda negativa lenta frontal y la de OA negativo) (Itoh et al., 2005).

Complementariamente, el paradigma Go/No-Go es usado en registros auditivos y EEG. Este paradigma evalúa la inhibición de respuestas motoras mediante

estímulos sonoros, comúnmente tonos de diferentes frecuencias o duraciones. En una secuencia repetitiva, los participantes responden (Go) a un tono frecuente (con un 80 a 90% de probabilidad de presentarse) presionando un botón, pero inhiben la respuesta (No-Go) ante un tono raro (usualmente en un 10-20% de probabilidad), similar al oddball. El P300 (especialmente central y parietal) son prominentes en No-Go: la anticipación del P300 genera una mayor amplitud frontal en No-Go vs. Go, lo que refleja no solo inhibición, sino también reducción de actividad motora negativa en Go. Estudios confirman que P300 No-Go y conteo silencioso (sin respuesta) son topográficamente similares, cuestionando atribución exclusiva a inhibición (Fogarty et al., 2020).

En cuanto a su cuantificación, el componente P300 puede evaluarse mediante dos parámetros principales: latencia y amplitud. Este componente se caracteriza por una pendiente positiva dentro del potencial relacionado con eventos, lo que significa que su punto de máxima amplitud o pico de voltaje (μV) es positivo. La latencia hace referencia al intervalo temporal transcurrido desde la presentación del estímulo hasta la aparición de dicha amplitud máxima, situándose típicamente entre los 250 y 500 ms.

Las implicancias de la medición del P300 abarca desde evaluaciones clínicas de activación sensorial, emocional y cognitiva. Por ejemplo, registros de actividad auditiva, hasta trastornos del neurodesarrollo y neurodegeneración. Desde una perspectiva cognitiva, el componente P300 se ha asociado con la detección de estímulos visuales y auditivos relevantes en contextos impredecibles (Cartocci et al., 2025). En el ámbito de la cognición musical, las investigaciones recientes

sugieren que la amplitud del P300 puede reflejar procesos atencionales: a mayor nivel de atención, mayor amplitud registrada. Asimismo, se ha observado que cuando el individuo dispone de una mayor cantidad de información o experiencia previa, la amplitud también tiende a incrementarse (Krystecka et al., 2025).

En cuanto a la latencia, esta varía según las capacidades cognitivas generales del individuo: una latencia menor indica un procesamiento más rápido y eficiente. De igual modo, cuanto más sencilla resulte la discriminación del estímulo, más corta será la latencia (Zygouris et al., 2025). Es importante señalar que la generación del P300 requiere en la mayoría de los casos la participación activa del sujeto para detectar los estímulos objetivo, dado que las tareas pasivas suelen producir amplitudes significativamente menores que aquellas que implican una respuesta consciente o atencional.

Y, de forma complementaria, en el área clínica el P300 se ha asociado a posibles diagnósticos o como marcador electrofisiológico de una condición particular. Por ejemplo, en el trastorno por déficit de atención e hiperactividad, la evidencia converge en un patrón de latencias prolongadas que reflejaría una velocidad de procesamiento cognitivo enlentecida; en niños preescolares con el trastorno por déficit de atención e hiperactividad se han documentado latencias significativamente mayores respecto a controles sanos en múltiples electrodos de la línea media (Fz, Cz, Pz) y en regiones parieto-occipitales, junto con amplitudes incrementadas en Pz y Oz, lo que sugiere alteraciones tempranas en la asignación de recursos atencionales (Tao et al., 2024).

En el trastorno del espectro autista, en cambio, los hallazgos resultan más heterogéneos: las revisiones sistemáticas del procesamiento auditivo señalan que

las alteraciones del P300, tanto en amplitud como en latencia, no siguen una dirección uniforme, sino que dependen de la modalidad del estímulo, del paradigma empleado y la condición del trastorno del espectro autista (niveles de atención 1, 2 o 3), reflejando la propia heterogeneidad del espectro (Gonçalves & Monteiro, 2023). Esto invita a considerar los resultados con cuidado, reconociendo el diseño experimental aplicado.

En otras condiciones, como el Alzheimer, se ha propuesto que los desplazamientos en la latencia y la amplitud del P300 (latencia prolongada y amplitud reducida) podrían complementar la evaluación neuropsicológica en etapas preclínicas (Mohamed et al., 2024). El uso de fármacos también puede alterar los registros de electroencefalograma. Por ejemplo, se ha identificado que el uso de medicación constituye un moderador significativo del tamaño del efecto sobre la amplitud del P300 en un metaanálisis sobre la depresión (McClintock et al., 2025). En conjunto, esta evidencia posiciona al P300 como un marcador transdiagnóstico prometedor, aunque su valor exige controlar variables como el uso de medicación, la edad y los paradigmas de estimulación.

El potencial P300 presenta dos subcomponentes principales: el P3a y el P3b (Polich, 2012). El primero aparece en una ventana temporal anterior (aproximadamente de 220 a 280 ms) y se relaciona con la atención de origen frontal durante la ejecución de una tarea. Por su parte, el P3b surge posteriormente (aproximadamente de 310 a 380 ms) y refleja la actividad de atención temporo-parietal vinculada a la actualización de la memoria (Huang et al., 2015).

Además de estos, se ha descrito una onda lenta que acompaña a los componentes P3a y P3b, así como un subcomponente adicional denominado nP3, relacionado con estímulos novedosos que aparece entre 360 hasta 450 ms según distintos paradigmas (Barry et al., 2019). Los estudios combinados de resonancia magnética funcional y electroencefalografía confirman estos hallazgos: el P3a se origina principalmente en áreas frontales, mientras que el P3b se asocia con activaciones bilaterales en regiones temporo-parietales, áreas premotoras y motoras, y el surco intraparietal anterior, particularmente evidenciado mediante el paradigma *oddball* (Ragazzoni et al., 2019). En pacientes con daño prefrontal se ha observado una disminución en la amplitud del P300 ante estímulos novedosos, lo que refuerza el papel crítico de la corteza prefrontal en la detección de novedad (Oribe et al., 2015).

De acuerdo con el modelo de Polich (2003), la generación del P300 implica la interacción entre regiones frontales y temporo-parietales, áreas donde se observa su máxima positividad y donde se considera que ocurre la detección consciente del estímulo (Huang et al., 2015). En este marco, el P3a se vincula con procesos de atención y memoria de trabajo, mientras que el P3b se asocia con la actualización contextual de la memoria, ambos en paralelo. Este planteamiento sustenta el modelo de actualización de contexto, que explica la relación entre el P300 y el paradigma *oddball*: el componente positivo del PRE emerge ante la detección de estímulos raros o inesperados, reflejando una actualización contextual causada por un nuevo *input* sensorial (Gómez et al., 2019; Pearson et al., 2025).

En el registro de P300 se incluyen Pz (parietal posterior), donde la amplitud de P3b es máxima, reflejando procesos de evaluación de estímulos raros, y Cz (centro), sensible a componentes P3a asociados a atención orientadora. Estos electrodos capturan la deflexión positiva tardía (250-500 ms post-estímulo), generada por tonos raros como en el paradigma *oddball* (20% de probabilidad) entre frecuentes (80% de probabilidad) (Sasatake y Matsushita, 2025).

Según Polich (2003), los individuos comparan de manera continua el *input* sensorial recibido con estímulos previos, clasificándolos como estándares o infrecuentes (*target*). Si el estímulo es familiar, el procesamiento neural se mantiene estable, manifestando amplitudes máximas de P200 o negatividades tempranas N100. En cambio, un estímulo infrecuente demanda redistribución de recursos atencionales y actualización del contexto, lo que genera una deflexión positiva promedio a los 300 ms. Pese a la existencia de posibles subcomponentes adicionales implicados en la actualización contextual, las asociaciones P3a (frontal) y P3b (temporo-parietal) mantienen sólida evidencia empírica (Brydges y Barceló, 2018).

Un factor determinante en la amplitud del P300 es el intervalo entre estímulos *target*. Intervalos más largos tienden a generar amplitudes P300 mayores, lo que concuerda con la hipótesis de actualización de contexto (Steiner et al., 2013). Este efecto también se ha observado en tareas auditivas Go/No-Go (Greber y Jäncke, 2020; Steiner et al., 2014a, 2014b). Del mismo modo, se ha demostrado que intervalos mayores entre *targets* incrementan los componentes P300 y P3b y amplifican la implicación de la memoria de trabajo (Steiner et al., 2013),

sugiriendo que el uso de la memoria modulada por el estímulo *target* es un factor clave en su generación (Gonsalvez et al., 2007).

El subcomponente P3b se asocia con la actualización de la memoria de trabajo o del contexto (Carrasco et al., 2025), lo que se evidencia en tareas en las que ciertos estímulos requieren una reorganización de la información mantenida en memoria de trabajo (Kessler, 2017; Kessler et al., 2017). Además, el P3b puede aparecer incluso cuando una señal anticipa dicho cambio, aunque el estímulo en sí permanezca constante, lo que sugiere que su activación depende de la actualización contextual más que de la novedad física del estímulo. Esto sugiere que el P3b podría reflejar la identificación de señales predictoras de cambio, coherente con la hipótesis de Rac-Lubashevsky y Kessler (2019), según la cual una baja incertidumbre en la previsibilidad del estímulo es necesaria para detonar el P3b durante la identificación sensorial.

En síntesis, el P300 representa una respuesta fisiológica de los procesos cognitivo-perceptivos implicados en la atención, detección de novedades y actualización de contexto. La combinación de técnicas electrofisiológicas y de neuroimagen funcional aportan evidencia más robusta sobre su origen, teniendo en cuenta que su generación depende del tipo de estímulo, las características de la tarea y la presentación de estímulos novedosos (Bairnsfather et al., 2025). Finalmente, las limitaciones metodológicas actuales (costos elevados, tamaños muestrales reducidos y problemas de reproducibilidad) continúan siendo desafíos para la investigación del P300 (Poldrack et al., 2017).

3.3. Componentes del oído absoluto

La comprensión del OA implica distinguir entre procesos perceptivos y cognitivos (Elmer et al., 2015; Levitin y Rogers, 2005). La fase primaria de percepción categórica ha sido ampliamente estudiada mediante la comparación entre individuos con OA y aquellos que no poseen esta habilidad. Los resultados de diversas investigaciones muestran que, durante las fases tempranas tanto del procesamiento auditivo como de la categorización de estímulos sonoros, los poseedores de OA activan de manera más eficiente y focalizada áreas cerebrales específicas como la circunvolución temporal superior. En cambio, los individuos sin OA tienden a reclutar redes neuronales alternativas, particularmente aquellas vinculadas con la memoria de trabajo y el procesamiento perceptivo de orden superior, lo que sugiere la participación de mecanismos compensatorios para la tarea de identificación tonal (Schulze et al., 2009).

Este patrón diferenciado podría relacionarse con la cronotopía, la organización temporal de la actividad neuronal, y con la dinámica temporal de la activación en regiones auditivas como el *planum temporale* y la propia circunvolución temporal superior. Estas estructuras no solo participan en la decodificación inicial del sonido, sino que también integran la representación de los tonos, la comparación con memorias auditivas previas y la categorización consciente de la altura tonal. En esta línea, Benner et al. (2023), a partir del uso combinado de magnetoencefalografía y resonancia magnética funcional, encontraron una activación más temprana y lateralizada hacia el *planum temporale* derecho en

individuos con OA, lo que podría reflejar un procesamiento más automático y eficiente de la información tonal.

De manera complementaria, la circunvolución temporal superior muestra un mayor grosor cortical en los poseedores de OA, lo que puede interpretarse como un marcador de neuroplasticidad estructural asociada a la exposición musical temprana o al entrenamiento auditivo especializado. Asimismo, se ha observado una correlación positiva entre la magnitud de la activación del *planum temporale* izquierdo y el grado de precisión en tareas de identificación de tonos, junto con una relación directa con el volumen total de esta región (Dohn et al., 2015; Ohnishi et al., 2001). No obstante, también se han reportado diferencias morfológicas inversas, como un *planum temporale* derecho más pequeño en personas con OA (Keenan et al., 2001), en paralelo con un mayor volumen del giro de Heschl derecho, implicado en la detección básica de la frecuencia auditiva (Wengenroth et al., 2014). Estos hallazgos sugieren una especialización funcional hemisférica, donde el hemisferio izquierdo podría estar más involucrado en la codificación categórica y el derecho en la precisión sensorial del tono.

Cabe añadir que las personas con OA no solo activan regiones sensoriales de la corteza auditiva primaria, sino también áreas prefrontales y frontotemporales relacionadas con la atención, la planificación y la integración de memoria auditiva a largo plazo (Bermudez et al., 2009). Esto indica que la habilidad no se basa únicamente en una percepción sensorial refinada, sino que incluye procesos cognitivos de orden superior que consolidan asociaciones estables entre tonos y etiquetas verbales o simbólicas.

La evidencia sugiere, además, que la percepción categórica de tonos y la memoria tonal precisa son características fundamentales del OA, y que ambas participan de forma complementaria en la identificación auditiva. No se trata, por tanto, de procesos mutuamente excluyentes, sino de mecanismos integrados que operan sobre representaciones auditivas internalizadas (Schulze et al., 2013). En respaldo de ello, distintos estudios han demostrado que los músicos con OA presentan una percepción más categórica y estable de la altura sonora en comparación con sus pares sin esta habilidad, lo que refleja una mayor automatización de la codificación tonal (Bermudez y Zatorre, 2009; Schulze et al., 2009).

Desde una perspectiva bioquímica, se ha identificado que los individuos con OA poseen niveles reducidos de GABA (ácido gamma-aminobutírico) en el giro temporal superior, con predominancia en el hemisferio izquierdo. Esta reducción implica una menor inhibición sináptica, lo que conlleva un incremento en la excitabilidad neuronal y en la plasticidad cortical de las áreas auditivas. Según Maeshima et al. (2018), dicho desequilibrio podría favorecer la formación de asociaciones rápidas y duraderas entre frecuencias sonoras específicas y sus correspondientes etiquetas categóricas (por ejemplo, “Do”, “La”, “Fa♯”), proceso que constituye parte de la comprensión esencial del OA.

En conjunto, toda esta evidencia converge en la idea de que el oído absoluto no constituye una habilidad completamente fija o inmutable, sino que las representaciones tonales internas presentan cierto grado de variabilidad o inestabilidad. Dicho fenómeno estaría influido por aspectos como la cultura musical, la exposición temprana a sistemas tonales determinados, la familiaridad

con ciertos registros de frecuencia y las condiciones contextuales del entorno auditivo (Hedger et al., 2013; McLachlan et al., 2013).

A nivel cognitivo, se ha propuesto un modelo de dos componentes: etiquetado de tono (*pitch labeling*) y memoria de tono (*pitch memory*). El primero, el etiquetado de tono, o *pitch labeling*, se considera un componente esencial en la manifestación del OA. Desde los estudios iniciales, los mecanismos de etiquetado del tono se han interpretado como la asociación entre un tono específico y una etiqueta interna, capaz de activar de manera significativa la memoria asociativa implícita. Este proceso se concibe como automático y altamente eficiente en los individuos con OA. Mediante estudios de neuroimagen funcional utilizando tomografía por emisión de positrones, se evidenció un incremento del flujo sanguíneo cerebral en la corteza prefrontal dorsolateral de músicos con OA (Zatorre et al., 1998). Posteriormente, se han reportado asociaciones entre una reducción en el grosor cortical de la corteza prefrontal dorsolateral y una mayor eficiencia en la denominación de notas (Bermudez y Zatorre, 2005; Bermudez et al., 2009). Cabe destacar que la corteza prefrontal dorsolateral ha sido vinculada previamente con la memoria asociativa (Petrides et al., 1993), lo que respalda la hipótesis de que el OA podría implicar un proceso de etiquetado de tono basado en dicha región prefrontal.

No obstante, investigaciones más recientes utilizando mediciones de oxigenación cerebral no han replicado esta relación entre la corteza prefrontal dorsolateral y la asociación de etiquetas tonales (Leipold et al., 2019a). De igual forma, estudios con electroencefalografía han mostrado resultados contradictorios: algunos

sugieren la participación de un componente verbal en el etiquetado de tonos (Itoh et al., 2005), mientras que otros, al intentar replicar dichos hallazgos, no encuentran evidencia consistente de tal asociación (Leipold et al., 2019b). Asimismo, una réplica del estudio de Elmer et al. (2015) no logró confirmar una conectividad temporo-frontal izquierda aumentada en individuos con OA (Greber et al., 2020).

Por otra parte, se han identificado dos regiones clave, la corteza auditiva y la corteza prefrontal dorsolateral, ambas con una mayor interconectividad funcional en personas con OA (Elmer et al., 2015). Además, se ha documentado una conectividad incrementada en áreas cognitivas de orden superior, como la circunvolución frontal media anterior izquierda, el surco intraparietal izquierdo y el lóbulo parietal derecho (Brauchli et al., 2019). De manera complementaria, las configuraciones de fibras del fascículo longitudinal superior se han descrito como más complejas en músicos con OA, permitiendo conexiones de materia blanca más robustas entre la corteza temporal y la corteza frontal, aspecto relevante también para las funciones lingüísticas (Oechslin et al., 2010). Igualmente, se ha informado una conectividad local mejorada en el lóbulo temporal (Loui et al., 2011) y, en contraste, una menor interconectividad global en músicos con OA (Jäncke et al., 2012).

En la actualidad, la investigación se ha orientado hacia una evaluación más precisa de las vías de conectividad asociadas al OA. Por ejemplo, diversos estudios (Kim y Knösche, 2016, 2017a, 2017b; Leipold et al., 2019c) proponen que las vías auditivas ventrales desempeñan un papel relevante tanto en los

procesos perceptivos como en el etiquetado tonal, implicando proyecciones del lóbulo temporal hacia la circunvolución frontal inferior. Estos hallazgos coinciden parcialmente, aunque contrastan, con los resultados de Elmer et al. (2015) y Oechslin et al. (2010), quienes apoyan una conexión dorsal entre las regiones temporales y frontales como base del OA. En esta misma línea, la aplicación de estimulación catódica sobre la corteza prefrontal dorsolateral izquierda ha demostrado interferir de forma automática con el proceso de etiquetado de tonos en individuos con OA, lo cual refuerza la idea de que dicha región media causalmente este mecanismo (Rogenmoser et al., 2021).

El segundo componente es la memoria de tono o *pitch memory.* Este proceso parece estar respaldado principalmente por los mecanismos de la memoria explícita, que permiten recuperar conscientemente experiencias auditivas almacenadas. Diversas investigaciones han evidenciado que incluso las personas sin OA pueden demostrar una forma funcional de memoria de tono, como ocurre al reproducir canciones de memoria con una precisión tonal destacable (Jakubowski y Müllensiefen, 2013), o al comparar y reconocer bandas sonoras previamente escuchadas (Schellenberg y Trehub, 2003). Sin embargo, a pesar de esta capacidad compartida, tanto en individuos con OA como en aquellos sin OA, el procesamiento auditivo subyacente parece diferir de manera significativa, incluso cuando los no OA muestran niveles de desempeño similares (Kim y Knösche, 2017a).

Los resultados actuales sugieren que la diferencia principal entre ambos grupos radicaría en los procesos cognitivos asociados a la etapa final de identificación del tono, más que en las fases iniciales de percepción auditiva (Leipold et al., 2019d).

Esto implica que el OA podría involucrar un procesamiento más eficiente o automatizado en el reconocimiento consciente de la altura tonal. No obstante, en cuanto a los correlatos neurofisiológicos de las personas con y sin OA, aún no existe un consenso claro dentro de la literatura científica, debido a que diferentes estudios han reportado resultados contradictorios (Leipold et al., 2019b), e incluso la activación de regiones cerebrales similares en ambos grupos (Wu et al., 2008), lo que sugiere una compleja interacción entre factores perceptivos, cognitivos y de entrenamiento musical.

3.4. Evaluación y clasificación del oído absoluto

La evaluación de OA es una fase que usualmente se realiza antes del registro de EEG. Este proceso tiene como función evaluar en los participantes de los estudios la capacidad de nombrar la altura de un tono sin referencia externa. El procedimiento básico presenta una serie de tonos aislados (sinusoidales o de instrumentos), en orden aleatorio, cubriendo varias octavas. Tras cada tono, la persona identifica su clase (do, re, mi...) y a veces la octava. Suele haber una fase de práctica con retroalimentación y otra de prueba sin ella, que es la que se puntúa, según el paradigma y condiciones establecidas por el estudio. A su vez, estas evaluaciones suelen darse en contexto controlados de laboratorio.

Para comprender la habilidad de OA es necesario considerar su diversidad y los distintos espectros de procesamiento tonal. Tradicionalmente se ha clasificado de manera dicotómica (con o sin OA), pero esta aproximación discreta excluye niveles intermedios; la evidencia respalda que el OA se comporta más como un rasgo continuo (Hedger et al., 2020; Germano et al., 2021).

Por su relación con lenguajes tonales, se ha propuesto que el OA es más frecuente en hablantes de lenguas tonales, como mandarín, cantonés, tailandés o vietnamita (Deutsch, 2002, 2006; Deutsch et al., 2004, 2006, 2009). En estudiantes asiáticos se observa mayor probabilidad de OA (Bairnsfather et al., 2025) y en instituciones musicales de Estados Unidos se ha encontrado mayor presencia en chinos y coreanos que en caucásicos (Gregersen et al., 2001). Sin embargo, también participan factores como la experiencia musical y la memoria de trabajo (Hedger y Nusbaum, 2018), por lo que las diferencias étnicas se entrelazan con habilidades específicas en el desarrollo del OA.

Respecto a la naturaleza del estímulo, la forma de onda y el timbre influyen en la identificación de tono. El rendimiento de los poseedores de OA disminuye con tonos sinusoidales puros frente a sonidos complejos naturales (Gruhn et al., 2018), lo que sugiere preferencias según timbre (Vanzella y Schellenberg, 2010). Además, quienes tienen OA confían en su escala interna más que en comparaciones externas (Mito, 2003) y suelen mostrar tiempos de reacción mayores en tareas de melodías transpuestas, indicando un menor uso del oído relativo (Van Hedger et al., 2023). También se han descrito preferencias por el instrumento principal, asociadas a un oído absoluto específico del instrumento (Reymore y Hansen, 2020), y subtipos como el piano absoluto, donde solo se identifican con precisión los tonos de piano (Levitin y Rogers, 2005).

En cuanto al rendimiento, persisten diferencias en los criterios de clasificación de OA (Veloso y Feitosa, 2013). Se ha descrito el OA genuino, caracterizado por errores principalmente de octava o *chroma* (Bachem, 1955), a veces denominado

alto OA (Greber y Jäncke, 2020). El cuasi OA describe a personas con OA para uno o pocos tonos, con identificación menos rápida y automática, frecuente en cantantes y dependiente de un tono de referencia externo (Wilson et al., 2009), dentro de la cual se ubican quienes usan oído relativo (Deutsch, 2013). Los pseudo OA corresponden a personas sin OA o no músicos que pueden aprender a diferenciar escalas tonales (Levitin y Rogers, 2005).

Finalmente, algunos estudios omiten los errores de semitono al clasificar a un sujeto como poseedor de OA (Bermudez y Zatorre, 2009; Schlemmer, 2009). Esto muestra que la capacidad no es perfecta, pues se registran errores de semitono e incluso de octava, aunque poco frecuentes. Tales variaciones metodológicas refuerzan la necesidad de entender el OA como una habilidad gradual, con alta variabilidad individual, lo que complejiza su estudio.

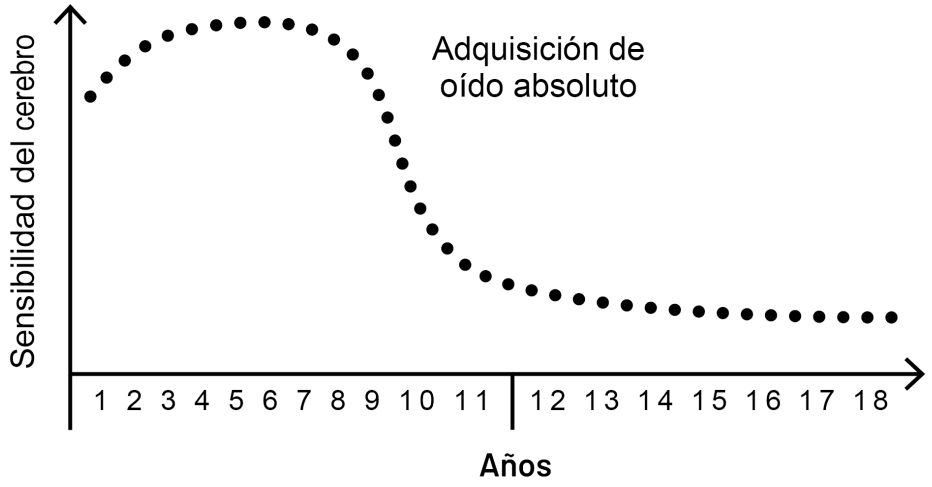
3.5. Desarrollo del oído absoluto

El desarrollo del OA depende principalmente de la exposición temprana a tonos auditivos (ver la Figura 1), destacando períodos sensibles donde el entorno musical es esencial (Deutsch, 2013). Aunque esta capacidad disminuye con la edad, no desaparece; estudios muestran que adultos pueden adquirirla mediante entrenamiento específico, con incrementos de precisión de hasta 128,1% (Wong et al., 2025). La probabilidad de desarrollar OA decae alrededor de los 6 a 7 años sin entrenamiento previo, siendo superior en quienes inician entre los 2 a 5 años (Deutsch et al., 2011; Takeuchi y Hulse, 1993).

Estos períodos sensibles (desde el nacimiento hasta los 6 años) se asemejan a la adquisición del lenguaje (Trainor, 2005), e incluyen factores como horas e

intensidad de práctica (Elmer et al., 2013). Los bebés procesan equivalencia de octava tempranamente, codificando altura (*pitch height*) y croma (*pitch chroma*) a los 3 meses (Ngan et al., 2023), con preferencias iniciales por tonos absolutos que evolucionan (Saffran y Griepentrog, 2001). Además, discriminan tonos complejos (Lau et al., 2017) y su discriminación fonémica temprana vincula exposición musical y lingüística (Gregersen et al., 2001; Kuhl, 2015; Rivera-Gaxiola et al., 2005).

Figura 1. Adquisición de Oído Absoluto dependiente del entrenamiento y exposición musical.



Nota: Adaptado de Deutsch et al., 2011.

Adultos pueden mejorar su OA mediante entrenamiento: hablantes de lenguas tonales logran 90% de precisión similar a poseedores nativos (Hedger et al., 2019; Wong et al., 2019a), mientras que en no tonales solo 2/13 mejoran significativamente (Wong et al., 2020b). El estudio del OA requiere integración

genética y ambiental (Seesjärvi et al., 2016; Zatorre, 2003), ya que la genética sola es insuficiente.

3.6 Factores genéticos del oído absoluto

Se han identificado factores genéticos heredables que influyen significativamente en la habilidad de OA, aunque la exposición temprana a la música también juega un papel crucial en su desarrollo y perfeccionamiento. Estudios relevantes, como los de Baharloo et al. (2000), Gregersen et al. (1999) y Szyfter y Witt (2020), destacan esta interacción entre herencia genética y entrenamiento ambiental, sugiriendo que el OA no surge en aislamiento, sino como resultado de una predisposición innata potenciada por práctica musical intensiva desde edades tempranas, idealmente antes de los 7 años.

Un estudio clave de ligamiento genómico completo analizó 73 familias con miembros poseedores de OA, utilizando genotipado de polimorfismos de un solo nucleótido. Los resultados revelaron un fuerte enlace en la región 8q24.21 para familias de descendencia europea y en 7q22.3 para aquellas de ascendencia del este de Asia, indicando heterogeneidad genética según el origen étnico. Este locus específico en 8q24.21 coincide con áreas implicadas en el procesamiento auditivo preciso, lo que refuerza la idea de que variantes genéticas regionales modulan la capacidad de identificar tonos sin referencia (Theusch et al., 2009).

Posteriormente, Theusch y Gitschier (2011) extendieron esta investigación mediante análisis de gemelos monocigóticos y dicigóticos, junto con sus familias. Concluyeron que el OA no sigue un patrón mendeliano simple de herencia, sino que exhibe una compleja heterogeneidad genética. Factores ambientales (como

variaciones aleatorias en el desarrollo neural) y epigenéticos, modificaciones químicas en el ADN que regulan la expresión génica sin alterar la secuencia, interactúan para determinar la manifestación del rasgo. En gemelos monocigóticos, la concordancia fue del 78.6%, mientras que en dicigóticos bajó al 45.2%, subrayando la contribución genética dominante pero no exclusiva.

Otro avance significativo proviene de Gregersen et al. (2013), quienes evaluaron a 768 individuos con OA y exploraron su vínculo con la sinestesia, una condición sensorial donde estímulos en un sentido (como sonidos) provocan percepciones involuntarias en otro (por ejemplo, colores). El estudio identificó un pico de significancia en el cromosoma 6q, proponiendo una superposición fenotípica y genética entre OA y sinestesia. Esta conexión sugiere que ambos rasgos comparten vías neurales para el procesamiento multisensorial, posiblemente mediadas por redes en la corteza auditiva y áreas parietales.

