

UNIVERSIDAD FERNANDO PESSOA CANARIAS



RENDIMIENTO COGNITIVO EN MÚSICOS: UN ACERCAMIENTO MULTIVARIADO

Elena Mejías Martínez
Yaiza Molina Rodríguez
Grado en psicología
Curso 2023 - 2024

Índice de contenidos

1. Resumen.....	5
2. Introducción.....	7
3. Formulación del problema.....	10
3.1. Formulación del problema y justificación.....	10
3.2. Objetivo general.....	11
3.3. Objetivos específicos.....	11
3.4. Hipótesis.....	11
4. Método.....	13
4.1. Participantes.....	13
4.1.1. Músicos.....	14
4.1.2. No músicos.....	14
4.2. Material.....	16
4.2.1. Evaluación previa.....	16
4.2.2. Evaluación neuropsicológica.....	17
4.3. Procedimiento.....	25
4.4. Análisis de datos.....	26
5. Resultados.....	28
5.1. Random Forest de clasificación entre músicos y no músicos según su rendimiento cognitivo.....	28
5.2. Contribución diferencial de las variables cognitivas en la clasificación en el grupo de músicos.....	31
6. Discusión.....	33
7. Conclusiones.....	36
8. Referencias.....	38

Índice de tablas

Tabla 1. Características demográficas de la muestra.....	15
Tabla 2. Test neuropsicológicos utilizados y variables registradas.....	23
Tabla 3. Clasificación de la importancia del rendimiento cognitivo para músicos y no músicos.....	28

Índice de figuras

Figura 1. Importancia de la contribución de las variables de rendimiento cognitivo en la clasificación entre músicos y no músicos.....	30
Figura 2. Árbol de clasificación del Random Forest de variables cognitivas en función del grupo.....	32

Glosario de abreviaturas

AVDA y CE: actividades de la vida diaria y cognitivamente estimulantes

BADS Llaves: Subtest de Búsqueda de las Llaves

FCR: Figura Compleja de Rey

ICV: Índice de Comprensión Verbal

IMT: Índice de Memoria de Trabajo

IRP: Índice de Razonamiento Perceptivo

IVP: Índice de Velocidad de Procesamiento

JOLB: Juicio de orientación de líneas de Benton

MEQ: Musical Experience Questionnaire

RAVLT: Test de aprendizaje auditivo verbal de Rey

RF: Random Forest

WAIS-IV: Escala de inteligencia de Wechsler para adultos-IV

WCST-64: Test de Clasificación de Tarjetas de Wisconsin-64

1. Resumen

La música es un fenómeno complejo que implica una gran cantidad de funciones cognitivas. Varios estudios han puesto de manifiesto diferencias en el rendimiento cognitivo entre músicos y no músicos, destacando un mejor desempeño de los músicos en la mayoría de las funciones cognitivas, tales como la memoria verbal, la memoria de trabajo, la velocidad de procesamiento, la atención, las funciones ejecutivas, las habilidades motoras y las habilidades visoperceptivas y visoespaciales. A partir de una muestra compuesta por 50 músicos profesionales y 50 no músicos, a quienes se les administró una evaluación neuropsicológica amplia, se llevó a cabo un análisis multivariado utilizando un modelo de random forest de clasificación para determinar qué variables cognitivas presentaban una mayor importancia a la hora de diferenciar estos grupos. Los resultados mostraron que variables cognitivas relacionadas con las funciones visoperceptivas y visoconstructivas, funciones motoras, funciones ejecutivas y comprensión verbal tuvieron una mayor contribución al modelo. Además, se identificó un perfil de rendimiento cognitivo para el grupo de músicos que incluye los dominios de velocidad de procesamiento, atención, memoria de trabajo, razonamiento perceptivo, atención y habilidades motoras. Aunque se necesitan estudios futuros que confirmen estos hallazgos, estos pueden tener implicaciones clínicas y prácticas importantes, como el desarrollo de programas de entrenamiento musical como herramienta de rehabilitación para daño cerebral o como estimulación en enfermedades neurodegenerativas para retrasar la progresión del deterioro cognitivo.

Palabras claves: músicos, no músicos, rendimiento cognitivo, random forest, funciones cognitivas.

Abstract

Music is a complex phenomenon that involves a wide range of cognitive functions. Several studies have demonstrated differences in cognitive performance between musicians and non-musicians, highlighting better performance by musicians in most cognitive functions, such as verbal memory, working memory, processing speed, attention, executive functions, motor skills, and visoperceptive and visuospatial abilities. Based on a sample of 50 professional musicians and 50 non-musicians, who underwent a comprehensive neuropsychological evaluation, a multivariate analysis was conducted using a random forest classification model to determine which cognitive variables were most important in differentiating these groups. The results showed that cognitive variables related to visoperceptive and visuoconstructive functions, motor functions, executive functions, and verbal comprehension had a greater contribution to the model. Additionally, a cognitive performance profile for the musician group was identified, including domains such as processing speed, attention, working memory, perceptual reasoning, and motor skills. Although future studies are needed to confirm these findings, they may have significant clinical and practical implications, such as the development of music training programs as rehabilitation tools for brain injury or as stimulation in neurodegenerative diseases to delay the progression of cognitive decline.

Keywords: musicians, non-musicians, cognitive performance, random forest, cognitive functions.

2. Introducción

La música es un fenómeno complejo en el que están implicadas múltiples áreas del cerebro y conexiones neuronales. El entrenamiento musical se ha asociado principalmente con especializaciones neuroanatómicas y funcionales en regiones involucradas en la percepción, integración sensorial y sensoriomotoras y en el control de movimientos finos (Pantev y Herholz, 2011; Barrett et al., 2013; citado en Criscuolo et al., 2022).

Para llevar a cabo un procesamiento adecuado de los distintos elementos básicos que componen la estructura musical como pueden ser elementos de tipo “acústico” (melodía, tono, timbre, intervalo, contorno, intensidad, disonancia o armonía), y de tipo “rítmico” (duración, ritmo, compás o tempo), son necesarios múltiples recursos cognitivos. Este procesamiento de los componentes musicales supone una tarea sumamente exigente para el cerebro humano e implica varias regiones cerebrales, tanto corticales como subcorticales (Zatorre et al., 2007).

Entre las regiones corticales y subcorticales implicadas destacan las regiones temporales (Peretz et al., 2015; Criscuolo et al., 2022), las cortezas auditivas (primaria y secundaria), la ínsula, regiones frontales (premotoras, corteza motora primaria, circunvoluciones frontales inferior y medial), el tálamo, el cerebelo, los ganglios basales y áreas parietales relacionadas con la vía auditiva dorsal. También están involucradas la circunvolución supramarginal, la corteza somatosensorial, el putamen, el núcleo caudado (estriado) y la corteza cingulada anterior (Criscuolo et al., 2022). Más específicamente, la corteza premotora y el cerebelo mostraron un papel crucial en la planificación, preparación, ejecución y control de los movimientos secuenciales bimanuales de los dedos; la región parietal superior junto con la corteza premotora destacaron en la integración de información multisensorial y motora, además de participar en la lectura de partituras musicales (Gaser y Schlaug 2003); el área de Broca está involucrada en la salida expresiva de la música (Sluming et al., 2002) y el sistema límbico está implicado en los procesos emocionales derivados de la música. Por último, se evidenció la importancia del giro temporal superior para la elección de acciones específicas en respuesta a estímulos visuales durante la interpretación musical (Gaser y Schlaug 2003).

En lo que respecta al rendimiento cognitivo, se han encontrado diferencias significativas entre grupos de músicos y no músicos en varios dominios cognitivos. En general, los músicos destacan en las habilidades motoras y en las capacidades de

discriminación somatosensorial y de aprendizaje motor y sensorial (Rosenkranz et al., 2007). Además, la duración y la intensidad del entrenamiento musical está asociado con mejoras en la cognición general, resaltando la memoria de trabajo, la inteligencia general, las funciones ejecutivas y el control inhibitorio (Sachs et al., 2017; Schellenberg, 2004; Criscuolo et al., 2019 citado en Criscuolo et al., 2022).

