

Behind the scene: cognitive benefits of playing a musical instrument. Executive functions, processing speed, fluid intelligence and divided attention / Detrás de la escena: beneficios cognitivos de tocar un instrumento musical. Funciones ejecutivas, velocidad de procesamiento, inteligencia fluida y atención dividida

Felipe I. Porflitt & Ricardo R. Rosas-Díaz

To cite this article: Felipe I. Porflitt & Ricardo R. Rosas-Díaz (2019) Behind the scene: cognitive benefits of playing a musical instrument. Executive functions, processing speed, fluid intelligence and divided attention / Detrás de la escena: beneficios cognitivos de tocar un instrumento musical. Funciones ejecutivas, velocidad de procesamiento, inteligencia fluida y atención dividida, Estudios de Psicología, 40:2, 464-490, DOI: [10.1080/02109395.2019.1601474](https://doi.org/10.1080/02109395.2019.1601474)

To link to this article: <https://doi.org/10.1080/02109395.2019.1601474>



Published online: 13 May 2019.



Submit your article to this journal [↗](#)



Article views: 22



View Crossmark data [↗](#)



Behind the scene: cognitive benefits of playing a musical instrument. Executive functions, processing speed, fluid intelligence and divided attention / *Detrás de la escena: beneficios cognitivos de tocar un instrumento musical. Funciones ejecutivas, velocidad de procesamiento, inteligencia fluida y atención dividida*

Felipe I. Porflitt and Ricardo R. Rosas-Díaz

Pontificia Universidad Católica de Chile

(Received 31 January 2019; accepted 11 March 2019)

Abstract: The relationship between music training and cognitive performance has been much explored over the last decades. A variety of evidence shows a different neurological and cognitive processing in the population who have undergone instrumental music training compared to people who have not. A review of the literature shows the many advantages in cognitive skills musicians have gained from musical training, such as benefits to their executive functions and other aspects of cognition, in children as well as adults and the elderly. This study investigates in greater depth certain cognitive aspects associated with musical training in the adult population. Specifically, it explores its relationship with inhibition, working memory (verbal and visual-spatial), flexibility, processing speed, fluid intelligence and divided attention. Our results suggest that there is indeed a relationship between musical training and improvements in cognitive performance, both in executive functions and in other areas of cognition.

Keywords: music; executive functions; divided attention; processing speed; fluid intelligence

Resumen: Las relaciones entre el entrenamiento musical y el desempeño cognitivo han sido bastante exploradas durante las últimas décadas. Distinta evidencia muestra un procesamiento neurológico y cognitivo distinto en población con entrenamiento musical instrumental, en comparación a personas que no han tenido este entrenamiento. Se aprecia en la literatura, evidencia de distintas ventajas en habilidades cognitivas para músicos, como funciones ejecutivas y otros aspectos de la cognición, tanto en población infantil, como en adultos y adultos mayores. Este estudio indaga en mayor

English version: pp. 464–475 / *Versión en español:* pp. 476–487

References / *Referencias:* pp. 487–490

Translated from Spanish / *Traducción del español:* Liza D’Arcy

Authors’ Address / *Correspondencia con los autores:* Felipe I. Porflitt, Pontificia Universidad Católica de Chile, Avenida Vicuña Mackena 4860, Metropolitana, Santiago 7820436, Chile. E-mail: felipe@uc.cl

profundidad en algunos aspectos cognitivos que se asocian al entrenamiento musical para población adulta. Específicamente, explora la relación en inhibición, memoria de trabajo (verbal y viso-espacial), flexibilidad, velocidad de procesamiento, inteligencia fluida y atención dividida. Nuestros resultados sugieren que, efectivamente hay una relación entre el entrenamiento musical y mejoras en el desempeño cognitivo, tanto en funciones ejecutivas como en otros ámbitos de la cognición.

Palabras clave: música; funciones ejecutivas; atención dividida; velocidad de procesamiento; inteligencia fluida

There are a variety of different careers in the field of music. They include researchers, musicologists, composers, music-therapists, teachers, producers and musical performers. Performers interpret and deliver, through musical instruments, music previously designed by composers. In order to do this, they need to very precisely manage sound quality, which in turn requires as much musical ability as possible, and to be highly fluent in music. It takes a prolonged period of time (years) to train a musician, who usually begins their musical education at an early age in life; they must undergo rigorous training, including many hours of solo/autonomous study (Orlandini, 2012). This craft is as old as music itself, and despite some theories suggesting an early decline in artistic manifestations as a result of technological development (Benjamin, 1936), it continues to play an important role in history.

Musicians have been the focus of studies during the last years. An interest in this area was piqued by advances in neuroscience and cognitive psychology measurement techniques. There is evidence of improved neuro-cognitive processing in the musical population compared to people who have not received this type of training (e.g., Bever & Chiarello, 1974; Emmerich, Engelmann, Rohmann, & Richter, 2015; Gaser & Schlaug, 2003; Kaganovich, Kim, Herring, Schumaker, & MacPherson, 2013; Levitin, 2006; Levitin, Grahm, & London, 2018; MacKenzie, 1986).

Musical interpretation facilitates the development of complex cognitive structures (Koelsch, Rohrmeier, Torrecuso, & Jentschke, 2013; Oechslin, Descloux, et al., 2013; Oechslin, Van De Ville, Lazeyras, Hauert, & James, 2013; Patel, 2008). It also facilitates the exchange of top-down neural processing patterns (Plack, Oxenham, Fay, & Popper, 2005). The nervous system sectors associated with these cognitive processes are in turn linked to areas that are neurologically stimulated by musical activity. There is robust evidence from the area of neuroscience showing that certain areas produce greater activity when carrying out musical exercises than with other stimuli; these areas include the frontal and lateral cortex (Tan, Pfordresher, & Harré, 2010), cerebellum, auditory cortex, motor cortex (Levitin, 2006; Pretto & James, 2015), the occipital and parietal lobes, the gyrus, the putamen, posterior area of the cortex (Petsche et al., 1988), the Brodmann areas 44 and 47 (Levitin, 2006) and activity in the left hemisphere in general (Tramo, Cariani, Koh, Makris, & Braidá, 2005).

Among the areas that have been widely explored in the relationship between musical training and cognition are the executive functions (Bugos, Perlstein, McCrae, Brophy, & Bedenbaugh, 2007; Degé, Kubicek, & Schwarzer, 2011;

Franklin, Moore, Jonides, Ratray, & Moher, 2008; Miendlarzewska & Trost, 2014; Moreno et al., 2011; Pallesen et al., 2010; Parbery-Clark, Skoe, Lam, & Kraus, 2009). Executive functions are understood as a generic control mechanism that modulates the operation of several cognitive sub-processes, regulating human cognition (Diamond, 2013; Miyake et al., 2000). Cognitive components of executive functions include inhibition, working memory, flexibility, monitoring and planning. Diamond (2013) states that inhibition, working memory and flexibility are the fundamental elements between these processes. These skills allow us to plan goals and monitor them, separating them from thoughts, behaviours and emotions that may interfere with their achievement (Santa Cruz & Rosas, 2017). Executive functions are one of the most researched variables in the population with musical training, and results from these studies show that these types of cognitive performance in musicians are more developed compared to people without this training (e.g., Levitin, 2006; Peretz & Morais, 1989; Petschke, Lindner, & Rappelsberger, 1988; Pretto & James, 2015; Zatorre, 1983).

Regarding inhibition, findings show that musicians have advantages over people who have not received musical instruction. For example, Moreno et al. (2011) found higher scores in go/no-go tests carried out by children who had received a short musical training session lasting 20 days, in comparison to other children who were trained in the visual arts (children in both groups were aged four to six). A study by Jaschke, Honing, and Scheder (2018) also found advantages for children who had received musical training (singing and playing percussion) over a control group (the average age of children in both groups was 6.4) in go/no-go tests, other tests, neuropsychological planning and working memory. Slater, Ashley, Tierney, and Kraus (2018) found differences in favour of musicians compared to non-musicians in inhibition in the adult population (aged 18 to 35), in behavioural tests that integrate visual and auditory aspects (Full scale response control quotient, sub-set of Integrated Visual and Auditory Plus Continuous Performance Test). Inhibition in these cases is favoured by musical training, in behavioural tests as well as in tasks associated with visual and auditory stimuli.