Kanduri et al. (2015) profundizaron en la expresión génica mediante perfiles transcriptómicos en sangre periférica de músicos expuestos a música clásica. Identificaron genes sobrerregulados asociados directamente al OA: FAM49B, localizado en 8q24.21; reafirmando a Theusch et al. (2009), y HDAC4 en 2q37.3. FAM49B se vincula con el desarrollo de células ciliadas cocleares, esenciales para la discriminación tonal fina, mientras que HDAC4 regula la potenciación a largo plazo sináptica, clave para la memoria auditiva. Estos genes no solo se activan en respuesta a estímulos musicales, sino que su sobreexpresión correlaciona con aptitud musical alta, como medida por pruebas como el test COMB (combinado de ritmo, intervalo y estructura).

Estos descubrimientos ilustran la arquitectura poligénica del OA: múltiples loci cromosómicos (4q22, 8q21-24, 6q, 7q22) interactúan con entrenamiento musical para el desarrollo de esta habilidad.

IV. METODOLOGÍA

En esta investigación se llevó a cabo una revisión sistemática y un metaanálisis convencional de datos individuales, considerando únicamente los estudios que cumplían con los criterios metodológicos de inclusión y exclusión previamente establecidos.

Esta revisión se formuló según el modelo PICO (Moola et al., 2015). Se incluyeron estudios que analizaron a:

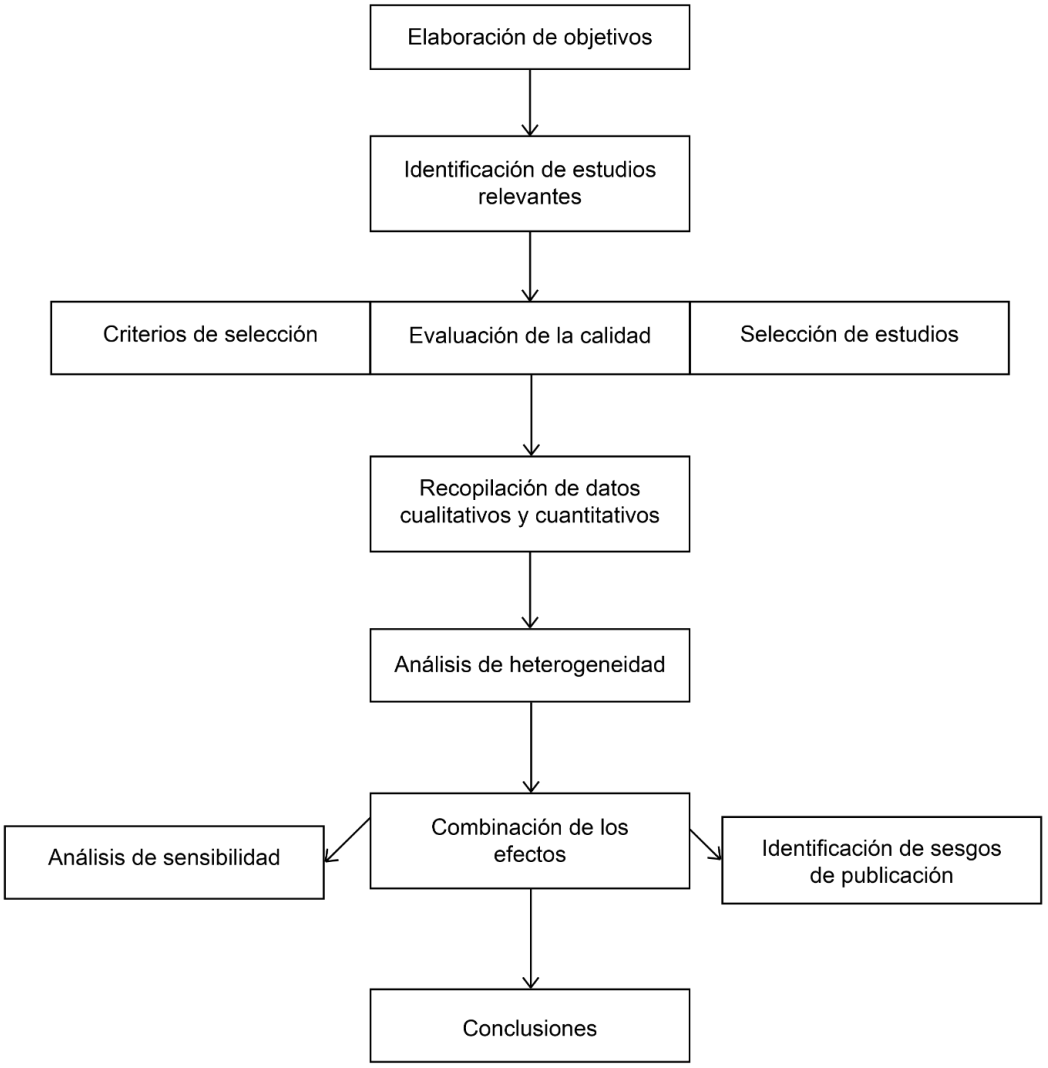
- Paciente, población o problema [P]: personas con/sin OA,
- Intervención [I]: tareas de discriminación auditiva (paradigmas en EEG),
- Comparación o control [C]: personas sin OA, y
- Resultado (outcome) [O]: latencia y amplitud del componente P300.

Esta revisión sistemática y metaanálisis fue elaborada siguiendo las directrices establecidas por la declaración PRISMA 2020 (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*) con el fin de garantizar transparencia, exhaustividad y rigor metodológico en la identificación, selección y síntesis de los estudios incluidos (Page et al., 2021).

Se utilizó el diagrama de flujo PRISMA para documentar las fases del proceso de búsqueda (Ver Figura 2): identificación, selección, elegibilidad e inclusión final de los estudios. Asimismo, se tuvo en cuenta el checklist PRISMA para reportar adecuadamente cada uno de los ítems necesarios en la elaboración del informe, incluyendo la estrategia de búsqueda, criterios de inclusión/exclusión, evaluación del riesgo de sesgo, y análisis de los resultados.

En el Anexo 1 se presenta el checklist PRISMA detallado, el cual constituye los 27 ítems distribuídos en las secciones de título, resumen estructurado, introducción, métodos, resultados y discusión, permitiendo asegurar que la presente revisión cumple con estándares internacionales de calidad metodológica y de comunicación científica.

Figura 2. Diagrama de flujo del proceso de meta-análisis.



El protocolo de esta revisión fue elaborado antes del inicio del proceso de búsqueda y análisis, y se ajustó a las recomendaciones metodológicas actuales

para revisiones sistemáticas con o sin metaanálisis, que fueron registradas en PROSPERO (www.crd.york.ac.uk/prospero/). PROSPERO es un registro internacional de protocolos de revisión sistemática, lanzados por University of York, con el objetivo de mejorar la transparencia de los informes de revisiones sistemáticas y abordar la duplicación excesiva de los mismos (Palepu et al., 2011).

4.1. Fuentes de información y estrategia de búsqueda

Se exploraron las bases de datos MEDLINE/PUBMED, ScienceDirect y Scopus. Además, se revisaron las referencias de los artículos seleccionados para identificar otros estudios relacionados con el tema (ver detalle de estrategia de búsqueda en Anexo 2).

Se incluyeron todos los estudios publicados hasta la fecha de realización de la búsqueda (01 de marzo de 2026). El año 1984 se estableció como punto de partida por ser un hito relevante en la literatura sobre el uso del potencial P300 en el estudio del OA, periodo en el cual comenzaron a difundirse métodos sistemáticos y comparables con los estándares actuales.

Se realizó una búsqueda amplia para aumentar la sensibilidad del proceso y localizar la mayor cantidad posible de estudios relacionados con la pregunta y los objetivos de la investigación. Para ello, la estrategia de búsqueda para Medline usó descriptores MeSH (*Medical Subject Headings*) y términos de palabras de texto como *Auditory perception*, *Electroencephalography*, *P300*, *absolute pitch* y otros.

Para Scopus se aplicó la estrategia de búsqueda con operadores booleanos para las palabras clave “Auditory perception”, “Absolute pitch” y “Electroencephalography”.

4.2. Criterios de elegibilidad

Los estudios fueron seleccionados de acuerdo a las siguientes características:

Criterios de inclusión:

- Participantes: hombres y/o mujeres de cualquier edad, país o etnia.
- Pruebas diagnósticas de interés: estudios con EEG.
- Idioma: trabajos publicados en cualquier idioma.
- Periodo de tiempo: Todos los estudios publicados hasta marzo del año 2026.
- Número mínimo de participantes totales: >10
- Habilidades: con o sin oídos absoluto / con o sin oído relativo.

Criterios de exclusión:

- Referencias duplicadas.
- Estudios preliminares o abstractos de congresos.
- Estudios duplicados de publicaciones previas.
- Estudios basados en datos incompletos.
- Estudios de intervención con otros métodos que no sean los mencionados.
- Estudios publicados en revistas no indizadas o no revisadas por pares.
- Estudios en los que se verifique la inclusión de participantes con algún trastorno neurológico, psiquiátrico o auditivo.

4.3. Selección de estudios y extracción de datos

Dos revisores (JGLC y AMQG) seleccionaron de manera independiente los ensayos e hicieron la extracción de datos; los desacuerdos se resolvieron por consenso, evaluando títulos y resúmenes según los objetivos de la investigación. Para la gestión y extracción se utilizó el gestor bibliográfico Zotero 5.0 (Corporation for Digital Scholarship) y se eliminaron duplicados. Los datos se trasladaron a una hoja de cálculo en Microsoft Excel diseñada ad hoc para esta revisión y adaptada al instrumento de evaluación de OA, registrando de forma sistemática y comparable todas las características y variables de cada estudio incluido. Ver las siguientes:

- Autor(es) y año
- Muestra (n) de OA
- n sin OA
- Estímulo/tarea para EEG
- Paradigma auditivo para EEG
- Electrodos
- Latencia en OA y Desviación estándar (DE)
- Amplitud en OA y DE
- Latencia en sin OA y DE
- Amplitud en sin OA y DE
- Hallazgo principal
- Estímulos para Test OA
- Media de Test OA
- Desviación estándar de OA

- Media de Test sin OA
- Desviación estándar sin OA

La información insuficiente para una variable específica se registró como no reportada y se consideró un dato faltante.

4.4. Riesgo de sesgo en los estudios

Para evaluar la calidad de los artículos incluidos en el metaanálisis se ha utilizado la herramienta de evaluación del riesgo de sesgo de la colaboración Cochrane (Higgins et al., 2011), aplicada a nivel de estudio completo. Esta herramienta contempla seis dominios metodológicos: (1) generación aleatoria de la secuencia, (2) ocultación de la asignación, (3) cegamiento de participantes y personal, (4) datos de resultados incompletos, (5) notificación selectiva de resultados y (6) otras fuentes de sesgo.

La información relevante para cada dominio fue extraída de forma independiente por dos evaluadores, permitiendo clasificar cada ítem como de bajo riesgo, alto riesgo o riesgo poco claro. Las discrepancias se resolvieron por consenso o, en caso necesario, mediante la intervención de un tercer revisor.

La sistematización de los juicios se realizó mediante el RevMan Web lanzado en 2023 (https://revman.cochrane.org/info), lo cual permitió generar gráficos resumidos del riesgo de sesgo individual y global. Esta información se tuvo en cuenta al interpretar la consistencia de los hallazgos en la síntesis narrativa y, cuando correspondía, para realizar análisis de sensibilidad excluyendo los estudios con alto riesgo de sesgo.

4.5. Evaluación de la certeza de la evidencia

La certeza de los hallazgos obtenidos del metaanálisis se evaluó mediante el enfoque GRADE (Grading of Recommendations Assessment, Development and Evaluation), que considera cinco dominios: riesgo de sesgo, inconsistencia, imprecisión, indirectividad y sesgo de publicación. Para cada resultado, se asignó un nivel de certeza (alta, moderada, baja o muy baja) en función de la calidad metodológica de los estudios incluidos, el grado de heterogeneidad y la precisión de los intervalos de confianza. Esta evaluación proporciona una interpretación más sólida y transparente de los resultados del test de OA y de las medidas de P300 (Guyatt et al., 2011).

4.6. Extracción de amplitud y latencia de artículos seleccionados

Para extraer datos cuantitativos de amplitud y latencia de las ondas P300 se siguieron tres opciones secuenciales: (a) búsqueda de datos publicados en artículos, (b) contacto con autores, y (c) extracción manual de figuras de formas de onda (Jelicic Kadic et al., 2016). En el caso (c), se aplicó inspección visual, método común en EEG clínico (Hirsch & Brenner, 2010, pp. 1–5), y el método Peak Picking para identificar picos prominentes en las señales EEG, determinando amplitudes y latencias (Ouyang et al., 2017; Wada et al., 2019).

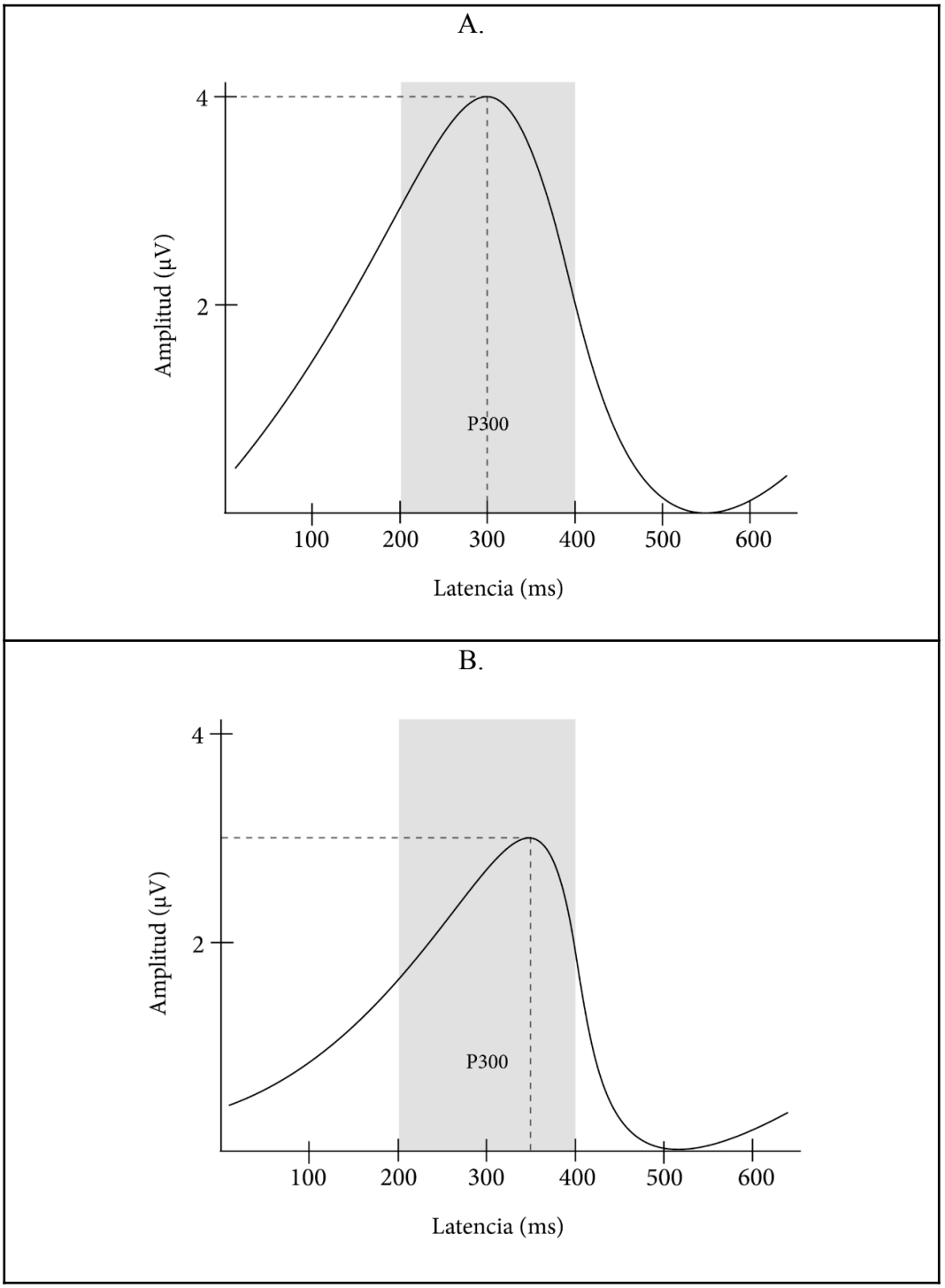
La extracción fue viable porque la mayoría de estudios publicó gráficos de las ondas P300 ya promediados y consolidados (producto de múltiples ensayos o trials), y algunos incluso reportaron resultados desagregados por participante. La extracción consideró el paradigma de estimulación de cada estudio (*oddball*, *pitch naming*, entre otros) y los electrodos específicos registrados (Pz, Cz, u otros

canales). Para cada combinación de paradigma y electrodo se analizaron múltiples gráficos (uno por grupo control, otro experimental), los cuales se cuantificaron mediante *peak picking*. Cada estudio definió su ventana temporal específica para P300 (ver Tabla 2).

La extracción con el método *peak picking* se realizó midiendo píxeles en Adobe Photoshop CC 2020 (v. 21.2.1) con conversión a unidades de tiempo (ms) y amplitud (μV) mediante regla de tres simple, considerando un margen de error de ±2 píxeles. Por ejemplo, en la Figura 3A se ve cómo el pico máximo alcanza una amplitud a la altura de 4 μV, debido a que la línea encaja en este registro. Mientras que la latencia encaja en 300 ms.

Posteriormente, se calcularon medias y desviaciones estándar por grupo de electrodos y paradigmas, agrupándolas en una gran media cuando fue necesario (Howe et al., 2014). Para estudios sin desviación estándar reportada, se utilizó el promedio de las desviaciones estándar de estudios comparables como aproximación (Furukawa et al., 2006).

Figura 3. Onda P300 simulada. La ventana P300 simulada en gris es de 200 a 400 ms.



Nota. (A) basado en inspección visual y selección de picos se determina una amplitud de 4 μV y latencia de 300 ms. (B) basado en inspección visual y

selección de picos se determina por regla de tres simple bajo el conteo de píxeles, se detecta una amplitud 3 μV y latencia de 350 ms.

4.7. Síntesis de resultados y riesgo de sesgo entre los estudios

Para las medidas P300, el análisis de la respuesta neuronal se realizó a partir de los datos de amplitud y latencia del componente, obtenidos mediante la detección de señales en los estudios seleccionados, que son medidas continuas. Cabe mencionar que ninguno de los 15 estudios realiza análisis ROC/AUC en el sentido diagnóstico-clasificatorio.

Para estimar el tamaño del efecto, se utilizó la *g* de Hedges, una medida recomendada por su carácter conservador en contextos con tamaños de muestra pequeños (Borenstein et al., 2011). Para los estudios incluidos, el cálculo del efecto se basó en las medias (amplitud media y latencia media por separado), las desviaciones estándar y el tamaño muestral de cada grupo.

Para evaluar la heterogeneidad estadística entre estudios se emplearon varias pruebas: la prueba Q de Cochran, que detecta la presencia de heterogeneidad; los índices I^2 de Higgins y H^2, que cuantifican la proporción de variabilidad atribuible a diferencias reales entre estudios; y la varianza entre estudios (τ^2 o tau-squared), que estima la dispersión de los efectos verdaderos. La interpretación del índice I^2 siguió los criterios propuestos por Higgins et al. (2003): valores entre 25% y 50% se consideraron indicativos de heterogeneidad baja, entre 50% y 75% moderada, y superiores al 75 % alta.

La elección del modelo estadístico se basó en la magnitud de la heterogeneidad. En presencia de heterogeneidad sustancial (I^2 > 50%) o cuando se asumía variabilidad entre los efectos verdaderos, se aplicó un modelo de efectos aleatorios, de acuerdo con DerSimonian y Kacker (2007). Por el contrario, si la heterogeneidad era baja y los estudios eran relativamente homogéneos, se optó por un modelo de efectos fijos. Asimismo, las magnitudes del tamaño del efecto se interpretaron según criterios convencionales: pequeño (g = 0,2–0,5), mediano (g = 0,5–0,8) y grande (g > 0,8).

Los resultados se visualizaron mediante un *forest plot*, y se crearon gráficos de embudo (*funnel plot*) para evaluar el sesgo de publicación entre los estudios. Finalmente, la significancia del efecto global se evaluó mediante una prueba Z de dos colas, considerándose un valor de p < 0,05 como estadísticamente significativo.

Por otro lado, se hará un análisis adicional sobre los resultados de los Test de OA. Aunque el Test de OA clasifica finalmente a las personas como OA o sin OA, los puntajes obtenidos corresponden a medidas continuas. Por ello, para estimar la magnitud de la diferencia entre ambos grupos, se calcularon tamaños del efecto estandarizados utilizando la g de Hedges. Esta métrica incluye una corrección por sesgo presente en la d de Cohen, lo que la hace más precisa en estudios con tamaños muestrales pequeños (Borenstein et al., 2011).

Para la evaluación de la heterogeneidad estadística entre estudios se emplearon varias pruebas: la prueba Q de Cochran, que detecta la presencia de heterogeneidad; los índices I^2 de Higgins y H^2, que cuantifican la proporción de

variabilidad atribuible a diferencias reales entre estudios; y la varianza entre estudios (τ^2 o tau-squared), que estima la dispersión de los efectos verdaderos. La interpretación del índice I^2 siguió los criterios propuestos por Higgins et al. (2003): valores entre 25% y 50% se consideraron indicativos de heterogeneidad baja, entre 5 % y 75% moderada, y superiores al 75 % alta.

La elección del modelo estadístico se basó en la magnitud de la heterogeneidad. En presencia de heterogeneidad sustancial ($I^2 > 50\%$) o cuando se asumía variabilidad entre los efectos verdaderos, se aplicó un modelo de efectos aleatorios, de acuerdo con DerSimonian y Kacker (2007). Por el contrario, si la heterogeneidad era baja y los estudios eran relativamente homogéneos, se optó por un modelo de efectos fijos. Asimismo, las magnitudes del tamaño del efecto se interpretaron según criterios convencionales: pequeño (g = 0,2–0,5), mediano (g = 0,5–0,8) y grande (g > 0,8).

La significancia del efecto global se evaluó mediante una prueba Z de dos colas, considerándose un valor de $p < 0.05$ como estadísticamente significativo.

Los resultados se representaron mediante un *forest plot,* y se elaboraron gráficos de embudo (*funnel plots*) para evaluar el sesgo de publicación entre los estudios. Una de las principales fuentes de heterogeneidad fue el efecto umbral (*threshold effect*). Cuando $p > 0.05$, no se observó efecto umbral.

Para los análisis estadísticos se empleó R (versión 4.5.1, R Core Team) junto con su entorno gráfico RStudio (versión 2026.01.1+403, desarrollado por Posit, PBC) para validaciones y visualizaciones complementarias.

Para el cálculo de tamaño de los efectos se realizó mediante la función “scalc()” del paquete *metafor* en R, especificando la medida de diferencia de medias *g* de Hedges como parámetro ‘measure=”SMD”’. Previamente se instalaron los paquetes *metafor* y *tidyverse* utilizando “install.packages()”, se fijó el directorio de trabajo en la carpeta donde se almacenaban el script y un archivo en CSV (con medias, desviación estándar y tamaño de muestra), mediante “read.csv()”, asignándolo al objeto “dat1”. Se verificó que las columnas correspondieran a los parámetros requeridos, y mediante la función “scalc()” se generó automáticamente dos columnas nuevas: Yi (tamaño de efecto) y Vi (varianza) para el metaanálisis.

Seguidamente, se ejecutó el metaanálisis de efectos aleatorios o fijos mediante la función “rma()” del paquete *metafor*, modelando Yi y Vi a partir de los datos contenidos en “dat1” y almacenando los resultados en el objeto “overall_result”. Posteriormente, se generó un *forest plot* utilizando “forest.rma(overall_result, slab=dat1$study_author, header="Study")”. Finalmente, se ejecutó la función “influence(overall_result)” para identificar estudios influyentes en la síntesis global.

Para la evaluación del sesgo de publicación, se construyó un *funnel plot* a partir del modelo de efectos aleatorios o fijos obtenido y se inspeccionó visualmente la asimetría de la distribución de efectos. Se aplicó el método *trim-and-fill* mediante la función “trimfill(overall_result)”, que estimó el número de estudios potencialmente ausentes.

4.8. Consideraciones éticas

Todos los protocolos y procedimientos fueron evaluados por aprobación de la Oficina de Regulación y Valoración Ética de la Investigación (DUICT) de la Universidad Peruana Cayetano Heredia.

V. RESULTADOS

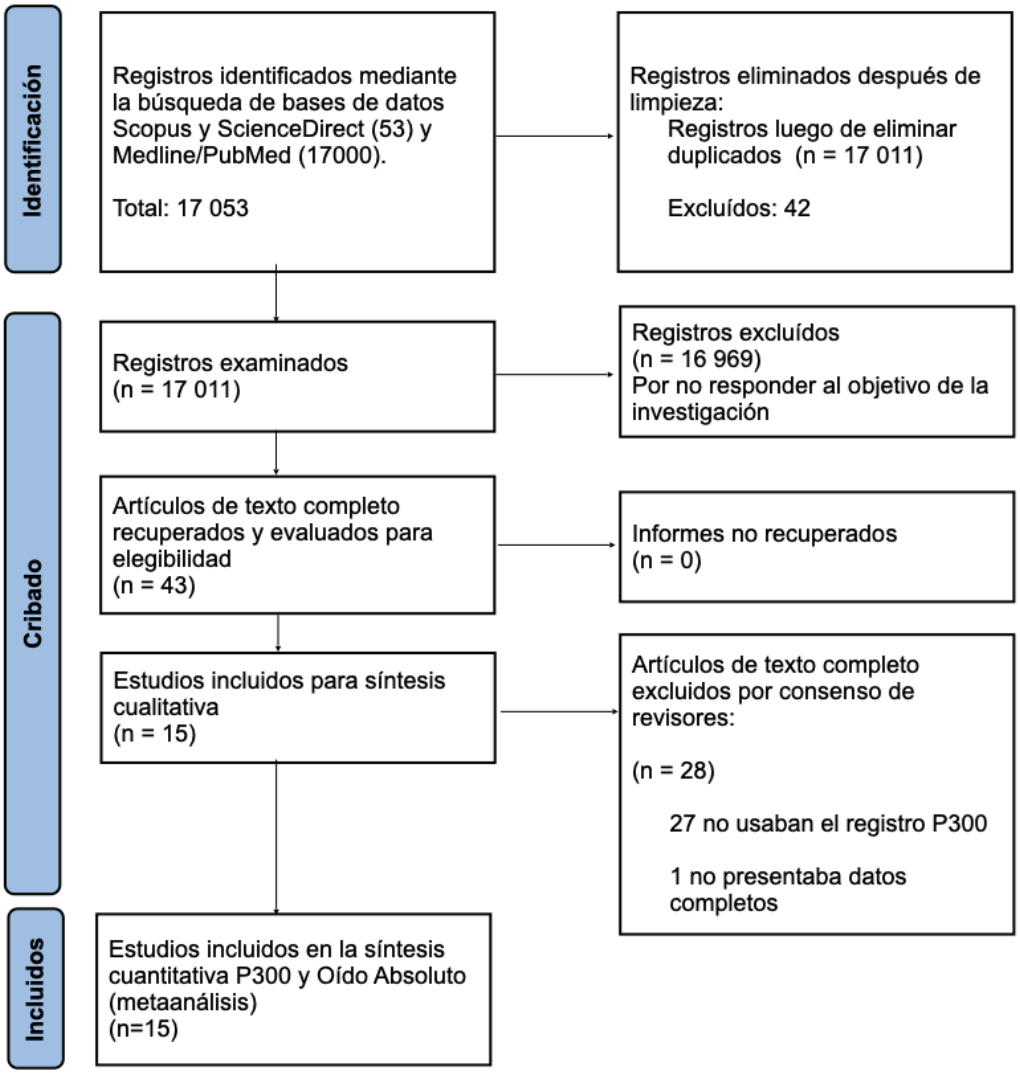
5.1. Selección de estudios

Se identificaron inicialmente 17053 referencias en bases de datos (desde 1984 al 05 de marzo de 2026). De Pubmed/Medline se encontraron 1700 referencias, y para Scopus y ScienceDirect 50, y se añadieron 3 artículos procedentes de otras fuentes. Del total se eliminaron 42 duplicados, quedando 17011 estudios únicos; además, tras el cribado de títulos y resúmenes, se excluyeron 16968 registros por no abordar específicamente el OA y el PRE.