Algunas investigaciones han encontrado que las personas que practican música muestran un mejor desempeño que los no músicos en memoria (George y Coch, 2011), destacando la memoria de trabajo, tanto verbal como visoespacial (Grassi et al., 2017), que se ve influida, a su vez, por el tiempo dedicado a la práctica musical (Nutley et al., 2014) y por la capacidad para mantener y procesar información simultáneamente (George y Coch 2011; Nutley et al., 2014; Strait et al., 2010; Ho et al., 2003 citado en Grassi et al., 2017). También en memoria verbal, principalmente, en la fase de codificación y de recuerdo tanto a corto como a largo plazo (George y Coch 2011; Ho et al., 2003 citado en Grassi et al., 2017; Cheung et al., 2017) y la capacidad de aprendizaje (Cheung et al., 2017). En las funciones ejecutivas (Seinfeld et al., 2013; Jaschke et al., 2018; Strait et al., 2010; Moreno et al., 2011) en las que se ha encontrado un mejor rendimiento por parte de los músicos en los componentes de atención (Strait et al., 2010; Seinfeld et al., 2013) y de control inhibitorio (Seinfeld et al., 2013; Jaschke et al., 2018; Criscuolo et al., 2019; George y Coch, 2011; Grassi et al., 2017) y, en menor medida, en el de flexibilidad cognitiva (Hanna-Plady y Mackay, 2011) y planificación (Jaschke et al., 2018). En la velocidad de procesamiento (Seinfeld et al., 2013; Nutley et al., 2014; Strait et al., 2010); en el razonamiento no verbal (Forgeard et al., 2008) y en el razonamiento matemático (Nutley et al., 2014). En cuanto al razonamiento perceptivo y las funciones visoespaciales y visoconstructivas, la mayoría de los estudios evidencian un mejor rendimiento de los músicos (Strait et al., 2010; Grassi et al., 2017), aunque un estudio mostró peores resultados para los músicos en habilidades visoespaciales (Forgeard et al., 2008). Las funciones motoras también han sido estudiadas (Seinfeld et al., 2013), mostrando un rendimiento superior a favor de los músicos y destacando las habilidades motoras finas en ambas manos (Forgeard et al., 2008).

Con respecto a la memoria visual, tanto a corto como a largo plazo no se han encontrado diferencias entre los músicos y los no músicos (Cheung et al., 2017). Tampoco se han encontrado diferencias en la comprensión verbal (Nutley et al., 2014), sin embargo, sí se ha encontrado un mayor vocabulario en los músicos (Forgeard et al., 2008; Moreno et al., 2011).

Por lo tanto, en las investigaciones en las que se han estudiado las diferencias en el rendimiento cognitivo entre músicos y no músicos, los resultados han ido a favor de los músicos en la mayor parte de los dominios cognitivos (Cheung et al., 2017; Criscuolo et al., 2019; Forgeard et al., 2008; George y Coch, 2011; Grassi et al., 2017; Hanna-Plady y Mackay, 2011; Ho et al., 2003; Jaschke et al., 2018; Moreno et al., 2011; Nutley et al., 2014; Seinfeld et al., 2013; Strait et al., 2010).

En este contexto, en el que la mayoría de los trabajos citados han utilizando una metodología univariada para abordar el tema de estudio, el presente trabajo pretende llevar a cabo un análisis multivariado de los datos mediante un modelo de random forest de clasificación, para distinguir entre músicos y no músicos según su rendimiento cognitivo y así conocer qué variables cognitivas son más importantes a la hora de diferenciar a ambos grupos y poder establecer un perfil de rendimiento cognitivo asociado a los músicos.

3. Formulación del problema

3.1. Formulación del problema y justificación

El procesamiento de los atributos musicales se convierte en una tarea tremendamente exigente para el cerebro humano, implicando un mayor desarrollo de algunas funciones cognitivas en personas músicos frente a los no músicos.

Si bien existen estudios que han abordado las diferencias en cuanto al rendimiento cognitivo entre los músicos y los no músicos, la mayoría de estos estudios utilizaron un acercamiento univariado (Jaschke et al., 2018; Seinfeld et al., 2013; Cheung et al., 2017; Grassi et al., 2017; Forgeard et al., 2008). Además, muchas de estas investigaciones se centraron en población infantil y adolescente (Forgeard et al., 2008; Cheung et al. 2017; Jaschke et al., 2018; Nutley et al., 2014) y utilizaron principalmente el piano como instrumento de estudio (Seinfeld et al., 2013; Cheung et al. 2017). Por lo tanto, es necesario realizar más estudios en población adulta que incluyan una variedad de instrumentos, como los de cuerda frotada y viento.

Además, un estudio realizado por Pérez (2020) en el que se investigaron las diferencias en el rendimiento cognitivo entre músicos y no músicos a través de estadística univariada, se encontraron resultados a favor de los músicos en todas las variables utilizadas para medir la comprensión verbal, las habilidades motoras, la atención, la memoria de trabajo, el razonamiento perceptivo y las habilidades visoespaciales y visoconstructiva. En cuanto a las funciones ejecutivas, se encontraron diferencias significativas a favor de los músicos en dos de las cuatro pruebas utilizadas para medir este dominio cognitivo. En lo que respecta al aprendizaje y la memoria, los músicos mostraron un mayor rendimiento tanto en memoria verbal como en memoria visual a excepción de la memoria verbal inmediata. Por último, en la velocidad de procesamiento, aunque los músicos obtuvieron mejores puntuaciones, no se alcanzó la significación estadística.

Partiendo de la muestra de este estudio (Pérez, 2020), nos planteamos realizar un acercamiento multivariado que permitiese abarcar la totalidad de la varianza del rendimiento cognitivo incluyendo todas las variables en un mismo modelo estadístico. Además, la muestra estaba formada por adultos, instrumentistas de cuerda y de viento.

De esta forma, se pretende obtener un perfil cognitivo propio de los músicos. Además, se determinaría la contribución diferencial de las variables de rendimiento cognitivo tanto al grupo de los músicos como de los no músicos. Asimismo, sería uno de los primeros estudios en abordar esta temática desde una perspectiva multivariada, mediante un análisis Random Forest.

3.2. Objetivo general

El objetivo general del presente trabajo es llevar a cabo un análisis multivariado mediante un modelo de random forest de clasificación para distinguir entre músicos y no músicos según su rendimiento cognitivo. Esto nos permitirá conocer qué variables cognitivas son más importantes a la hora de diferenciar a ambos grupos y determinar un perfil de rendimiento cognitivo de los músicos.

3.3. Objetivos específicos

1. Estudiar, mediante un modelo de Random Forest de clasificación, la contribución de las variables cognitivas a la diferenciación entre los grupos de músicos y no músicos.
2. Estudiar la contribución diferencial de las variables cognitivas en la clasificación en el grupo de músicos.
3. Identificar un perfil de rendimiento cognitivo para el grupo de músicos.

3.4. Hipótesis

En relación con los objetivos planteados, se han formulado las siguientes hipótesis:

1. Las variables cognitivas presentan una contribución significativa en la diferenciación entre músicos y no músicos, con ciertas variables relacionadas con los dominios de la memoria de trabajo, la atención y las funciones ejecutivas mostrando mayor importancia en la clasificación.
2. Dentro del grupo de músicos, las variables cognitivas relacionadas con la velocidad de procesamiento, la memoria de trabajo y las habilidades motoras contribuyen de manera diferencial a la clasificación, destacándose por su alta importancia en comparación con otras variables cognitivas.

3. Los músicos presentan un perfil de rendimiento cognitivo caracterizado por la velocidad de procesamiento, la memoria de trabajo, las habilidades motoras y la atención.

4. Método

4.1. Participantes

La muestra de participantes de esta investigación se seleccionó de la base de datos denominada "Rendimiento neuropsicológico en Músicos profesionales", la cual pertenece al Dr. Eduardo Picón Prado, Profesor del Departamento de Psicología Social, Básica y Metodología de la Universidad de Santiago de Compostela. El uso compartido de estos datos fue autorizado mediante acuerdo de intercambio firmado el 12 de diciembre de 2023, permitiendo al grupo de investigación GENIC (Grupo de Estudios Neuropsicológicos de las Islas Canarias) su explotación.

Se utilizó una muestra de 100 participantes que fueron asignados a dos grupos: (1) 50 músicos profesionales, al que llamaremos “músicos”; (2) 50 participantes no músicos, al que llamaremos “no músicos”.

Para seleccionar a los participantes se siguieron una serie criterios de inclusión generales, sociodemográficos, educativos y clínicos. En cuanto a la edad, se seleccionó un rango que posibilita una amplia experiencia musical para el caso del grupo de músicos y, además, que asegurase una completa maduración del sistema nervioso central en toda la muestra. Se incluyeron participantes con nacionalidad distinta a la española debido a la presencia de este tipo de músicos en las dos orquestas muestreadas. Para garantizar un conocimiento de la cultura y de la lengua española suficiente para ejecución de estos participantes en el protocolo de evaluación neurocognitiva, se estableció como criterio un mínimo de 5 años de residencia en España y el dominio del castellano como segundo idioma. Se exigió al total de participantes, tanto músicos como no músicos, estar en posesión de una titulación superior, titulación superior de enseñanzas artísticas en el caso de los músicos, y licenciaturas universitarias o titulaciones de grado en el caso de los no músicos.

Por último, en cuanto a los criterios de carácter clínico, se corrobora que la muestra está compuesta por participantes sanos, sin patología de interés neuropsicológico ni antecedentes de abuso de sustancias o tratamientos médicos que puedan interferir en el rendimiento cognitivo.

4.1.1. Músicos

Los 50 participantes de este grupo pertenecen a cuatro agrupaciones profesionales, dos orquestas y dos bandas, de la Comunidad Autónoma de Galicia.

Estas formaciones musicales son las únicas que disponen de un sistema de acceso reglado y cuentan con una programación activa de conciertos anuales, garantizando así una implicación continua e intensiva en el entrenamiento musical. Además de la posesión de un título superior de música y el entrenamiento musical requerido para los conciertos anuales, se han establecido otros criterios de inclusión específicos para garantizar una muestra de participantes más igualitaria con respecto a estas características.