For cognitive flexibility, the evidence becomes contradictory. Zuk, Benjamin, Kenyon, and Gaab (2014) found advantages for flexibility in children with musical training, compared to children who had not received any (aged nine to 12) using Trail Making Tests (Delis, Kramer, Kaplan, & Holdnack, 2004). However, results from the study into similarly aged children measuring flexibility with the Wisconsin Card Sorting Test (WCST, Grant & Berg, 1948; Heaton, 1981) by Schellenberg (2011) did not concur. These contradictions have also been found in the adult population; results from the same study by Zuk et al. (2014) showed that there are no significant differences between adult musicians and non-musicians (18 to 35 years old) using the Trail Making Test. Conversely, Hanna-Pladdy and MacKay (2011) showed that older adults (aged 60 to 83) who were musically active performed better in this type of test in comparison to people who did not carry out any type of musical activity during their lives.

Differences are also seen between the musician populations and non-musicians in verbal working memory. Pallesen et al. (2010), for example, designed a study with musical harmonic stimuli (major and minor chord cadences) and observed that musicians have a better working memory with which to carry out this type of task than non-musicians. In turn, results from Functional Magnetic Resonance Imaging (fMRI) showed that there was greater neurological activity in musicians' cerebellum, vermis, gyrus, thalamus, caudate nucleus, putamen and insula. In addition, Mainz and Hambrick (2010) found that musical expertise levels were highly related to working memory in pianists; although they did not use a control group in their study, they reached these conclusions by generating a correlation and a regression between piano experience and working memory. The study measured working memory with four subsets, two verbal and two visual. The first activity was operational: questions and answers to remember (correct/incorrect); the second was reading sentences that either made sense or were nonsensical; the third was a rotation of images activity (correct or incorrect in a mirror); and the final activity required the participant to remember a figure of a space that was shown in a blue matrix. In both studies, verbal working memory was highly favoured by musical training.

In the case of visual-spatial working memory, a meta-analysis by Hetland (2000) concluded that students who receive musical instruction more effectively carry out tasks associated with spatio-temporal skills; this was true regardless of whether the type of musical training they received was improvised, structured or in the appreciation of music. Furthermore, George and Coch (2011) showed that there is an increase in tasks associated with visual-spatial memory in people with musical training. His study measured Abstract Visual Memory and Memory for Location (TOMAL-2, Reynolds & Voress, 2007). Other studies, such as the one by Slevc, Davey, Buschkuehl, and Jaeggi (2016), found improved visual-spatial skills in adult musicians compared to non-musicians (average age 20.84). The test used in this study to measure visual-spatial working memory was Visual Letter-back Task, with congruent and incongruent stimuli. Despite all this evidence, there are also contradictory findings, such as the results from a study by Bidelman, Hutka, and Moreno (2013), which found no improvements in aspects associated with visual-spatial tasks in musicians. Thus the literature suggests that further investigation into visual-spatial working memory in the population that has received musical training is necessary.

Other cognitive variables associated with musical training have been less explored, such as processing speed. Advantages in this variable can be seen in children who have been trained musically compared to those who have not (Zuk et al., 2014), measured with the Wechsler Intelligence Scale for Children (WISC; Wechsler, 2003) subtest 'coding'. Fluid intelligence is another factor that is thought to be favoured by musical training. Schellenberg (2011) creates an index to measure this variable, from reasoning matrices and construction with cubes, Wechsler Abbreviated Scale of Intelligence (WASI; Wechsler, 1999) sub-sets and executive functions, seeking evidence of the relationship between intelligence, musical training and these types of skills (attention, working memory, verbal fluency, flexibility and inhibition). Among other findings, the study observed significant differences

for fluid intelligence in children (aged nine to 12) who participated in extra-curricular musical activities at school compared to a group that did not. One last variable, divided attention, has been even less explored. Riva, Cazzniga, Esposito, and Bulgheroni (2013) showed that the areas of the nervous system that are related to monitoring, working memory and cognitive aspects such as divided attention are the cerebellum, the pre-frontal cortex and certain sub-cortical structures. As previously reviewed, these sectors of the nervous system are stimulated with musical activity (e.g., Levitin, 2006; Petschke et al., 1988; Pretto & James, 2015; Tan, Pfordresher, & Harré, 2010). Despite this, the relationship between divided attention and musical training has not been explored much.

Along the same line of research, different types of associations have been found between music training and working memory, which may depend on the level of musical ability that musicians have. However, and furthering this idea, it could be said that the improved cognitive abilities of a musician depend — rather than the musical training itself — on the amount of time they undergo formal study of a musical instrument, their age and the frequency with which they practise, among other variables (review in detail: Ollen, 2006). This point will not be considered in this study, but it will be considered relevant and a criterion for the inclusion of the participants.

Our current evidence points towards an advanced cognitive processing in musicians, and the studies named within this paper are just one example. On this basis, this study will explore the cognitive aspects that have been widely covered in the literature — such as executive functions — and also those that have been less focused on — such as processing speed, fluid intelligence and divided attention — with the purpose of comparing cognitive performance in adult musicians with non-musicians, and to determine whether the evidence put forward contributes to the understanding of these areas of human cognition.

We believe that this research study is a contribution to the field because not many studies investigate young adult musicians, it has certain novel measurements of executive functions and cognitive aspects that are original for psychology, and includes within its control variables certain aspects that are not typically considered co-variables.

Method

Participants

Initially, 144 people with and without musical training (108 and 36 respectively) were recruited whose mean age was 30 ($SD = 6.58$); 35.4% were female.

The Ollen Musical Sophistication Index (*OMSI*, Ollen, 2006) was used to measure the musical sophistication of the participants. Scores over 500 are classified as ‘consistently sophisticated in music’, and cases with fewer than 500 points are classified as ‘unsophisticated in music’, on a scale of 1 to 1000. There were two cases of musicians who declared themselves to have a high level of musical training but who obtained fewer than 500 points. These two cases were not included in the study. The final range of scores for the group that

included musically sophisticated people was 501–990. No participant in the control group obtained more than 500 points (range, 26–476).

Another inclusion criterion was that participants be monolingual. Because we used snowball sampling, we administered a questionnaire that contained questions regarding the participants' second language to re-control the variable (reading, writing, listening, speaking). One case was discarded because the participant had a high level of all four skills in a second language, and, according to Bialystok and DePape (2009) and Bialystok, Craik, Green, and Gollan (2009), this could affect the results.

Measuring only right- or left-handed people was not considered an inclusion criterion, but it was controlled with a questionnaire for instruments as a dichotomous variable.

One participant was colour blind. They did not participate in colour discrimination tests (inhibition and cognitive flexibility).

The final sample comprised 141 participants: 105 musicians and 36 non-musicians. Participating musicians played a variety of instruments and included singers, pianists, drummers, trumpeters, guitarists, percussionists, violinists and bassists.

The research was approved by the Research Ethics and Security Unit of the Pontificia Universidad Católica de Chile, respecting national and international regulations for research in the social sciences. The participants were given an informed consent on the day and did not receive any kind of incentive to participate.

Instruments

A battery test designed for the study was administered, measuring the relevant cognitive aspects for the investigation in the following order and type (Table 1).

Cognitive flexibility was measured with the Wisconsin Card Sorting Test (Grant & Berg, 1948; Heaton, 1981), using an index that included the variables: perseverative responses, perseverative errors, nonperseverative errors, completed categories and learning to learn. For verbal working memory we used the Wechsler Adults Intelligence Scale sub-test (WAIS-IV; Wechsler, Rosas, Pizarro, & Tenorio, 2013) Memory for Digit Span, with an index for its three conditions (direct, inverse and sequence). Cognitive inhibition was measured with the Stroop Color and Word Test (SCWT) in 45 seconds (Golden, 2007), in its three conditions (words, colours, colours-words). Visual-spatial working memory was measured with the YellowRed 'Binding' sub-test, designed by the CEDETi UC (Tablet). In this test, the participant is shown a visual stimulus linking numbers with images (drawings) for a few seconds. Subsequently, on a second screen, the participant must associate the number with the corresponding image, using their finger to drag the numbers towards the linked image. Distractors are presented among the possible answers: more numbers among the alternative options, and/or fewer images than on the original screen. Go/no-go was measured with the YellowRed 'Cats & Dogs' subtest (Tablet), designed by the CEDETi UC, based on the Hearts & Flowers test (Wright & Diamond, 2014). The test contains three stages: congruent stimuli, opposite stimuli and random

Table 1. Battery test.