De estos, los 16925 no se abordaba OA, sino temas relacionados a habilidades musicales o registros auditivos: generales o patologías. La mayor cantidad de referencias se daba en poblaciones psiquiátricas y del neurodesarrollo, como esquizofrenia, autismo, Alzheimer, sumaron 5664, y por lo que no pueden ser incluídas. Luego, el procesamiento del lenguaje y el habla (2,333) y potenciales N400, reconocimiento léxico y lectura, ajenos a la discriminación tonal pero sin población de OA. Le siguió la fisiología auditiva: electrococeleografía, otoacústicas y células ciliadas (1,577) más los potenciales de tronco ABR/BAEP (1,349), todos de origen subcortical, pero sin el P300. En temáticas de audiología clínica se encontraron 937 sobre hipoacusia, implante coclear, tinnitus que no pueden ser incluidos por condiciones clínicas preexistentes. Aparecen también análisis de tonos musicales sin OA (837), tales como atención auditiva (710), modelos animales (677) y registros fisiológicos preatencionales (616). Solo 225 usaban P300/oddball, pero sin comparar poseedores de oído absoluto. Por tanto, estas 16925 referencias son excluidas.

De modo que quedaron 43 referencias que pasaron a evaluación de texto completo. Los autores JGLC y AMQG revisaron íntegramente estos 43 artículos y excluyeron 25 por no utilizar el componente P300, 3 por no ser estudios experimentales y 1 por presentar datos incompletos. Los desacuerdos se resolvieron por consenso, resultando en 15 estudios que cumplieron todos los criterios de inclusión y fueron incorporados al análisis final (ver Figura 4).

Figura 4. Diagrama de flujo del proceso de selección de estudios incluidos en el análisis basado en criterio PRISMA.



5.2. Riesgo de sesgo en los estudios seleccionados

En la Figura 5 se resume la evaluación del riesgo de sesgo de los estudios incluidos, realizada mediante la herramienta Cochrane (RevMan). En general, los estudios clasificaron a los participantes con y sin OA a partir de evaluaciones previas, sin describir un método formal de asignación aleatoria, lo que podría generar sesgo en la secuencia. No obstante, este riesgo se considera *no aplicable* por tratarse de una característica estable y no de una intervención. De igual forma, la ocultación de la asignación se considera *no aplicable*, dado que el OA no puede manipularse experimentalmente.

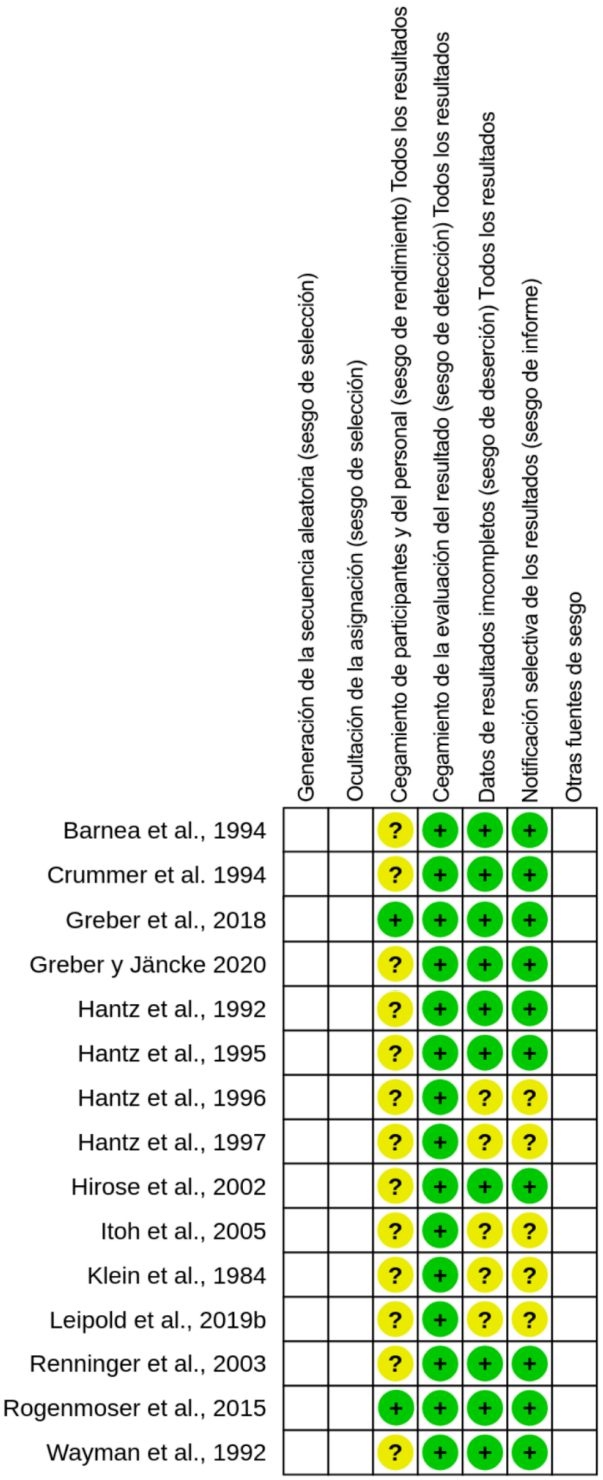
En cuanto al cegamiento de participantes y personal, se asume que los sujetos desconocen los resultados esperados (por ejemplo, la respuesta P300), lo que reduce la posibilidad de influencia consciente; sin embargo, la falta de información explícita lleva a calificar este dominio como riesgo poco claro. Solo los estudios de Greber et al., 2018 y Rogenmoser et al., 2015 tuvieron paradigmas pasivos, lo cual disminuye el riesgo de sesgo, por ello se consideran de bajo riesgo.

Por su parte, el cegamiento en la evaluación del resultado se considera de bajo riesgo, ya que los registros EEG (como el P300) son obtenidos de forma automática y objetiva.

Respecto al sesgo por datos incompletos, algunos estudios presentan omisión sistemática de resultados relevantes, por lo que se califican como *riesgo poco claro* (Hantz et al., 1996, 1997; Itoh et al., 2005; Klein et al., 1984; Leipold et al., 2019b). De forma similar, cerca del 66.67% de los estudios presenta *riesgo poco*

claro por notificación selectiva de resultados, coincidiendo con los mismos trabajos. Finalmente, en el dominio de otros sesgos, no se identificaron fuentes adicionales relevantes.

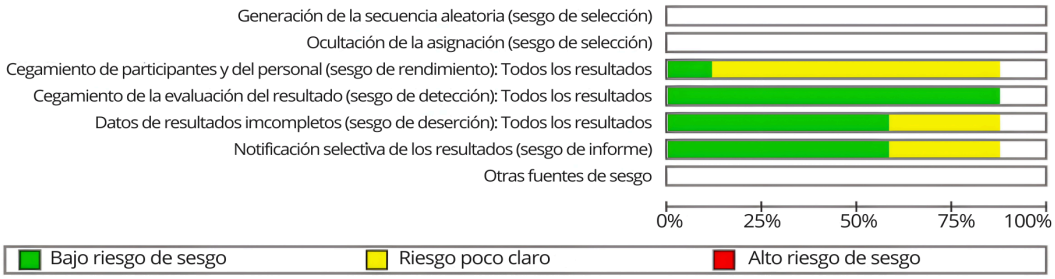
Figura 5. Evaluación del riesgo de sesgo de los estudios incluidos según la Herramienta Cochrane.



Nota: [-] alto riesgo; [+] bajo riesgo; [?] riesgo poco claro. Los cuadros en blanco son “no aplicable”.

De acuerdo al resumen de la Figura 6, se puede observar una mejor calificación de bajo riesgo predominante en la mayoría de estudios seleccionados.

Figura 6. Resumen por dominios de la evaluación de riesgos de sesgos según la herramienta Cochrane.



5.3. Certeza de la evidencia

La certeza de la evidencia fue alta para el desenlace principal de reducción de la latencia del P300, lo que indica una elevada confianza en que el efecto estimado refleja una verdadera aceleración del procesamiento auditivo en personas con OA frente a quienes no poseen esta habilidad. Para el rendimiento en la prueba de OA, la evidencia también fue alta, dado el tamaño del efecto, la consistencia de los resultados entre estudios y el bajo riesgo de sesgo metodológico. En cambio, para la amplitud del P300 la certeza se calificó como baja, debido a la heterogeneidad sustancial observada entre los estudios y a la imprecisión del intervalo de confianza, que incluye la ausencia de efecto, probablemente explicadas por diferencias en los paradigmas utilizados, los electrodos analizados y el tipo de estímulos auditivos empleados, tal como se resume en la tabla 1.

Tabla 1. Análisis GRADE de los estudios incluidos.

Desenlace	N.º de estudios (participantes)	Efecto estimado	Certeza de la evidencia (GRADE)	Justificación
Diferencias en latencia del P300 entre OA y sin OA (ms)	9 estudios	DM estandarizada (*g*) -0,42 (IC 95%: -0,63 a -0,21)	Alta ⊕⊕⊕⊕	Estudios con riesgo de sesgo bajo a moderado, con muestras bien definidas de OA y sin OA y paradigmas *oddball* comparables. Heterogeneidad moderada (I^2 = 34%), consistente con diferencias metodológicas manejables. Intervalos de confianza precisos y efecto clínicamente relevante que indica procesamiento más eficiente en OA.
Diferencias en amplitud del P300 entre OA y NOA (μV)	10 estudios	DM estandarizada (*g*) -0,43 (IC 95%: -0,86 a 0,00)	Baja ⊕⊕◯◯	Se degradó por inconsistencia: heterogeneidad sustancial (I^2 = 77%), atribuible a variaciones en electrodos, tipo de estímulo, tareas y subcomponentes P3a/P3b no diferenciados. Intervalos de confianza amplios que incluyen el nulo, lo que indica imprecisión y baja estabilidad del efecto. Aunque varios estudios muestran tendencia a amplitud reducida en OA, la dirección del efecto no es uniforme.
Rendimiento en el test de OA (puntuación continua)	13 estudios	DM estandarizada (*g*; OA vs sin OA) >1,0 (IC 95%: efecto grande; valores exactos por desenlace en tus tablas de resultados)	Alta ⊕⊕⊕⊕	Diferencias grandes y consistentes en rendimiento entre OA y sin OA en todas las comparaciones analizadas, con escasa superposición de IC. Heterogeneidad moderada atribuible a variaciones en criterios de clasificación (errores de semitono, puntos de corte), sin cambiar la dirección del efecto. Riesgo de sesgo bajo en selección de participantes y aplicación de pruebas, y ausencia de indicios relevantes de sesgo de publicación.

Nota: DM: diferencia de medias estandarizada, OA: oído absoluto; IC: intervalo de confianza; I^2: medida de heterogeneidad.

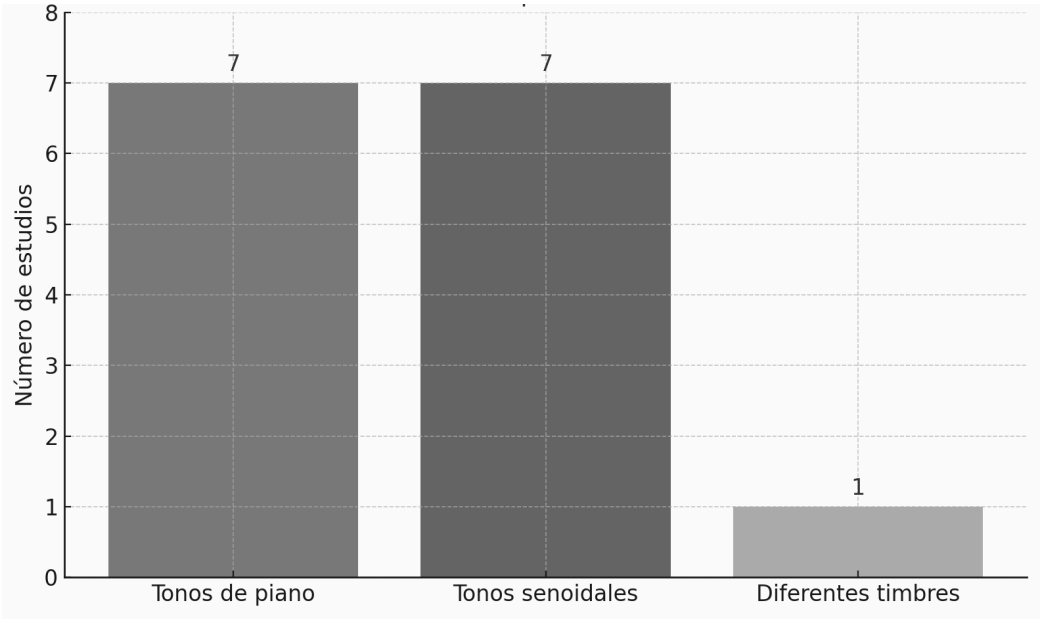
5.4. Características de los estudios

Resultados cualitativos generales

Todos los estudios incluidos (n = 15) fueron publicados entre 1984 y marzo de 2026, y sus características generales se resumen en la Tabla 2.

Los estímulos utilizados en los test de OA muestran una evolución metodológica: los primeros trabajos usaron tonos de piano de larga duración (2000 ms) en un amplio rango frecuencial (32,70–2093 Hz: Barnea et al., 1994; Crummer et al., 1994; Hantz et al., 1992, 1995, 1997; Wayman et al., 1992), mientras que Klein et al. (1984) empleó también tonos de piano, pero más breves (500 ms) y numerosos (500 ensayos). Posteriormente se introdujeron tonos senoidales acústicamente más controlados (Greber et al., 2018; Greber y Jäncke, 2020; Hirose et al., 2002; Itoh et al., 2005; Leipold et al., 2019b; Renninger et al., 2003; Rogenmoser et al., 2015), con duraciones entre 350 y 1000 ms y frecuencias generalmente entre 130 y 987 Hz, siendo Hantz et al. (1996) una excepción al utilizar distintos timbres; esta variabilidad puede influir en la consistencia de los hallazgos sobre el procesamiento auditivo en OA. Puede ver este análisis gráficamente en la Figura 7.

Figura 7. Frecuencia de uso del tipo de timbre en los estudios incluidos para evaluar el oído absoluto.

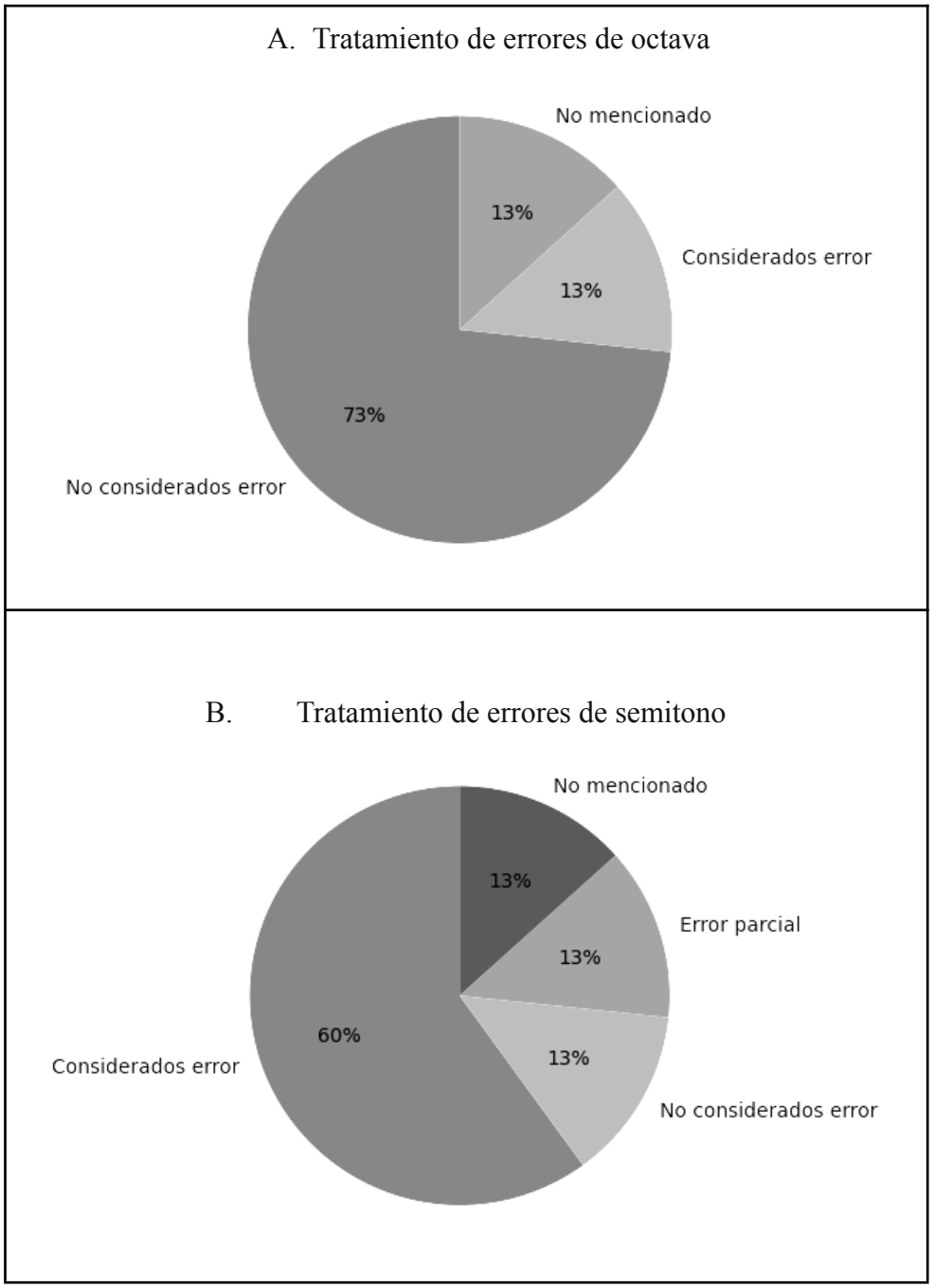


En los criterios de acierto y error del test de OA, la mayoría de estudios no consideró los errores de octava como fallos relevantes, priorizando la identificación de la clase de nota (chroma); así lo hicieron Crummer et al. (1994), Greber et al. (2018), Greber y Jäncke (2020), Hantz et al. (1992), Itoh et al. (2005), Klein et al. (1984), Leipold et al. (2019), Renninger et al. (2003), Wayman et al. (1992). En contraste, Hantz et al. (1995, 1996) aplicaron criterios más estrictos, sin aceptar errores ni de octava ni de semitono, mientras que estudios como Barnea et al. (1994) o Hirose et al. (2002) no especificaron claramente el tratamiento de estos errores.

Respecto a los errores de semitono, la tendencia fue más homogénea: la mayoría de trabajos los consideró errores plenos o parcialmente penalizados (Crummer et al., 1994; Greber et al., 2018; Greber y Jäncke, 2020; Hantz et al., 1992, 1995,

1996, 1997; Itoh et al., 2005; Leipold et al., 2019; Rogenmoser et al., 2015; Wayman et al., 1992), mientras que Renninger et al. (2003) aceptó desviaciones de hasta ±1 semitono, asumiendo un margen de variabilidad perceptual. Estas diferencias metodológicas muestran concepciones distintas sobre qué se considera un acierto en OA y subrayan la necesidad de estandarizar criterios en futuras investigaciones.

Figura 8. Distribución de estudios según el tratamiento de errores de octava (A) y de semitono (B) en el test de oído absoluto.



Nota. A. Se observa que la mayoría de estudios no penalizó los errores de octava. B. mientras que los errores de semitono fueron considerados incorrectos en más de la mitad de los casos.

En los paradigmas auditivos de EEG se emplearon desde tonos sinusoidales simples (500–1100 Hz, 60–333 ms) en los estudios iniciales (Klein et al., 1984; Wayman et al., 1992), hasta estímulos más complejos como pares melódicos (Hantz et al., 1992), notas de piano (Barnea et al., 1994; Hantz et al., 1995) o timbres instrumentales (Crummer et al., 1994), con duraciones de 333–500 ms. Estudios posteriores añadieron tareas cognitivas y estímulos más ecológicos: ruido blanco y tonos musicales (Hirose et al., 2002), tonos diatónicos (Renninger et al., 2003), etiquetado tonal (Itoh et al., 2005) y secuencias de tonos de piano o tonos puros repetidos (Greber et al., 2018; Leipold et al., 2019b; Rogenmoser et al., 2015); Greber y Jäncke (2020) utilizaron un paradigma Go/No-go con tonos afinados y desafinados para examinar también el control inhibitorio.

En total, diez estudios emplearon paradigmas tipo *oddball*, mientras que cinco utilizaron otros diseños (memoria de timbre: Hantz et al., 1996; condiciones *On-pitch*/*Sharp*: Hantz et al., 1997; tareas de *pitch-naming*: Itoh et al., 2005; Leipold et al., 2019b; y Go/No-go: Greber y Jäncke, 2020). El electrodo Pz fue el canal más reportado, aunque varios trabajos también informaron promedios en canales centrales y frontales (Greber et al., 2018; Hantz et al., 1995; Leipold et al., 2019b; Rogenmoser et al., 2015).

En la mayoría de estudios, la categorización de OA fue binaria (OA vs. sin OA); sin embargo, Itoh et al. (2005) subdividió a los sin OA en OA medio, OA bajo y no músicos, en función de las diferencias de onda (denominación–escucha) en la tarea de *pitch naming*, donde la P3b fue significativa en estos grupos, pero no en OA alto. Leipold et al. (2019b) replicó esta aproximación, clasificando la

habilidad en OA medio y OA bajo, lo que refleja una tendencia reciente hacia modelos graduales de OA.

Resultados cualitativos por estudio (P300 y OA)

En el estudio de Klein et al. (1984), los participantes se dividieron en dos grupos de músicos: con OA y sin OA. Los resultados mostraron que los sujetos con OA presentaron una amplitud significativamente menor de la componente P300 en comparación con los controles ($p < 0,05$) al responder a estímulos auditivos infrecuentes o *targets*. Esta disminución se interpretó como evidencia de que un alto desempeño en tareas de identificación tonal se asocia con una menor necesidad de actualización de la memoria de trabajo, reflejada en una P300 reducida. Además, se observó una correlación negativa entre la amplitud del P300 auditivo y el rendimiento en la prueba de OA, lo que respalda la hipótesis de que los individuos con OA acceden a representaciones tonales internas estables, sin requerir comparaciones activas con estándares recientes.

En Wayman et al. (1992), se distinguieron tres grupos de participantes: poseedores de OA, músicos sin OA y no músicos sin OA, que para determinados análisis se reagruparon en un único grupo sin oído absoluto. En el experimento de EEG se emplearon tonos sinusoidales de 500 Hz (estándar) y 1000 Hz (objetivo), con una duración de 333 ms, superior a la utilizada en Klein et al. (1984).

Los resultados mostraron que la latencia del componente P300 fue significativamente menor en el grupo con OA respecto a los no músicos ($p < 0,05$). Por el contrario, la amplitud del P300 fue significativamente más baja en el grupo OA que tanto en los músicos sin OA ($p < 0,02$) como en los no músicos (p

< 0,02), reflejando un perfil de procesamiento más eficiente o menos dependiente de la actualización de la memoria de trabajo en los poseedores de OA.

En Hantz et al. (1992), a diferencia de estudios como el de Klein et al. (1984), se emplearon tonos musicales reconocibles (piano muestreado digitalmente) en lugar de tonos sinusoidales, con una duración de 167 ms por estímulo. En este trabajo se analizaron dos tareas de discriminación de intervalos: una más sencilla, basada en el contorno (intervalo 1), y otra más exigente, que requería diferenciar entre terceras mayor y menor (intervalo 2). En el presente metaanálisis se incluyeron únicamente los datos de amplitud y latencia de la componente P3 correspondientes al intervalo 1, dado que en el intervalo 2 no se observó respuesta P300 en los sujetos con OA. Los poseedores de oído absoluto mostraron amplitudes de P3 significativamente menores que los músicos sin OA ($p < 0,001$) y los no músicos, así como latencias significativamente más cortas que los músicos sin OA ($p < 0,05$). Estas diferencias se interpretan como indicativas del uso de una estrategia basada en representaciones almacenadas en memoria a largo plazo por parte del grupo OA, lo que hace innecesaria la actualización de la memoria de trabajo que típicamente se refleja en la respuesta P3. En contraste, las diferencias entre músicos y no músicos sin OA se atribuyen principalmente al nivel de entrenamiento musical y al grado de atención invertido en la tarea.

En Barnea et al. (1994), se emplearon condiciones experimentales distintas a las de Klein et al. (1984). En particular, los estímulos auditivos presentaron una duración mayor (500 ms vs. 60 ms) y consistieron en notas musicales reales con nombres conocidos, a diferencia de los tonos sinusoidales puros utilizados por Klein, cuyas frecuencias no coincidían necesariamente con el temperamento igual.

El diseño incluyó dos tareas principales: escaneo de memoria (experimentos 1–4) y detección de blancos tipo *oddball* (experimento 5). Para este metaanálisis, se consideraron únicamente los datos del experimento 5, que corresponde al paradigma estándar de potenciales evocados auditivos. Se compararon dos grupos de músicos: con OA y sin OA. Los resultados no revelaron diferencias significativas entre ambos grupos ni en la amplitud ni en la latencia del componente P300.

En Crummer et al. (1994), se utilizaron estímulos de timbre de 333 ms muestreados de violonchelo, viola, flauta (de madera y metal) y tuba (Bb y F), para comparar músicos con OA, músicos sin OA y no músicos. Los resultados revelaron que los sujetos con OA exhibieron amplitudes de la componente P300 significativamente menores que los otros grupos en las tres series de timbres auditivos ($p < 0,05$). Respecto a la latencia de la P300, esta resultó significativamente más prolongada en los no músicos para las series de flauta y tuba en comparación con los OA ($p < 0,05$), y marginalmente mayor en los músicos sin OA para la serie de tuba ($p = 0,06$).

Estos hallazgos respaldan la utilidad de los timbres como estímulos en paradigmas de PRE para diferenciar a personas con OA. Dado que los niveles de entrenamiento musical eran equiparables entre músicos con y sin OA, se concluye que la posesión de OA constituyó el principal factor diferenciador.

En Hantz et al. (1995), se emplearon dos series de estímulos auditivos de 500 ms: una tarea de memoria de tono y una condición de control con ruido blanco (esta última no se incluyó en el metaanálisis). Los participantes se dividieron en tres

grupos: músicos con OA, músicos sin OA y no músicos. Los resultados indicaron que tanto los músicos con OA como los sin OA presentaron amplitudes de la componente P3 significativamente mayores que los no músicos. Asimismo, los no músicos mostraron latencias P3 más prolongadas, lo que evidencia un procesamiento más lento de la información auditiva relevante en la tarea de memoria de tono.

En Hantz et al. (1996), se empleó una tarea de memoria para timbres con dos series de estímulos auditivos: una con timbres complejos de instrumentos digitalizados y otra con ráfagas de ruido blanco como condición de control. Aunque se registraron componentes de la onda P300 (P3a y P3b) en sujetos con OA, el objetivo principal no fue investigar específicamente el OA, sino analizar diferencias por sexo en tareas de memoria auditiva y visual. No obstante, se observaron diferencias en las formas de onda P3 en el electrodo Pz, particularmente en la serie de timbres. Los sujetos con OA exhibieron una respuesta P3 (especialmente el componente P3b) más atenuada que los sin OA. Los autores atribuyen estas diferencias en los PRE a posibles factores fisiológicos, estrategias perceptivo-cognitivas distintas o una combinación de ambos.

En el estudio de Hantz et al. (1997) los sujetos con OA mostraron menor amplitud de la P3 (P300) en las regiones de línea media (Fz, Cz, Pz), pero mayor amplitud en regiones laterales temporoparietales, en comparación con los sin OA. Este patrón sugiere que los músicos con OA podrían estar utilizando estrategias cognitivas distintas o diferentes regiones cerebrales para procesar los estímulos. La latencia del componente P300 no mostró diferencias significativas entre los grupos. Sin embargo, se identificó una interacción significativa entre el sexo, el

tipo de estímulo (*target*/*nontarget*) y la entonación, evidenciándose una mayor variabilidad en las respuestas de las participantes femeninas.

En Hirose et al. (2002), se utilizaron tonos puros musicales reconocibles por poseedores de OA (La4 = 440 Hz y Do4 = 262 Hz), a diferencia de los tonos sin nombre empleados en Klein et al. (1984). Se compararon dos grupos: OA con educación musical temprana y sin OA sin dicha formación. El paradigma incluyó dos sesiones para evocar la componente P300; no obstante, en este metaanálisis solo se consideraron los datos de la sesión 2, ya que los autores indican que en la sesión 1 no se requería la habilidad de OA:

"*In session 1, the two auditory stimuli had different sound characteristics; white noise and pure tone. The subjects were requested only to differentiate the pure tone from the white noise, and the AP ability was not necessary*" (p. 249).

Los resultados de la sesión 2 no revelaron diferencias significativas entre grupos en amplitud (p = 0,35) ni latencia (p = 0,91) de la P300.