Dentro de las características sociodemográficas, en relación con el sexo, se han igualado las cifras de hombres y mujeres. Con respecto a la nacionalidad, el grupo está compuesto por un 50% de músicos españoles y otro 50 % por músicos extranjeros.

En cuanto a la categoría instrumental, se incluyen músicos que tocan instrumentos de cuerda y de viento, ambos en la misma proporción. Se distribuyen en 11 especialidades: violín, viola, violoncello y contrabajo pertenecientes a la familia de cuerda y clarinete, fagot, flauta travesera, oboe, trompa, trompeta y tuba dentro de la familia de viento.

Además, se recogió información sobre las variables respectivas a la edad, la lateralidad de los participantes y la participación en actividades de la vida diaria avanzadas y cognitivamente estimulantes (AVDAyCE), como medida de reserva cognitiva. La variable AVDAyCE mostró diferencias estadísticamente significativas entre los grupos de músicos y no músicos ($U= 948$; $p=0,034$). No obstante, la puntuación media pone de manifiesto que la diferencia entre los dos grupos es inferior a un punto (Tabla 1).

4.1.2. No músicos

Los 50 participantes de este grupo fueron seleccionados de centros oficiales de idiomas, instituciones educativas y algunas asociaciones culturales y vecinales de la Comunidad autónoma de Galicia. Comparten las características sociodemográficas del grupo de músicos, además, carecen de formación musical, aparte de la recibida en la educación general obligatoria, y no tocan ningún instrumento.

Tabla 1*Características demográficas de la muestra*

	Media (DT) o %		U / χ^2	p
	Músicos	No músicos		
Edad	41,04 (5,945)	41,60 (6,318)	1163	0,550
Sexo (% de mujeres)	50	50	0,00	1,000
Lateralidad (% de diestros)	96	94	0,211	0,646
AVDAyCE	10,08 (1,426)	10,70 (1,515)	948	0,034

Nota. AVDAyCE: actividades de la vida diaria avanzadas y cognitivamente estimulantes

4.2. Material

Se realizaron dos evaluaciones, una evaluación previa en la que se recogió la información sociodemográfica y clínica, así como la relativa a la historia musical en el grupo de músicos y, posteriormente, una evaluación neuropsicológica.

4.2.1. Evaluación previa

Para esta valoración inicial se utilizó:

a) *Cuestionario sobre datos sociodemográficos y clínicos* elaborado para un trabajo previo (Pérez, 2020), con el fin de verificar que los participantes cumplieran con los criterios de inclusión descritos y conocer, además, las características de la muestra. Se trataba de un autoinforme que permitió recoger información sobre las características sociodemográficas (sexo, edad, país de origen, años de residencia en España, dominio de idiomas, nivel educativo, etc.) y datos clínicos como variables médicas, neurológicas psiquiátricas y hábitos de consumo de sustancias que puedan interferir en el rendimiento de las tareas aplicadas.

b) *Adaptación del Cuestionario “Musical Experience Questionnaire”* (MEQ) elaborado por el laboratorio de Bailey & Penhune (2010). Este cuestionario sólo fue aplicado al grupo de músicos y se utilizó para registrar, mediante autoinforme, la historia musical obteniendo información sobre los años de experiencia profesional, tiempo de estudio grupal e individual, interrupciones del entrenamiento musical, categoría instrumental y edad de inicio del entrenamiento musical.

Además, se realizó una valoración para la lateralidad manual de cada participante y su participación en actividades de la vida diaria y cognitivamente estimulantes.

c) *Inventario de Lateralidad de Edimburgo* (Oldfield, 1971). Utilizado para evaluar la dominancia manual de los participantes. Consiste en un autoinforme de diez preguntas que establece el grado de preferencia del uso de la mano derecha o izquierda en un rango del 1 al 5 (derecha muy preferentemente, derecha preferente, mano indiferente, izquierda preferente, izquierda muy preferente, respectivamente) para escribir, dibujar, lanzar un objeto, usar la tijera, cuchillo, cuchara, escoba, cepillarse los dientes, etc.

d) *Adaptación del Cuestionario de Scarmeas et al. (2003)* con el fin de valorar la participación en actividades de la vida diaria y actividades cognitivamente estimulantes. Se trata de un cuestionario autoaplicado en el que el participante responde en función de la frecuencia con la que ha realizado una serie de actividades en los últimos seis meses. La frecuencia se registra en una escala tipo Likert de tres puntos en la que se considera “nunca” (1 punto), “a veces” (2 puntos) y “a menudo” (3 puntos). Las actividades consideradas en el cuestionario son la lectura, juegos de mesa, asistencia a distintas actividades culturales, o la realización de actividades físicas, sociales, productivas y/o recreativas.

4.2.2. Evaluación neuropsicológica

Para la evaluación neuropsicológica de los participantes se ha utilizado la Escala de inteligencia de Wechsler para adultos-IV (WAIS-IV) (Wechsler, 2012) y algunos test específicos de función como el Test de los Cubos de Corsi (Corsi, 1973), Test del Trazo, parte A y B (Reitan, 1958), Test de Aprendizaje Auditivo Verbal de Rey (RAVLT) (Rey, 1964), Reproducción de memoria de la Figura Compleja de Rey (FCR Memoria) (Rey, 2009), Copia de la Figura compleja de Rey (FCR Copia) (Rey, 2009), Juicio de orientación de líneas de Benton (JOLB) (Benton et al., 1978), Tablero de Clavijas de Purdue (Matthews & Klove, 1964), Test del Golpeteo (Halstead, 1947), Test de Clasificación de Tarjetas de Wisconsin-64 (WCST-64) (Heaton et al., 2001), Subtest de Búsqueda de las Llaves (BADs Llaves) (B. A. Wilson et al., 1997) y Test Stroop de Colores y Palabras (Golden, 1978).

A continuación, se describe cada prueba en función del dominio evaluado:

Atención y memoria de trabajo.

- *Subtest de Aritmética (WAIS-IV)* (Wechsler, 2012). Consiste en resolver mentalmente problemas aritméticos en un periodo de tiempo determinado. Permite evaluar memoria de trabajo, la habilidad para utilizar conceptos numéricos abstractos, operaciones numéricas y la capacidad de atención y concentración.

- *Test del Trazo, parte A* (Reitan, 1958). Consiste en unir consecutivamente con un trazo de lápiz una serie de círculos numerados. Permite evaluar atención, rapidez perceptivo-motora, velocidad de procesamiento y exploración visomotora.

- *Test de los Cubos de Corsi* (Corsi, 1973). Se presentan una serie de cubos distribuidos en un tablero que el entrevistador va señalando en un orden determinado y la persona tiene que repetir la secuencia señalada por el entrevistador tanto en orden directo como inverso. Además, se añade una puntuación, resultado de la suma de las dos anteriores. Esta prueba permite evaluar atención, memoria de trabajo, memoria visual a corto plazo, coordinación visomotora y capacidad de aprendizaje.

- *Subtest de Dígitos (WAIS-IV)* (Wechsler, 2012). El test está compuesto por tres tareas, dígitos directos, dígitos inversos y dígitos en orden creciente. En el subapartado de dígitos directos la persona repite los dígitos en el mismo orden en que se le presentan oralmente. Permite evaluar memoria, atención y aprendizaje mecánico. En el subapartado de dígitos inversos se pide a los participantes que repitan en orden inverso los dígitos presentados. Permite evaluar memoria de trabajo, atención y manipulación de las representaciones mentales. En el subapartado de dígitos en orden creciente, la persona tiene que repetir los dígitos presentados ordenándolos de menor a mayor. Permite evaluar atención, memoria de trabajo y control mental. Por último, se añade una puntuación total como resultado del sumatorio de las anteriores. Además, al pasar de una tarea a otra se requiere flexibilidad cognitiva y agilidad mental.

Velocidad de procesamiento de la información.

- *Subtest de Búsqueda de Símbolos (WAIS-IV)* (Wechsler, 2012). Se presentan dos listados de símbolos, unos claves y otros de búsqueda. La persona debe contrastar si algunos de los símbolos clave se encuentran entre los símbolos de búsqueda contestando al mayor número de filas posibles en un tiempo determinado. Permite evaluar velocidad de procesamiento, memoria visual a corto plazo, coordinación y velocidad visomotora, flexibilidad cognitiva y atención.

- *Subtest de Clave de Números (WAIS-IV)* (Wechsler, 2012). En esta tarea, la persona debe copiar debajo de los números unos símbolos que aparecen emparejados a cada uno de estos en un periodo de tiempo determinado, intentando completar el máximo de ítems posibles. Permite evaluar velocidad psicomotora, coordinación visomotora, memoria visual a corto plazo, capacidad de aprendizaje, percepción visual, atención y flexibilidad cognitiva.

Memoria y aprendizaje.