Dependent variable	Test	Type of test
Cognitive Flexibility	Wisconsin Card Sorting Test	Form
Verbal working memory	Memory for Digit Span	Form
Cognitive inhibition	Stroop Test	Form
Go/No-go	Cats & Dogs (YellowRed)	Tablet
Visual-spatial working memory	Binding (YellowRed)	Tablet
Divided attention	Divided attention (HAL2)	Tablet
Fluid intelligence	FIX (HAL2)	Tablet
Processing speed	Cats & Dogs (YellowRed)	Tablet

stimuli. We only considered the condition of appearance of random stimuli for measurement, since it is the most complex stage and the one that offers the best discrimination in adults. To measure ‘divided attention’ we used the HAL2 subtest designed by CEDETi UC that bears the same name. After one practice round, participants are required to slide up or down according to even or odd numbers respectively. They must simultaneously follow red circles appearing between blue circles (distractors) that move around inside an octagon. After a few seconds, the red circles change to blue and continue moving (same colour as the distractors). Task 1 (sliding up or down) stops when the numbers stop moving, and the participant must immediately mark with their finger the blue circles that were previously red. An indicator responding to the performance of both tasks at the same time is applied, and a correct answer is when task 1 and 2 are simultaneously successful. Fluid intelligence was measured with a HAL2 subtest called FIX (Tablet). In this test, participants observe 2 x 2 matrices with different designs, whose lower-right area is incomplete. They must use their finger to mark what they consider the correct answer, out of five options on the right side of the screen. There is one correct answer and four distractors per item. Each participant’s score was calculated from their answers to the test’s 10 items, the total being the performance indicator. Finally, processing speed was measured by the second indicator, ‘Cats & Dogs’. The reaction time to the stimulus of the test’s third condition was calculated, i.e., the sum of the time taken to respond to each item from when the stimuli appeared until when the participant marked on the Tablet, the last condition that considered only random answers. The response range to this variable was 408 to 871 milliseconds per item. No case was ruled out, as there were no impulsive responses, considered in this study to be less than 400 milliseconds, since the task requires simple decision making.

Measuring control variables

The age of the participants was recorded through a questionnaire. As mentioned above, participants were asked whether they dominated a second language through a questionnaire that measured the four language skills (i.e., listening, speaking,

reading, writing). A Spanish translation of the Ollen Musical Sophistication Index (*OMSI*, Ollen, 2006), was used to measure the musical sophistication of the participants (α Cronbach = .77). Laterality was measured by applying a Spanish version of the Edinburgh Handedness Inventory (Bryden, 1977; Oldfield, 1971), through the findings shown by Nettle (2003), Powell, Kemp, and García-Finaña (2012) and Beratis, Ravabilas, Kyprianou, Papadimitriou, and Papageorgiou (2013), where the left-handed population showed performance differences in executive functions compared to right-handed people. Finally, given the characteristics of the Chilean population, the relationship with schooling and socio-economic level (Rosas & Santa Cruz, 2013), a socio-economic level index was generated, built from the educational level of the participants (four levels) and the dependence of the school they finished their schooling at (three levels).

Procedure

Data collection was carried out between the months of March and July 2018 in the cities of Santiago, Punta Arenas, Frutillar and Valparaíso, Chile, in a single session per participant. These sessions lasted approximately one and a quarter hours (75 minutes average). The rooms used for the sessions had no distractions in terms of noise or variation in lighting; the tests were always administered in the same order to ensure that all participants had the same cognitive load; the order was set to change between paper and tablet forms as few times as possible. Data were analysed using the SPSS version 24 to test the study hypotheses.

Results

To carry out the analyses, the assumptions of normality and homogeneity of the variance were verified with the Shapiro and Wilk (1965) and Levene (1960) tests respectively. The variables that presented problems in these cases were subsequently corrected with logarithmic transformation (logit), as suggested by a variety of studies for this type of sample (e.g., Feng et al., 2014; Hotelling, 1953; Robert & Casella, 2004).

A table was generated with the descriptive statistics of the dependent variables, presented in Table 2 to outline performance positions between musicians and non-musicians.

The results obtained of all variables in the comparison between musicians and non-musicians are shown in Table 3.

There are significant differences in performance for verbal working memory, processing speed, cognitive inhibition, fluid intelligence, divided attention and in the go/no-go test. All these differences were generated in favour of the group of musicians. In the case of processing speed, the variable is interpreted inversely; the lower the score, the better the processing speed (Table 2).

Although there are statistical significance in several variables, the effect sizes that would be explained by musical training seemed particularly attractive for

Table 2. Dependent variables descriptive data.

Dependent variable	Musicians	Non-musicians
Verbal working memory	3.60 (0.35)	3.11 (0.26)
Cognitive inhibition	0.76 (1.00)	0.12 (0.83)
Cognitive Flexibility	0.53 (0.27)	0.44 (0.30)
Go/No-go	0.53 (0.26)	0.42 (0.28)
Visual-spatial working memory	0.52 (0.29)	0.44 (0.28)
Divided attention	8.19 (1.12)	7.52 (1.63)
Fluid intelligence	0.54 (0.26)	0.41 (0.28)
Processing speed	24.45 (1.65)	25.85 (2.25)
<i>Mean (Standard deviation).</i>		
<i>Processing speed expressed in seconds.</i>		

verbal working memory and processing speed. In the case of the first one, the effect size is large, and in the second case it is medium (Cohen, 1988).

Discussion

The results of this research study show conclusively that musicians' cognitive development is superior to non-musicians' in certain important cognitive skills.

In the case of verbal working memory, the results showed significant differences in favour of the musicians, and a large effect size (Cohen, 1988). This evidence is consistent with the findings by Pallesen et al. (2010) in the adult population, and suggests that verbal working memory, with musical stimuli, is associated with verbal working memory in other contexts, in this case measured with the Memory for Digit Span subtest. Regarding the level of expertise proposed by Mainz and Hambrick (2010), the evidence also concurs that

Table 3. Comparison of performance between musicians and non-musicians. Ancova controlling age, socio-economic level and laterality.

Dependent variable	<i>df</i>	<i>F</i>	<i>p</i>	η_p^2	π	Reliability
Verbal working memory	3	14.24	.000***	.345	.99	.97
Processing speed	4	10.03	.000***	.271	.99	.83
Cognitive inhibition	4	5.35	.000***	.167	.99	.71
Fluid intelligence	4	3.56	.005**	.116	.91	.80
Divided attention	4	2.63	.026**	.089	.80	.69
Go/No-go	4	2.39	.072*	.050	.59	.83
Visual-spatial working memory	4	1.98	.120	.042	.50	.81
Cognitive flexibility	3	1.36	.250	.031	.42	.91

Note: *significant at $\alpha < .10$; **significant at $\alpha < .05$; ***significant at $\alpha < .001$

Control for age, socio-economic level and laterality was included for all variables. For the case of verbal working memory and cognitive flexibility, a control for age was not included in the equation, since the tests previously controlled for this variable. Reliability was calculated with Cronbach's alpha.

musicians who have had many years of musical training have a more developed verbal working memory, considering that one of the inclusion criteria of this study was that the musicians participating had a consistent musical sophistication. Furthermore, our study opens the spectrum within the discipline of music, since our sample was not only composed of pianists, as occurred in the study conducted by Mainz and Hambrick (2010).

Our data show that adult musicians performed better in processing speed. The findings of a study by Zuk et al. (2014) showed differences in favour of children with musical training compared to children who had not received this training, but adult musicians were not favoured when measured for this variable (WISC sub-test). In our case, this variable was measured as the response to a stimulus in the Cats & Dogs test, and the medium effect size (Cohen, 1988), in favour of the musicians, shows that these differences are significant. These findings suggest that not all types of processing speed measurements show that the population with musical training has advanced skills. However, when participants are given an immediate surprise stimulus, adult musicians tend to respond faster, by a few milliseconds, than non-musicians.