En Renninger et al. (2003), se emplearon tonos sinusoidales de 350 ms presentados binauralmente, evitando tonos de piano para controlar el efecto de piano absoluto. Se diseñaron dos tareas: memoria de tono (Tarea 1), que requería identificar tonos no diatónicos en una secuencia tonal y demandaba OA; y contorno melódico (Tarea 2), concebida como tarea relativa para evaluar si los sujetos podían ignorar la tonalidad cuando no era relevante:

"*This task was designed to examine the responses of AP and RP subjects in a fundamentally 'relative' task. In addition, it enabled us to examine whether subjects can ignore the relation of the tone to the tonal framework when it is irrelevant to the performance of the task*" (p. 367).

Para este metaanálisis, solo se incluyeron datos de la Tarea 1. Aunque los resultados globales no mostraron diferencias significativas en la amplitud del P300 entre grupos ($p > 0,05$), al excluir cuatro sujetos OA con P300 elevada (OA4, OA8, OA9, OA13), la amplitud restante del grupo OA fue significativamente menor que en el grupo sin OA ($p < 0,05$). Los autores atribuyen esta variabilidad a diferencias individuales en habilidades relativas dentro del grupo OA, así como a la dificultad moderada de la tarea, lo que modula el uso de estrategias absolutas o relativas según el contexto experimental.

En Itoh et al. (2005) la clasificación fue tripartita (OA alto, medio y bajo), además de un grupo no entrenado. Aunque el diseño difiere de otros estudios incluidos en el metaanálisis, se realizaron un par de experimentos: uno de denominación y escucha de tonos (*pitch naming*), y otro de tipo Stroop auditivo. En este último, los sujetos realizaron dos tareas: *pitch Task* (nombrar el tono ignorando la sílaba) y *Syllable Task* (nombrar la sílaba ignorando el tono). Dado que en el *Syllable Task* no se requería identificar el tono, este no se considera relevante para el metaanálisis ("[...] *ignoring pitch*", p. 761).

En el experimento de *pitch naming*, se observó una onda P3b significativa solo en los grupos OA medio, OA bajo y no entrenados ($p < 0,001$), mientras que estuvo ausente en el grupo OA alto. Esto sugiere un procesamiento más automático y

directo en estos últimos, consistente con un sistema de etiquetado verbal fijo característico del oído absoluto. Los resultados respaldan que la capacidad central del OA es esta asociación directa entre tono y nombre, y que su procesamiento involucra regiones auditivas de asociación, como el *planum temporale* izquierdo.

En síntesis, los hallazgos de Rogenmoser et al., (2015) respaldan la hipótesis de que el OA implica un procesamiento auditivo más eficiente, sustentado por mecanismos cognitivos adicionales, como el etiquetado de tono. Este se manifiesta en una menor amplitud de la componente P3a en comparación con los no poseedores de OA, especialmente ante desviaciones categóricas. En particular, el estímulo de 264 Hz del bloque A mostró diferencias significativas entre grupos ($p < 0{,}001$), indicando una menor demanda de recursos atencionales en el grupo OA. Además, se hallaron correlaciones entre la edad de inicio del entrenamiento musical y la respuesta P3a en OA, lo que sugiere que la experiencia musical temprana potencia este tipo de procesamiento especializado. Aunque el estudio no enfatiza diferencias en las latencias de P3a, los resultados refuerzan el rol de este componente como un marcador neurofisiológico sensible a las habilidades del OA, especialmente en contextos de escucha pasiva.

Greber et al. (2018) replicó el estudio de Rogenmoser et al. (2015) utilizando un paradigma de escucha pasiva con registro EEG. Se analizaron principalmente los bloques A y C, centrando el análisis en el componente P3a, registrado en electrodos fronto-centrales. Los autores no hallaron efectos significativos del grupo (OA vs. sin OA) en las amplitudes ni latencias del P3a. Sin embargo, observaron un efecto significativo de la condición de desviación únicamente en el

bloque A, tanto para las amplitudes ($p < 0,001$) como para las latencias ($p = 0,003$). Al no encontrarse diferencias entre los grupos, los resultados no sugieren la existencia de una ventaja cognitiva en los individuos con OA. En otras palabras, no se hallaron evidencias de que identificaran los tonos de manera automática durante la escucha pasiva. Esto no contradice el modelo de dos componentes, que postula un acceso a representaciones de tono a largo plazo, ya que el P3a se relaciona más con procesos atencionales que con memoria tonal.

Los autores argumentan que el OA no se explicaría únicamente por una discriminación auditiva refinada, y que el uso de estrategias absolutas o relativas dependería del contexto. Por ello, recomiendan evaluar el grado de automaticidad del etiquetado tonal, por ejemplo, mediante medidas como el tiempo de reacción. Además, mencionan que su muestra fue equilibrada por género, a diferencia del estudio original, en el que predominaban mujeres, lo cual podría haber influido en los resultados. Finalmente, consideran poco probable que diferencias individuales en las estrategias de escucha expliquen la ausencia del efecto de OA sobre el P3a, aunque no descartan esa posibilidad por completo.

En Leipold et al. (2019), se replicó Itoh et al. (2005) con modificaciones menores en las tareas de EEG, como tonos de 350 ms y respuestas manuales en lugar de verbales. Este fue el segundo estudio en usar una clasificación tripartita por precisión de nombramiento tonal (OA alto, medio y bajo; n = 104). Se hallaron diferencias significativas en el componente P3b; en el electrodo Pz, surgió una interacción significativa ($p = 0,02$), con mayor amplitud en OA bajo vs. OA medio ($p = 0,004$), pero sin diferencias entre OA bajo-alto ($p = 0,19$) ni OA medio-alto ($p = 0,32$). Los autores concluyen una replicación parcial, destacando

respuestas más marcadas en OA bajo, aunque algunas comparaciones no alcanzaron significación por la subdivisión en tres grupos.

En Greber y Jäncke (2020), se exploró la automaticidad del etiquetado tonal en OA y su inhibición mediante tareas Go/No-Go con tonos de piano de 500 ms, comparando músicos OA y sin OA. La amplitud P3d se calculó como diferencia Go/No-Go para aislar el control inhibitorio. No se observaron diferencias grupales en P3d para tonos afinados (p = 0,62) ni desafinados. Los procesos inhibitorios no se vieron modulados por el OA, posiblemente por activación de audición relativa en lugar de absoluta, o por sensibilidad limitada de las medidas.

La síntesis cualitativa revela que la mayoría de estudios incluidos evidencian al menos un efecto del OA en la P300 (amplitud, latencia o topografía) vs. grupos sin OA. Aunque algunos no reportaron diferencias significativas, todos usan paradigmas comparables y miden componentes PRE similares bajo condiciones análogas, justificando su integración cuantitativa en el metaanálisis.

Tabla 2. Características cualitativas de los estudios seleccionados.

N	Título	Autores y año	Estímulos para Test OA	Estímulo /tarea (EEG)	Paradigma auditivo para EEG	Filtro bajo alto	Electrodos	Señal y ventana P300	Hallazgo principal
1	People with Absolute Pitch Process Tones Without Producing a P300	Klein et al., (1984)	Tonos de piano. 500 ms. 500 ensayos. 63 Hz hasta 4186 Hz.	Tonos sinusoidales: 1000 Hz y 1100 Hz, duración 60 ms, rise-fall 10 ms	*Oddball*	-	Pz	300 – 600 ms	Se observó una reducción en la amplitud del P300 en participantes con OA, mientras que la latencia fue similar con los sin OA.
2	Effects of musical training and absolute pitch ability on event-related activity in response to sine tones.	Wayman et al. (1992)	Tonos de piano. 2000 ms. 73 ensayos. 32,70 Hz hasta 2093 Hz.	Tonos sinusoidales: 500 Hz de 333 ms.	*Oddball*	0,1 – 100 Hz	Pz	-	OA tienen menor amplitud y latencia P3, posiblemente por mayor sensibilidad auditiva cortical o estrategias neuropsicológicas distintas.
3	Effects of Musical Training and Absolute Pitch on the Neural Processing of Melodic Intervals: A P3 Event-Related Potential Study	Hantz et al. (1992)	Tonos de piano. 2000 ms. 73 ensayos. 32,70 Hz hasta 2093 Hz.	Tonos sinusoidales (intervalo 1): 160 pares entre La3 y Mib4, ascendentes de 167 ms	*Oddball*	1 – 6 Hz	Pz	-	Se obtuvo una amplitud y latencias P300 más cortas en OA en comparación con los sin OA.
4	Absolute pitch-electrophysiological evidence	Barnea et al., (1994)	Tonos de piano. 2000 ms. 73 ensayos. 32,70 Hz hasta 2093 Hz.	Tonos (experimento 5): 160 en Mi de piano de 500 ms	*Oddball*	0,1 – 120 Hz.	Pz	280 – 550 ms	El estudio no encontró diferencias significativas entre los grupos, sino un claro componente P3 para ambos grupos.
5	Neural processing of musical timbre by musicians, nonmusician, and musicians possessing absolute pitch	Crummer et al. (1994)	Tonos de piano. 2000 ms. 73 ensayos. 32,70 Hz hasta 2093 Hz.	Timbres de instrumentos: 160 en violonchelo, viola, flauta y tuba, con duración de 333 ms afinados en Do4	*Oddball*	1 – 100 Hz	Pz	270 – 750 ms	Los sujetos con OA mostraron latencias P3 más cortas y amplitudes más pequeñas, sugiriendo un procesamiento más rápido de los timbres.
6	Effects of musical training and absolute pitch on a pitch memory task:	Hantz et al. (1995)	Tonos de piano. 2000 ms. 73 ensayos. 32,70 Hz hasta 2093	Tonos de pianos (G4): 160 digitalizados de 500 ms	*Oddball*	0,3 – 130 Hz	Pz, Cz y Fz	275 – 700 ms	La hipótesis de que los sujetos con OA reducirían o eliminarían el P3, no se

N	Título	Autores y año	Estímulos para Test OA	Estímulo /tarea (EEG)	Paradigma auditivo para EEG	Filtro bajo alto	Electrodos	Señal y ventana P300	Hallazgo principal
	An event-related potential study.		Hz.						confirmó.
7	Sex differences in memory for timbre: an event-related potential study	Hantz et al. (1996)	Diferentes timbres. 250 ms	Tonos de timbre	Memoria para timbre	0,3 – 130 Hz	Pz	300 ms (P3a) / 500 - 600 ms (P3b)	Se encontró un P300 reducido en comparación con los sin OA ante estímulos auditivos.
8	Absolute pitch and sex affect event-related potential activity for a melodic interval discriminatio n task	Hantz et al. (1997)	Tonos de piano. 2000 ms. 73 ensayos. 32,70 Hz hasta 2093 Hz.	-	*On-pitch* y *Sharp*	0,3 – 130 Hz	Pz	-	Se encontró un P300 reducido en comparación con los sin OA ante estímulos auditivos.
9	People with absolute pitch process tones with producing P300	Hirose et al. (2002)	Tonos senoidales. 1000 ms. 60 ensayos. 65,5 Hz a 1048 Hz.	Tonos (sesión 1): ruido blanco (80%) y sesión 2: Do4 (80%) ambos de 200 ms	*Oddball*	0,1 – 200 Hz	Pz	-50 – 600 ms	No se encontraron diferencias significativas en las amplitudes y latencias de OA y sin OA.
10	Absolute Pitch and the P300 Component of the Event-Relate d Potential: An Exploration of Variables That May Account for Individual Differences	Renninge r et al., (2003)	Tonos senoidales. 250 ensayos. 63 Hz hasta 4186 Hz.	Tonos diatónicos (tarea 1): 240 entre Do4 y Do5 de 350 ms	*Oddball*	0 – 8 Hz	Pz	300 – 800 ms	Se encontró un P300 reducido en OA en comparación con los sin OA. Solo si se exceptúa a 4 sujetos.
11	Electrophysio logical Correlates of Absolute Pitch and Relative Pitch	Itoh et al. (2005)	Tonos senoidales. 350 ms. 90 ensayos. 262 Hz a 330 Hz.	Tonos de etiquetado	*Pitch naming*	0,05 – 100 Hz.	Pz	300 – 450 ms	Se encontró un P300 auditivo reducido en OA en comparación con los sin OA en el experimento *pitch naming*.
12	Absolute Pitch: Evidence for Early Cognitive Facilitation during	Rogenm oser et al., (2015)	Tonos senoidales. 1000 ms. 108 ensayos. 220 Hz a 880 Hz.	Tonos de piano (bloque A y C): 420 veces (440 y 264 Hz) de 200 ms	*Oddball* (Passive)	0,1 – 100 Hz	Frontal	200 – 350 ms	Se encontró respuestas reducidas P3a en OA tanto en amplitud como latencia.

N	Título	Autores y año	Estímulos para Test OA	Estímulo /tarea (EEG)	Paradigma auditivo para EEG	Filtro bajo alto	Electrodos	Señal y ventana P300	Hallazgo principal
	Passive Listening as Revealed by Reduced P3a Amplitudes								
13	Electrophysiological Correlates of Absolute Pitch in a Passive Auditory Oddball Paradigm: a Direct Replication Attempt	Greber et al. (2018)	Tonos senoidales. 500 ms. 324 ensayos. 130.81 Hz a 987.77 Hz.	Tonos de piano (bloque A y C): 420 veces (440 y 264 Hz) de 200 ms	*Oddball* (Passive)	0,1 – 100 Hz	Frontal y central	-100 – 400 ms	No se encontró diferencias entre amplitud y latencia para OA y sin OA bajo el paradigma *oddball*.
14	A reevaluation of the electrophysiological correlates of absolute pitch and relative pitch: No evidence for an absolute pitch-specific negativity.	Leipold et al. (2019b)	Tonos senoidales. 500 ms. 108 ensayos. 130,81 Hz a 987,77 Hz.	Tonos puros (naming): frecuencias de 262 Hz (Do 4), 294 Hz (Re 4) y 330 Hz (Mi 4) de 350 ms.	*Pitch naming*	0,1 – 100 Hz	Pz, Cz y Fz	300 – 450 ms	Se obtuvo una amplitud P3b más reducida en OA alto y OA medio en comparación con los OA.
15	Suppression of Pitch Labeling: No Evidence for an Impact of Absolute Pitch on Behavioral and Neurophysiological Measures of Cognitive Inhibition in an Auditory Go/NoGo Task	Greber y Jäncke (2020)	Tonos senoidales. 500 ms. 108 ensayos. 130,81 Hz a 987,77 Hz.	Tonos de piano (No-Go-mt): 400 ensayos (Do4, Re4, Mi4, Fa4 y Sol4) y 10 mal afinados y ambientales; todos con 500 ms	Go/NoGo	1 – 30 Hz	Pz	180 – 420 ms (No-Goit-Go) / 320 – 660 ms (NoGo-Gomt)	No se encontró un efecto específico del OA, lo que implica que los resultados de los NOA fueron comparables a los de los OA.

Nota: OA: oído absoluto; -: no reportado; ms: milisegundos; Hz: hertz.

5.5. Síntesis de resultados

Resultados cuantitativos de P300

En la tabla 3 se resumen los datos cuantitativos de los 15 estudios que reportaron numéricamente los picos máximos de amplitud y las latencias, ya sea en el artículo o por correspondencia con los autores. Los valores no reportados se indican explícitamente en la tabla y no se incluyeron en los metanálisis de amplitud ni de latencia (véase Anexo 3: "Resultados cuantitativos de P300").

Cuando los datos no estaban disponibles de forma numérica, se extrajeron a partir de las figuras originales mediante el método de *peak picking*, promediando los valores de los electrodos seleccionados en un único valor de media y desviación estándar para cada condición. Para sintetizar los resultados del *peak picking* y obtener una sola estimación por estudio (media combinada y desviación estándar combinada muestral), se emplearon las fórmulas tradicionales de combinación de medias y varianzas ponderadas por el tamaño muestral, tal como se detalla en la sección de metodología.

Media combinada:

$$\bar{x}_{combined} = \frac{n_1.\bar{x}_1 + n_2.\bar{x}_2}{n_1 + n_2}$$

Desviación estándar combinada muestral:

$$S_{combined} = \sqrt{\frac{(n_1-1)S_1^2 + (n_2-1)S_2^2 + \frac{n_1 n_2}{n_1+n_2}(\bar{x}_1 - \bar{x}_2)^2}{n_1 + n_2 - 1}}$$

Con lo anterior, se completa la siguiente tabla 3.

Tabla 3. Resumen de los resultados cuantitativos de las medidas P300.

N	Estudio	EL	Paradigma	Estímulo/ tarea (EEG)	n OA	LA OA	DE OA	AM OA	DE OA	n sin OA	LA sin OA	DE sin OA	AM sin OA	DE sin OA
1	Klein et al., (1984)	Pz	*Oddball*	Auditivo	7	406	19,8	3,3	1,60	7	413	24,2	7,3	1,41
2	Wayman et al. (1992)	Pz	*Oddball*	Auditivo	10	302	18	9,7	4	25	317	29,6	16,3	6,9
3	Hantz et al. (1992)	Pz	*Oddball*	Auditivo (intervalo 1)	10	369	26,67	4,9	1,93	25	417	57,78	10,1	4,75
4	Barnea et al., (1994)	Pz	*Oddball*	Auditivo (experimento 5)	7	325	16	6,9	1,13	11	346	15	5,2	01,08
5	Crummer et al. (1994)	Pz	*Oddball*	Auditivo (tuba)	10	378	20	7,4	2,5	25	435	84,97	12,6	4,8
	Crummer et al., (1994)	Pz	*Oddball*	Auditivo (flauta)	10	323	15	7,9	3	25	347	27,12	14,9	50,58
	Crummer et al., (1994)	Pz	*Oddball*	Auditivo (cuerdas)	10	324	20	8,9	2,5	25	342	29,13	16,6	18,50
6	Hantz et al. (1995)	Pz, Cz y Fz	*Oddball*	Auditivo (G4)	14	375	63,4	-	-	30	404	85,14	-	-
7	Hantz et al. (1996)	Pz	*Pitch Memory*	Auditivo (timbres)	10	-	-	-	-	20	-	-	-	-
8	Hantz et al. (1997)	Pz	*Oddball*	*On-pitch* / *sharp*	10	-	-	-	-	20	-	-	-	-
9	Hirose et al. (2002)	Pz	*Oddball*	Auditivo (sesión 2)	9	341	13,4	13,5	6,8	7	331	40,2	11,1	8,8
10	Renninger et al., (2003)	Pz	*Oddball*	Auditivo (tarea 1)	16	496	35,67	13,6	8,9	16	521	50,96	13,1	4,18
11	Itoh et al. (2005)	Pz	*Pitch naming*	Auditivo (*naming*)	11	-	-	-	-	34	-	-	-	-
12	Rogenmoser et al., (2015)	Frontal	*Oddball* (Passive)	Auditivo (bloque A y C)	16	-	-	-	0,26	10	-	-	1,6	0,5
13	Greber et al. (2018)	Frontal	*Oddball* (Passive)	Auditivo (bloque A y C)	54	298	38,7	2,9	1,90	50	297	35,5	2,8	1,71
14	Leipold et al. (2019b)	Pz, Cz y Fz	*Pitch naming*	Auditivo (*naming*)	25	-	-	-	-	79	-	-	-	-
15	Greber y Jäncke (2020)	Pz	Go/ No-Go	No-Go(mt)	54	-	-	4,3	3,65	51	-	-	3,9	3,83

Nota: EL, electrodo. LA, latencia. AM, amplitud. DE, desviación estándar.

Resultados del análisis de las latencias P300

Se realizó un meta-análisis de efectos fijos a partir de 9 estudios (incluyendo tres condiciones/tareas del estudio de Crummer et al., 1994, consideradas como comparaciones independientes), con un total de 11 comparaciones. En Hantz et al. (1995) se incluyen los registros de Pz, Cz y Fz; y Greber et al. (2018) los canales frontales como promedios agrupados (*pooled*). Para los demás estudios es Pz. Todos desde el paradigma *oddball*. Se excluyeron estudios que reportaron datos.

Los resultados mostraron que el grupo con OA presentó una latencia del componente P300 significativamente menor en comparación con el grupo sin OA, con un tamaño del efecto global moderado (g = -0,42, IC 95% [-0,63 – -0,21], p < 0,001). Esto indica una ventaja significativa del grupo OA en el procesamiento neuronal evaluado mediante la latencia del P300.

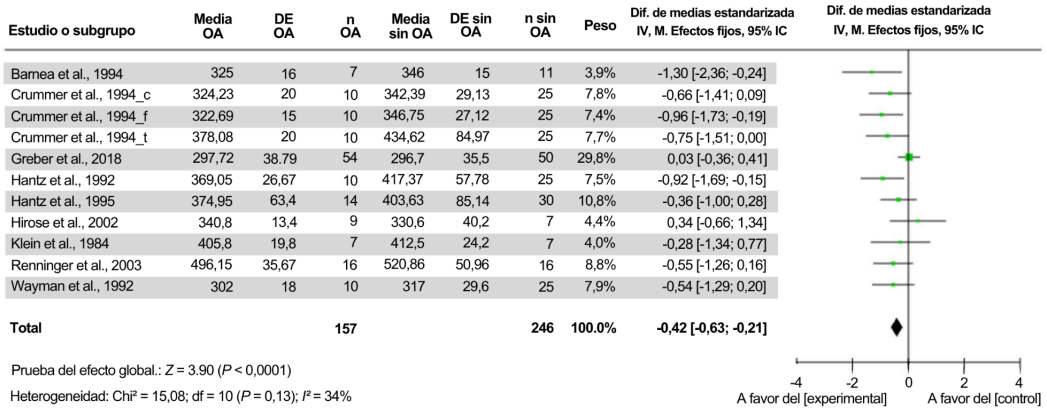
Aunque la prueba Q no alcanzó significación estadística ($Q(10)$ = 15,08 – p = 0,13), el índice de heterogeneidad I^2 fue del 34%, lo que sugiere una heterogeneidad moderada entre los estudios. Dado que el análisis presentado se basa en un modelo de efectos fijos, no se reportan los valores de τ^2 ni H^2, ya que estos índices son propios de los modelos de efectos aleatorios, donde se asume la existencia de una varianza real entre los estudios.

La significancia del efecto global se evaluó mediante una prueba Z de dos colas, obteniéndose Z = 3,90; p < 0,001. Este resultado indica que el efecto promedio difiere significativamente de cero, lo que respalda la existencia de una diferencia sistemática entre los grupos con y sin OA.

A continuación, verificamos si había valores atípicos o estudios con influencia significativa en los resultados. Solo un estudio (Hirose et al., 2002) muestra un efecto en dirección opuesta, aunque sin significancia estadística (g = 0,34 – IC 95% [-1,36 – 2,04]).

Un diagrama de bosque de todos los tamaños del efecto se muestra en la Figura 9.

Figura 9. *Forest Plot* para todos los efectos para latencia P300.

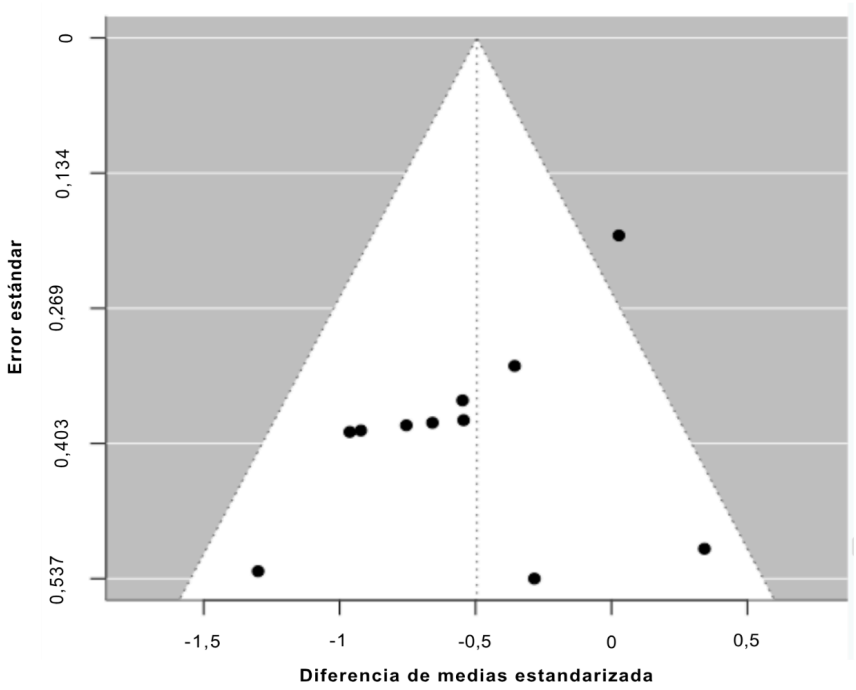


Nota: DE: desviación estándar; n: muestra; IC: intervalo de confianza; Z: valor de prueba de significancia; P: Valor p; Chi^2: Chi-cuadrado; df: grados de libertad; I^2: estadístico I-cuadrado. Condiciones c, f y t: instrumento diferente.

Sesgo de publicación de las latencias P300

Para analizar la posible presencia de sesgo de publicación, se examinó visualmente el gráfico de embudo (*funnel plot*) mostrado en la Figura 10. Aunque se aprecia una ligera asimetría, esta no parece ser marcada ni sistemática. En consecuencia, no se encontraron evidencias claras de sesgo de publicación, por lo que se considera poco probable que este factor afecte de manera significativa la validez del presente metaanálisis.

Figura 10. *Funnel plot* de los efectos observados para la latencia P300.



Resultados del análisis de las amplitudes P300

Se realizó un metaanálisis de efectos aleatorios de 10 estudios (considerando que Crummer et al., 1994 incluye tres tareas analizadas por separado). En Rogenmoser et al., (2015) y Greber et al. (2018) se usan los registros de los canales frontales como promedios agrupados (*pooled*). Para los demás estudios es Pz. Todos desde el paradigma *oddball*. Se excluyeron estudios que reportaron datos.

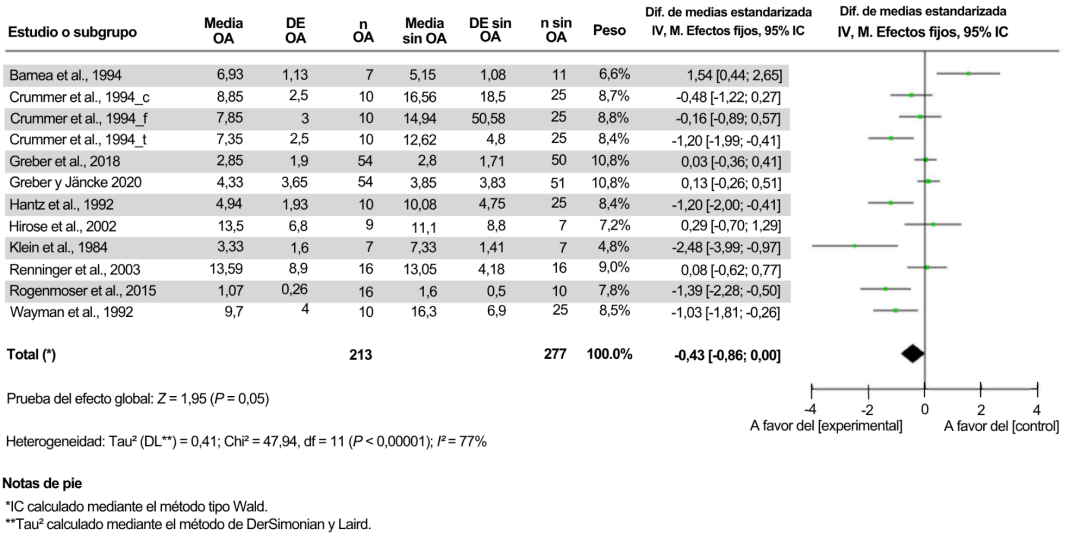
El análisis global mostró una tendencia no significativa a favor del grupo sin OA, con un tamaño del efecto promedio de g = -0,43 (IC 95%: -0,86 – 0,00). Esta diferencia no alcanzó significancia estadística (Z = 1,95, p = 0,05), por lo que no se puede concluir que existan diferencias significativas en la amplitud del P300 entre los grupos con y sin OA.

Encontramos heterogeneidad significativa en la muestra, $Q(11) = 47{,}94$ – $p < 0{,}001$, e I^2 fue 77%, lo que indica que hubo heterogeneidad sustancial. Además, la varianza entre estudios fue $\tau^2 = 0{,}41$ y el índice H^2 fue 4,35 (calculado como $H^2 = Q/\text{df} = 47{,}94 / 11$).

A continuación, se evaluaron posibles valores atípicos o estudios con influencia desproporcionada en los resultados. El estudio de Klein et al. (1984) presentó un tamaño del efecto particularmente extremo ($g = -2{,}48$), lo que lo señala como un posible valor atípico. No obstante, el estudio no mostró características metodológicas que justificaran su exclusión, por lo que se mantuvo en el análisis global sin modificaciones.

Un diagrama de bosque de todos los tamaños del efecto se muestra en la Figura 11.