- *Test de Aprendizaje Auditivo verbal de Rey (RAVLT)* (Rey, 1964). En esta prueba, se le presenta a los participantes una lista de 15 palabras (lista A) y se les pide que las repita inmediatamente después. Este proceso se repite cinco veces. Después de esto, se les presenta otra lista de palabras (lista B), que actuará de interferencia, se les pedirá que las repita y, seguidamente, se vuelve a pedir el recuerdo de la lista A. Finalmente, pasados veinte minutos, se vuelve a pedir a los participantes que recuerden la lista A. Permite establecer una curva de aprendizaje y evaluar la memoria verbal inmediata y la capacidad de recuerdo después de una interferencia.

- *Reproducción de memoria de la Figura Compleja de Rey (FCR Memoria)* (Rey, 2009). Se presenta una figura compleja sin significado a los participantes y se les pide que hagan una copia tanto en el momento de la presentación como tres minutos después teniendo en cuenta la exactitud de la reproducción y el tiempo empleado. Permite evaluar memoria visual, atención, capacidad constructiva y visoespacial, organización perceptiva y funciones grafomotoras.

Comprensión verbal.

- *Subtest de Vocabulario (WAIS-IV)* (Wechsler, 2012). En esta tarea, se pide a los participantes que definan una serie de palabras presentadas oralmente en orden de dificultad creciente. Permite evaluar el léxico y la formación de conceptos verbales. Además, muestra el nivel educativo y la riqueza verbal y semántica del participante.

- *Subtest de Información (WAIS-IV)* (Wechsler, 2012). En este test, la persona debe responder a unas preguntas que evalúan la cantidad de información que el participante ha tomado de su ambiente, tanto de la educación formal e informal. Permite evaluar la capacidad para adquirir, almacenar y recuperar conocimientos referidos a hechos generales.

- *Subtest de Semejanzas (WAIS-IV)* (Wechsler, 2012). En esta tarea, la persona debe encontrar las semejanzas entre dos conceptos o dos palabras que hacen referencia a conceptos comunes. Permite evaluar la capacidad para expresar las relaciones entre dos conceptos, el razonamiento verbal y la formación de conceptos.

Razonamiento perceptivo y habilidades visoespaciales y visoconstructivas.

- *Subtest de Matrices (WAIS-IV)* (Wechsler, 2012). Consiste en elegir, entre varias opciones, el dibujo que completa una matriz que está incompleta. Permite evaluar aptitud espacial, organización perceptiva, inteligencia visual general y capacidad para procesar información visual.
- *Subtest de Puzles Visuales (WAIS-IV)* (Wechsler, 2012). Esta tarea implica elegir las tres piezas que forman un puzle que se presenta completo. Permite evaluar el razonamiento no verbal, establecer relaciones entre partes y la capacidad para analizar y sintetizar estímulos visuales abstractos.
- *Subtest de Cubos (WAIS-IV)* (Wechsler, 2012). Este test consiste en plasmar, a partir de unos cubos de color rojo y blanco, unos dibujos de dificultad creciente. Permite evaluar la capacidad de análisis y síntesis de estímulos visuales abstractos, razonamiento y formación de conceptos no verbales, percepción y organización visual, coordinación visomotora e inteligencia visoespacial general.
- *Copia de la Figura compleja de Rey (FCR Copia)* (Rey, 2009). En esta prueba, se presenta una figura compleja sin significado y se pide a los participantes que la copien. Se registrará el tiempo empleado. Permite evaluar la capacidad constructiva visoespacial y valorar las estrategias de resolución de problemas y la capacidad de organización y planificación.
- *Juicio de orientación de líneas de Benton (JOLB)* (Benton et al., 1978). En esta tarea se pide a los participantes que realicen un emparejamiento, de entre un conjunto de once líneas, las dos que coinciden con las expuestas como estímulos. Permite evaluar la capacidad de orientación y percepción visoespacial.

Habilidades motoras.

- *Test del Golpeteo* (Halstead, 1947). En este test, los participantes deben golpear, con su dedo índice, un pulsador a la mayor velocidad posible durante diez segundos. Dicho pulsador está conectado a un contador que nos indicará el número de presiones dadas en cinco ensayos, obteniéndose una puntuación para cada mano. Permite evaluar velocidad y control psicomotor.

- *Tablero de Clavijas de Purdue* (Matthews & Klove, 1964). Esta prueba consiste en que los participantes coloquen el mayor número de clavijas posibles dentro de los agujeros dispuestos en dos columnas de un tablero durante un tiempo limitado. Primero, realizarán este proceso con la mano dominante, luego con la mano no dominante, seguidamente lo harán con las dos manos simultáneamente y, por último, tendrán que realizar un montaje. Además de estas puntuaciones, se obtendrá otra como resultado del sumatorio de las puntuaciones obtenidas en las tres primeras fases (mano dominante, mano no dominante y ambas manos simultáneamente). Permite evaluar la destreza manual (rapidez y precisión) y coordinación psicomotora y visoespacial en actividades que implican movimientos amplios de las manos, dedos y brazos.

Funciones ejecutivas.

- *Test de Clasificación de Tarjetas de Wisconsin-64 (WCST-64)* (Heaton et al., 2001). Este test está compuesto por cuatro tarjetas estímulo y 64 tarjetas respuesta que contienen figuras que varían en color, forma y número. Los participantes deben emparejar todas las tarjetas respuesta con las tarjetas estímulo, deduciendo los criterios de realización de dichos emparejamientos del feedback aportado por el entrevistador. De esta prueba se pueden obtener 11 puntuaciones diferentes relativas al (total de correctas, número total de errores, respuestas perseverativas, errores perseverativos, errores no perseverativos, respuestas de nivel conceptual número de categorías completadas, intentos para completar la primera categoría, número de fallos para mantener la categoría y aprender a aprender. Permite evaluar la formación de conceptos, la flexibilidad cognitiva, el razonamiento abstracto y la capacidad para adaptarse a las contingencias externas. Además, requiere de habilidad para desarrollar y mantener una estrategia adecuada para resolver un problema, mientras cambian las condiciones estímulares.

- *Subtest de Búsqueda de las Llaves (BADSLlaves)* (B. A. Wilson et al., 1997). En este test, se presenta a los participantes un cuadrado dibujado en una hoja de papel y se les pide que imaginen que es un campo amplio en el que han perdido las llaves. A continuación, deben dibujar el recorrido que seguirían para buscar las llaves partiendo de un punto determinado. Permite evaluar la capacidad de planificación de un curso de acción en una tarea análoga a una actividad de la vida real, informando de la eficiencia de la búsqueda.

- *Test del Trazo, parte B* (Reitan, 1958). En esta tarea, los participantes deben unir una serie de círculos de los que algunos contienen números y otros, letras, alternando en dicha unión números en orden ascendente y letras en orden alfabético. Permite evaluar flexibilidad mental, rapidez perceptivo-motora, habilidades de rastreo visual y exploración visomotora, control inhibitorio, atención y velocidad de procesamiento de la información.
- *Test Stroop de Colores y Palabras* (Golden, 1978). Esta prueba está compuesta por tres láminas que los participantes deben leer en un límite de tiempo. En la primera lámina, han de leer las palabras rojo, verde y azul escritas en tinta negra y colocadas aleatoriamente en columnas. En la segunda lámina, han de nombrar el color de la tinta de unos símbolos “xxx”. En la última lámina, aparecen las palabras rojo, verde y azul escritas con tintas de estos colores y el participante ha de nombrar el color de la tinta de la palabra escrita. Se obtendrán tres puntuaciones en base al número de elementos leídos en el periodo de tiempo establecido y se calculará una cuarta puntuación de interferencia. Permite evaluar flexibilidad cognitiva, control inhibitorio, fluidez verbal y velocidad de procesamiento.

Capacidades cognitivas específicas y capacidad intelectual general.

Para valorar las capacidades cognitivas específicas y la capacidad intelectual general se han utilizado las puntuaciones compuestas obtenidas de los índices de Comprensión verbal (ICV), Razonamiento perceptivo (IRP), Memoria de trabajo (IMT) y Velocidad de procesamiento (IVP) de la WAIS-IV (Wechsler, 2012) y la puntuación del CI total, resultado de las puntuaciones de la escala total obtenida a partir de la puntuación de los cuatro índices indicados anteriormente.