In inhibition, significant differences were also observed in favour of musicians, both for cognitive inhibition and go/no-go, with a small effect size in both variables (Cohen, 1988). This evidence is consistent with those of Moreno et al. (2011), Jaschke et al. (2018) and Slater, Azem, Nicol, Swedenborg, and Kraus (2017), even when considering that the studies were carried out with different measurement techniques and that in the particular case of Jaschke et al. (2018), performance was measured longitudinally. The study by Moreno et al. (2011) showed with the go/no-go paradigm that these differences are more visible in children ($F = 6.42, p < .05, \eta_p^2 = .12$). In this study, the difference is seen in adults but with a lower confidence interval and effect size ($F = 2.39, p = .07, \eta_p^2 = .05$). Here is where investigating the relationship between performance in go/no-go tests and musical training becomes interesting, since it changes over time.

For the fluid intelligence variable, significant differences were also found in favour of the musicians compared to the control group, with a small effect size (Cohen, 1988). These results show evidence in adults, and concur with the findings of a study by Schellenberg (2011) in children, since in both cases (children and adults), musicians perform better than people who have never received musical training. In turn, they can also be related to evidence found by Oechslin, Van De Ville, et al. (2013) and Oechslin, Descoux, et al. (2013), where it is estimated that fluid intelligence is predicted by the volume of the hippocampus and that this is favoured by instrumental musical training.

Regarding divided attention, this evidence gives empirical support, from cognitive psychology, to the relationship between certain areas in the nervous system that are associated with these cognitive aspects (Riva et al., 2013). The results suggest that there is an association between musical training and divided attention, since there are significant differences of performance in favour of the group of musicians compared to the control group, with a small effect size (Cohen, 1988). It would be of interest to investigate this relationship further in the future as its

explanation could lie in musical training, where musicians are required to use motor coordination when simultaneously reading music while playing music (not investigated in this study). The findings of our research thus concur with the neurological associations proposed by Riva et al. (2013) for divided attention.

In the case of visual-spatial working memory, no differences were found between musicians and non-musicians. These results concur with those obtained by Bidelman et al. (2013), who also did not find significant differences for this type of measurement in musicians. In turn, they contradict Hetland's (2000) meta-analysis conclusions, which did find a statistically significant increase in the musician population compared to non-musicians in visual-spatial tasks. "They are also contradictory to the results from a study by George and Coch (2011), which showed a correlation between years of musical training and an increase of these skills, or those from Slevc et al. (2016), which showed that musicians performed near to significant better than non-musicians in this variable using Visual Letter-back Task. More research is undoubtedly required to shed further light on the relationship between visual-spatial skills and musical training.

In the last variable, cognitive flexibility, there were no significant differences between musicians and non-musicians in our study. This evidence is contradictory to the findings from a study carried out by Hanna-Pladdy and MacKay (2011) in older adults, and Zuk et al. (2014) in children, where cognitive flexibility was measured with the Trail Making Test. However, it does agree with the evidence from a study conducted by Schellenberg (2011), where no significant differences were found in children when applying the same measurement (Wisconsin Card Sorting Test). Confirming whether there is a clear relationship between musical training and performance in cognitive flexibility is difficult with this type of evidence, although this contradiction might be explained because the Wisconsin Card Sorting Test does not include a task associated with movement, and the Trail Making Test contains an integrated motor and cognitive task, which could have greater similarity to the exercise of playing a musical instrument.

Conclusion

Making music involves cognitive and motor skills. This research study explores the possible benefits of playing a musical instrument for certain aspects of cognition. To a lesser extent, it covered two motor aspects through a go/no-go test, with regard to performance and processing speed.

The findings of this research study showed differences in cognitive performance for verbal working memory, processing speed, cognitive inhibition, go/no-go test, fluid intelligence and divided attention, in favour of musicians compared to people who have never received this training. Other studies observed the same differences in children who had received musical training compared to children who had not. In our study, these differences were also evidenced in a population of adult musicians.

As mentioned above, according to the results obtained for the go/no-go test, further investigating the trajectories of musicians and their relationship with

these measurements would be of interest, since the relationship was more robust in children and more attenuated in adults.

Limitations

Our research contributes to understanding musical training in young adults, in the variables investigated in the literature and others that have been less explored. This study, in turn, is not part of an ongoing discussion in the literature as to whether the outstanding cognitive performance in musicians has a causal role in musical training or whether it is the cognitive characteristics of a specific population that are attracted to careers within the musical field (Demorest & Morrison, 2000; Wheeler & Wheeler, 1951). Future research should focus on this through longitudinal studies in different populations (children, adults and older adults) and in tests that address the cognitive and motor skills inherent to musical performance, since, despite there being little evidence, it is possible that the advantages gained from studying music are extended well beyond the purely cognitive.

Detrás de la escena: beneficios cognitivos de tocar un instrumento musical. Funciones ejecutivas, velocidad de procesamiento, inteligencia fluida y atención dividida

Hay muchos tipos de oficios asociados a la música. Dentro de la disciplina podemos encontrar investigadores, musicólogos, compositores, músico-terapeutas, profesores, productores, e intérpretes musicales. Los intérpretes, transfieren a través de instrumentos musicales, música previamente diseñada por compositores. Para llevar a cabo esta ejecución, requieren manejar con gran precisión las cualidades del sonido, tener el nivel más alto de habilidad musical posible, y ser expresivos musicalmente. El entrenamiento de un intérprete musical acontece durante periodos prolongados de tiempo (años), y habitualmente comienza a temprana edad en la trayectoria de vida, enfrentándose a una formación rigurosa, que involucra muchas horas de estudio solista/autónomo (Orlandini, 2012). Este oficio es tan antiguo como la música misma, y pese a que algunas teorías apuntaron tempranamente a que con el desarrollo tecnológico habría un decaimiento en diferentes manifestaciones artísticas (Benjamin, 1936), su figura sigue teniendo un papel importante en la historia.

Los intérpretes musicales han sido objeto de estudio durante los últimos años. Este fenómeno se ha visto facilitado por las técnicas de medición en neurociencia y psicología cognitiva. Hay evidencia de un procesamiento neuro-cognitivo mejorado en esta población, en comparación a personas que no han recibido este tipo de entrenamiento (e.g., Bever & Chiarello, 1974; Emmerich, Engelmann, Rohmann, & Richter, 2015; Gaser & Schlaug, 2003; Kaganovich, Kim, Herring, Schumaker, & MacPherson, 2013; Levitin, 2006; Levitin, Grahm, & London, 2018; MacKenzie, 1986).

La interpretación musical permite el desarrollo de estructuras cognitivas complejas (Koelsch, Rohrmeier, Torrecuso, & Jentschke, 2013; Oechslin, Descloux, et al., 2013; Oechslin, Van De Ville, Lazeyras, Hauert, & James, 2013; Patel, 2008). Asimismo, permite el intercambio de patrones de procesamiento neuronal top & down (Plack, Oxenham, Fay, & Popper, 2005). Los sectores del sistema nervioso asociados a estos procesos cognitivos, a su vez, se vinculan con las áreas que neurológicamente se estimulan con la actividad musical. Existe evidencia robusta desde el área de neurociencia, que muestra mayor actividad con el ejercicio musical en comparación a otros estímulos, como el córtex frontal y lateral (Tan, Pfordresher, & Harré, 2010), el cerebelo, el córtex auditivo, el córtex motor (Levitin, 2006; Pretto & James, 2015), los lóbulos occipitales y parietales, el gyrus, el putamen, área posterior del córtex (Petschke et al., 1988), las zonas de Brodmann 44 y 47 (Levitin, 2006), y en términos generales a la actividad en el hemisferio izquierdo (Tramo, Cariani, Koh, Makris, & Braidá, 2005).

Uno de los aspectos que han sido ampliamente explorados en la relación del entrenamiento musical con la cognición son las funciones ejecutivas (Bugos, Perlstein, McCrae, Brophy, & Bedenbaugh, 2007; Degé, Kubicek, & Schwarzer, 2011; Franklin, Moore, Jonides, Rattray, & Moher, 2008; Miendlarzewska & Trost, 2014; Moreno et al., 2011; Pallesen et al., 2010; Parbery-Clark, Skoe, Lam, & Kraus, 2009). Las funciones ejecutivas, se entienden como un mecanismo de control genérico, que modula la operación de varios sub-procesos cognitivos, regulando la cognición humana (Diamond, 2013; Miyake et al., 2000). Entre los componentes cognitivos de las funciones ejecutivas se encuentran la inhibición, la memoria de trabajo, la flexibilidad, la monitorización y la planificación. Diamond (2013) plantea que la inhibición, la memoria de trabajo y la flexibilidad serían los elementos fundamentales entre estos procesos. Estas habilidades nos permiten planificar metas y monitorizarlas, alejando pensamientos, comportamientos y emociones que pueden interferir con su logro (Santa Cruz & Rosas, 2017). Las funciones ejecutivas son una de las variables más indagadas en población con entrenamiento musical, y diversa evidencia muestra mejoras en músicos para este tipo de desempeño cognitivo en comparación a personas sin este entrenamiento (e.g., Levitin, 2006; Peretz & Morais, 1989; Petschke, Lindner, & Rappelsberger, 1988; Pretto & James, 2015; Zatorre, 1983).