Figura 11. *Forest Plot* para todos los efectos de amplitudes P300.

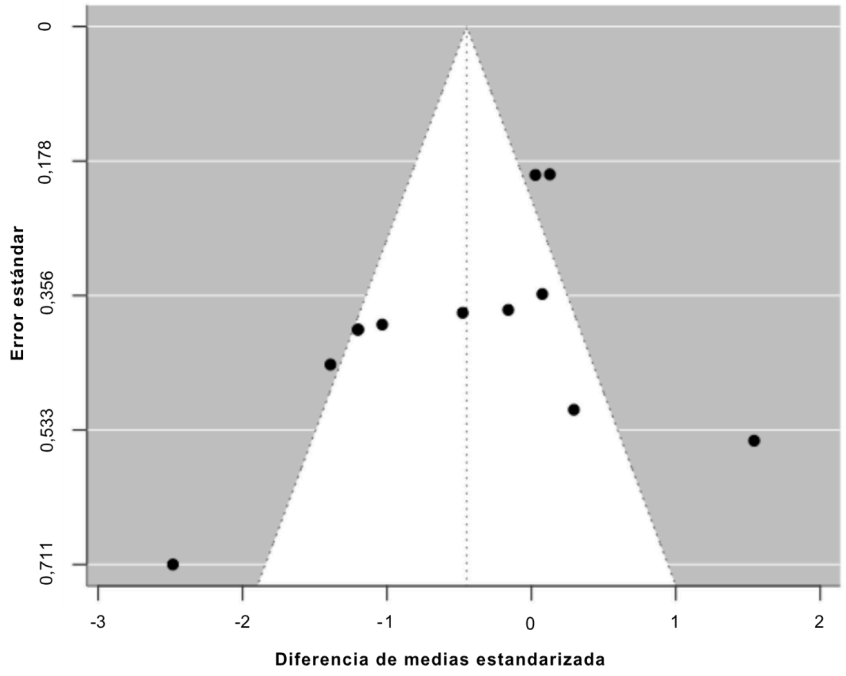


Nota: DE: desviación estándar; n: muestra; IC: intervalo de confianza; Z: valor de prueba de significancia; P: Valor p; Chi^2: Chi-cuadrado; df: grados de libertad; I^2: estadístico I-cuadrado. Condiciones c, f y t: instrumento diferente.

Sesgo de publicación de las amplitudes P300

Con el fin de evaluar si el sesgo de publicación constituía una preocupación relevante, se examinó inicialmente el gráfico de embudo (*funnel plot*) en busca de posibles asimetrías. Como se muestra en la Figura 12, el gráfico de embudo muestra una distribución asimétrica, con evidencia de sesgo de publicación. En general, concluimos que es probable que el sesgo de publicación sea una preocupación significativa en nuestra muestra, y que no nos permite generalizar los resultados.

Figura 12. *Funnel plot* de los efectos observados de amplitudes P300.



Resultados del análisis del rendimiento sobre los Test OA (análisis adicional)

Se analizaron los siguientes 13 estudios (Tabla 3), se excluyeron 2 estudios por falta de datos. Se extrajo las medias y las desviaciones estándar de resultados del

rendimiento sobre los Test OA. Si las medias de los puntajes son altas (de 0 a 100%) significan la presencia de la habilidad de OA, para que luego se analice la relación entre este resultado y el efecto OA. El resumen de selección es mostrado en la Tabla 3.

Tabla 3. Relación de estudios de OA seleccionados para el análisis.

N	Estudio	n OA	Media OA	DE OA	n sin OA	Media sin OA	DE sin OA
1	Klein et al., 1984	7	87,9	3,8	7	48,6	16,7
2	Wayman, et al., 1992	10	89,5	11,5	4	17,6	4,3
3	Hantz, et al., 1992	10	89,5	11,5	4	17,6	4,3
4	Crummer et al., 1994	10	89,5	11,5	25	17,6	4,3
5	Hantz, et al., 1995	14	83,3	2,8	30	30,2	10,7
6	Hantz, et al. 1996	10	85,4	15,0	20	20,6	14,5
7	Hantz, et al. 1997	10	85,4	15,0	20	20,6	14,5
8	Renninger et al., 2003	16	96,3	4,3	16	50,6	26,5
9	Itoh, et al., 2005	11	98,0	3,0	34	26,4	26,7
10	Rogenmoser et al., 2015	16	79,6	18,0	10	8,4	5,4
11	Greber, et al., 2018	54	76,4	19,6	50	24,3	19,0
12	Leipold, et al., 2019b	25	93,6	5,0	79	38,0	12,0
13	Greber y Jäncke, 2020	54	76,4	19,6	51	24,0	18,9

Nota: DE, desviación estándar.

Realizamos un meta-análisis de efectos aleatorios de 13 estudios (el estudio de Wayman et al. (1992) y Hantz et al. (1992) la muestra de sin OA fue de 4 para ambos) y encontramos que la intervención fue significativamente más efectiva que las condiciones de comparación ($g = 4,30 – p < 0,001$).

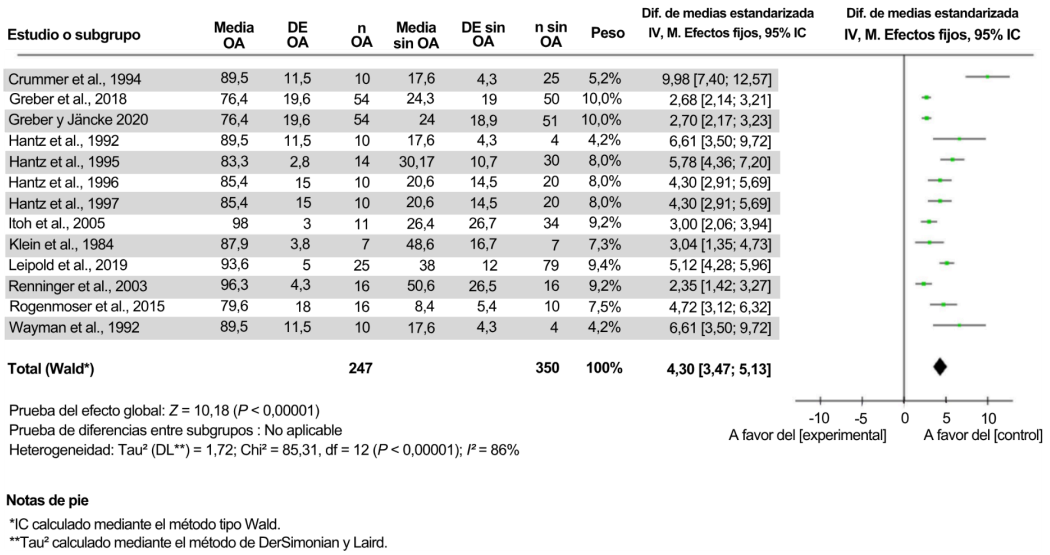
Encontramos heterogeneidad significativa en la muestra, $Q(13) = 85,31$, $p < 0,001$, e I^2 fue 86%, lo que indica que hubo heterogeneidad sustancial. Además, la varianza entre estudios fue $\tau^2 = 1,72$ y el índice H^2 fue 7,11.

La significancia estadística del efecto global se evaluó mediante una prueba *Z* de dos colas, obteniéndose un valor de $Z = 10{,}18$; $p < 0{,}001$, lo que indica un efecto promedio significativamente diferente de cero.

A continuación, verificamos si había valores atípicos o estudios con influencia significativa en los resultados. El estudio de Crummer et al., 1994 ($g = 9{,}98$) resultó ser un valor atípico. Sin embargo, el estudio no fue notablemente diferente de otros en la muestra, por lo que el tamaño del efecto no se eliminó ni se modificó.

Un diagrama de bosque de todos los tamaños del efecto se muestra en la Figura 13.

Figura 13. *Forest Plot* para todos los efectos en el rendimiento del Test OA.

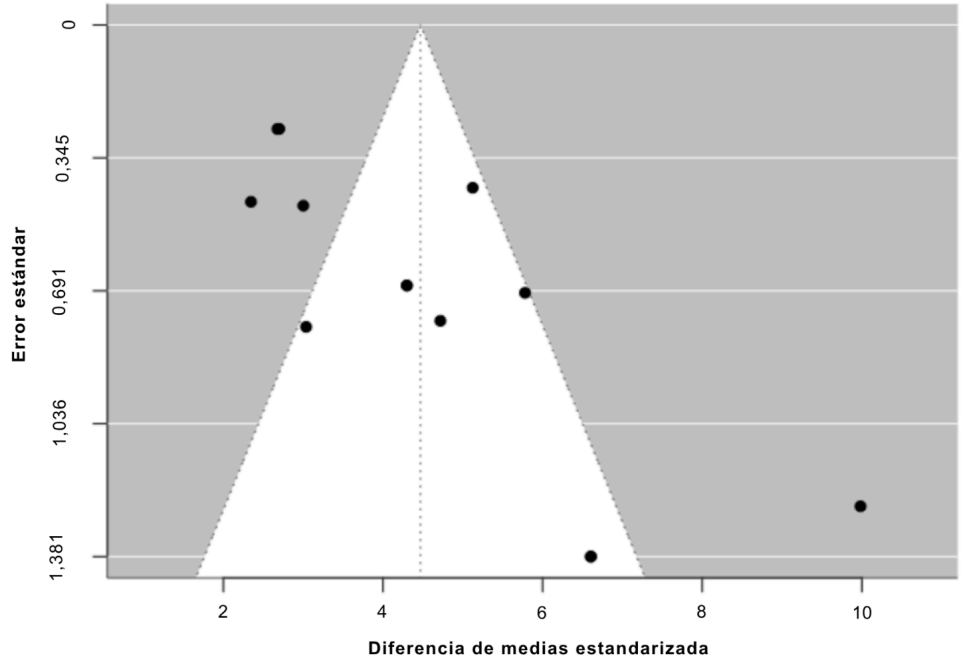


Nota: DE: desviación estándar; n: muestra; IC: intervalo de confianza; Z: valor de prueba de significancia; P: Valor p; Chi^2: Chi-cuadrado; df: grados de libertad; I^2: estadístico I-cuadrado.

Sesgo de publicación sobre los Test OA

Con el propósito de evaluar si el sesgo de publicación representaba una preocupación relevante, se examinó el gráfico de embudo (*funnel plot*) en busca de posibles asimetrías. Como se observa en la Figura 14, el gráfico muestra una ligera asimetría, aunque no lo suficientemente marcada como para indicar un sesgo sustancial.

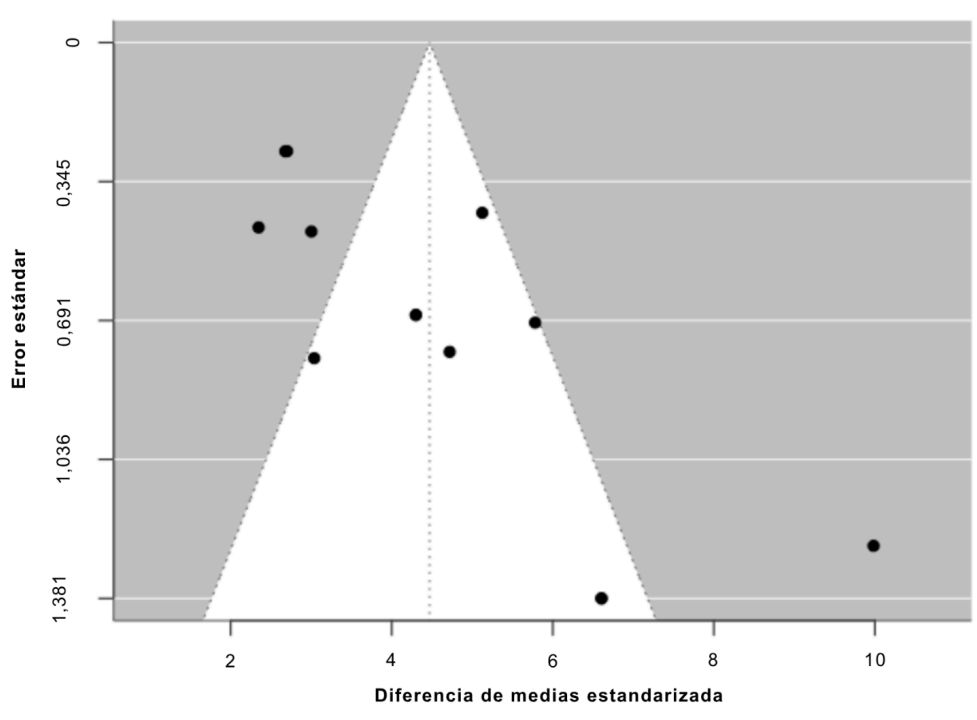
Figura 14. *Funnel plot* de los efectos observados en el rendimiento del Test OA.



A continuación, realizamos un análisis de trim y fill. El análisis mostró que faltaban dos estudios en el lado derecho del embudo (Figura 15). Sin embargo, la imputación de estos estudios no alteró significativamente el tamaño del efecto general (g = 4,4697; p < 0,001) con respecto al tamaño del efecto general encontrado en el metanálisis (g = 4,30; p < 0,001).

Posteriormente, realizamos la regresión de Egger para comprobar la asimetría del gráfico de embudo. La prueba no fue significativa, lo que sugiere que no existe una asimetría significativa en el gráfico de embudo (z = 4,23; b = 1,49; p < 0,001). Una causa potencial de heterogeneidad es el efecto umbral (*threshold effect*). No se observó evidencia significativa de este efecto, ya que el resultado del test correspondiente arrojó un valor de p > 0,05. En general, concluimos que no es probable que el sesgo de publicación sea una preocupación significativa en nuestra muestra.

Figura 15. Gráfico de embudo después de la regresión de Egger en el rendimiento del Test OA.



VI. DISCUSIÓN

Hasta donde sabemos, esta es la primera revisión sistemática y metaanálisis que analiza de forma exhaustiva la relación entre el potencial evocado P300 y la habilidad del OA, destacando la relevancia de integrar la evidencia neurofisiológica existente sobre esta población.

El 82% de las comparaciones incluidas (9 de 11) mostró una latencia del P300 más corta en el grupo con OA en comparación con los controles (Barnea et al., 1994; Crummer et al., 1994 (condiciones c, f y t); Greber y Jäncke, 2020; Hantz et al., 1992; Hantz, et al., 1995; Itoh et al., 2005; Leipold et al., 2019b; Rogenmoser et al., 2015; Wayman et al. 1992). De manera consistente, el metaanálisis reveló una diferencia significativa a favor del grupo OA, con un tamaño del efecto global moderado (g = -0,42, IC 95% [-0,63 – -0.21]; p < 0,001).

Los resultados de la presente investigación mostrarían un 58% de las comparaciones (7 de 12) que han encontrado una amplitud P300 atenuada ante la presencia de la habilidad de OA en músicos a comparación de los controles (Crummer et al., 1994 (para las 3 comparaciones c, f y t; Hantz et al., 1992; Klein et al., 1984; Wayman et al. 1992). Esta diferencia no alcanzó significancia estadística (Z = 1,95; p = 0,05), por lo que no se puede concluir que existan diferencias significativas en la amplitud del P300 entre los grupos con y sin OA.

Además, se realizó un metaanálisis adicional para los datos de performance en el Test OA. El metaanálisis de efectos aleatorios realizado sobre 13 estudios reveló un efecto global significativo a favor de la condición con OA (g = 4,30; Z = 10,18; p < 0,001). Sin embargo, se evidenció una heterogeneidad sustancial entre los

estudios incluidos ($Q(13) = 85{,}31$; $p < 0{,}001$; $I^2 = 86\%$; $\tau^2 = 1{,}72$; $H^2 = 7{,}11$), lo que sugiere una considerable variabilidad metodológica o poblacional en los resultados. Se detallan a continuación algunos aspectos que intervienen en esta variabilidad.

Un primer punto es considerar que las personas con OA pueden usar habilidades de oído relativo para ciertas situaciones. El cual invita a comprender que la habilidad del OA no es del todo automática, sino un posible conjunto de habilidades y no una categoría fija. El estudio de Shibayama et al. (2026) muestra cómo el nivel de habilidad en OA afecta las estrategias para otras tareas como la de oído relativo, revelando que la variabilidad en tests de OA cambia cómo clasificamos a las personas. Se probaron 50 estudiantes con un test de OA y una tarea de solfeo (nombrar Do, Re, etc.) tras acordes en tres contextos: C mayor (fácil), B mayor (conflicto predecible) y tonos aleatorios (muy difícil).

Quienes tenían mayor puntuación en OA acertaban más en oído relativo, pero su ventaja disminuía con contextos complejos; respondían rápido en C mayor, pero usaban transposiciones o escuchaban acordes en casos difíciles, es decir, buscaban apoyo contextual. Según esto, se agrupó a participantes en bajo, medio y alto OA: los de bajo subestimaban intervalos; los de medio/alto confundían con terceros o quintas; y los de alto hacían ajustes semitono a semitono en B mayor. Esta evidencia demuestra que la variabilidad en tests de OA genera un continuo de estrategias cognitivas, alterando clasificaciones dicotómicas (con OA, sin OA) y revelando control flexible en tareas de identificación de tonos.

Desde lo fisiológico, ese apoyo del contexto, o el efecto de actualización de contexto tonal en paradigmas *oddball*, genera una P300 prominente alrededor de 300 ms, observable también en personas con OA (Barnea et al., 1994; Greber et al., 2018; Hirose et al., 2002; Greber y Jäncke, 2020). Lo cual podría explicar, al menos parcialmente, cómo las diferentes variables metodológicas presentes en los estudios incluidos en esta investigación podrían haber dado lugar a resultados de una amplitud P300 presente solo en el 58% de comparaciones.

Esto podría explicarse, en parte, por el grado en que cada paradigma favoreció la habituación sensorial frente a la actualización del contexto tonal. En condiciones donde la repetición de estímulos estándar predomina (como en el *oddball*), cabría esperar una atenuación progresiva de la respuesta que se sumaría a la ya reportada en poseedores de OA; en cambio, los paradigmas que maximizan la infrecuencia del estímulo desviado tenderían a preservar la amplitud.

Esta modulación diferencial es coherente con lo reportado por Wagner-Altendorf et al. (2024), quienes hallaron que la *mismatch negativity* mantiene una amplitud estable a lo largo de múltiples presentaciones de desviados, lo que apunta a un mecanismo de adaptación local más que a una supresión global. Interpretado en el marco del presente análisis, este patrón sugiere que la amplitud P300 atenuada presente solo en el 58% de las comparaciones no reflejaría necesariamente la ausencia de OA, sino la heterogeneidad de las condiciones experimentales. Lo cual nos da paso a indicar sobre la necesidad de estandarización de estímulos y aspectos metodológicos para evaluar el OA.

La habituación mencionada debe interpretarse con cautela, ya que la previsibilidad y errores de predicción modulan el P300, incrementando su amplitud ante violaciones de expectativas, especialmente en músicos con tonos familiares (Valakos et al., 2020; Yanagisawa et al., 2019). Esto alinea con la teoría de actualización de contexto, donde un P300 aumentado refleja demanda de memoria de trabajo; en OA, un menor uso de esta memoria reduce la actualización constante (Barceló y Cooper, 2018; Barnea et al., 1994; Brydges y Barceló, 2018; Donchin y Coles, 1988; Gómez et al., 2019; Rogenmoser et al., 2015).

Esta interpretación se ve reforzada por el modelo de doble flujo del procesamiento auditivo propuesto por Leipold et al. (2019c), que ofrece un marco para atribuir la habituación observada a la interacción entre una ruta sensorial y una ruta cognitiva vinculada a la memoria verbal (López-Barroso et al., 2013). Bajo esta lectura, la atenuación del P300 en poseedores de OA no dependería de un único proceso, sino del acoplamiento entre ambos flujos, cuya contribución relativa variaría según las demandas de cada tarea. Ello concuerda con la dispersión de resultados de amplitud hallada en el presente metaanálisis ($I^2 = 77\%$), en la medida en que paradigmas con distinto peso sensorial y cognitivo activarían estos flujos en proporciones diferentes.

Estos planteamientos coinciden con la hipótesis del etiquetado de tono. Diversos estudios incluidos en el presente metaanálisis respaldan esta idea (Itoh et al., 2005; Leipold et al., 2019b; Rogenmoser et al., 2015; Wayman et al., 1992). No obstante, como señalan Greber et al. (2018), y en especial al etiquetado, no todos

los individuos con OA utilizan activamente, lo que sugiere una variabilidad interindividual en los procesos cognitivos subyacentes a esta habilidad.

En términos generales, se propone que en las personas con OA el etiquetado de tono tiende a activarse de manera automática y resulta difícil de inhibir frente a la exposición a un estímulo sonoro. Sin embargo, investigaciones más recientes, como la de Greber y Jäncke (2020), indican que esta automatización puede fluctuar según las demandas de la tarea, especialmente en contextos que requieren control inhibitorio, lo cual sugiere que dicho proceso no es completamente automático en todos los casos. En concordancia con las hipótesis previas y con los resultados del presente análisis, resulta pertinente considerar los procesos de habituación frente a tonos previamente reconocidos por individuos con OA, ya que podrían generar una respuesta P300 atenuada. Este efecto podría observarse, por ejemplo, ante la presentación de tonos de piano, instrumentos con los que los músicos suelen estar especialmente familiarizados.

Además, las diferencias observadas en la latencia y especialmente en la amplitud del componente P300 en personas con OA dentro de este metaanálisis podrían estar moduladas por factores como la previsibilidad del estímulo y las expectativas del participante. En consecuencia, la ausencia de una atenuación significativa del P300 en ciertos estudios podría no deberse directamente a la ausencia del OA, sino a la utilización de estrategias diferenciadas de procesamiento sensorial y cognitivo. Bajo esta perspectiva, un P300 atenuado reflejaría mecanismos alternativos de procesamiento neuronal. Por ello, se sugiere que futuras investigaciones integren enfoques electrofisiológicos y de

neuroimagen con el fin de explorar con mayor precisión las bases neurales del etiquetado de tono, una capacidad asociativa y cognitiva que parece mantenerse activa en individuos con OA, independientemente de las condiciones experimentales, a diferencia de los sujetos control.

Al analizar el entrenamiento musical en la clasificación de OA, en esta revisión sistemática y metaanálisis, se evidenció alta heterogeneidad en las muestras, especialmente respecto al nivel de formación musical, una variable que puede modular parámetros del P300 y complicar la atribución exclusiva de efectos al OA. Varios estudios analizaron únicamente músicos con y sin OA sin incluir no músicos (Barnea et al., 1994; Greber et al., 2018; Greber y Jäncke, 2020; Hantz et al., 1996; Klein et al., 1984; Leipold et al., 2019b; Renninger et al., 2003; Rogenmoser et al., 2015). Estos trabajos controlan la influencia del entrenamiento, pero limitan la interpretación sobre la especificidad del OA.

Otros estudios incorporaron también no músicos, permitiendo observar gradientes en la respuesta P300 según el nivel de entrenamiento y la posesión del OA (Crummer et al., 1994; Hantz et al., 1992, 1995; Itoh et al., 2005; Wayman et al., 1992). Aunque este enfoque amplía la comparación, incrementa la variabilidad interindividual. El entrenamiento musical, reconocido por modificar la actividad cortical (Lee et al., 2020; Seppänen et al., 2012; Wong et al., 2025), debe considerarse un factor clave, ya que las amplitudes del P300 varían entre músicos y no músicos, pero difieren frente a quienes poseen OA (Itoh et al., 2005). No obstante, los resultados fueron heterogéneos, sugiriendo que el P300 no depende exclusivamente del entrenamiento. Leipold et al. (2019b) replicaron el estudio de Itoh et al. (2005) con algunas variaciones, observando atenuación del P300 en

OA, aunque los grupos con OA medio y OA alto mostraron PRE similares. Las discrepancias podrían vincularse con diferencias muestrales, pero no explicarlas completamente.

Profundizando sobre este aspecto metodológico, la forma en que los estudios clasifican la habilidad de OA: la mayoría de los trabajos incluidos adoptaron una clasificación dicotómica tradicional, distinguiendo únicamente entre poseedores y no poseedores de OA. Si bien esta estrategia resulta práctica para los análisis comparativos, ha sido criticada por su excesiva simplificación y su limitada capacidad para reflejar la diversidad de manifestaciones de esta habilidad (Hedger et al., 2020).

La evidencia reciente sostiene que el OA se expresa como un espectro de habilidades, con categorías intermedias y variaciones individuales significativas en precisión, tiempo de respuesta, timbres preferidos y estrategias de identificación, ya sean verbales, instrumentales u otras (Bairnsfather et al., 2025; Di Stefano y Spence, 2024). De los quince estudios seleccionados, solo dos implementaron una clasificación más matizada: Itoh et al. (2005) y Leipold et al. (2019b), quienes diferenciaron entre OA alto, medio y bajo. Aunque este enfoque tripartito permite identificar gradientes funcionales dentro del grupo con OA, también introduce una segmentación muestral que puede reducir el poder estadístico, como se observó en Leipold et al. (2019b).

La pertinencia de adoptar una clasificación continua se ve respaldada por la variabilidad neurofisiológica documentada en los estudios revisados. Por ejemplo, Barnea et al. (1994) reportaron participantes con OA que no etiquetaban tonos

verbalmente, pero mostraban codificación sensorial automática; Renninger et al. (2003) hallaron individuos que recurrían a estrategias de oído relativo; y Greber et al. (2018) evidenciaron que la activación cerebral específica dependía del tipo de estímulo auditivo utilizado. En conjunto, estos hallazgos refuerzan la idea de que el OA no constituye una habilidad uniforme, sino un conjunto heterogéneo de procesos con distintos grados de precisión, automatización y estrategias cognitivas, modulados por el contexto experimental y las características individuales.

En consonancia con esta perspectiva, se recomienda que los futuros estudios adopten modelos clasificatorios dimensionales que conciban el OA como un constructo continuo, es decir, como un espectro de habilidades y no como una categoría dicotómica. Esta aproximación permitiría capturar con mayor sensibilidad la complejidad cognitiva y neurofisiológica del OA (Germano et al., 2021). De hecho, Levitin y Rogers (2005) ya habían cuestionado la noción de un OA verdaderamente absoluto o perfecto, al demostrar que incluso quienes poseen esta capacidad presentan limitaciones; por ejemplo, en la identificación del timbre, el registro o la discriminación de octavas y semitonos.

La concepción del OA como un espectro se ve, además, reforzada por la evidencia de que la habilidad para reconocer tonos puede desarrollarse incluso en la adultez. Investigaciones han usado protocolos intensivos, gamificados y progresivos, desafiando la idea de un período crítico rígido infantil. Wong et al. (2020a) muestran que adultos cantonoparlantes, tras 12 a 40 horas de entrenamiento perceptivo con retroalimentación adaptativa, aprendieron a nombrar en promedio

7 a 9,4 notas, y que un subgrupo alcanzó a etiquetar las 12 alturas cromáticas con mayor o igual a 90% de exactitud y mantenimiento esta habilidad hasta unos 3 meses, lo que indica plasticidad duradera y generalización parcial a nuevos timbres y octavas. En adultos no tonales o angloparlantes, un protocolo de 20 horas produjo mejoras robustas en precisión, junto con un aumento de la memoria de trabajo tonal, sin cambios en discriminación fina ni juicio de intervalos, sugiriendo un rol específico de la memoria tonal en la adquisición del OA (Wong et al., 2020b).

Finalmente, Wong et al. (2025) reafirman, con un entrenamiento online de aproximadamente 21 horas sobre tres octavas y tiempos de respuesta menores o iguales a 2 s, que la categorización rápida y exacta del tono (cromas) es alcanzable y generaliza parcialmente a timbres no entrenados, reforzando una concepción de OA como pericia perceptiva dependiente de la experiencia, más que como talento fijo determinado por genes y maduración temprana. Estos resultados pueden derivar en un cambio conceptual sobre la definición de OA, y de poder verla como un espectro.

Otro aspecto que evidencia la complejidad del problema es la marcada variabilidad metodológica en el estudio del componente P300 y el OA, especialmente en relación con el tipo de estímulo acústico empleado, en particular el contraste entre tonos afinados y desafinados. Esta variable resulta crítica, dado que trabajos previos han mostrado que los tonos desafinados pueden generar una desventaja específica en personas con OA, posiblemente debido a la rigidez de sus representaciones internas de tono. Por ejemplo, en el estudio de Rogenmoser et al. (2015), el uso de tonos de piano ligeramente desviados se asoció con una mayor

carga cognitiva en los poseedores de OA durante tareas de procesamiento pre-atencional. La misma manipulación fue aplicada en Greber et al. (2018) y Greber y Jäncke (2020), donde tampoco se observaron diferencias significativas en la amplitud del P300 entre individuos con OA y controles, lo que podría sugerir una activación predominante de estrategias de oído relativo.

Diversos estudios han señalado que esta habilidad, aunque ventajosa en contextos musicales normativos, puede volverse desadaptativa ante estímulos tonalmente ambiguos o desafinados. La revisión de Di Stefano y Spence (2024), por ejemplo, propone que el procesamiento automático de etiquetas tonales propio del OA puede generar conflictos perceptivos, similares a un efecto tipo Stroop, cuando el tono percibido no coincide con las expectativas internas del oyente.