Tabla 2*Test neuropsicológicos utilizados y variables registradas*

Test	Variable registrada
Cuestionario de <i>Scarmeas et al.</i> (2003)	AVDAyCE_Total
WAIS-IV: Subtest de dígitos	Puntuación directa en orden directo
	Puntuación directa en orden inverso
	Puntuación directa en orden creciente
	Puntuación directa total
WAIS-IV: Subtest de Aritmética	Puntuación directa
WAIS-IV: Subtest de Búsqueda de símbolos	Puntuación directa
WAIS-IV: Subtest de Clave de números	Puntuación directa
WAIS-IV: Subtest de Vocabulario	Puntuación directa
WAIS-IV: Subtest de Información	Puntuación directa
WAIS-IV: Subtest de Semejanzas	Puntuación directa
WAIS-IV: Subtest de Matrices	Puntuación directa
WAIS-IV: Subtest de Puzzles visuales	Puntuación directa
WAIS-IV: Subtest de Cubos	Puntuación directa
WAIS-IV: Índice de Comprensión Verbal	Puntuación compuesta
WAIS-IV: Índice de Razonamiento Perceptivo	Puntuación compuesta
WAIS-IV: Índice de Memoria de Trabajo	Puntuación compuesta

WAIS-IV: Índice de Velocidad de Procesamiento	Puntuación compuesta
WAIS-IV: Capacidad Intelectual General	Puntuación compuesta
Test de los Cubos de Corsi	Puntuación directa en orden directo
	Puntuación directa en orden inverso
	Puntuación directa en total
Test del trazo	Parte A: Tiempo en segundos
	Parte B: Tiempo en segundos
Test de Aprendizaje Auditivo Verbal de Rey	Puntuación memoria inmediata
	Puntuación aprendizaje
	Puntuación recuerdo demorado
Figura compleja de Rey	Memoria: tiempo en segundos
	Memoria: reproducción puntuación directa
	Copia: tiempo en segundos
	Copia: puntuación directa
	Copia: tipo de estrategia en la copia
Juicio de orientación de Líneas de Benton	Puntuación directa
Tablero de Clavijas de Purdue	Puntuación mano dominante
	Puntuación mano no dominante
	Puntuación ambas manos
	Puntuación montaje
	Puntuación total

Test del Golpeteo	Puntuación mano dominante
	Puntuación mano no dominante
Test de Clasificación de Tarjetas de Wisconsin-64 (WCST-64)	Puntuación categorías completas
	Número de errores
	Intentos para completar la primera categoría
	Puntuación aprender a aprender
Batería de evaluación conductual del Síndrome disejecutivo (BADS)	Búsqueda de llaves: tiempo en segundos
	Búsqueda de llaves: puntuación directa
Test Stroop de colores y palabras	Puntuación directa lámina 1
	Puntuación directa lámina 2
	Puntuación directa lámina 3
	Puntuación de interferencia

Nota. WAIS-IV: Escala de inteligencia de Wechsler para adultos-IV

4.3. Procedimiento

Los datos que se van a analizar en este trabajo han sido recogidos, anteriormente, por otras personas. A continuación, se describe el procedimiento de recogida de dichos datos.

El procedimiento se desarrolló en cuatro fases. En un primer momento se reclutó y evaluó al grupo de músicos y, posteriormente, al grupo de no músicos siguiendo el mismo proceso para ambos.

En cuanto al grupo de músicos, en primer lugar, se les informó acerca de los detalles de la investigación, el tratamiento confidencial y anónimo de los datos y su naturaleza voluntaria. Los miembros que decidieron participar dieron su consentimiento informado. En segundo lugar, se les envió por vía electrónica el Cuestionario sobre datos sociodemográficos

y clínicos y la adaptación del Cuestionario MEQ diseñados para esta investigación. Una vez recogidos estos datos, se procedió a la selección de los participantes después de aplicar los criterios de inclusión generales y los específicos para los músicos y, teniendo en cuenta, las variables de sexo, nacionalidad y categoría instrumental para tener una muestra con una representación equilibrada. Posteriormente, se citó a los participantes individualmente para llevar a cabo la evaluación neuropsicológica considerando que las condiciones ambientales fueran iguales para todos (aulas con similares características de tamaño, mobiliario, ventilación, acústica y luminosidad en cada uno de los centros de trabajo de los participantes). La estructura de la evaluación constó de dos sesiones de aproximadamente 45 minutos de duración cada una en las que, además de la administración de las distintas pruebas, se explicó el propósito y naturaleza del examen, la utilización que se dará a la información recabada, se garantizó la confidencialidad, y también se les ofreció una breve explicación de las tareas a realizar. Los test fueron aplicados en el orden expuesto en sus respectivos manuales y se siguieron las instrucciones recogidas en los mismos.

En cuanto al grupo de no músicos, se siguió un proceso homólogo al de los músicos. El reclutamiento de este segundo grupo se realizó atendiendo a los criterios de inclusión generales y a la distribución sociodemográfica de los mismos, para igualarlos a los del grupo de músicos.

4.4. Análisis de datos

En primer lugar, se realizaron los análisis de normalidad de las variables demográficas de la muestra mediante la prueba *kruskal-Wallis*. Se hallaron los descriptivos de dichas variables y se realizaron pruebas de contraste, utilizando la prueba *U* de Mann-Whitney para las variables cuantitativas que no siguieron una distribución normal y la prueba *chi-cuadrado* para las variables cualitativas. En segundo lugar, se realizó un análisis multivariado *Random Forest* (RF) de clasificación en el que se incluyó como variable de clasificación los grupos de músicos y no músicos y, como predictores, todas las variables de los diferentes dominios cognitivos evaluados y la puntuación total obtenida en el Cuestionario de Scarmeas et al. (2003) modificado (Tabla 2). El objetivo de este análisis fue estudiar qué variables resultaban más importantes a la hora de diferenciar el rendimiento cognitivo entre músicos y no músicos. El *Random Forest* (RF) de clasificación es un método de aprendizaje automático que emplea la agregación *bootstrap* de múltiples árboles de decisión. En este método, se determina un valor de importancia condicional basado en estos árboles. Este valor de

importancia se refleja en la disminución media en la precisión de la clasificación (Mean Decrease in Gini, MDGini). Los valores de importancia que son iguales o menores a 0 no aportan al modelo. Para cada RF se generan 1000 árboles de inferencia condicional. Se calcula la tasa media de error (Out-Of-Bag, OOB) para evaluar la calidad del modelo, y la disminución media en la capacidad de clasificación (Gini) para evaluar la importancia de cada variable. El análisis de RF se realizó utilizando el paquete estadístico R (Core Team, 2022), mientras que los demás análisis estadísticos se llevaron a cabo con el programa jamovi (The jamovi project, 2023).

5. Resultados

5.1. Random forest de clasificación entre músicos y no músicos según su rendimiento cognitivo.

El análisis de RF de clasificación arrojó una tasa estimada de error (OOB) del 16%. En la tabla 3, se muestran los resultados. Se puede observar que, de las 49 variables de rendimiento cognitivo incluidas (tabla 2), 33 resultaron significativas en la clasificación entre músicos y no músicos. Las variables que resultaron más importantes en la clasificación fueron: la copia de la Figura Compleja de Rey (FRC_Copia: MDGini=5,243); el Golpeteo con la mano no dominante (Golpeteo_NoDom: MDGini=3,226); subtest de semejanzas del WAIS-IV (WAIS_Semejanzas: MDGini=3,556) (Tabla 3 y Figura 1). Hubo otras variables cognitivas que también contribuyeron a diferenciar entre los grupos pero debido a la poca relevancia que mostraron en la predicción del modelo, no se incluyeron en el texto (Tabla 3 y Figura 1).

Tabla 3

Clasificación de la importancia del rendimiento cognitivo para músicos y no músicos

	Músicos	No músicos	Mean Decrease Accuracy	Proportion importance	Mean Decrease Gini
FRC_Copia	0.0408	0.0311	0.0352	40.573862	5.2428
Golpeteo_NoDom	0.0263	0.0135	0.0196	31.496467	3.2260
WAIS_Semejanzas	0.0194	0.0192	0.0190	29.692800	3.5563
Stroop_3	0.0197	0.0146	0.0168	26.872338	3.4344
WAIS_ICV	0.0147	0.0179	0.0162	25.845600	2.9458
Clavijas_Total	0.0163	0.0106	0.0133	23.848346	2.8153

Stroop_1	0.0118	0.0076	0.0096	18.939479	2.3511
CORSI_Directo	0.0105	0.0070	0.0086	18.893777	1.8030
WAIS_CIT	0.0062	0.0112	0.0084	18.213488	1.7063
Stroop_Interferencia	0.0085	0.0052	0.0067	17.065907	1.7145
Clavijas_NoDom	0.0087	0.0054	0.0069	16.537258	1.5970
WAIS_DigitosI	0.0045	0.0074	0.0058	16.210588	1.1940
CORSI_Total	0.0082	0.0044	0.0062	15.979450	1.5241
Golpeteo_Dominante	0.0061	0.0065	0.0062	15.893161	1.5917
WAIS_DigitosTotal	0.0068	0.0060	0.0063	15.588085	1.2495
WAIS_DigitosD	0.0042	0.0046	0.0043	13.141559	0.9271
RAVLT_Demorado	0.0071	0.0014	0.0041	12.731461	1.0256
Clavijas_Montaje	0.0084	0.0011	0.0046	11.441635	1.5408
WAIS_Matrices	0.0050	0.0012	0.0030	10.863676	0.7495
Stroop_2	0.0031	0.0032	0.0031	9.957653	0.9017
WAIS_IMT	0.0047	0.0018	0.0032	9.920906	0.9544
Clavijas_ambasmanos	0.0004	0.0044	0.0024	7.952782	0.7754