Respecto de la inhibición, los hallazgos muestran ventajas en músicos, en comparación a personas que no han recibido instrucción musical. Moreno et al. (2011) por ejemplo, encuentran ventajas en pruebas go/no-go en niños (cuatro a seis años de edad), sometidos a un entrenamiento musical corto de 20 días en comparación a otros que reciben entrenamiento en artes visuales. Asimismo es el caso de Jaschke, Honing, y Scheder (2018), donde también se aprecian ventajas en niños (promedio edad = 6.4 años) que tuvieron una intervención musical instrumental (cantar y tocar percusiones), comparados a un grupo control, en pruebas go/no-go, así como en otras pruebas neuropsicológicas de planificación y memoria de trabajo. Slater, Ashley, Tierney, y Kraus (2018), encuentran diferencias a favor de músicos versus no-músicos en inhibición en población adulta (18 a 35 años), en pruebas comportamentales que integran aspectos visuales y auditivos (Full scale response control quotient, sub-set of Integrated Visual and Auditory Plus Continuous Performance Test). La inhibición en estos casos se ve favorecida con el entrenamiento musical, tanto en pruebas comportamentales, como también en tareas asociadas a estímulos visuales y auditivos.

Para flexibilidad cognitiva la evidencia se torna contradictoria. Zuk, Benjamin, Kenyon, y Gaab (2014) muestran ventajas para flexibilidad en niños con entrenamiento musical, en comparación a niños que no lo tienen (nueve a 12 años), con pruebas de Trail Making (Delis, Kramer, Kaplan, & Holdnack, 2004). Sin embargo, Schellenberg (2011) no aprecia estas diferencias en población con el mismo rango etario, midiendo flexibilidad con Wisconsin Card Sorting Test (WCST, Grant & Berg, 1948; Heaton, 1981). Para población adulta también existen estas contradicciones, donde en el mismo estudio de Zuk et al. (2014), no se aprecian diferencias significativas entre músicos y no-músicos adultos (18 a 35 años) con Trail Making Test, pero contrariamente, Hanna-Pladdy y MacKay

(2011) muestran que adultos mayores (60 a 83 años) con alta actividad musical, tienen un mejor desempeño en este tipo de pruebas, en comparación a personas que tuvieron nula actividad musical en su trayectoria de vida.

Respecto de la memoria de trabajo verbal, también se aprecian diferencias en poblaciones de músicos versus no-músicos. Pallesen et al. (2010) por ejemplo, diseñan un estudio con estímulos armónicos musicales (cadencias de acordes mayores y menores), y observan que los músicos tienen mejor memoria de trabajo con este tipo de tareas, en comparación a los no-músicos. A su vez, los resultados con fMRI (Functional Magnetic Resonance Imaging), mostraron que hubo mayor actividad neurológica para los músicos en cerebelo, vermis, gyrus, tálamo, el núcleo caudado, putamen, e ínsula. Asimismo, Meinz y Hambrick (2010), encuentran que el nivel de experticia musical está altamente relacionado a la memoria de trabajo en pianistas, aunque no lo comparan con un grupo control, sino que generan una correlación y una regresión entre la experiencia en piano y la memoria de trabajo. Miden la memoria de trabajo con cuatro sub sets, dos verbales y dos visuales: el primero, es de carácter operacional, con preguntas y respuestas a recordar (dicotómica correcta/incorrecta), uno de lectura de frases (tiene sentido o no tiene sentido), uno de rotación de imágenes (correcto o incorrecto en un espejo), y uno de matrices, donde debían recordar la figura de un espacio que se mostraba en la matriz con azul. En ambos estudios la memoria de trabajo verbal se ve altamente favorecida con el entrenamiento musical.

En el caso de la memoria de trabajo viso-espacial, Hetland (2000) sugiere en un metanálisis, que los estudiantes que reciben instrucción musical tienen un desarrollo más eficaz en tareas asociadas a las habilidades espacio-temporales, y que no depende si el tipo de entrenamiento musical es de improvisación, interpretación o apreciación de música. Por otro lado, George y Coch (2011) muestran que existe un incremento en las tareas asociadas a memoria de trabajo viso-espacial en personas con entrenamiento musical. Su estudio considera las medidas del Abstract Visual Memory, y Memory for Location (TOMAL-2, Reynolds & Voress, 2007). Otros estudios, como el de Slevc, Davey, Buschkuehl, y Jaeggi (2016), muestran una mejora en estas habilidades viso-espaciales en músicos versus no-músicos (promedio de edad 20.84 años). La prueba utilizada en este estudio para memoria de trabajo viso-espacial fue Visual Letter-back Task con estímulos congruentes e incongruentes. Pese a todas estas evidencias, existen hallazgos contradictorios, como los de Bidelman, Hutka, y Moreno (2013), donde no se encuentran mejoras en los aspectos asociados a tareas viso-espaciales en músicos. La literatura de esta manera sugiere indagar más en la memoria de trabajo viso-espacial en la población que haya recibido entrenamiento musical.

Otras variables cognitivas asociadas al entrenamiento musical han sido menos exploradas, como la velocidad de procesamiento. Se aprecian mejoras en esta variable para niños con entrenamiento musical versus sin entrenamiento musical (Zuk et al., 2014), medida con el sub test 'claves' de la Escala de Wechsler de inteligencia para niños (WISC. Wechsler, 2003). La inteligencia fluida es otro factor que se ha visto favorecido con el entrenamiento musical. Schellenberg (2011) crea un índice para medir esta variable, a partir de matrices de razonamiento y construcción con cubos, sub sets de Wechsler Abbreviated Scale of

Intelligence (WASI, Wechsler, 1999), además de funciones ejecutivas, buscando evidencia de la relación entre la inteligencia, el entrenamiento musical y este tipo de habilidades (atención, memoria de trabajo, fluidez verbal, flexibilidad e inhibición). Entre otros hallazgos, el estudio muestra diferencias significativas para inteligencia fluida, en niños (nueve a 12 años) que participan en actividades musicales extra-programáticas al colegio, en comparación a un grupo que no recibe este entrenamiento. Una última variable, la atención dividida, ha sido aún menos explorada. Riva, Cazzniga, Esposito, y Bulgheroni (2013) muestran que las áreas del sistema nervioso que se relacionan a la monitorización, memoria de trabajo, y aspectos cognitivos como la atención dividida, son el cerebelo, el córtex pre-frontal, y algunas estructuras sub corticales. Como se revisó anteriormente, estos sectores del sistema nervioso se estimulan con la actividad musical (e.g., Levitin, 2006; Petschke et al., 1988; Pretto & James, 2015; Tan, Pfordresher, & Harré, 2010). Pese a ello, la relación entre la atención dividida y el entrenamiento musical ha sido poco explorada.

En la misma línea de investigación, se han encontrado distintos tipos de asociaciones entre el entrenamiento musical y la memoria de trabajo (verbal y visoespacial), la que puede depender del nivel de habilidad musical que tienen los músicos. Sobre esa base, más que el entrenamiento musical, se podría decir que las habilidades cognitivas mejoradas de un músico dependen, entre otras cosas, del tiempo que lleve en ejercicio, el estudio formal de un instrumento musical, su edad, y de su práctica regular, entre otras variables (revisión en detalle; Ollen, 2006). Este punto no será profundizado en este estudio, pero se tomará en cuenta como factor relevante como criterio de inclusión de los participantes.

El estado del arte muestra bastante evidencia de un procesamiento cognitivo aventajado en músicos, y los estudios nombrados en este marco de trabajo son solo un ejemplo de ello. En esa línea, este estudio busca indagar en los aspectos cognitivos que han sido ampliamente abarcados en la literatura, como funciones ejecutivas, y también en los menos explorados como velocidad de procesamiento, inteligencia fluida y atención dividida, con el objetivo de comparar el desempeño cognitivo de músicos adultos versus población de no-músicos, y determinar si la evidencia levantada aporta más al entendimiento en este tipo de aspectos de la cognición humana.