De manera complementaria, Bairnsfather et al. (2025) reportan que poseedores de OA experimentan inconfort perceptual o aversión ante música en afinaciones no estándar (Por ejemplo, LA = 432 Hz), lo que influencia en su precisión en tareas de identificación cromática y compromete el rendimiento en procesamientos auditivos superiores. Estas observaciones, junto con la alta variabilidad metodológica en umbrales de precisión (20 a 100%), indican que el OA no se limita a capacidades intrínsecas, sino que depende del contexto tonal y del timbre de la tarea. Este factor es crítico para evaluar respuestas neurofisiológicas como el potencial P300 ante estímulos atípicos o desintonizados, revelando heterogeneidad en la memoria de tono a largo plazo.

Estos hallazgos son coherentes con trabajos clásicos que han mostrado que la transposición de melodías o la exposición a tonos desafinados compromete el

rendimiento de individuos con OA (Miyazaki, 1993; Miyazaki y Rakowski, 2002). Por tanto, se recomienda que futuras investigaciones controlen de manera más rigurosa el tipo de estímulo, incorporando sistemáticamente tonos afinados y desafinados como variable relevante en el estudio de las respuestas cognitivas y perceptuales vinculadas al OA.

Asimismo, la variabilidad en los criterios utilizados para clasificar el rendimiento en los test de OA constituye otra fuente importante de heterogeneidad. En el metaanálisis de la presente revisión se observó una relativa homogeneidad en los promedios de puntuación, pero acompañada de diferencias notables en los criterios de corrección. Por ejemplo, Crummer et al. (1994) y Renninger et al. (2003) aceptaron respuestas con errores de semitono, ya sea parcial o completamente, obteniendo puntuaciones medias del 89.5% y 95.63%, respectivamente, y ambos estudios reportaron atenuación de la onda P300.

En cambio, otros trabajos, como los de Greber y Jäncke (2020), Hantz et al. (1995) y Rogenmoser et al. (2015), no admitieron errores de semitono, lo que se tradujo en puntuaciones promedio más bajas (83.3%, 79.6% y 76.4%, respectivamente). Este tipo de variabilidad en los criterios de corrección se ha documentado en una revisión sistemática sobre la fenotipificación de OA, donde la consideración de errores de semitono condujo a umbrales de clasificación significativamente más bajos en comparación con los estudios que exigían respuestas sin desviaciones tonales, lo que pone en evidencia cómo la definición de correcto en tareas de discriminación tonal impacta directamente sobre las

puntuaciones medias y la comparabilidad entre estudios (Bairnsfather et al., 2025).

Una inconsistencia similar se observa en el tratamiento de los errores de octava. Mientras que estudios como Crummer et al. (1994), Greber et al. (2018) y Klein et al. (1984) los consideraron respuestas válidas, otros trabajos, como el de Leipold et al. (2019), los excluyeron de la puntuación. Sin embargo, dado que los errores de octava son frecuentes incluso entre poseedores inequívocos de OA (Deutsch, 2013), su exclusión podría conducir a clasificaciones menos representativas del fenómeno.

Esta variabilidad en la aceptación de errores en tareas de identificación de tono se relaciona directamente con la ausencia de un umbral estandarizado psicométrico para diagnosticar la posesión de OA. Estudios epidemiológicos, como el de Leite et al. (2016), han demostrado que la prevalencia de OA en cohortes de músicos varía drásticamente según el criterio de *cutoff* adoptado: umbrales conservadores (mayores o iguales a 85% de respuestas exactas) estiman una prevalencia del 4%, mientras que enfoques inclusivos basados en distribuciones binomiales (mayores o iguales a 20% correcto) elevan la cifra al 18%. Esta heterogeneidad refleja no solo sesgos metodológicos, sino también moduladores propios del neurodesarrollo, tales como la edad de inicio del entrenamiento musical (mayor prevalencia pre-púber) y la habilidad musical, evidenciada por tasas superiores en orquestas selectas, llegando a tasas clasificatorias su son inclusivas en un 40%. Tales discrepancias subrayan la necesidad de protocolos unificados.

Esta falta de consenso también es evidente en trabajos recientes y clásicos, donde los puntos de corte varían considerablemente: desde 61.25% (Usui et al., 2020), 80% (Kim y Knösche, 2017b), 90% (McKetton et al., 2019) hasta 95% (Hirose et al., 2002). En conjunto, estas observaciones subrayan la necesidad urgente de estandarizar tanto los criterios de corrección como los umbrales de clasificación del OA, con el fin de mejorar la comparabilidad entre estudios y evitar interpretaciones erróneas sobre las diferencias neurofisiológicas observadas en el componente P300.

A estas variabilidades experimentales se suma el tipo de timbre empleado, particularmente el uso del piano. Este fenómeno, descrito por Levitin y Rogers (2005), sugiere que el OA podría estar parcialmente condicionado por la experiencia musical temprana. En la misma línea, Bairnsfather et al. (2025) al revisar 160 estudios evidencian un rendimiento significativamente superior en tareas de *pitch naming* con timbres de piano (precisión media 93%, $d = 0,65$) versus tonos puros (81,4%), atribuible a mayor familiaridad al timbre y menor latencia en componentes ERP como P300 (amplitud atenuada en OA, $p < 0,01$). Siendo así, los autores recomiendan el timbre de piano como un posible *gold standard* para pruebas de OA por su validez ecológica.

En el presente estudio se encontró que sólo 6 de los 15 estudios emplearon estímulos o notas de piano en las tareas de identificación tonal (Barnea et al., 1994; Crummer et al., 1994; Hantz et al., 1992; Hantz et al., 1995; Klein et al., 1984; Wayman et al., 1992). Por ejemplo, fueron empleados en investigaciones como las de Greber et al. (2018) y Greber y Jäncke (2020), quienes combinaron

tonos de piano afinados y levemente desafinados en tareas de percepción tonal. Del mismo modo, Rogenmoser et al. (2015) utilizaron tonos de piano desviados para explorar el procesamiento pre-atencional auditivo, hallando una mayor carga cognitiva en poseedores de OA ante tonos mal sintonizados. Asimismo, Itoh et al. (2005) emplearon tonos de piano para evaluar diferencias entre grupos con distintos niveles de OA (alto, medio y bajo), describiendo diferencias en la morfología de las ondas PRE, y Leipold et al. (2019b) recurrieron también a estímulos de piano para estudiar la automatización de la codificación tonal. En general, aunque los tonos de piano aportan mayor validez ecológica, su uso puede inducir respuestas afectivas o estratégicas diferenciadas, especialmente en individuos con OA, influyendo tanto en la amplitud como en la latencia del P300 y debiendo, por ello, considerarse cuidadosamente en el diseño experimental.

Por otro lado, la complejidad de los paradigmas en el registro de P300 en EEG depende en gran medida de la capacidad para identificar adecuadamente los estímulos tonales en el tiempo, lo que determina su eficiencia y validez experimental. Klein et al. (1984) emplearon tonos extremadamente breves de 60 ms, cuya recognoscibilidad es posible, aunque requiere intensidades elevadas para compensar su fugacidad sensorial. De hecho, se ha documentado que estímulos inferiores a 200 ms comprometen el rendimiento en pruebas auditivas discriminativas, demandando mayor procesamiento cognitivo para su categorización (Salisbury et al., 2002). En los estudios revisados (excluyendo Klein et al., 1984), solo uno utilizó 167 ms, mientras que la mayoría optó por duraciones superiores a 200 ms, hasta 500 ms, facilitando así el reconocimiento eficiente.

Esta variabilidad temporal influye directamente en la latencia y amplitud del P300, como evidencian investigaciones. Kalaiah y Shastri (2016) exploraron potenciales evocados corticales auditivos en un paradigma *oddball* con tonos puros de 400 ms y tonos complejos dinámicos que cambian frecuencia a los 200 ms desde el inicio. Se encontró que el P300 surgió aproximadamente a los 340 ms post-estímulo, reflejando detección rápida; sin embargo, en tonos con cambio a 200 ms, se generó un complejo de cambio acústico seguido de un P300, prolongado por el tiempo adicional requerido para procesar y clasificar la desviación. Estos hallazgos subrayan cómo cambios tardíos o duraciones parciales cortas (menor a 200 ms) incrementan la latencia del P300, alineándose con la necesidad de estímulos prolongados para optimizar la discriminación tonal en EEG.

Complementariamente, Salisbury et al. (2002) demostraron que tonos de 50 ms en un *oddball* exhiben latencia de P300 aumentada en presencia de ruido blanco continuo. Este retraso indica mayor profundidad de procesamiento atencional para extraer el tono del fondo, sin afectar amplitud ni topografía. Así, estímulos breves exigen recursos compensatorios, corroborando que duraciones menores de 200 ms comprometen la eficiencia, especialmente en entornos complejos, y justifican paradigmas con tonos mayores a 200 ms para P300 robusto y fiable. Estas evidencias (Kalaiah y Shastri, 2016; Salisbury et al., 2002) enfatizan que las condiciones temporales modulan la viabilidad de paradigmas EEG y P300.

En relación con la distribución de electrodos utilizada para el registro del componente P300.. Es importante señalar que estudios recientes han incorporado configuraciones multicanal que incluyen electrodos como PO8, PO7, POz y CPz,

los cuales han mostrado ser igualmente efectivos para la detección del componente P300 (McCann et al., 2015; Speier et al., 2015).

Coherentemente, en la presente investigación 13 de los 15 estudios incluidos muestrearon prioritariamente al electrodo Pz, otros añadieron Fz y Cz o tomaron en cuenta promedios de regiones frontales y parietales. Lo que, es coherente con reportes anteriores para la evidencia de P300.

Los registros obtenidos mediante esta distribución de electrodos han evidenciado la presencia de una onda P300 prominente en respuesta a estímulos destacados o infrecuentes, aunque irrelevantes, lo que se ha vinculado con mecanismos atencionales de tipo *bottom-up* (Kopp et al., 2020; Richardson et al., 2011). En este sentido, los estudios incluidos en el presente metaanálisis indican que, en personas con OA, la amplitud del componente P300 tiende a ser menor en comparación con individuos sin OA; sin embargo, esta reducción no fue estadísticamente significativa (Crummer et al., 1994; Hantz et al., 1992; Hantz et al., 1996; Itoh et al., 2005; Klein et al., 1984; Leipold et al., 2019b; Rogenmoser et al., 2015; Wayman et al., 1992).

Aunque no se reportaron patrones claros de lateralización hemisférica, otros estudios sí han documentado asimetrías, destacando mayor participación del hemisferio derecho en la generación del P300 (Byczynski y D'Angiulli, 2024). Asimismo, Mugruza-Vassallo y Potter (2019), empleando el mismo paradigma con tonos de 750 Hz frente a estímulos novedosos en controles y pacientes con esquizofrenia, identificaron diferencias en la lateralización del P300, inicialmente a través de los electrodos CP5 (hemisferio izquierdo) y CP6 (derecho).

6.1. Limitaciones

El presente metaanálisis presenta varias limitaciones metodológicas derivadas de la naturaleza heterogénea y fragmentaria de los datos reportados en los estudios originales. Una de las principales dificultades fue la falta de uniformidad en la presentación de las medidas del componente P300, ya que varios artículos no reportaron directamente las medias y desviaciones estándar de amplitud y latencia, lo que obligó a realizar estimaciones indirectas. En casos como los de Crummer et al. (1994) o Klein et al. (1984), se aplicó el método de *peak picking* sobre figuras gráficas para estimar los valores faltantes, introduciendo un margen de error subjetivo que potencialmente afecta la precisión de los resultados.

Asimismo, la necesidad de combinar estadísticamente datos provenientes de diferentes subgrupos, de OA y sin OA, en estudios como Hantz et al. (1992) y Wayman et al. (1992), pudo haber diluido diferencias relevantes entre poblaciones. Dicha combinación se realizó para lograr comparaciones más homogéneas, aunque a costa de sacrificar parte de la especificidad muestral.

Otro aspecto crítico fue la inclusión selectiva de condiciones experimentales. Por ejemplo, en Hantz et al. (1995) se excluyeron estímulos como el ruido blanco por considerarse controles no musicales; aunque esta decisión incrementa la pertinencia del análisis, también limita la representación de todas las condiciones disponibles. En investigaciones recientes, como las de Greber et al. (2018) y Greber y Jäncke (2020), se utilizaron datos provenientes de repositorios abiertos, lo que permitió mejorar la calidad y exactitud de las medidas incluidas. Sin embargo, esta posibilidad no estuvo disponible para todos los casos, y en algunos

estudios (e.g., Hantz et al., 1996; Itoh et al., 2005; Leipold et al., 2019) fue imposible recuperar datos cuantificables, lo que restringió el número total de investigaciones utilizables.

Otra limitación relevante corresponde al número reducido de estudios incluidos, que exige cautela al interpretar los resultados debido al bajo poder estadístico y la precisión limitada, especialmente en el análisis de la amplitud del componente P300. El tamaño del efecto promedio obtenido fue g = -0,43 con un intervalo de confianza del 95% que incluyó el valor nulo (IC 95%: -0,86 a 0,00), reflejando una alta incertidumbre en la estimación. Esta falta de precisión puede atribuirse tanto al escaso número de estudios (k = 12) como a la heterogeneidad sustancial observada (I^2 = 77%). Por ello, se recomienda incluir al menos 30 estudios o más para alcanzar una potencia estadística adecuada y obtener estimaciones más estables y confiables (Lau et al., 2006). Con un corpus ampliado también sería posible realizar análisis moderadores más robustos y explorar con mayor profundidad las fuentes de heterogeneidad.

Además, el presente metaanálisis no distingue entre los subcomponentes P3a, asociado a la atención temprana, y P3b, relacionado con la atención posterior o la actualización de la memoria de trabajo (Huang et al., 2015; Polich, 2007; Soltani y Knight, 2000). Dado que ambos subcomponentes presentan patrones de activación cerebral diferenciados (Bledowski et al., 2004; Ragazzoni et al., 2019), se recomienda considerar esta distinción en futuros estudios sobre el OA. Finalmente, se reconoce la variabilidad metodológica entre los estudios incluidos, tanto en la configuración de los electrodos y montajes de EEG, como en los

parámetros experimentales empleados, como el tipo y duración de los estímulos, complejidad de la tarea, características demográficas (como grupo étnico), criterios de clasificación del OA, y reportes de amplitud y latencia, factores que pueden contribuir significativamente a la heterogeneidad general observada.

6.2. Recomendaciones Recomendaciones

A partir de los hallazgos del presente metaanálisis, se recomienda que las futuras investigaciones sobre el componente P300 en poseedores de oído absoluto controlen de manera más rigurosa el tipo de estímulo, incorporando sistemáticamente tonos afinados para evitar sobrecarga de atención y memoria, y posible mayor de registro de amplitud. A su vez, proporcionar duraciones de estímulos superiores a los 500 ms que garanticen registros robustos. Consigo, el uso de tonos sinusoidales puede ser una óptima alternativa de evitar preferencias de piano o sobrecarga de memoria por uso de tonos de timbres instrumentales diversos.

Finalmente, resulta pertinente adoptar modelos clasificatorios dimensionales que conciban esta habilidad como un constructo continuo, junto con protocolos unificados que estandarice los criterios de corrección y los umbrales de clasificación. Es decir, evitar dicotomías como “poseedor de OA” y “no poseedor de OA”; y hacer una clasificación de alto, medio, bajo, relativo y no poseedor. Finalmente, se sugiere integrar enfoques electrofisiológicos, como el uso estándar de ciertos electrodos centrales.

VII. CONCLUSIONES

1. Desde la revisión sistemática y metaanálisis de los estudios seleccionados se proporciona evidencia consistente acerca de las diferencias neurofisiológicas entre individuos con OA y aquellos sin esta capacidad, particularmente a los registros de P300.
2. Los resultados del metaanálisis de latencias P300 evidencian una ventaja significativa de los individuos con OA en el procesamiento auditivo, reflejada en una menor latencia del componente P300 (g = -0,42; p < 0,001). Esta diferencia sugiere un procesamiento más eficiente y automático de la información tonal por parte de los sujetos con OA, posiblemente mediado por mecanismos de memoria a largo plazo y estrategias de etiquetado tonal automatizado.
3. El metaanálisis de amplitudes P300 no reveló diferencias significativas entre los grupos (g = -0,43; p = 0,05), a pesar de una tendencia hacia menores amplitudes en el grupo OA. La elevada heterogeneidad entre estudios (I^2 = 77%) sugiere que factores contextuales, metodológicos y diferenciales individuales pueden modular la respuesta neurofisiológica.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Abrams, E. B., Marantz, A., Krementsov, I., & Gwilliams, L. (2025). Dynamics of Pitch Perception in the Auditory Cortex. *The Journal of neuroscience : the official journal of the Society for Neuroscience, 45*(12), e1111242025. https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.1111-24.2025
2. Bachem, A. (1955). Absolute pitch. *Journal of the Acoustical Society of America, 27,* 1180–1185. https://doi.org/10.1121/1.1908155
3. Baharloo, S., Johnston, P. A., Service, S. K., Gitschier, J., & Freimer, N. B. (1998). Absolute pitch: an approach for identification of genetic and nongenetic components. *American journal of human genetics, 62*(2), 224–231. https://doi.org/10.1086/301704
4. Baharloo, S., Service, S. K., Risch, N., Gitschier, J., & Freimer, N. B. (2000). Familial aggregation of absolute pitch. *American journal of human genetics, 67*(3), 755–758. https://doi.org/10.1086/303057
5. Bairnsfather, J. E., Mosing, M. A., Osborne, M. S., & Wilson, S. J. (2025). Conceptual coherence but methodological mayhem: A systematic review of absolute pitch phenotyping. *Behavior research methods, 57*(2), 61. https://doi.org/10.3758/s13428-024-02577-z
6. Barceló, F., & Cooper, P. S. (2018). An information theory account of late frontoparietal ERP positivities in cognitive control. *Psychophysiology, 55*(3), 10.1111/psyp.12814. https://doi.org/10.1111/psyp.12814
7. Barnea, A., Granot, R., & Pratt, H. (1994). Absolute pitch—electrophysiological evidence. *International Journal of Psychophysiology, 16*(1), 29-38. https://doi.org/10.1016/0167-8760(94)90039-6
8. Barry, R. J., Steiner, G. Z., De Blasio, F. M., Fogarty, J. S., Karamacoska, D., & MacDonald, B. (2020). Components in the P300: Don't forget the Novelty P3!. *Psychophysiology, 57*(7), e13371. https://doi.org/10.1111/psyp.13371
9. Benner, J., Reinhardt, J., Christiner, M., Wengenroth, M., Stippich, C., Schneider, P., & Blatow, M. (2023). Temporal hierarchy of cortical responses reflects core-belt-parabelt organization of auditory cortex in

musicians. *Cerebral cortex (New York, N.Y. : 1991)*, *33*(11), 7044–7060. https://doi.org/10.1093/cercor/bhad020

10. Bermudez, P., & Zatorre, R. J. (2005). Conditional associative memory for musical stimuli in nonmusicians: implications for absolute pitch. *The Journal of neuroscience: the official journal of the Society for Neuroscience, 25*(34), 7718–7723. https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.1560-05.2005
11. Bermudez, P., Lerch, J. P., Evans, A. C., & Zatorre, R. J. (2009). Neuroanatomical correlates of Musicianship as Revealed by Cortical Thickness and Voxel-Based Morphometry. *Cerebral Cortex, 19*(7), 1583-1596. https://doi.org/10.1093/cercor/bhn196
12. Bermudez, P., & Zatorre, R. J. (2009). A distribution of absolute pitch ability as revealed by computerized testing. *Music Perception, 27*(2), 89–101. https://doi.org/10.1525/mp.2009.27.2.89
13. Bledowski, C., Prvulovic, D., Hoechstetter, K., Scherg, M., Wibral, M., Goebel, R., & Linden, D. E. (2004). Localizing P300 generators in visual target and distractor processing: a combined event-related potential and functional magnetic resonance imaging study. *The Journal of neuroscience: the official journal of the Society for Neuroscience, 24*(42), 9353–9360. https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.1897-04.2004
14. Bonetti, L., Fernández-Rubio, G., Carlomagno, F., Dietz, M., Pantazis, D., Vuust, P., & Kringelbach, M. L. (2024). Spatiotemporal brain hierarchies of auditory memory recognition and predictive coding. *Nature communications*, *15*(1), 4313. https://doi.org/10.1038/s41467-024-48302-4
15. Borenstein M., Hedges L., Higgins J. & Rothstein H. (2011). *Introduction to Meta-Analysis*. John Wiley & Sons; Hoboken, NJ, USA.
16. Brauchli, C., Leipold, S., & Jäncke, L. (2019). Univariate and multivariate analyses of functional networks in absolute pitch. *NeuroImage, 189*, 241–247. https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2019.01.021
17. Brydges, C. R., & Barceló, F. (2018). Functional Dissociation of Latency-Variable, Stimulus- and Response-Locked Target P3

Sub-components in Task-Switching. *Frontiers in human neuroscience, 12*, 60. https://doi.org/10.3389/fnhum.2018.00060

18. Byczynski, G. E., & D'Angiulli, A. (2024). Frontal P300 asymmetry and congruence judgment: Retroactive switching is impaired during school day mornings in female adolescents. *Current research in neurobiology*, *6*, 100128. https://doi.org/10.1016/j.crneur.2024.100128
19. Cartocci, G., Cardon, G., Campbell, J., Inguscio, B. M. S., Rossi, D., Babiloni, F., & Sharma, A. (2025). P300 to Low and High Frequency Stimuli Are Not Influenced by Intensity in Adults with Normal Hearing. *Brain Sciences, 15*(2), 209. https://doi.org/10.3390/brainsci15020209
20. Carrasco, C. D., Simmons, A. M., Kiat, J. E., & Luck, S. J. (2025). Enhanced Working Memory Representations for Rare Events. *Psychophysiology, 62*(3), e70038. https://doi.org/10.1111/psyp.70038
21. Crummer, G. C., Walton, J. P., Wayman, J. W., Hantz, E. C., & Frisina, R. D. (1994). Neural processing of musical timbre by musicians, nonmusicians, and musicians possessing absolute pitch. *The Journal of the Acoustical Society of America, 95*(5 Pt 1), 2720–2727. https://doi.org/10.1121/1.409840
22. DerSimonian, R., & Kacker, R. (2007). Random-effects model for meta-analysis of clinical trials: an update. *Contemporary clinical trials, 28*(2), 105–114. https://doi.org/10.1016/j.cct.2006.04.004
23. Deutsch, D. (2002). The puzzle of absolute pitch. *Current Directions in Psychological Science, 11*(6), 200–204. https://doi.org/10.1111/1467-8721.00200
24. Deutsch, D., Henthorn, T., & Dolson, M. (2004). Absolute pitch, speech, and tone language: Some experiments and a proposed framework. *Music Percept. 21*, 339–356. https://doi.org/10.1525/mp.2004.21.3.339
25. Deutsch, D. (2006). The enigma of absolute pitch. Acoust. *Today 2*, 11–19. https://doi.org/10.1121/1.2961141
26. Deutsch, D., Henthorn, T., Marvin, E., and Xu, H. (2006). Absolute pitch among American and Chinese conservatory students: Prevalence

differences, and evidence for a speech-related critical period. *J. Acoust. Soc. Am. 119*, 719–722. https://doi.org/10.1121/1.2151799

27. Deutsch, D., Dooley, K., Henthorn, T., and Head, B. (2009). Absolute pitch among students in an American music conservatory: Association with tone language fluency. *J. Acoust. Soc. Am. 125*, 2398–2403. https://doi.org/10.1121/1.3081389
28. Deutsch, D., Le, J., Shen, J., & Li, X. (2011). Large-scale direct-test study reveals unexpected characteristics of absolute pitch. *Journal of the Acoustical Society of America, 130*, 2398. https://doi.org/10.1121/1.3654614
29. Deutsch, D. (2013). Absolute pitch. In D. Deutsch (Ed.), *The psychology of music* (3rd ed., pp. 141–182). Elsevier Academic Press. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-381460-9.00005-5
30. Di Stefano, N., & Spence, C. (2024). Should absolute pitch be considered as a unique kind of absolute sensory judgment in humans? A systematic and theoretical review of the literature. *Cognition, 249*, 105805. https://doi.org/10.1016/j.cognition.2024.105805
31. Duncan, C. C., Barry, R. J., Connolly, J. F., Fischer, C., Michie, P. T., Näätänen, R., Polich, J., Reinvang, I., & Van Petten, C. (2009). Event-related potentials in clinical research: guidelines for eliciting, recording, and quantifying mismatch negativity, P300, and N400. *Clinical neurophysiology : official journal of the International Federation of Clinical Neurophysiology*, *120*(11), 1883–1908. https://doi.org/10.1016/j.clinph.2009.07.045
32. Dohn, A., Garza-Villarreal, E. A., Chakravarty, M. M., Hansen, M., Lerch, J. P., & Vuust, P. (2015). Gray- and white-matter anatomy of absolute pitch possessors. *Cerebral cortex (New York, N.Y. : 1991), 25*(5), 1379–1388. https://doi.org/10.1093/cercor/bht334
33. Donchin, E., & Coles, M. G. (1988). Is the P300 component a manifestation of context updating? *Behavioral and Brain Sciences, 11*(3), 357–427. https://doi.org/10.1017/S0140525X00058027

34. Duarte, J. L., Alvarenga, K.deF., Banhara, M. R., Melo, A. D., Sás, R. M., & Costa Filho, O. A. (2009). P300-long-latency auditory evoked potential in normal hearing subjects: simultaneous recording value in Fz and Cz. *Brazilian journal of otorhinolaryngology, 75*(2), 231–236. https://doi.org/10.1016/s1808-8694(15)30783-7
35. Elmer, S., Rogenmoser, L., Kuhnis, J., & Jancke, L. (2015). Bridging the Gap between Perceptual and Cognitive Perspectives on Absolute Pitch. *Journal of Neuroscience, 35*(1), 366-371. https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.3009-14.2015
36. Elmer, S., Sollberger, S., Meyer, M., & Jäncke, L. (2013). An empirical reevaluation of absolute pitch: Behavioral and electrophysiological measurements. *Journal of Cognitive Neuroscience, 25*(10), 1736–1753. https://doi.org/10.1162/jocn_a_00410
37. Englitz, B., Akram, S., Elhilali, M., & Shamma, S. (2024). Decoding contextual influences on auditory perception from primary auditory cortex. *eLife, 13*, RP94296. https://doi.org/10.7554/eLife.94296
38. Flasbeck, V., Enzi, B., Andreou, C., Juckel, G., & Mavrogiorgou, P. (2022). P300 and delay-discounting in obsessive-compulsive disorder. *European archives of psychiatry and clinical neuroscience, 272*(2), 327–339. https://doi.org/10.1007/s00406-021-01302-7
39. Fogarty, J. S., Barry, R. J., & Steiner, G. Z. (2020). The first 250 ms of auditory processing: No evidence of early processing negativity in the Go/NoGo task. *Scientific Reports, 10*, 4041. https://doi.org/10.1038/s41598-020-61060-9
40. Furukawa, T. A., Barbui, C., Cipriani, A., Brambilla, P., & Watanabe, N. (2006). Imputing missing standard deviations in meta-analyses can provide accurate results. *Journal of clinical epidemiology, 59*(1), 7–10. https://doi.org/10.1016/j.jclinepi.2005.06.006
41. Fung, J., Whiteford, K. L., Mehta, A. H., & Lau, B. K. (2025). Pitch perception in school-aged children: Pure tones, resolved and unresolved harmonics. *JASA express letters*, *5*(1), 014403. https://doi.org/10.1121/10.0034894

42. Germano, N., Cogo-Moreira, H., Coutinho-Lourenço, F., & Bortz, G. (2021). A new approach to measuring absolute pitch on a psychometric theory of isolated pitch perception: Is it disentangling specific groups or capturing a continuous ability?. *PloS one, 16*(2), e0247473. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0247473
43. Gómez, C. M., Arjona, A., Donnarumma, F., Maisto, D., Rodríguez-Martínez, E. I., & Pezzulo, G. (2019). Tracking the Time Course of Bayesian Inference With Event-Related Potentials:A Study Using the Central Cue Posner Paradigm. *Frontiers in psychology, 10*, 1424. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.01424
44. Gonçalves, A. M., & Monteiro, P. (2023). Autism Spectrum Disorder and auditory sensory alterations: a systematic review on the integrity of cognitive and neuronal functions related to auditory processing. *Journal of neural transmission (Vienna, Austria : 1996), 130*(3), 325–408. https://doi.org/10.1007/s00702-023-02595-9
45. Gong, M., Liu, T., Chen, Y., & Sun, Y. (2024). Dissociable Effects of Endogenous and Exogenous Attention on Crowding: Evidence from Event-Related Potentials. *Brain sciences, 14*(10), 956. https://doi.org/10.3390/brainsci14100956
46. Gonsalvez, C. J., Barry, R. J., Rushby, J. A., & Polich, J. (2007). Target-to-target interval, intensity, and P300 from an auditory single-stimulus task. *Psychophysiology, 44*(2), 245–250. https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.2007.00495.x
47. Greber, M., & Jäncke, L. (2020). Suppression of Pitch Labeling: No Evidence for an Impact of Absolute Pitch on Behavioral and Neurophysiological Measures of Cognitive Inhibition in an Auditory Go/Nogo Task. F*rontiers in human neuroscience, 14*, 585505. https://doi.org/10.3389/fnhum.2020.585505
48. Greber, M., Klein, C., Leipold, S., Sele, S., & Jäncke, L. (2020). Heterogeneity of EEG resting-state brain networks in absolute pitch. *International Journal of Psychophysiology, 157*, 11–22. https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2020.07.007