WAIS_Vocabulario	0.0024	0.0020	0.0022	7.652305	0.8961
WAIS_Claves	0.0034	-0.0004	0.0014	5.353701	0.7267
Clavijas_Dominante	0.0028	-0.0004	0.0012	5.089371	0.6332
FCR_Memoria	-0.0002	0.0023	0.0010	3.942208	0.8057
RAVLT_Aprendizaje	0.0016	0.0001	0.0008	3.673356	0.6442
WAIS_IRP	0.0011	0.0002	0.0006	2.736452	0.5685
WAIS_IVP	0.0014	-0.0005	0.0005	2.591617	0.4243
WAIS_Información	-0.0004	0.0016	0.0006	2.471472	0.7063
BADS_Puntuación	0.0004	0.0006	0.0005	2.411980	0.5492
AVDAyCE_Total	0.0001	0.0004	0.0002	1.660685	0.1683
WAIS_Aritmetica	0.0007	-0.0001	0.0003	1.459589	0.5446

Clasificación de importancia de las pruebas neuropsicológicas para músicos y no

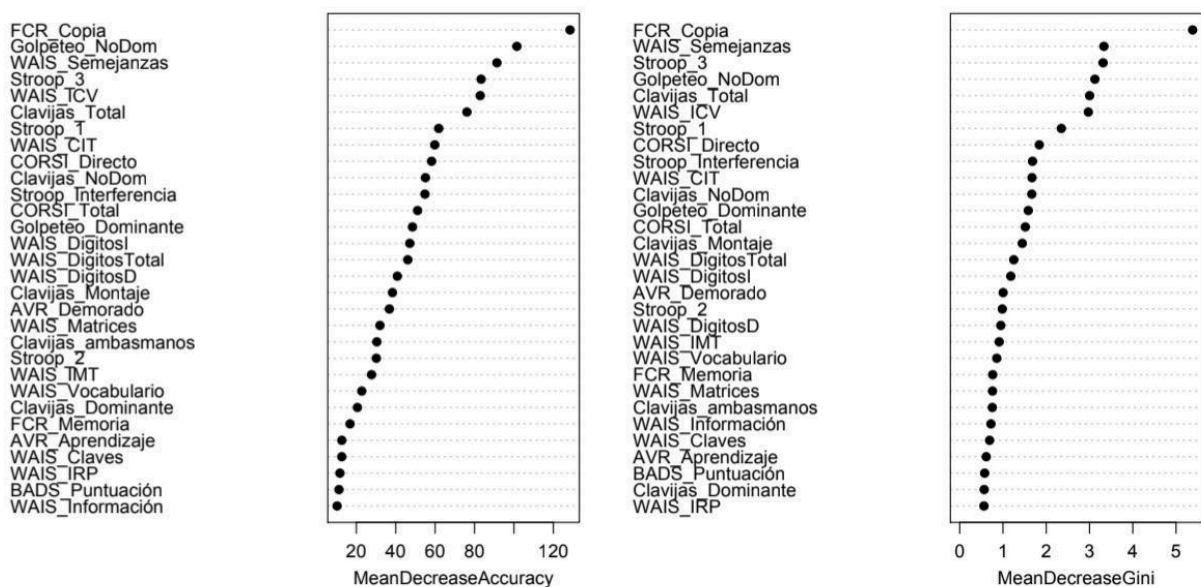
músicos Nota. FCR: figura compleja de rey. Golpeteo_NoDom: golpeteo mano no dominante. WAIS: escala de inteligencia de Wechsler para adultos. WAIS_ICV: índice de comprensión verbal del WAIS. WAIS_CIT: índice de capacidad intelectual general del WAIS. Clavijas_NoDom: prueba clavijas con mano no dominante. WAIS_DigitosD: subtest dígitos en orden directo del WAIS. RAVLT: test auditivo verbal de Rey. WAIS_IMT: índice de memoria de trabajo del WAIS. WAIS_IRP: índice de razonamiento perceptivo del WAIS. WAIS_IVP: índice de velocidad de procesamiento del WAIS. BADS: batería de evaluación conductual del síndrome disejecutivo. AVDAyCE: actividades de la vida diaria avanzadas y cognitivamente estimulantes.

5.2. Contribución diferencial de las variables cognitivas en la clasificación en el grupo de músicos.

Por otro lado, las columnas “Músicos” y “No músicos” de la Tabla 3, muestran la contribución diferencial de cada variable de rendimiento cognitivo a la clasificación entre grupos. De esta forma, se puede observar que las variables que más han contribuido a la clasificación en el grupo de músicos fueron FCR_Copia y Golpeteo_NoDom (Tabla 3, columna “Músicos”). En cuanto al grupo de no músicos, la variable que mayor contribución tuvo etambién fue FCR_Copia (Tabla 3, columna “No músicos”). Sin embargo, si atendemos a las variables que sólo contribuyeron a la clasificación en el grupo de músicos observamos que son el subtest de Claves y de Aritmética e índice de velocidad de procesamiento del WAIS-IV, y la prueba de Clavijas de Purdue con la mano dominante. Y las variables que únicamente contribuyeron al grupo de no músicos fueron la prueba de memoria de la Figura Compleja de Rey y el subtest de Información del WAIS-IV.

Figura 1

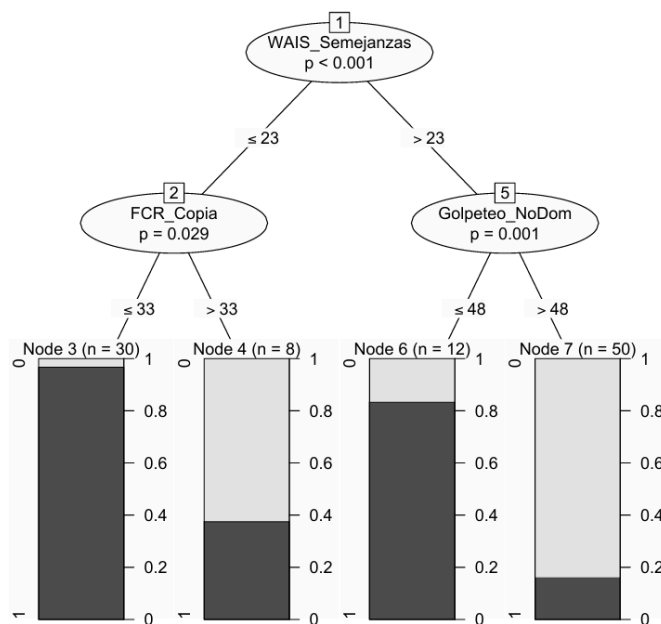
Importancia de la contribución de las variables de rendimiento cognitivo en la clasificación entre músicos y no músicos.



Por último, el árbol de RF reveló que el subtest de semejanzas del WAIS_IV fue el mejor predictor en el modelo. Asimismo, cuando las puntuaciones fueron menores o iguales a 23 en dicho subtest, el mejor predictor era la copia de la Figura Compleja de Rey. Sin embargo, cuando las puntuaciones en el subtest de semejanzas del WAIS_IV fueron superiores a 23, el mejor predictor era el Golpeteo con la mano no dominante. Dentro del nodo de la copia de la figura compleja de Rey se pueden distinguir dos nodos terminales que nos indican que la capacidad de diferenciar a los grupos fue menor para las puntuaciones inferiores o iguales a 33 en este test, en el que se encuentran 30 de los 100 participantes ($n=30$), y mayor para las puntuaciones superiores a 33, entre los que se encuentran 8 participantes ($n=8$). En cuanto al test de golpeteo con la mano no dominante, la capacidad del modelo para diferenciar a los grupos fue menor para las puntuaciones menores o iguales a 48 en dicha prueba ($n=12$), aumentando esta capacidad de diferenciación en las puntuaciones mayores a 48 ($n=50$) (Figura 2).

Figura 2

Árbol de clasificación del Random Forest de variables cognitivas en función del grupo.



La figura representa la partición recursiva para la clasificación de las variables cognitivas en los grupos de músicos y no músicos. Se observa la contribución del subtest de semejanzas del WAIS_IV, de la copia de la Figura Compleja de Rey y Golpeteo de la mano no dominante a la partición. Los valores p correspondientes se presentan para cada nodo interno. WAIS_Semejanzas: subtest de semejanzas del WAIS_IV; FCR_Copia: copia de la figura compleja de Rey; Golpeteo_NoDom: golpeteo con la mano no dominante.

6. Discusión

Los resultados obtenidos en esta investigación permitieron dar respuesta al objetivo general de este trabajo: distinguir entre músicos y no músicos según su rendimiento cognitivo, mediante un modelo de Random Forest de clasificación, conociendo qué variables cognitivas fueron más importantes a la hora de diferenciar a ambos grupos.