Creemos que esta investigación es una contribución a la literatura, considerando que no muchos estudios indagan en músicos jóvenes adultos, tiene algunas medidas de funciones ejecutivas y aspectos cognitivos novedosas para psicología, y propone dentro de sus variables de control diversos aspectos que típicamente no son incluidos como co-variables.

Método

Participantes

Inicialmente se reclutaron 144 personas con y sin entrenamiento musical (108 y 36 respectivamente), edad promedio 30 años ($DE = 6.58$), 35.4% mujeres.

Como criterio de inclusión se administró *OMSI* (Ollen Musical Sophistication Index. Ollen, 2006), para medir la sofisticación musical de los participantes. Los puntajes obtenidos mayores a 500 se clasifican como ‘consistentemente sofisticados en música’, y los casos con menos de 500 puntos se clasifican como ‘poco sofisticados en música’, en una escala de 1 a 1000. Hubo dos casos de músicos que se declararon con alto entrenamiento musical pero que obtuvieron menos de 500 puntos. Los dos casos fueron descartados. El rango final de sofisticación musical para los músicos quedó en 501–990. Ningún participante del grupo control obtuvo más de 500 puntos (rango, 26–476).

Otro criterio de inclusión fue contactar participantes monolingües. Por realizar un muestro por bola de nieve, se optó por administrar un cuestionario que preguntaba el manejo de habilidades de un segundo idioma para re-controlar la variable (leer, escribir, escuchar, hablar). Un caso fue descartado porque el participante declaró tener un nivel alto de manejo en las cuatro habilidades de un segundo idioma, variable que podía afectar los resultados según los hallazgos de Bialystok y DePape (2009), y Bialystok, Craik, Green, y Gollan (2009).

No se estimó como criterio de inclusión medir personas únicamente diestras o zurdas, pero se controló con un cuestionario que se detalla en instrumentos, como variable dicotómica.

Por otro lado, un participante se declaró daltónico. Se descartó su participación en las pruebas que involucraron discriminación en base a colores (inhibición y flexibilidad cognitiva).

La muestra final estuvo constituida por 141 participantes. 105 músicos y 36 no-músicos. Los músicos participantes fueron intérpretes de diversos instrumentos, tales como cantantes, pianistas, bateristas, trompetistas, guitarristas, percusionistas, violinistas, y bajistas.

La investigación fue aprobada por la Unidad de Ética y Seguridad en Investigación de la Pontificia Universidad Católica de Chile, respetando la normativa nacional e internacional para investigación en Ciencias Sociales. A los participantes se les entregó un consentimiento informado el día de la medición, y no recibieron incentivos de ningún tipo por participar.

Instrumentos

Se administró una batería de test diseñada para el estudio, que midió los aspectos cognitivos relevantes para la investigación en el siguiente orden y tipo (Tabla 1).

Flexibilidad cognitiva se midió con el Wisconsin Card Sorting Test (Grant & Berg, 1948; Heaton, 1981), considerando un índice que incluyó las variables de respuestas perseverativas, errores perseverativos, errores no perseverativos, categorías completadas y aprender a aprender. Para ‘memoria de trabajo verbal’ se utilizó la sub-prueba de la Escala de Inteligencia de Wechsler para adultos (WAIS-IV; Wechsler, Rosas, Pizarro, & Tenorio, 2013), Retención de Dígitos, con un índice para sus tres condiciones (directos, inversos y secuencia). Inhibición cognitiva fue medida con Stroop, Test de colores y palabras en 45 segundos (Golden, 2007), en sus tres condiciones (palabras, colores, colores-

Tabla 1. Batería de test.

Variable dependiente	Test	Tipo de test
Flexibilidad cognitiva	Wisconsin Card Sorting Test	Formulario
Memoria de trabajo verbal	Retención de dígitos	Formulario
Inhibición cognitiva	Stroop Test	Formulario
Go/No-go	Cats&Dogs (YellowRed)	Tablet
Memoria trabajo viso-espacial	Binding (YellowRed)	Tablet
Atención dividida	Atención dividida (HAL2)	Tablet
Inteligencia fluida	FIX (HAL2)	Tablet
Velocidad de procesamiento	Cats&Dogs (YellowRed)	Tablet

palabras). La memoria de trabajo viso-espacial fue medida con la sub-prueba de YellowRed ‘Binding’, diseñada por CEDETi UC (Tablet). El participante debe mirar por algunos segundos estímulos visuales, que vinculan números con imágenes (dibujos). Posteriormente, en una segunda pantalla, el participante debe asociar el número a la imagen que corresponde, arrastrando con el dedo números hacia la imagen vinculada. Se presentan distractores entre las posibles respuestas: más números entre las alternativas, y/o menos imágenes que en la pantalla original. Go/no-go fue medida con la sub-prueba de YellowRed ‘Cats & Dogs’ (Tablet), diseñada por CEDETi UC, basada en la prueba Hearts & Flowers (Wright & Diamond, 2014). La prueba contiene tres etapas: estímulos congruentes, estímulos contrarios, y estímulos aleatorios. Se consideró solo la condición de aparición de estímulos aleatorios para la medición, por ser la etapa más compleja y la que ofrece mejor discriminación en adultos. Para medir ‘atención dividida’ se utilizó la sub-prueba de HAL2 diseñada por CEDETi UC que lleva el mismo nombre. Posterior a una etapa de práctica, los participantes deben deslizar con su dedo hacia arriba o abajo en presencia de números pares o impares respectivamente. Al mismo tiempo, deben seguir la trayectoria de círculos rojos que se encuentran en movimiento dentro de un octágono, los que se presentan entre círculos azules (distractores). Pasado algunos segundos, los círculos rojos se transforman a azul, y continúan en movimiento (mismo color que los distractores). Los números cesan de moverse al mismo tiempo que la tarea 1 (deslizar arriba o abajo), y el participante debe marcar con el dedo los círculos azules que anteriormente eran rojos. Se estimó un indicador que respondiera al desempeño de las dos tareas al mismo tiempo, considerando una respuesta correcta cuando la tarea 1 y 2 fueron acertadas simultáneamente. La inteligencia fluida fue medida con una sub-prueba de HAL2 llamada FIX (Tablet). En esta medición los participantes deben observar matrices de 2 x 2 con distintos diseños, las que tienen el espacio inferior derecho sin completar. Deben marcar con el dedo la respuesta que consideran correcta entre cinco alternativas que se encuentran al costado derecho de la pantalla. Existe una respuesta correcta y cuatro distractores por ítem. Se consideró como indicador de desempeño el valor bruto de cada participante de los 10 ítems de la

prueba. Por último, la velocidad de procesamiento es un segundo indicador que arroja ‘Cats & Dogs’. Se consideró el tiempo de reacción al estímulo de la tercera condición de la prueba, i.e., la suma del tiempo de cada respuesta, desde que aparecen los estímulos, hasta que el participante marca con el dedo en el Tablet, de la última condición que considera solo respuestas aleatorias. El rango de respuesta a esta variable fue de 408 a 871 milisegundos por ítem. No se descartó ningún caso, por no considerar que hayan habido respuestas impulsivas, consideradas en este estudio como menores a 400 milisegundos, ya que la tarea requiere de una toma de decisión sencilla.

Medición variables de control

A través de un cuestionario se registró la edad de los participantes. Como se nombró anteriormente, para bilingüismo, se les preguntó por el manejo de un segundo idioma a través de un cuestionario que incluyó las cuatro habilidades del lenguaje (i.e., escuchar, hablar, leer, escribir). Se realizó una traducción al español del Ollen Musical Sophistication Index (*OMSI*, Ollen, 2006), para medir la sofisticación musical de cada participante (alfa Cronbach = .77). Se midió lateralidad a través de una versión en español del ‘Edinburgh Handedness Inventory’ (Bryden, 1977; Oldfield, 1971), por los hallazgos mostrados por Nettle (2003), Powell, Kemp, y García-Finaña (2012) y Beratis, Ravabilas, Kyprianou, Papadimitriou, y Papageorgiou (2013) donde población zurda muestra diferencia de desempeño en funciones ejecutivas en comparación a diestros. Finalmente, dadas las características de la población chilena, la relación con la escolaridad y el nivel socio-económico (Rosas & Santa Cruz, 2013), se generó un índice de nivel socio-económico, construido con el nivel educativo de los participantes (cuatro niveles), y la dependencia del colegio del que salieron al terminar su escolaridad (tres niveles).