49. Greber, M., Rogenmoser, L., Elmer, S., & Jäncke, L. (2018). Electrophysiological Correlates of Absolute Pitch in a Passive Auditory Oddball Paradigm: a Direct Replication Attempt. *eNeuro, 5*(6), ENEURO.0333-18.2018. https://doi.org/10.1523/ENEURO.0333-18.2018
50. Gregersen, P. K., Kowalsky, E., Kohn, N., & Marvin, E. W. (1999). Absolute Pitch: Prevalence, Ethnic Variation, and Estimation of the Genetic Component. *The American Journal of Human Genetics, 65*(3), 911-913. https://doi.org/10.1086/302541
51. Gregersen, P. K., Kowalsky, E., Kohn, N., & Marvin, E. W. (2001). Early childhood music education and predisposition to absolute pitch: teasing apart genes and environment. *American journal of medical genetics, 98*(3), 280–282. https://doi.org/10.1002/1096-8628(20010122)98:3<280::aid-ajmg1083>3.0.co;2-6
52. Gregersen, P. K., Kowalsky, E., Lee, A., Baron-Cohen, S., Fisher, S. E., Asher, J. E., Ballard, D., Freudenberg, J., & Li, W. (2013). Absolute pitch exhibits phenotypic and genetic overlap with synesthesia. *Human molecular genetics, 22*(10), 2097–2104. https://doi.org/10.1093/hmg/ddt059
53. Gruhn W., Ristmägi R., Schneider P., D'Souza A. & Kiilu K. (2018). How stable is pitch labeling accuracy in absolute pitch possessors? *Empirical Musicol. Rev.* 13 https://doi.org/10.18061/EMR.V13I3-4.6637
54. Guyatt, G., Oxman, A. D., Akl, E. A., Kunz, R., Vist, G., Brozek, J., Norris, S., Falck-Ytter, Y., Glasziou, P., DeBeer, H., Jaeschke, R., Rind, D., Meerpohl, J., Dahm, P., & Schünemann, H. J. (2011). GRADE guidelines: 1. Introduction-GRADE evidence profiles and summary of findings tables. *Journal of clinical epidemiology, 64*(4), 383–394. https://doi.org/10.1016/j.jclinepi.2010.04.026
55. Hantz, E. C., Crummer, G. C., Wayman, J. W., Walton, J. P., et al. (1992). Effects of musical training and absolute pitch on the neural processing of melodic intervals: A P3 event-related potential study. *Music Perception, 10*(1), 25–42. https://doi.org/10.2307/40285536

56. Hantz, E. C., Kreilick, K. G., Braveman, A. L., & Swartz, K. P. (1995). Effects of musical training and absolute pitch on a pitch memory task: An event-related potential study. *Psychomusicology: A Journal of Research in Music Cognition, 14*(1-2), 53–76. https://doi.org/10.1037/h0094091
57. Hantz, E. C., Marvin, E. W., Kreilick, K. G., & Chapman, R. M. (1996). Sex differences in memory for timbre: an event-related potential study. *The International journal of neuroscience, 87*(1-2), 17–40. https://doi.org/10.3109/00207459608990751
58. Hantz, E. C., Kreilick, K. G., Marvin, E. W., & Chapman, R. M. (1997). Absolute pitch and sex effect event-related potential activity for a melodic interval discrimination task. *The Journal of the Acoustical Society of America, 102*(1), 451–460. https://doi.org/10.1121/1.419718
59. Hedger, S. C., Heald, S. L., & Nusbaum, H. C. (2013). Absolute pitch may not be so absolute. *Psychological science, 24*(8), 1496–1502. https://doi.org/10.1177/0956797612473310
60. Hedger, S. C., & Nusbaum, H. C. (2018). Individual differences in absolute pitch performance: Contributions of working memory, musical expertise, and tonal language background. *Acta psychologica, 191*, 251–260. https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2018.10.007
61. Hedger, S. C., Heald, S., & Nusbaum, H. C. (2019). Absolute pitch can be learned by some adults. *PloS one, 14*(9), e0223047. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0223047
62. Hedger, S. C., Veillette, J., Heald, S., & Nusbaum, H. C. (2020). Revisiting discrete versus continuous models of human behavior: The case of absolute pitch. *PloS one, 15*(12), e0244308. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0244308
63. Higgins, J. P., Thompson, S. G., Deeks, J. J., & Altman, D. G. (2003). Measuring inconsistency in meta-analyses. BMJ (Clinical research ed.), 327(7414), 557–560. https://doi.org/10.1136/bmj.327.7414.557
64. Higgins, J. P., Altman, D. G., Gøtzsche, P. C., Jüni, P., Moher, D., Oxman, A. D., Savovic, J., Schulz, K. F., Weeks, L., Sterne, J. A., Cochrane Bias Methods Group, & Cochrane Statistical Methods Group (2011). The

Cochrane Collaboration's tool for assessing risk of bias in randomised trials. *BMJ (Clinical research ed.), 343*, d5928. https://doi.org/10.1136/bmj.d5928

65. Hirose, H., Kubota, M., Kimura, I., Ohsawa, M., Yumoto, M., & Sakakihara, Y. (2002). People with absolute pitch process tones with producing P300. *Neuroscience letters, 330*(3), 247–250. https://doi.org/10.1016/s0304-3940(02)00812-1
66. Hirsch, L. J., & Brenner, R. P. (2010). *Atlas of EEG in critical care*. John Wiley & Sons.
67. Hong, Y., Xu, L., Tang, X., Zhang, D., Zheng, W., Qian, Z., Zhao, J., Tang, Y., Su, M., Huang, L., Ye, Y., Zhang, T., Jiao, X., & Wang, J. (2025). Auditory and visual oddball stimulus processing deficits in clinical high risk for psychosis: Forecasting psychosis risk with N200 and P300. *Progress in Neuro-Psychopharmacology and Biological Psychiatry, 140*, 111426. https://doi.org/10.1016/j.pnpbp.2025.111426
68. Howard, D. M., & Angus, J. (2009). *Acoustics and Psychoacoustics 4th Edition.* (4th ed.) Oxford: Focal Press.
69. Howe, A. S., Pinto, A., & De Luca, V. (2014). Meta-analysis of P300 waveform in panic disorder. *Experimental brain research, 232*(10), 3221–3232. https://doi.org/10.1007/s00221-014-3999-5
70. Huang, W. J., Chen, W. W., & Zhang, X. (2015). The neurophysiology of P 300--an integrated review. *European review for medical and pharmacological sciences, 19*(8), 1480–1488.
71. Itoh, K., Suwazono, S., Arao, H., Miyazaki, K., & Nakada, T. (2005). Electrophysiological correlates of absolute pitch and relative pitch. *Cerebral cortex (New York, N.Y. : 1991), 15*(6), 760–769. https://doi.org/10.1093/cercor/bhh177
72. Jakubowski, K., & Müllensiefen, D. (2013). The influence of music-elicited emotions and relative pitch on absolute pitch memory for familiar melodies. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology, 66*(7), 1259–1267. https://doi.org/10.1080/17470218.2013.803136

73. Jäncke, L., Langer, N., & Hänggi, J. (2012). Diminished whole-brain but enhanced peri-sylvian connectivity in absolute pitch musicians. *Journal of cognitive neuroscience, 24*(6), 1447–1461. https://doi.org/10.1162/jocn_a_00227
74. Jelicic Kadic, A., Vucic, K., Dosenovic, S., Sapunar, D., & Puljak, L. (2016). Extracting data from figures with software was faster, with higher interrater reliability than manual extraction. *Journal of clinical epidemiology, 74*, 119–123. https://doi.org/10.1016/j.jclinepi.2016.01.002
75. Jhang, G. Y., Ueda, K., Takeichi, H., Remijn, G. B., & Hasuo, E. (2025). Rivalry between pitch and timbre in auditory stream segregation. *PloS one, 20*(6), e0323964. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0323964
76. Jobling M. A. (2014). The music of the genes. *Investigative genetics, 5*(1), 2. https://doi.org/10.1186/2041-2223-5-2
77. Kalaiah, M. K., & Shastri, U. (2016). Cortical Auditory Event Related Potentials (P300) for Frequency Changing Dynamic Tones. *Journal of audiology & otology, 20*(1), 22–30. https://doi.org/10.7874/jao.2016.20.1.22
78. Kanduri, C., Raijas, P., Ahvenainen, M., Philips, A. K., Ukkola-Vuoti, L., Lähdesmäki, H., & Järvelä, I. (2015). The effect of listening to music on human transcriptome. *PeerJ, 3*, e830. https://doi.org/10.7717/peerj.830
79. Keenan, J. P., Thangaraj, V., Halpern, A. R., & Schlaug, G. (2001). Absolute pitch and planum temporale. *NeuroImage, 14*(6), 1402–1408. https://doi.org/10.1006/nimg.2001.0925
80. Kessler Y. (2017). The Role of Working Memory Gating in Task Switching: A Procedural Version of the Reference-Back Paradigm. *Frontiers in psychology, 8*, 2260. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.02260
81. Kessler, Y., Baruchin, L. J., & Bouhsira-Sabag, A. (2017). Working memory updating occurs independently of the need to maintain task-context: accounting for triggering updating in the AX-CPT paradigm. *Psychological research, 81*(1), 191–203. https://doi.org/10.1007/s00426-015-0717-2

82. Kim, S. G., & Knösche, T. R. (2017a). On the Perceptual Subprocess of Absolute Pitch. *Frontiers in neuroscience, 11*, 557. https://doi.org/10.3389/fnins.2017.00557
83. Kim, S. G., & Knösche, T. R. (2017b). Resting state functional connectivity of the ventral auditory pathway in musicians with absolute pitch. *Human brain mapping, 38*(8), 3899–3916. https://doi.org/10.1002/hbm.23637
84. Kim, S. G., & Knösche, T. R. (2016). Intracortical myelination in musicians with absolute pitch: Quantitative morphometry using 7-T MRI. *Human brain mapping, 37*(10), 3486–3501. https://doi.org/10.1002/hbm.23254
85. Klein, M., Coles, M. G. H., & Donchin, E. (1984). People with Absolute Pitch Process Tones Without Producing a P300. *Science, 223*(4642), 1306-1309. https://doi.ORg/10.1126/science.223.4642.1306
86. Kopp, B., Steinke, A., & Visalli, A. (2020). Cognitive flexibility and N2/P3 event-related brain potentials. *Scientific reports, 10*(1), 9859. https://doi.org/10.1038/s41598-020-66781-5
87. Krystecka, K., Stanczyk, M., Choinski, M., Szelag, E., & Szymaszek, A. (2025). Time to inhibit: P300 amplitude differences in individuals with high and low temporal efficiency. *Cerebral cortex (New York, N.Y. : 1991), 35*(2), bhae500. https://doi.org/10.1093/cercor/bhae500
88. Kuhl P. K. (2015). BABY TALK. *Scientific American, 313*(5), 64–69. https://doi.org/10.1038/scientificamerican1115-64
89. Lau, B. K., Lalonde, K., Oster, M. M., & Werner, L. A. (2017). Infant pitch perception: Missing fundamental melody discrimination. *The Journal of the Acoustical Society of America, 141*(1), 65. https://doi.org/10.1121/1.4973412
90. Lau, J., Ioannidis, J. P., Terrin, N., Schmid, C. H., & Olkin, I. (2006). The case of the misleading funnel plot. *BMJ (Clinical research ed.), 333*(7568), 597–600. https://doi.org/10.1136/bmj.333.7568.597

91. Lee, J., Han, J. H., & Lee, H. J. (2020). Long-Term Musical Training Alters Auditory Cortical Activity to the Frequency Change. *Frontiers in human neuroscience, 14*, 329. https://doi.org/10.3389/fnhum.2020.00329
92. Leipold, S., Brauchli, C., Greber, M., & Jäncke, L. (2019a). Absolute and relative pitch processing in the human brain: neural and behavioral evidence. *Brain structure & function, 224*(5), 1723–1738. https://doi.org/10.1007/s00429-019-01872-2
93. Leipold, S., Oderbolz, C., Greber, M., & Jäncke, L. (2019b). A reevaluation of the electrophysiological correlates of absolute pitch and relative pitch: No evidence for an absolute pitch-specific negativity. *International journal of psychophysiology : official journal of the International Organization of Psychophysiology, 137*, 21–31. https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2018.12.016
94. Leipold, S., Greber, M., & Elmer, S. (2019c). Perception and Cognition in Absolute Pitch: Distinct yet Inseparable. *The Journal of neuroscience : the official journal of the Society for Neuroscience, 39*(30), 5839–5841. https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.0653-19.2019
95. Leipold, S., Greber, M., Sele, S., & Jäncke, L. (2019d). Neural patterns reveal single-trial information on absolute pitch and relative pitch perception. *NeuroImage, 200*, 132–141. https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2019.06.030
96. Leite, R. B. C., Mota-Rolim, S. A., & Queiroz, C. M. T. (2016). Music Proficiency and Quantification of Absolute Pitch: A Large-Scale Study among Brazilian Musicians. *Frontiers in Neuroscience*, *10*. https://doi.org/10.3389/fnins.2016.00447
97. Lenhoff, H. M., Perales, O., & Hickok, G. (2001). Absolute pitch in Williams syndrome. *Music Perception, 18*(4), 491–503. https://doi.org/10.1525/mp.2001.18.4.491
98. Levitin, D. J., & Rogers, S. E. (2005). Absolute pitch: perception, coding, and controversies. *Trends in Cognitive Sciences, 9*(1), 26-33. https://doi.org/10.1016/j.tics.2004.11.007

99. Lim, R. Y., Lew, W. L., & Ang, K. K. (2024). Review of EEG Affective Recognition with a Neuroscience Perspective. *Brain sciences, 14*(4), 364. https://doi.org/10.3390/brainsci14040364

100. Lockhead, G. R., & Byrd, R. (1981). Practically perfect pitch. *Journal of the Acoustical Society of America, 70*, 381. https://doi.org/10.1121/1.386773

101. López-Barroso, D., Catani, M., Ripollés, P., Dell'Acqua, F., Rodríguez-Fornells, A., & de Diego-Balaguer, R. (2013). Word learning is mediated by the left arcuate fasciculus. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 110*(32), 13168–13173. https://doi.org/10.1073/pnas.1301696110

102. Loui, P., Li, H. C., Hohmann, A., & Schlaug, G. (2011). Enhanced cortical connectivity in absolute pitch musicians: a model for local hyperconnectivity. *Journal of cognitive neuroscience, 23*(4), 1015–1026. https://doi.org/10.1162/jocn.2010.21500

103. Maeshima, H., Hosoda, C., Okanoya, K., & Nakai, T. (2018). Reduced γ-aminobutyric acid in the superior temporal gyrus is associated with absolute pitch. *Neuroreport, 29*(17), 1487–1491. https://doi.org/10.1097/WNR.0000000000001137

104. Marcotti F, Anthony, & Rivera R, Sebastián. (2017). Frequency pattern and duration pattern test: Assessment of auditory temporal ordering. *Revista de otorrinolaringología y cirugía de cabeza y cuello, 77*(3), 339-350. https://dx.doi.org/10.4067/s0718-48162017000300339

105. Martínez-Castilla, P., Sotillo, M., & Campos, R. (2013). Do individuals with Williams syndrome possess absolute pitch? *Child Neuropsychology, 19*(1), 78–96. https://doi.org/10.1080/09297049.2011.639755

106. McCann, M. T., Thompson, D. E., Syed, Z. H., & Huggins, J. E. (2015). Electrode subset selection methods for an EEG-based P300 brain-computer interface. Disability and rehabilitation. *Assistive technology, 10*(3), 216–220. https://doi.org/10.3109/17483107.2014.884174

107. McKetton, L., DeSimone, K., & Schneider, K. A. (2019). Larger Auditory Cortical Area and Broader Frequency Tuning Underlie Absolute Pitch. *The Journal of neuroscience : the official journal of the Society for Neuroscience, 39*(15), 2930–2937. https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.1532-18.2019

108. McLachlan, N. M., Marco, D. J., & Wilson, S. J. (2013). Pitch and plasticity: insights from the pitch matching of chords by musicians with absolute and relative pitch. *Brain sciences, 3*(4), 1615–1634. https://doi.org/10.3390/brainsci3041615

109. Mito, H. (2003). Performance at a transposed keyboard by possessor and non-possessor of absolute pitch. *Bulletin of the Council for Research in Music Education,* (157), 18–23. http://www.jstor.org/stable/40319182

110. Miyazaki, K., & Rakowski, A. (2002). Recognition of notated melodies by possessors and nonpossessors of absolute pitch. *Perception & psychophysics, 64*(8), 1337–1345. https://doi.org/10.3758/bf03194776

111. Miyazaki, K. (1993). Absolute pitch as an inability: Identification of musical intervals in a tonal context. *Music Perception, 11*(1), 55–71. https://doi.org/10.2307/40285599

112. Mohamed, M., Mohamed, N., & Kim, J. G. (2024). P300 Latency with Memory Performance: A Promising Biomarker for Preclinical Stages of Alzheimer's Disease. *Biosensors, 14*(12), 616. https://doi.org/10.3390/bios14120616

113. Mugruza-Vassallo, C., & Potter, D. (2019). Context dependence signature, stimulus properties and stimulus probability as predictors of ERP amplitude variability. *Frontiers in Human Neuroscience, 13*, Article 39. https://doi.org/10.3389/fnhum.2019.00039

114. Musiek, F. E., & Chermak, G. D. (2015). Psychophysical and behavioral peripheral and central auditory tests. *Handbook of clinical neurology, 129*, 313–332. https://doi.org/10.1016/B978-0-444-62630-1.00018-4

115. Ngan, V. S. H., Cheung, L. Y. T., Ng, H. T. Y., Yip, K. H. M., Wong, Y. K., & Wong, A. C. (2023). An early perceptual locus of absolute pitch. *Psychophysiology, 60*(2), e14170. https://doi.org/10.1111/psyp.14170

116. Oechslin, M. S., Imfeld, A., Loenneker, T., Meyer, M., & Jäncke, L. (2010). The plasticity of the superior longitudinal fasciculus as a function of musical expertise: a diffusion tensor imaging study. *Frontiers in human neuroscience, 3*, 76. https://doi.org/10.3389/neuro.09.076.2009

117. Ohnishi, T., Matsuda, H., Asada, T., Aruga, M., Hirakata, M., Nishikawa, M., Katoh, A., & Imabayashi, E. (2001). Functional anatomy of musical perception in musicians. *Cerebral cortex (New York, N.Y. : 1991)*, *11*(8), 754–760. https://doi.org/10.1093/cercor/11.8.754

118. Oribe, N., Hirano, Y., Kanba, S., Del Re, E., Seidman, L., Mesholam-Gately, R., Goldstein, J. M., Shenton, M., Spencer, K. M., McCarley, R. W., & Niznikiewicz, M. (2015). Progressive reduction of visual P300 amplitude in patients with first-episode schizophrenia: an ERP study. *Schizophrenia bulletin, 41*(2), 460–470. https://doi.org/10.1093/schbul/sbu083

119. Ouyang, G., Hildebrandt, A., Sommer, W., & Zhou, C. (2017). Exploiting the intra-subject latency variability from single-trial event-related potentials in the P3 time range: A review and comparative evaluation of methods. *Neuroscience and biobehavioral reviews, 75*, 1–21. https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2017.01.023

120. Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., McGuinness, L. A., … Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ, 372*, n71. https://doi.org/10.1136/bmj.n71

121. Palepu A., Kendall C, & Moher D. (2011). Open Medicine endorses PROSPERO. *Open Med. 5*(1):e65-66

122. Pearson, D. V., Shen, Y., Hetrick, W. P., O'Donnell, B. F., Lundin, N. B., McAuley, J. D., & Kidd, G. R. (2025). P300 as an index of speech-in-noise understanding in complex acoustic environments in young and older adults. *Frontiers in neuroscience, 19*, 1497781. https://doi.org/10.3389/fnins.2025.1497781

123. Petrides M, Alivisatos B, Evans AC, Meyer E (1993) Dissociation of human mid-dorsolateral from posterior dorsolateral frontal cortex in memory processing. *Proc Natl Acad Sci USA 90*:873– 877. https://doi.org/10.1073/pnas.90.3.873

124. Poldrack, R. A., Baker, C. I., Durnez, J., Gorgolewski, K. J., Matthews, P. M., Munafò, M. R., Nichols, T. E., Poline, J. B., Vul, E., & Yarkoni, T. (2017). Scanning the horizon: towards transparent and reproducible neuroimaging research. *Nature reviews. Neuroscience, 18*(2), 115–126. https://doi.org/10.1038/nrn.2016.167

125. Polich, J. (Ed.). (2003). Overview of P3a and P3b. en *Detection of Change: Event-Related Potential and fMRI Findings*. Kluwer Academic Press, Norwell, MA. pp. 83-98. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-0294-4

126. Polich J. (2007). Updating P300: an integrative theory of P3a and P3b. *Clinical neurophysiology: official journal of the International Federation of Clinical Neurophysiology, 118*(10), 2128–2148. https://doi.org/10.1016/j.clinph.2007.04.019

127. Polich, J. (2012). Neuropsychology of P300. In S. J. Luck & E. S. Kappenman (Eds.), *Oxford library of psychology. The Oxford handbook of event-related potential components* (p. 159–188). Oxford University Press.

128. Rac-Lubashevsky, R., & Kessler, Y. (2019). Revisiting the relationship between the P3b and working memory updating. *Biological psychology, 148*, 107769. https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2019.107769

129. Ragazzoni, A., Di Russo, F., Fabbri, S., Pesaresi, I., Di Rollo, A., Perri, R. L., Barloscio, D., Bocci, T., Cosottini, M., & Sartucci, F. (2019). "Hit the missing stimulus". A simultaneous EEG-fMRI study to localize the

generators of endogenous ERPs in an omitted target paradigm. *Scientific reports, 9*(1), 3684. https://doi.org/10.1038/s41598-019-39812-z

130. Renninger, L., Granot, R. I., & Donchin, E. (2003). Absolute Pitch and the P300 Component of the Event-Related Potential: An Exploration of Variables That May Account for Individual Differences. *Music Perception, 20*(4), 357-382. https://doi.org/10.1525/mp.2003.20.4.357

131. Reymore, L., & Hansen, N. C. (2020). A Theory of Instrument-Specific Absolute Pitch. *Frontiers in psychology, 11*, 560877. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.560877

132. Richardson, C., Bucks, R. S., & Hogan, A. M. (2011). Effects of aging on habituation to novelty: an ERP study. *International journal of psychophysiology : official journal of the International Organization of Psychophysiology, 79*(2), 97–105. https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2010.09.007

133. Ritter, W., & Vaughan, H. G. (1969). Averaged Evoked Responses in Vigilance and Discrimination: A Reassessment. *Science, 164*(3877), 326–328. doi:10.1126/science.164.3877.326

134. Rivera-Gaxiola, M., Silva-Pereyra, J., & Kuhl, P. K. (2005). Brain potentials to native and non-native speech contrasts in 7- and 11-month-old American infants. *Developmental science, 8*(2), 162–172. https://doi.org/10.1111/j.1467-7687.2005.00403.x

135. Rogenmoser, L., Elmer, S., & Jäncke, L. (2015). Absolute Pitch: Evidence for Early Cognitive Facilitation during Passive Listening as Revealed by Reduced P3a Amplitudes. *Journal of Cognitive Neuroscience, 27*(3), 623-637. https://doi.org/10.1162/jocn_a_00708

136. Rogenmoser, L., Arnicane, A., Jäncke, L., & Elmer, S. (2021). The left dorsal stream causally mediates the tone labeling in absolute pitch. *Annals of the New York Academy of Sciences, 1500*(1), 122–133. https://doi.org/10.1111/nyas.14616

137. Saffran, J. R., & Griepentrog, G. J. (2001). Absolute pitch in infant auditory learning: Evidence for developmental reorganization. *Developmental Psychology, 37*(1), 74–85. doi:10.1037/0012-1649.37.1.74

138. Salisbury, D. F., Desantis, M. A., Shenton, M. E., & McCarley, R. W. (2002). The effect of background noise on P300 to suprathreshold stimuli. *Psychophysiology, 39*(1), 111–115. https://doi.org/10.1017/S0048577202010223

139. Santopetro, N. J., Thompson, B., Garron, A., Keith, L., Brush, C. J., Schmidt, B., & Hajcak, G. (2025). Systematic review and meta-analysis: Impact of unipolar depression on P300 amplitude and latency. *Neuroscience and biobehavioral reviews, 175*, 106230. https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2025.106230

140. Sasatake, Y., & Matsushita, K. (2025). EEG Baseline Analysis for Effective Extraction of P300 Event-Related Potentials for Welfare Interfaces. *Sensors (Basel, Switzerland), 25*(10), 3102. https://doi.org/10.3390/s25103102

141. Seesjärvi, E., Särkämö, T., Vuoksimaa, E., Tervaniemi, M., Peretz, I., & Kaprio, J. (2016). The Nature and Nurture of Melody: A Twin Study of Musical Pitch and Rhythm Perception. *Behavior genetics*, *46*(4), 506–515. https://doi.org/10.1007/s10519-015-9774-y

142. Seppänen, M., Hämäläinen, J., Pesonen, A. K., & Tervaniemi, M. (2012). Music training enhances rapid neural plasticity of n1 and p2 source activation for unattended sounds. *Frontiers in human neuroscience, 6*, 43. https://doi.org/10.3389/fnhum.2012.00043

143. Schellenberg, E. G., & Trehub, S. E. (2003). Good pitch memory is widespread. *Psychological science, 14*(3), 262–266. https://doi.org/10.1111/1467-9280.03432

144. Schlemmer, K. B. (2009). Do absolute pitch possessors have a field independent cognitive style? In *Proceedings of the 7th Tribunal Conference of European Society for the Cognitive Sciences of Music* (pp. 580–486). Jyväskylä, Finland

145. Schulze, K., Gaab, N., & Schlaug, G. (2009). Perceiving pitch absolutely: comparing absolute and relative pitch possessors in a pitch memory task. *BMC neuroscience, 10*, 106. https://doi.org/10.1186/1471-2202-10-106

146. Schulze, K., Mueller, K., & Koelsch, S. (2013). Auditory stroop and absolute pitch: an fMRI study. *Human brain mapping, 34*(7), 1579–1590. https://doi.org/10.1002/hbm.22010

147. Shibayama, K., Shimada, H., & Itoh, K. (2026). Cognitive control in music: adaptive strategies for relative pitch across the absolute-pitch proficiency continuum. *Frontiers in psychology*, *16*, 1723224. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2025.1723224

148. Siegel J. A. (1974). Sensory and verbal coding strategies in subjects with absolute pitch. *Journal of experimental psychology, 103*(1), 37–44. https://doi.org/10.1037/h0036844

149. Soltani, M., & Knight, R. T. (2000). Neural origins of the P300. *Critical reviews in neurobiology, 14*(3-4), 199–224.

150. Speier, W., Deshpande, A., & Pouratian, N. (2015). A method for optimizing EEG electrode number and configuration for signal acquisition in P300 speller systems. *Clinical neurophysiology: official journal of the International Federation of Clinical Neurophysiology, 126*(6), 1171–1177. https://doi.org/10.1016/j.clinph.2014.09.021

151. Squires, N. K., Squires, K. C., & Hillyard, S. A. (1975). Two varieties of long-latency positive waves evoked by unpredictable auditory stimuli in man. *Electroencephalography and clinical neurophysiology, 38*(4), 387–401. https://doi.org/10.1016/0013-4694(75)90263-1

152. Steiner, G. Z., Barry, R. J., & Gonsalvez, C. J. (2013). Can working memory predict target-to-target interval effects in the P300?. *International journal of psychophysiology : official journal of the International Organization of Psychophysiology, 89*(3), 399–408. https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2013.07.011

153. Steiner, G. Z., Barry, R. J., & Gonsalvez, C. J. (2014a). Nontarget-to-nontarget interval determines the nontarget P300 in an auditory equiprobable Go/NoGo task. *International journal of psychophysiology: official journal of the International Organization of Psychophysiology, 92*(3), 113–121. https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2014.03.010

154. Steiner, G. Z., Barry, R. J., & Gonsalvez, C. J. (2014b). Stimulus-to-matching-stimulus interval influences N1, P2, and P3b in an equiprobable Go/NoGo task. *International journal of psychophysiology: official journal of the International Organization of Psychophysiology, 94*(1), 59–68. https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2014.07.003

155. Sutton, S., Braren, M., Zubin, J., & John, E. R. (1965). Evoked-potential correlates of stimulus uncertainty. *Science (New York, N.Y.), 150*(3700), 1187–1188. https://doi.org/10.1126/science.150.3700.1187

156. Sutton, S. (1979). P300—Thirteen years later. En H. Begleiter (Ed.), *Evoked brain potentials and behavior* (pp. 107–125). Plenum Press.