Con respecto al primer objetivo específico “estudiar, mediante un modelo de Random Forest de clasificación, la contribución de las variables cognitivas a la diferenciación entre los grupos de músicos y no músicos”, los resultados pusieron de manifiesto que las variables cognitivas más importantes en la clasificación de los músicos y de los no músicos fueron la copia de la Figura Compleja de Rey, el Golpeteo con la mano no dominante, el subtest de semejanzas del WAIS-IV, la lámina 3 del test de Stroop, el índice de comprensión verbal del WAIS-IV y la puntuación total del Tablero de Clavijas de Purdue. Estas variables se relacionan con los dominios cognitivos de razonamiento perceptivo, funciones visoconstructivas, habilidades motoras, comprensión verbal y funciones ejecutivas. En cuanto al razonamiento perceptivo, Strait et al. (2010) refirieron un mejor rendimiento en las habilidades perceptivas en los músicos en comparación con los no músicos. En los que respecta a las habilidades motoras, Forgeard et al. (2008) encontraron que los niños que habían recibido formación musical durante tres años o más, superaron a los que no recibieron formación musical en habilidades motoras finas con ambas manos. Sin embargo, Seinfeld et al. (2013) encontraron una mejora significativa en el golpeteo con los dedos tanto para un grupo que había recibido una formación de 4 meses de piano como para un grupo que no la había recibido pero sí que practicaban al menos un tipo de actividad física. Por otro lado, Nutley et al. (2014) no encontraron una asociación positiva significativa entre la práctica musical y la comprensión lectora. En cuanto a las funciones ejecutivas, Moreno et al. (2011) encontraron una relación entre el entrenamiento musical y las mejoras en las funciones ejecutivas. Hanna-Pladdy y MacKay (2011) encontraron diferencias significativas entre músicos de al menos diez años de experiencia musical y no músicos en flexibilidad cognitiva a favor de los músicos. Mientras que Jaschke et al. (2018) encontraron una influencia positiva de la educación musical a largo plazo en habilidades cognitivas como la inhibición y la planificación. Por último, no se han encontrado trabajos previos en músicos que hayan abordado el estudio de las funciones visoconstructivas.

En relación con el segundo objetivo específico, “estudiar la contribución diferencial de las variables cognitivas en la clasificación en el grupo de músicos”, se encontró que las variables cognitivas más importantes en la clasificación en el grupo de músicos fueron la copia de la Figura Compleja de Rey y el golpeteo con la mano no dominante. Este resultado va en la línea de los obtenidos en trabajos anteriores, en los que se encontraron un mejor rendimiento en las habilidades visoespaciales de los músicos frente a los no músicos (Strait et al., 2010; Grassi et al., 2017). Con respecto a la importancia de la variable golpeteo con la mano no dominante Forgeard et al. (2008), encontraron que el entrenamiento musical de, al menos, tres años de duración, se relaciona con un mejor rendimiento en las habilidades motoras finas con ambas manos. Si atendemos a las variables cognitivas que contribuyeron a la clasificación únicamente en el grupo de músicos, subtest de Claves y de Aritmética e índice de velocidad de procesamiento del WAIS-IV, y Clavijas de Purdue con la mano dominante, podemos observar que se trata de variables relacionadas con los dominios cognitivos de velocidad de procesamiento, atención, memoria de trabajo y habilidades motoras. Estos dominios también han sido estudiados por otros autores que han encontrado un efecto significativo de la música en la velocidad de procesamiento, sin influir las horas de práctica semanal (Nutley et al., 2014) y mejoras en la misma tras un programa de entrenamiento con instrumentos musicales (Seinfeld et al., 2013). Seinfeld et al. (2013) encontraron mejoras significativas en algunas pruebas que medían atención y funciones motoras tras una formación de 4 meses en piano. En cuanto a la memoria de trabajo, Nutley et al. (2014) encontraron una asociación significativa entre este dominio, tanto en su componente verbal como visoespacial, y la práctica musical, mientras que Grassi et al. (2017) mostraron en su investigación que los músicos obtuvieron puntuaciones más altas que los no músicos en memoria de trabajo verbal y visoespacial. También George y Coch (2011) encontraron que el entrenamiento musical a largo plazo se asoció con mejoras en la memoria de trabajo. Por último, Forgeard et al., (2008) encontraron que el entrenamiento musical se relaciona con mejoras en las habilidades motoras finas..

En cuanto a las variables que contribuyeron en mayor medida al rendimiento de los no músicos encontramos que la más importante coincidió con las de los músicos (copia de la Figura Compleja de Rey). No obstante, si observamos las variables que contribuyeron únicamente a la clasificación en el grupo de no músicos encontramos la prueba de memoria de la Figura Compleja de Rey y el subtest de Información del WAIS-IV. Los resultados relacionados con la memoria visual se corresponden con lo encontrado por algunos estudios

en los que no se encontró un mejor rendimiento por parte de los músicos (Nutley et al., 2014; Cheung et al., 2017). Por otro lado, los resultados sobre el subtest de dígitos del WAIS-IV en orden directo no coinciden con los encontrados por Seinfeld et al. (2013) quienes evidenciaron una pequeña pero significativa disminución en el rendimiento de esta prueba en personas con entrenamiento musical frente a otras sin este entrenamiento.

A modo de resumen, los resultados han puesto de manifiesto que los dominios cognitivos más importantes que diferencian a los músicos de los no músicos fueron el razonamiento perceptivo, las funciones visoconstructivas, las habilidades motoras, la comprensión verbal y las funciones ejecutivas. Asimismo, las variables cognitivas que contribuyeron únicamente a la clasificación de los músicos se relacionaron con los dominios cognitivos de velocidad de procesamiento, atención, memoria de trabajo y habilidades motoras; mientras que las que clasificaron únicamente a los no músicos fueron memoria visual y comprensión verbal. Por lo tanto, se encontró un perfil cognitivo característico de los músicos, que comprende la velocidad de procesamiento, atención, memoria de trabajo, el razonamiento perceptivo, atención y habilidades motoras. Se requieren investigaciones futuras que confirmen estos hallazgos.

Estos resultados tienen aplicabilidad tanto en investigación como en clínica. Con respecto a la investigación, pueden proporcionar información valiosa sobre la organización funcional y proporcionar un punto de partida para futuros estudios sobre un conectoma cognitivo en músicos. Asimismo, conocer el perfil cognitivo de los músicos, puede ofrecer insights sobre los factores que contribuyen al rendimiento de tipo excepcional, relacionado con la alta reserva cognitiva, aplicables a otros tipos de arte, deporte, etc. Desde la perspectiva clínica, son útiles para el desarrollo de programas de entrenamiento musical como una herramienta de rehabilitación para daño cerebral o como estimulación en enfermedades neurodegenerativas para retrasar la progresión del deterioro cognitivo. También desde un punto de vista terapéutico, comprender cómo los músicos procesan la información y manejan la atención puede llevar al desarrollo de estrategias efectivas para el manejo del estrés y de la ansiedad. Es importante destacar que se requiere más investigación para confirmar y ampliar la comprensión de estas implicaciones. La validación y ampliación de estos resultados a través de estudios longitudinales y con muestras más amplias es esencial para desarrollar aplicaciones prácticas efectivas y basadas en evidencia.

7. Conclusiones

El presente trabajo se centró en estudiar las variables cognitivas que contribuyen en mayor medida a la diferenciación del rendimiento cognitivo entre músicos y no músicos, utilizando un análisis multivariado. Este tipo de análisis está relacionado con unos resultados más robustos en comparación con los análisis univariados, que son los que se han utilizado mayoritariamente para abordar las diferencias en cuanto al rendimiento entre estos dos grupos.

A continuación, se enumeran las conclusiones del presente trabajo:

1. Los dominios cognitivos más importantes en la diferenciación entre músicos y no músicos fueron el razonamiento perceptivo, las funciones visoconstructivas, las habilidades motoras, la comprensión verbal y las funciones ejecutivas.
2. Las variables cognitivas que contribuyeron únicamente a la clasificación de los músicos se relacionaron con los dominios cognitivos de velocidad de procesamiento, atención, memoria de trabajo y habilidades motoras.
3. Las variables cognitivas que contribuyeron únicamente a la clasificación de los no músicos se relacionaron con los dominios cognitivos de memoria visual y comprensión verbal.
4. Se encontró un perfil cognitivo característico de los músicos, que comprende la velocidad de procesamiento, atención, memoria de trabajo, el razonamiento perceptivo, atención, memoria de trabajo y habilidades motoras.
5. Estos resultados podrían tener aplicabilidad en investigación y en clínica.
6. En investigación, conocer el perfil cognitivo de los músicos, puede ofrecer insights sobre los factores que contribuyen al rendimiento de tipo excepcional, relacionado con la alta reserva cognitiva.
7. En clínica, es útil para el desarrollo de programas de entrenamiento musical como una herramienta de rehabilitación para daño cerebral o como estimulación en enfermedades neurodegenerativas. A nivel terapéutico, permite el desarrollo de estrategias efectivas para el manejo del estrés y de la ansiedad.

Este trabajo presenta varias fortalezas entre las que subrayamos que la muestra presentaba unas características muy homogéneas y unos criterios de inclusión rigurosos y específicos, controlando de esta manera variables como la edad, el sexo, la nacionalidad, la lateralidad, el manejo de idiomas y el nivel educativo de todos los participantes del estudio, lo que permitió controlar la influencia de posibles variables de confusión.