Procedimiento

La toma de datos se realizó entre los meses de marzo a julio de 2018 en Chile, específicamente en las ciudades de Santiago, Punta Arenas, Frutillar y Valparaíso, en una única sesión por participante, de una hora y cuarto de duración aproximadamente (75 minutos promedio). Se procuró que en cada medición las salas no tuvieran distractores de ruido o variación en la iluminación, respetando siempre el mismo orden de administración, para controlar que los participantes tuvieran siempre la misma carga cognitiva, y para no intercambiar permanentemente entre formularios y las pruebas en Tablet. Se analizaron los datos con SPSS versión 24 para testear las hipótesis del estudio.

Resultados

Para llevar a cabo los análisis, se chequearon los supuestos de normalidad y homogeneidad de la varianza con las pruebas de Shapiro y Wilk (1965) y Levene

(1960) respectivamente. Posteriormente, se corrigieron las variables que presentaron problemas en estos supuestos, con transformación logarítmica (logit), según sugiere diversa bibliografía para este tipo de muestras (e.g., Feng et al., 2014; Hotelling, 1953; Robert & Casella, 2004).

Se generó una tabla con los estadísticos descriptivos de desempeño de las variables dependientes presentados en la [Tabla 2](#), para ver posiciones de desempeño entre músicos y no-músicos.

Los resultados obtenidos para la comparación de todas las variables, entre músicos y no-músicos se muestran en la [Tabla 3](#).

Se aprecian diferencias significativas en desempeño para memoria de trabajo verbal, velocidad de procesamiento, inhibición cognitiva, inteligencia fluida, atención dividida y la prueba go/no-go. Todas estas diferencias se generaron a favor del grupo de músicos. En el caso de velocidad de procesamiento, la variable está interpretada de manera inversa; a menor puntaje se aprecia una mejor velocidad de procesamiento ([Tabla 2](#)).

Pese a que hay significancia estadística en diversas variables, los tamaños de efecto que estarían explicados por el entrenamiento musical nos parecieron particularmente atractivos para memoria de trabajo verbal y velocidad de procesamiento. En el caso de la primera de ellas, el tamaño de efecto es grande, y en el segundo caso es mediano (Cohen, 1988).

Discusión

Los resultados de la presente investigación muestran de manera concluyente que los músicos tienen un desarrollo cognitivo superior a los no-músicos, en algunas habilidades cognitivas importantes.

Para el caso de memoria de trabajo verbal, los resultados mostraron diferencias significativas a favor de los músicos, mostrando un tamaño de efecto grande (Cohen, 1988). Esta evidencia concuerda con los hallazgos de Pallesen et al. (2010) en población adulta, y sugiere que la memoria de trabajo verbal, con estímulos musicales, estaría relacionada a la memoria de trabajo

Tabla 2. Datos descriptivos de las variables dependientes.

Variable dependiente	Músicos	No-músicos
Memoria de trabajo verbal	3.60 (0.35)	3.11 (0.26)
Inhibición cognitiva	0.76 (1.00)	0.12 (0.83)
Flexibilidad cognitiva	0.53 (0.27)	0.44 (0.30)
Go/No-go	0.53 (0.26)	0.42 (0.28)
Memoria de trabajo viso-espacial	0.52 (0.29)	0.44 (0.28)
Atención dividida	8.19 (1.12)	7.52 (1.63)
Inteligencia fluida	0.54 (0.26)	0.41 (0.28)
Velocidad de procesamiento	24.45 (1.65)	25.85 (2.25)
<i>Promedio (Desviación estándar).</i>		
<i>Velocidad de procesamiento expresada en segundos.</i>		

Tabla 3. Comparación de desempeño entre músicos y no-músicos. Ancova controlando edad, nivel socio-económico y lateralidad.

Variable dependiente	<i>df</i>	<i>F</i>	<i>p</i>	η_p^2	π	Fiabilidad
Memoria trabajo verbal	3	14.24	.000***	.345	.99	.97
Velocidad de procesamiento	4	10.03	.000***	.271	.99	.83
Inhibición cognitiva	4	5.35	.000***	.167	.99	.71
Inteligencia fluida	4	3.56	.005**	.116	.91	.80
Atención dividida	4	2.63	.026**	.089	.80	.69
Go/No-go	4	2.39	.072*	.050	.59	.83
M. trabajo viso-espacial	4	1.98	.120	.042	.50	.81
Flexibilidad cognitiva	3	1.36	.250	.031	.42	.91

Nota: *significativa a $\alpha < .10$; **significativa a $\alpha < .05$; ***significativa a $\alpha < .001$

Para todas las variables se incluyó el control por edad, nivel socio-económico, y lateralidad. Para el caso de memoria de trabajo verbal y flexibilidad cognitiva, no se incluyó en la ecuación el control por edad, ya que las pruebas controlan por esta variable previamente. La fiabilidad fue calculada con alfa de Cronbach.

verbal en otros contextos, como en este caso medido con el sub test de Retención de Dígitos. Respecto al nivel de experticia propuesto por Meinz y Hambrick (2010), referente a una mejora en memoria de trabajo verbal en músicos con muchos años de entrenamiento musical, la evidencia también concuerda, considerando que uno de los criterios de inclusión de este estudio fue que los participantes músicos tuvieran una sofisticación musical consistente. Por otro lado, nuestro estudio abre el espectro dentro de la disciplina de la música, ya que la muestra no solo estuvo constituida por pianistas, como en el caso de Meinz y Hambrick (2010).

Nuestros datos muestran que los músicos adultos tuvieron un mejor desempeño en velocidad de procesamiento. Los hallazgos de Zuk et al. (2014), mostraron diferencias a favor en población infantil con entrenamiento musical, en comparación a niños que no habían recibido este entrenamiento, pero los músicos adultos no se vieron favorecidos con su medida de esta variable (sub test 'claves' de WAIS-IV). En nuestro caso, esta variable fue medida como la respuesta a un estímulo en la prueba Cats & Dogs, y muestran que estas diferencias son significativas, a favor de los músicos, con un tamaño de efecto mediano (Cohen, 1988). Estos hallazgos sugieren que, no en todos los tipos de medición de velocidad de procesamiento, se pueden ver mejoras en población con entrenamiento musical. Sin embargo, a nivel de respuesta sorpresiva inmediata a un estímulo, los músicos adultos tienden a ser más rápidos que los no-músicos por algunos milisegundos.

En inhibición también se aprecian diferencias significativas a favor de los músicos, tanto para inhibición cognitiva como go/no-go, con un tamaño de efecto pequeño en ambas variables (Cohen, 1988). Esta evidencia concuerda con las de Moreno et al. (2011), Jaschke et al. (2018), y Slater, Azem, Nicol, Swedenborg, y Kraus (2017), incluso tomando en cuenta que los estudios se

realizaron con distintas técnicas de medición, y que en el caso particular de Jaschke et al. (2018), el desempeño fue medido de manera longitudinal. En el estudio de Moreno et al. (2011), se aprecia que desde el paradigma go/no-go, estas diferencias son más visibles en niños ($F = 6.42, p < .05, \eta_p^2 = .12$), y en el presente estudio, la diferencia se torna visible en adultos pero con un intervalo de confianza y un tamaño de efecto más bajos ($F = 2.39, p = .07, \eta_p^2 = .05$). En esta línea, se torna interesante indagar en la relación de desempeño en pruebas go/no-go y el entrenamiento musical, ya que esta va cambiando en el tiempo.

Para la variable de inteligencia fluida, también se encontraron diferencias significativas a favor de los músicos en comparación al grupo control, con un tamaño de efecto pequeño (Cohen, 1988). Estos resultados muestran evidencia en adultos, que concuerda con los hallazgos de Schellenberg (2011) en niños, ya que en ambos casos (niños y adultos), los músicos tienen un mejor desempeño que personas sin este entrenamiento. A su vez, se relacionan a evidencia como la de Oechslin, Van De Ville, et al. (2013) y Oechslin, Descloux, et al. (2013), donde se estima que la inteligencia fluida se predice por el volumen del hipocampo, y que este, está favorecido en población que haya recibido entrenamiento musical instrumental.