157. Szyfter, K., & Witt, M. P. (2020). How far musicality and perfect pitch are derived from genetic factors?. *Journal of applied genetics, 61*(3), 407–414. https://doi.org/10.1007/s13353-020-00563-7

158. Takeuchi, A. H., & Hulse, S. H. (1993). Absolute pitch. *Psychological bulletin, 113*(2), 345–361. https://doi.org/10.1037/0033-2909.113.2.345

159. Tao, M., Sun, J., Liu, S., Zhu, Y., Ren, Y., Liu, Z., Wang, X., Yang, W., Li, G., Wang, X., Zheng, W., Zhang, J., & Yang, J. (2024). An event-related potential study of P300 in preschool children with attention deficit hyperactivity disorder. *Frontiers in pediatrics, 12*, 1461921. https://doi.org/10.3389/fped.2024.1461921

160. Theusch, E., Basu, A., & Gitschier, J. (2009). Genome-wide study of families with absolute pitch reveals linkage to 8q24.21 and locus heterogeneity. *American journal of human genetics, 85*(1), 112–119. https://doi.org/10.1016/j.ajhg.2009.06.010

161. Theusch, E., & Gitschier, J. (2011). Absolute pitch twin study and segregation analysis. *Twin research and human genetics : the official journal of the International Society for Twin Studies, 14*(2), 173–178. https://doi.org/10.1375/twin.14.2.173

162. Trainor L. J. (2005). Are there critical periods for musical development?. *Developmental psychobiology*, *46*(3), 262–278. https://doi.org/10.1002/dev.20059

163. Usui, K., Shinozaki, J., Usui, N., Terada, K., Matsuda, K., Kondo, A., Tottori, T., Nagamine, T., & Inoue, Y. (2020). Retained absolute pitch after selective amygdalohippocampectomy. *Epilepsy & behavior reports, 14*, 100378. https://doi.org/10.1016/j.ebr.2020.100378

164. Valakos, D., d'Avossa, G., Mylonas, D., Butler, J., Klein, C., & Smyrnis, N. (2020). P300 response modulation reflects breaches of non-probabilistic expectations. *Scientific reports, 10*(1), 10254. https://doi.org/10.1038/s41598-020-67275-0

165. Van Hedger, S. C., Bongiovanni, N. R., Heald, S. L. M., & Nusbaum, H. C. (2023). Absolute pitch judgments of familiar melodies generalize across timbre and octave. *Memory & cognition*, *51*(8), 1898–1910. https://doi.org/10.3758/s13421-023-01429-z

166. Vanzella, P., & Schellenberg, E. G. (2010). Absolute pitch: effects of timbre on note-naming ability. *PloS one, 5*(11), e15449. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0015449

167. Veloso, F., & Feitosa, M. Â. G. (2013). O Ouvido Absoluto: bases neurocognitivas e perspectivas. *Psico-USF*, *18*(3), 357-362. https://doi.ORg/10.1590/S1413-82712013000300002

168. Villatte, J., Lacroix, A., Ibernon, L., Declercq, C., Hippolyte, A., Vivier, G., & Marec-Breton, N. (2025). Music and language in Williams syndrome: An integrative and systematic mini-review. *Behavioral Sciences, 15*(5), 595. https://doi.org/10.3390/bs15050595

169. Wada, M., Kurose, S., Miyazaki, T., Nakajima, S., Masuda, F., Mimura, Y., Nishida, H., Ogyu, K., Tsugawa, S., Mashima, Y., Plitman, E., Chakravarty, M. M., Mimura, M., & Noda, Y. (2019). The P300 event-related potential in bipolar disorder: A systematic review and meta-analysis. *Journal of affective disorders, 256*, 234–249. https://doi.org/10.1016/j.jad.2019.06.010

170. Wagner-Altendorf, T. A., Rein, M., Skeries, V. M., Cirkel, A., Münte, T. F., & Heldmann, M. (2024). Tracking the habituation of the event-related EEG potential in automatic change detection using an

auditory two-tone oddball paradigm. *Cerebral cortex (New York, N.Y. : 1991), 34*(4), bhae157. https://doi.org/10.1093/cercor/bhae157

171. Wagner-Altendorf, T. A., Skeries, V. M., Rein, M., Cirkel, A., Münte, T. F., & Heldmann, M. (2025). Setting standards: Auditory MMN and P3a habituate differentially in a two-syllable oddball task. *Behavioural brain research, 494*, 115743. https://doi.org/10.1016/j.bbr.2025.115743

172. Waninger, S., Berka, C., Meghdadi, A., Karic, M. S., Stevens, K., Aguero, C., Sitnikova, T., Salat, D. H., & Verma, A. (2018). Event-related potentials during sustained attention and memory tasks: Utility as biomarkers for mild cognitive impairment. *Alzheimer's & dementia (Amsterdam, Netherlands), 10*, 452–460. https://doi.org/10.1016/j.dadm.2018.05.007

173. Ward, W. D., & Burns, E. M. (1982). Absolute pitch. In D. Deutsch (Ed.), *The psychology of music* (pp. 431–451). New York: Academic Press.

174. Ward, J., Simner, J., Simpson, I., Rae, C., Del Rio, M., Eccles, J. A., & Racey, C. (2024). Synesthesia is linked to large and extensive differences in brain structure and function as determined by whole-brain biomarkers derived from the HCP (Human Connectome Project) cortical parcellation approach. *Cerebral cortex (New York, N.Y. : 1991), 34*(11), bhae446. https://doi.org/10.1093/cercor/bhae446

175. Wayman, J. W., Frisina, R. D., Walton, J. P., Hantz, E. C., & Crummer, G. C. (1992). Effects of musical training and absolute pitch ability on event-related activity in response to sine tones. *The Journal of the Acoustical Society of America, 91*(6), 3527–3531. https://doi.org/10.1121/1.402841

176. Wengenroth, M., Blatow, M., Heinecke, A., Reinhardt, J., Stippich, C., Hofmann, E., & Schneider, P. (2014). Increased volume and function of right auditory cortex as a marker for absolute pitch. *Cerebral cortex (New York, N.Y. : 1991), 24*(5), 1127–1137. https://doi.org/10.1093/cercor/bhs391

177. Wilson, S. J., Lusher, D., Wan, C. Y., Dudgeon, P., & Reutens, D. C. (2009). The neurocognitive components of pitch processing: insights from absolute pitch. *Cerebral cortex (New York, N.Y. : 1991), 19*(3), 724–732. https://doi.org/10.1093/cercor/bhn121

178. Wong, Y. K., Cheung, L. Y. T., Ngan, V. S. H., & Wong, A. C.-N. (2025). Learning fast and accurate absolute pitch judgment in adulthood. *Psychonomic Bulletin & Review, 32*, 1676–1688. https://doi.org/10.3758/s13423-024-02620-2

179. Wong, Y. K., Lui, K. F. H., Yip, K. H. M., & Wong, A. C. -N. (2020a). Is it impossible to acquire absolute pitch in adulthood? *Attention, Perception, & Psychophysics, 82*(3), 1407–1430. https://doi.org/10.3758/s13414-019-01869-3

180. Wong, Y. K., Ngan, V. S., Cheung, L. Y., & Wong, A. C. (2020b). Absolute pitch learning in adults speaking non-tonal languages. *Quarterly journal of experimental psychology (2006)*, 73(11), 1908–1920. https://doi.org/10.1177/1747021820935776

181. Wu, C., Kirk, I. J., Hamm, J. P., & Lim, V. K. (2008). The neural networks involved in pitch labeling of absolute pitch musicians. *Neuroreport, 19*(8), 851–854. https://doi.org/10.1097/WNR.0b013e3282ff63b1

182. Yanagisawa, H., Kawamata, O., & Ueda, K. (2019). Modeling Emotions Associated With Novelty at Variable Uncertainty Levels: A Bayesian Approach. *Frontiers in computational neuroscience, 13*, 2. https://doi.org/10.3389/fncom.2019.00002

183. Zatorre R. J. (2003). Absolute pitch: a model for understanding the influence of genes and development on neural and cognitive function. *Nature neuroscience, 6*(7), 692–695. https://doi.org/10.1038/nn1085

184. Zatorre, R. J., Perry, D. W., Beckett, C. A., Westbury, C. F., & Evans, A. C. (1998). Functional anatomy of musical processing in listeners with absolute pitch and relative pitch. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 95*(6), 3172–3177. https://doi.org/10.1073/pnas.95.6.3172

185. Zygouris, N. C., Dermitzaki, I., Patrikelis, P., Messinis, L., & Toki, E. I. (2025). Associations Between P300 Latency and Reaction Time on Event-Related Potentials in Children with Varying Levels of Fluid Intelligence. *Clinical and Translational Neuroscience, 9*(2), 24. https://doi.org/10.3390/ctn9020024

IX. ANEXOS

Anexo 1. Tabla de la lista de comprobación de los principios de PRISMA.

Sección/tema	Ítem N.º	Ítem de la lista de comprobación	Informado en página N.º
Título y resumen			
Titulo	1	Identifica la publicación como revisión sistemática, meta-análisis o ambas. Si se especifica que se trata de una revisión sobre ensayos clínicos ayudará a priorizarla frente a otras revisiones	Título
Resumen estructurado	2	Que incluya: antecedentes; objetivos; fuente de los datos; criterios de elegibilidad de los estudios, participantes e intervenciones; evaluación de los estudios y métodos de síntesis; reclutados; limitaciones; conclusiones e implicaciones de los hallazgos principales; número de registro de la revisión sistemática.	[8]
Introducción			
Justificación	3	Implica describir lo que se conoce del tema y comentar la necesidad de la revisión sistemática haciendo referencia a la importancia del problema y a la controversia existente sobre las intervenciones que se desea revisar.	4
Objetivos	4	Plantear de forma explícita las preguntas que se desea contestar en relación a con los participantes, las intervenciones, las comparaciones, los resultados y el diseño de los estudios.	5
Métodos			
Protocolo y registro	5	Indicar si existe un protocolo de revisión al que se pueda acceder (por ejemplo; dirección web) y, si está disponible la información sobre el registro, incluyendo su número de registro.	28
Criterios de elegibilidad	6	Especificar las características de los estudios y de las características de la búsqueda (por ejemplo: años abarcados, idiomas o estatus de publicación) utilizadas como criterios de elegibilidad y su justificación.	31
Fuentes de información	7	Describir todas las fuentes de información (por ejemplo: bases de datos y períodos de búsqueda, contacto con los autores para identificar estudios adicionales, etc.) y la fecha de la última búsqueda realizada.	30
Búsqueda	8	Presentar la estrategia completa de búsqueda electrónica en al menos una base de datos, incluyendo	30

Sección/tema	Ítem N.º	Ítem de la lista de comprobación	Informado en página N.º
		los límites utilizados, de tal forma que pueda ser reproducible.	
Selección de los estudios	9	Especificar el proceso de selección de los estudios, con los criterios de inclusión y exclusión. Definir la elegibilidad de los estudios incluidos en la revisión sistemática y, cuando sea pertinente, en el meta-análisis.	32
Proceso de extracción de datos	10	Describir los métodos para la extracción de datos de las publicaciones (por ejemplo: formularios pilotados, por duplicado y de forma independiente) y cualquier proceso para obtener y confirmar datos por parte de los investigadores.	34
Lista de datos	11	Listar y definir todas las variables para las que se buscaron los datos y cualquier asunción y simplificación que se hayan hecho.	37
Riesgo de sesgo en los estudios individuales	12	Describir los métodos utilizados para evaluar el riesgo de sesgo en los estudios individuales (especificar si se realizó a nivel de los estudios o de los resultados) y cómo está información se ha utilizado en la síntesis de datos.	33
Medidas de resumen	13	Especificar las principales medidas de resumen (por ejemplo: razón de riesgos o diferencias de medias).	37
Síntesis de resultados	14	Describir los métodos para manejar los datos y combinar los resultados de los estudios, cuando esto es posible, incluyendo medidas de consistencia para cada meta-análisis.	37
Riesgo de sesgo entre los estudios	15	Especificar cualquier evaluación del riesgo de sesgo que pueda afectar la evidencia acumulativa (por ejemplo: sesgo de publicación o comunicación selectiva)	37
Análisis adicionales	16	Describir los métodos adicionales de análisis (por ejemplo: análisis de sensibilidad o de subgrupos), en el caso de que se hiciera, indicar cuales fueron pre-especificados.	39
Resultados			
Selección de estudios	17	Facilitar el número de estudios cribados, evaluados para su elegibilidad e incluidos en la revisión sistemática, y detallar las razones para su exclusión en cada etapa, idealmente mediante un diagrama de flujo. El diagrama de flujo se convierte en un elemento esencial en las revisiones sistemáticas, en donde se valora el número de registros en cada etapa: identificación, cribado, elegibilidad e inclusión.	42

Sección/tema	Ítem N.º	Ítem de la lista de comprobación	Informado en página N.º
Características de los estudios	18	Para cada estudio presentar las características para las que se extrajeron los datos y proporcionar las citas bibliográficas	49
Riesgo de sesgo en los estudios	19	Presentar datos sobre el riesgo de sesgo en cada estudio y, si está disponible cualquier evaluación del sesgo en los estudios (Ver ítem 12).	70
Resultados de los estudios individuales	20	Para cada resultado considerado en cada estudio (beneficios o daños, presentar: a) el dato resumen para cada grupo de intervención y b) la estimación del efecto con su intervalo de confianza, idealmente de forma gráfica mediante un diagrama de bosque ("*forest plot*").	54
Síntesis de los resultados	21	Presentar los resultados de todos los meta-análisis realizados, incluyendo los intervalos de confianza y las medidas de consistencia.	66
Riesgo de sesgo entre los estudios	22	Presentar los resultados de cualquier evaluación del riesgo de sesgo entre los estudios (ver ítem 15).	66
Análisis adicionales	23	Facilitar los resultados de cualquier análisis adicional, en el caso de que se hayan realizado (por ejemplo: análisis de sensibilidad o de subgrupos (ver ítem 16).	73
Discusión			
Resumen de la evidencia	24	Resumir los hallazgos principales, incluyendo la fortaleza de las evidencias para cada resultado principal; considerar su relevancia para grupos clave (por ejemplo: proveedores, usuarios y decisores en salud).	77
Limitaciones	25	Discutir las limitaciones de los estudios y de los resultados (por ejemplo, riesgo de sesgo) y de la revisión (por ejemplo, obtención incompleta de los estudios identificados o comunicación selectiva).	93
Conclusiones	26	Proporcionar una interpretación general de los resultados en el contexto de otras evidencias, así como las implicaciones para la futura investigación. En las revisiones sistemáticas o meta-análisis son esenciales los apartados finales de “implicaciones para la práctica clínica” e “implicaciones para la investigación”.	96
Financiación			
Financiación	27	Describir las fuentes de financiación de las revisiones sistemáticas y otros tipos de apoyos (por ejemplo, aporte de los datos), así como el papel de los financiadores en las revisiones sistemáticas.	-

Anexo 2. Estrategias de búsquedas desarrolladas.

a. **Cadena de búsqueda para Pubmed/Medline**

(("Auditory Perception"[MeSH Terms]) OR "Pitch Perception"[MeSH Terms] OR "Pitch Discrimination"[MeSH Terms] OR "Auditory Perceptions"[Title/Abstract] OR "Perception, Auditory"[Title/Abstract] OR "Pitch Perceptions"[Title/Abstract] OR "Perception, Pitch"[Title/Abstract] OR "Pitch Discriminations"[Title/Abstract] OR "Discrimination, Pitch"[Title/Abstract] OR "Absolute pitch"[Title/Abstract] OR "Relative pitch"[Title/Abstract] OR "Pitch chroma"[Title/Abstract] OR "Pitch processing"[Title/Abstract] OR "Absolute Pitch Memory"[Title/Abstract] OR "Musical perfect pitch"[Title/Abstract]) AND ("Electroencephalography"[MeSH Terms] OR "Evoked Potentials"[MeSH Terms] OR "Event-Related Potentials, P300"[MeSH Terms] OR "Evoked Potentials, Auditory"[MeSH Terms] OR "EEG"[Title/Abstract] OR "Electroencephalograms"[Title/Abstract] OR "Electroencephalogram"[Title/Abstract] OR "Event Related Potentials"[Title/Abstract] OR "Event-Related Potential"[Title/Abstract] OR "Event-Related Potentials"[Title/Abstract] OR "Potential, Event-Related"[Title/Abstract] OR "Potentials, Event-Related"[Title/Abstract] OR "Waves, P2"[Title/Abstract] OR "P300 Components"[Title/Abstract] OR "P300 Component"[Title/Abstract] OR "P300 Event-Related Potentials"[Title/Abstract] OR "Event-Related Potentials, P3"[Title/Abstract] OR "Event-Related Potential, P300"[Title/Abstract] OR "P3 Event Related Potentials"[Title/Abstract] OR "P3a Event-Related Potentials"[Title/Abstract] OR "Event-Related Potential, P3b"[Title/Abstract] OR "P3b Event-Related Potential"[Title/Abstract] OR

"Auditory Evoked Response"[Title/Abstract] OR "Auditory Evoked Potentials"[Title/Abstract])

b. Cuadro de estrategia de búsqueda Medline

ID	Búsqueda
#1	MeSH descriptor: [Auditory Perception]
#2	MeSH descriptor: [Pitch Perception]
#3	MeSH descriptor: [Pitch Discrimination]
#4	"Auditory Perceptions" OR "Perception, Auditory" OR "Pitch Perceptions" OR "Perception, Pitch" OR "Pitch Discriminations" OR "Discrimination, Pitch" OR "Absolute pitch" OR "Relative pitch" OR "Pitch chroma" OR "Pitch processing" OR "Absolute Pitch Memory" OR "Musical perfect pitch"
#5	#1 OR #2 OR #3 OR #4
#6	MeSH descriptor: [Electroencephalography]
#7	MeSH descriptor: [Evoked Potentials]
#8	MeSH descriptor: [Event-Related Potentials, P300]
#9	MeSH descriptor: [Evoked Potentials, Auditory]
#10	"EEG" OR "Electroencephalograms" OR "Electroencephalogram" OR "Event Related Potentials" OR "Event-Related Potential" OR "Event-Related Potentials" OR "Potential, Event-Related" OR "Potentials, Event-Related" OR "Potentials, Event Related" OR "Waves, P2" OR "P300 Components" OR "P300 Component" OR "P300 Event-Related Potentials" OR "P300 Event-Related Potential" OR "Event-Related Potentials, P3" OR "Event-Related Potential,

	P300” OR “P3 Event Related Potentials” OR “Event-Related Potential, P3” OR “P300 Event Related Potentials” OR “Evoked Potentials, P300 Component” OR “P3 Event-Related Potential” OR “Event Related Potentials, P3” OR “Event Related Potentials, P300” OR “P3 Event-Related Potentials” OR “P3a Event-Related Potentials” OR “P3a Event Related Potentials” OR “Event-Related Potential, P3a” OR “Event-Related Potentials, P3a” OR “P3a Event-Related Potential” OR “Event-Related Potential, P3b” OR “P3b Event-Related Potential” OR “P3b Event-Related Potentials” OR “P3b Event Related Potentials” OR “Potentials, Auditory Evoked” OR “Auditory Evoked Response” OR “Auditory Evoked Potentials” OR “Auditory Evoked Responses” OR “Evoked Responses, Auditory” OR “Evoked Potential, Auditory” OR “Evoked Response, Auditory” OR “Auditory Evoked Potential”
#11	#6 OR #7 OR #8 OR #9 OR #10
#15	#5 AND #11

c. **Cadena de búsqueda para Scopus**

TITLE-ABS-KEY("auditory perception" OR "pitch perception" OR "pitch discrimination" OR "auditory perceptions" OR "perception, auditory" OR "pitch perceptions" OR "perception, pitch" OR "pitch discriminations" OR "discrimination, pitch" OR "absolute pitch" OR "relative pitch" OR "pitch chroma" OR "pitch processing" OR "absolute pitch memory" OR "musical perfect pitch") AND TITLE-ABS-KEY("EEG" OR "electroencephalography" OR "electroencephalogram" OR "event-related potentials" OR "ERP" OR "P300" OR "P3a" OR "P3b" OR "auditory evoked potentials" OR "evoked responses")

Anexo 3. Detalles particulares en la extracción de resultados cuantitativos de P300.

En el estudio original de Klein et al. (1984) se reportaron medidas de amplitud y área del componente P300, pero no se informaron las latencias. Por tanto, en el presente análisis, se aplicó el método *peak picking* para estimar las latencias individuales del P300, a partir de las cuales se calcularon la media y la desviación estándar.

En Wayman et al. (1992), se dividieron a los participantes en dos grupos: aquellos con OA y aquellos sin OA. En consecuencia, para la síntesis, se analizaron las latencias, amplitudes y sus respectivas desviaciones estándar de los músicos y no músicos que no presentaban OA. Para este proceso se utilizaron la media combinada y la desviación estándar combinada, porque son de dos grupos diferentes de muestra.

Para incluir los datos de Hantz et al. (1992) en el presente metaanálisis, se extrajeron las medias y desviaciones estándar de la amplitud y latencia del P300 reportadas para los grupos OA y sin OA (músicos y no músicos). Luego, se calcularon las medias combinadas y desviaciones estándar agrupadas para el grupo "sin OA", a fin de compararlo directamente con el grupo OA.

En Barnea et al. (1994) se indican las latencias y amplitudes de forma numérica. Se extrae del estudio directamente.

En el estudio de Crummer et al. (1994), se reportaron los resultados de amplitud y latencia de la P300 mediante figuras, por lo que para el presente análisis se estimaron valores cualitativos mediante el método de *peak picking*. Con el fin de

comparar sujetos con y sin OA, se combinó la media y la desviación estándar de los grupos de músicos y no músicos sin OA, dado que ambos grupos carecían de la habilidad específica. Sin embargo, se conservaron separados los resultados correspondientes a los tres tipos de estímulos (tuba, flauta y cuerdas), debido a las diferencias significativas y a la variabilidad en complejidad perceptiva que cada timbre representó, según lo reportado por los autores.

En el estudio de Hantz et al. (1995), se reportaron las latencias P3 para los electrodos Pz, Cz y Fz, pero para el metaanálisis se extrajeron únicamente los datos del electrodo Pz en respuestas a estímulos targets. Esta decisión siguió la estrategia previamente descrita de combinación de medias y desviaciones estándar. Se excluyó el estímulo de ruido blanco (*white noise*), ya que actuaba como condición de control no musical, mientras que el estímulo G4 correspondía a una tarea de memoria auditiva musical. Incluir ambos estímulos habría comprometido la especificidad del análisis en relación con el procesamiento musical.

Hantz et al. (1996) no muestra datos concretos para los registros de amplitud y latencias, a su vez, las medias y desviaciones estándar no son posibles de extraer.

Hantz et al. (1997) no muestra datos concretos para los registros de amplitud y latencias, a su vez, las medias y desviaciones estándar no son posible extraer.

En Hirose et al. (2002) se incluyeron dos sesiones con tareas tipo *oddball* que diferían en la naturaleza del estímulo *no-target*. En la sesión 1, el estímulo no-target fue ruido blanco, mientras que en la sesión 2 fue un tono puro (C4). Debido a esta diferencia fundamental en las características acústicas y cognitivas

de los estímulos no-target, resulta metodológicamente más adecuado tratar los datos de cada sesión por separado en el metaanálisis, ya que podrían involucrar procesos de detección y atención distintos.

En el estudio de Renninger et al. (2003), se utilizaron tonos sinusoidales de 350 ms de duración para evitar el efecto del piano absoluto. Se incluyeron dos tareas: una de memoria de tono (Tarea 1) y otra de contorno (Tarea 2), aunque para este metaanálisis solo se consideraron los resultados de la Tarea 1, por ser la más directamente relacionada con el procesamiento absoluto del tono. Aunque los autores reportan una reducción significativa en la amplitud del P300 del grupo con OA al excluir a cuatro sujetos con potencial uso de oído relativo, en el presente análisis se mantuvo la muestra completa, agrupando a todos los participantes según los criterios originales (OA y sin OA), sin exclusiones. Las amplitudes y latencias del componente P300 fueron extraídas a partir de las figuras del artículo original, y se calcularon la media y desviación estándar combinadas para cada grupo, de acuerdo con los métodos establecidos de metaanálisis. Esta decisión metodológica busca mantener fidelidad a la clasificación original del estudio y permitir una comparación más amplia y representativa entre grupos.

En el estudio de Itoh et al. (2005), no muestra datos concretos para los registros de amplitud y latencias, a su vez, las medias y desviaciones estándar no son posibles de extraer. Se clasificó a los participantes con High-AP como poseedores de OA, mientras que los grupos Mid-AP, Low-AP y untrained fueron considerados no poseedores. El experimento auditivo relevante para el metaanálisis es el *pitch-naming experiment*, ya que evalúa la capacidad del participante para identificar tonos, contrastando esta tarea activa con una condición de escucha

pasiva. Por su parte, el experimento *Auditory Stroop* se centró en analizar cómo la incongruencia entre tono y nombre influía en las respuestas, explorando si los componentes reflejaban una transformación asociativa tono-nombre. Aunque el componente P3b también fue registrado en este experimento, su modulación no se vio afectada significativamente por la incongruencia en ninguno de los grupos.

En el estudio de Rogenmoser et al., (2015) se utilizaron tonos estándar (bloque A) y desafinados (bloque C) con el objetivo de evidenciar el efecto del OA. Ambos tipos de estímulos fueron incluidos en el metaanálisis, aplicando la media de las diferencias y desviación estándar muestral de las diferencias debido a que son resultados de una misma muestra. Los datos de amplitud del componente P3a se extrajeron de la figura 6 del artículo, mientras que, en el caso de las latencias, no se reportaron valores concretos. Para las amplitudes del componente P3a para ambos grupos y todas las condiciones de desviación, se utilizó un conjunto frontal de electrodos (*frontal pool of electrodes*). Estos electrodos incluyeron F3, Fz, F4, FC3, FCz, FC4, C3, Cz y C4. Se agruparon en una única Región de Interés para aumentar la relación señal/ruido y evitar comparaciones múltiples entre electrodos vecinos.

En Greber et al. (2018) se agruparon (*pooling*) los valores pico de las ondas de diferencia correspondientes al componente P3a a partir de una agrupación de nueve electrodos frontales y centrales (F3, Fz, F4, FC3, FCz, FC4, C3, Cz, C4). El estudio no reporta directamente los valores de amplitud y latencia promedio ni sus desviaciones estándar, y estos no pueden ser extraídos con precisión a partir de las figuras disponibles. Por este motivo, se contactó a los autores por correo electrónico solicitando el acceso al conjunto de datos original (ver

https://osf.io/7qxjs/). Tras recibir una respuesta afirmativa, se utilizaron dichos registros para calcular las medias y desviaciones estándar muestrales de las amplitudes y latencias del P3a. Para el análisis se incluyeron los datos de los bloques A (tono estándar 440 Hz) y C (tono estándar 264 Hz), los cuales contenían desviantes con distintas magnitudes de desafinación. Ambos bloques fueron incluidos en el metaanálisis como condiciones dependientes dentro de una misma muestra, por lo que se emplearon los promedios de las diferencias y sus desviaciones estándar muestrales considerando la dependencia intraindividual.

En Leipold et al., (2019) no muestra datos concretos para los registros de amplitud y latencias, a su vez, las medias y desviaciones estándar no son posibles de extraer.

En el estudio de Greber y Jäncke (2020), se accedió al conjunto de datos públicos disponibles en el repositorio OSF (https://osf.io/f5nkx/). A partir de dichos registros, se extrajeron los valores de amplitud y latencia para el análisis de los potenciales evocados. En particular, se utilizaron los datos correspondientes a la condición “Mist-Go” (No-Go con tonos desafinados), específicamente la variable “MeanAmplitude.Mist-Go_P3d_Pz”, que representa la amplitud media de la componente P3d en el electrodo parietal Pz. A partir de esta variable se calcularon la media y la desviación estándar muestral necesarias para el análisis estadístico.

Anexo 4. El uso de Inteligencia Artificial en el presente trabajo

Para mejorar la presentación textual de este trabajo, la inteligencia artificial generativa (Claude Opus 4.7) sirvió como herramienta auxiliar. Este recurso se

usó únicamente para: (a) comprobaciones de gramática y estilo, (b) encontrar una estructura expositiva y (c) garantizar la claridad en la redacción de párrafos.