No obstante, también presenta algunas limitaciones que se describen a continuación: un escaso tamaño muestral, ya que consta de 100 participantes, divididos en dos grupos de 50; no se registró ninguna medida de habilidad musical; y no se incluyeron medidas de neuroimagen que permitiesen un estudio más profundo acerca de la relación entre el entrenamiento musical y posibles cambios en las áreas cerebrales de los participantes músicos frente a los no músicos.

Como líneas futuras de investigación, sería importante aumentar el tamaño muestral e incluir datos de neuroimagen estructural y funcional que permitiesen estudiar las áreas y las conexiones neuronales implicadas en la práctica musical y su relación con el rendimiento cognitivo.

8. Referencias

- Bailey, J. A., y Penhune, V. B. (2010). Rhythm synchronization performance and auditory working memory in early- and late-trained musicians. *Experimental Brain Research*, 204(1), 91–101. <https://doi.org/10.1007/s00221-010-2299-y>
- Barrett, K. C., Ashley, R., Strait, D. L., & Kraus, N. (2013). Art and science: how musical training shapes the brain. *Frontiers In Psychology*, 4. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2013.00713>
- Benton, A. L., Varney, N. R., y Hamsher, K. deS. (1978). Visuospatial judgment: A clinical test. *Archives of Neurology*, 35(6), 364–367. <https://doi.org/10.1001/archneur.1978.00500300038006>
- Corsi, P. M. (1973). *Human memory and the medial temporal region of the brain*. ProQuest Information and Learning.
- Criscuolo, A., Bonetti, L., Särkämö, T., Kliuchko, M., & Brattico, E. (2019). On the Association Between Musical Training, Intelligence and Executive Functions in Adulthood. *Frontiers In Psychology*, 10. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.01704>
- Criscuolo, A., Pando-Naude, V., Bonetti, L., Vuust, P., & Brattico, E. (2022). An ALE meta-analytic review of musical expertise. *Scientific Reports*, 12(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-022-14959-4>
- Forgeard, M., Winner, E., Norton, A., & Schlaug, G. (2008). Practicing a Musical Instrument in Childhood is Associated with Enhanced Verbal Ability and Nonverbal Reasoning. *PloS One*, 3(10), e3566. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0003566>
- Gaser, C., & Schlaug, G. (2003). Brain Structures Differ between Musicians and Non-Musicians. *The Journal Of Neuroscience*, 23(27), 9240-9245. <https://doi.org/10.1523/jneurosci.23-27-09240.2003>

- George, E. M., & Coch, D. (2011). Music training and working memory: An ERP study. *Neuropsychologia*, 49(5), 1083-1094.
<https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2011.02.001>
- Golden, C. J. (1978). Stroop Color and Word Test: a manual for clinical and experimental uses. 1978. *Chicago, IL: Stoelting Co.*
- Grassi, M., Meneghetti, C., Toffalini, E., & Borella, E. (2017). Auditory and cognitive performance in elderly musicians and nonmusicians. *PLOS ONE*, 12(11), e0187881.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0187881>
- Halstead, W. C. (1947). Brain and intelligence; a quantitative study of the frontal lobes.
- Hanna-Pladdy, B., & MacKay, A. (2011). The relation between instrumental musical activity and cognitive aging. *Neuropsychology*, 25(3), 378–386.
<https://doi.org/10.1037/a0021895>
- Heaton, R. K., Chelune, G. J., Talley, J. L., Kay, G. G., y Curtiss, G. (2001). *WCST: Test de clasificación de tarjetas de Wisconsin. TEA Madrid, Spain.*
- Ho, Y., Cheung, M., & Chan, A. S. (2003). Music training improves verbal but not visual memory: Cross-sectional and longitudinal explorations in children. *Neuropsychology*, 17(3), 439-450. <https://doi.org/10.1037/0894-4105.17.3.439>
- Jaschke, A. C., Honing, H., & Scherder, E. J. A. (2018). Longitudinal Analysis of Music Education on Executive Functions in Primary School Children. *Frontiers In Neuroscience*, 12. <https://doi.org/10.3389/fnins.2018.00103>
- Matthews, C. G., y Klove, H. (1964). Instruction manual for the adult neuropsychology test battery. Madison, WI: University of Wisconsin Medical School, 36.
- Nutley, S. B., Darki, F., & Klingberg, T. (2014). Music practice is associated with development of working memory during childhood and adolescence. *Frontiers In Human Neuroscience*, 7. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2013.00926>

Oldfield, R. C. (1971). The assessment and analysis of handedness: the Edinburgh inventory.

Neuropsychologia, 9(1), 97–113. https://doi.org/10.1007/978-0-387-79948-3_6053

Pantev, C., & Herholz, S. C. (2011). Plasticity of the human auditory cortex related to

musical training. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews/Neuroscience And*

Biobehavioral Reviews, 35(10), 2140-2154.

<https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2011.06.010>

Peretz, I., Vuvan, D., Lacrois, M., & Armony, J. L. (2015). Neural overlap in processing

music and speech. *Philosophical Transactions - Royal Society. Biological Sciences*,

370(1664), 20140090. <https://doi.org/10.1098/rstb.2014.0090>

Pérez, G. R. (2020). *Rendimiento neuropsicológico en músicos profesionales* (Tesis doctoral,

Universidad de Santiago de Compostela)

R Core Team (2022). *R: A Language and environment for statistical computing*. (Version 4.1)

[Computer software]. Retrieved from <https://cran.r-project.org>. (R packages retrieved from CRAN snapshot 2023-04-07).

Reitan, R. M. (1958). Validity of the Trail Making Test as an Indicator of Organic Brain

Damage. *Perceptual and Motor Skills*, 8(3), 271–276.

<https://doi.org/10.2466/pms.1958.8.3.271>

Rey, A. (1964). Rey auditory verbal learning test (RAVLT). *L'Examen Clinique En*

Psychologie. Paris: PUF.

Rey, A. (2009). REY. Test de copia de una figura compleja. *TEA Ediciones, Madrid*.

Rosenkranz, K., Williamon, A., & Rothwell, J. C. (2007). Motorcortical Excitability and

Synaptic Plasticity Is Enhanced in Professional Musicians. *The Journal Of*

Neuroscience/ The Journal Of Neuroscience, 27(19), 5200-5206.

<https://doi.org/10.1523/jneurosci.0836-07.2007>

- Sachs, M., Kaplan, J., Sarkissian, A. D., & Habibi, A. (2017). Increased engagement of the cognitive control network associated with music training in children during an fMRI Stroop task. *PloS One*, 12(10), e0187254.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0187254>
- Scarmeas, N., Zarahn, E., Anderson, K. E., Habeck, C. G., Hilton, J., Flynn, J., Marder, K. S., Bell, K. L., Sackeim, H. A., Van Heertum, R. L., Moeller, J. R., y Stern, Y. (2003). Association of life activities with cerebral blood flow in Alzheimer disease: Implications for the cognitive reserve hypothesis. *Archives of Neurology*, 60(3), 359–365. <https://doi.org/10.1001/archneur.60.3.359>
- Schellenberg, E. G. (2004). Music lessons enhance IQ. *Psychological Science*, 15(8), 511-514. <https://doi.org/10.1111/j.0956-7976.2004.00711.x>
- Seinfeld, S., Figueroa, H., Ortiz-Gil, J., & Sanchez-Vives, M. V. (2013). Effects of music learning and piano practice on cognitive function, mood and quality of life in older adults. *Frontiers In Psychology*, 4. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2013.00810>
- Sluming, V., Barrick, T., Howard, M., Cezayirli, E., Mayes, A., & Roberts, N. (2002). Voxel-Based Morphometry Reveals Increased Gray Matter Density in Broca's Area in Male Symphony Orchestra Musicians. *NeuroImage*, 17(3), 1613-1622.
<https://doi.org/10.1006/nimg.2002.1288>
- Strait, D. L., Kraus, N., Parbery-Clark, A., & Ashley, R. (2010). Musical experience shapes top-down auditory mechanisms: Evidence from masking and auditory attention performance. *Hearing Research*, 261(1-2), 22-29.
<https://doi.org/10.1016/j.heares.2009.12.021>
- The jamovi project (2023). *jamovi*. (Version 2.4) [Computer Software]. Retrieved from <https://www.jamovi.org>.

Wechsler, D. (2012). *WAIS-IV. Escala de inteligencia de Wechsler para adultos IV. Manual de aplicación y corrección*. Madrid: NCS Pearson. Inc.

Wilson, B. A., Evans, J. J., Alderman, N., Burgess, P. W., y Emslie, H. (1997). Behavioural assessment of the dysexecutive syndrome. *Methodology of Frontal and Executive Function*, 239, 250.

<https://www.routledge.com/Methodology-Of-Frontal-And-Executive-Function/Rabbit/t/p/book/9781138877139>

Zatorre, R. J., Chen, J. L., & Penhune, V. B. (2007b). When the brain plays music: auditory–motor interactions in music perception and production. *Nature Reviews. Neuroscience*, 8(7), 547-558. <https://doi.org/10.1038/nrn2152>