Respecto de la atención dividida, esta evidencia da un soporte empírico desde la psicología cognitiva, a la relación de las áreas del sistema nervioso que se asocian a estos aspectos cognitivos (Riva et al., 2013). Los resultados sugieren que hay un efecto entre el entrenamiento musical y la atención dividida, ya que el grupo de los músicos tiene diferencias significativas de desempeño a favor en comparación al grupo control, con un tamaño de efecto pequeño (Cohen, 1988). Esta relación se torna interesante de indagar con mayor profundidad a futuro, y podría estar explicada a través del entrenamiento musical, donde se requiere de la utilización de una coordinación motora importante, e incluso, en muchos casos, de la lectura musical simultánea al ejecutar música (no indagada en este estudio). Los hallazgos de nuestra investigación concuerdan de esta manera con las asociaciones neurológicas propuestas por Riva et al. (2013) para atención dividida.

En el caso de memoria de trabajo viso-espacial, no se encontraron diferencias entre músicos y no-músicos con esta medición. Estos resultados concuerdan con los de Bidelman et al. (2013), donde no hubo diferencias significativas para este tipo de medición en músicos. A su vez, se contradicen con hallazgos de Hetland (2000) con meta-análisis, donde se aprecia una mejora para población de músicos versus no-músicos en tareas viso-espaciales. También son contradictorios a los resultados de George y Coch (2011), que muestran una correlación entre los años de entrenamiento musical y una mejora de estas habilidades, o los de Slevc et al. (2016) que muestran ventaja en personas con mayor habilidad musical versus no-músicos con Visual Letter-back Task en su medición. Sin duda, se requiere de más investigación que de soporte al entendimiento entre habilidades viso-espaciales y el entrenamiento musical.

En la última variable, flexibilidad cognitiva, no se apreciaron diferencias significativas entre músicos y no-músicos en nuestro estudio. Esta evidencia es contradictoria a los hallazgos de Hanna-Pladdy y MacKay (2011) en adultos mayores,

y Zuk et al. (2014) en niños, donde la flexibilidad cognitiva fue medida con Trail Making Test. Sin embargo, concuerda con la evidencia de Schellenberg (2011), donde no se encontraron diferencias significativas en niños con la misma medida (Wisconsin Card Sorting Test). Se torna difícil apreciar si es que existe una relación tan clara entre el entrenamiento musical y el desempeño en flexibilidad cognitiva con este tipo de evidencias, aunque eventualmente, esta contradicción se podría explicar dado que la prueba Wisconsin Card Sorting Test, no considera una tarea asociada al movimiento, y el Trail Making Test involucra un desempeño motor y cognitivo integrado, el cual podría tener mayor similitud al ejercicio que involucra tocar un instrumento musical.

Conclusión

La interpretación musical involucra factores cognitivos y motores. Esta investigación indaga en los posibles beneficios que tiene ejecutar un instrumento musical en diversos aspectos de la cognición. En menor medida, abarcó dos aspectos motores a través de una prueba go/no-go, respecto a su desempeño y a su velocidad de procesamiento.

Los hallazgos de esta investigación mostraron diferencias de desempeño cognitivo a favor de los músicos, en comparación a personas que no han recibido este entrenamiento, para memoria de trabajo verbal, velocidad de procesamiento, inhibición cognitiva, prueba go/no-go, inteligencia fluida y atención dividida. Otros estudios mostraron estas diferencias en niños que habían recibido entrenamiento musical en comparación a niños que no lo habían recibido. En nuestro estudio, estas diferencias también se hicieron visibles en una población de músicos adultos.

Como se nombró anteriormente, según los resultados obtenidos para la prueba go/no-go, sería interesante indagar en las trayectorias de músicos, y su relación con estas mediciones, ya que la relación fue más robusta en niños y más atenuada en adultos.

Limitaciones

Nuestra investigación es un aporte al entendimiento del entrenamiento musical en adultos jóvenes, respecto a variables indagadas en la literatura, y otras que no han sido tan exploradas. Este estudio a su vez, no es parte de una discusión que ha existido en poca proporción en la literatura, respecto a si el desempeño cognitivo aventajado en músicos tiene una causal en el entrenamiento musical, o son las características cognitivas de una población específica las que generan un vínculo más cercano a carreras asociadas a ámbitos musicales (Demorest & Morrison, 2000; Wheeler & Wheeler, 1951). Futuras investigaciones debieran focalizarse en esta temática, a través de estudios longitudinales en distintas poblaciones (niños, adultos y adultos mayores), y en pruebas que respondan de manera robusta a las habilidades cognitivas y motoras inherentes a la interpretación musical, ya que, pese a existir poca evidencia, es posible que las

ventajas de la interpretación musical se amplían bastante más allá del marco de lo puramente cognitivo.

Acknowledgements / Agradecimientos

To music and science. / A la música y la ciencia.

Disclosure statement

No potential conflict of interest was reported by the authors / Los autores no han referido ningún potencial conflicto de interés en relación con este artículo.

References / Referencias

- Benjamin, W. (1936). The Work of Art in the Age of Mechanical Reproduction. In H. Arendt (Ed.), *Illuminations* (p. 3). New York, NY: Schocken Books.
- Beratis, I. N., Ravabilas, A. D., Kyprianou, M., Papadimitriou, G. N., & Papageorgiou, C. (2013). Investigation of the link between higher order cognitive functions and handedness. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 35, 393–403. doi:10.1080/13803395.2013.778231
- Bever, T. G., & Chiarello, R. J. (1974). Cerebral dominance in musicians and nonmusicians. *Science*, 185, 537–539. doi:10.1126/science.185.4150.537
- Bialystok, E., Craik, F., Green, D., & Gollan, T. (2009). Bilingual minds. *Psychological Science in the Public Interest*, 10, 89–129. doi:10.1177/1529100610387084
- Bialystok, E., & DePape, A. (2009). Musical expertise, bilingualism, and executive functioning. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 35, 565–574 .
- Bidelman, G., Hutka, S., & Moreno, S. (2013). Tone language speakers and musicians share enhanced perceptual and cognitive abilities for musical pitch: evidence from bidirectionality between the domains of language and music. *PLoS One*, 8, e60676.
- Bryden, M. P. (1977). Measuring handedness with questionnaires. *Neuropsychologia*, 15, 617–624.
- Bugos, J., Perlstein, W., McCrae, C., Brophy, T., & Bedenbaugh, P. (2007). Individualized piano instruction enhances executive functioning and working memory in older adults. *Aging & Mental Health*, 11, 464–471. doi:10.1080/13607860601086504
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (2nd ed.). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Degé, F., Kubicek, C., & Schwarzer, G. (2011). Music lessons and intelligence: a relation mediated by executive functions. *Music Perception*, 29, 195–201.
- Delis, D. C., Kramer, J. H., Kaplan, E., & Holdnack, J. (2004). Reliability and validity of the Delis-Kaplan Executive Function System: An Update. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 10, 301–303.
- Demorest, S., & Morrison, S. (2000). Does Music Make You Smarter? *Music Educators Journal*, 87, 11–17. doi:10.2307/3399646
- Diamond, A. (2013). Executive functions. *Annual Review of Psychology*, 64, 135. doi:10.1146/annurev-psych-113011-143750
- Emmerich, E., Engelmann, M., Rohmann, M., & Richter, F. (2015). Hearing Impairment in Professional Musicians and Industrial Workers – Profession-Specific Auditory Stimuli Used to Evoke Event-Related Brain Potentials and to Show Different

- Auditory Perception and Processing. In *Update on hearing loss*, chapter 7. University of Brasilia. doi:[10.5772/59528](https://doi.org/10.5772/59528)
- Feng, C., Wang, H., Lu, N., Chen, T., He, H., & Tu, X. (2014). Log-transformation and its implications for data analysis. *Shanghai Archives of Psychiatry*, 26, 105–109. doi:[10.3969/j.issn.1002-0829.2014.02.009](https://doi.org/10.3969/j.issn.1002-0829.2014.02.009)
- Franklin, M., Moore, Y., Jonides, J., Rattray, K., & Moher, J. (2008). The effects of musical training on verbal memory. *Psychology of Music*, 36, 353–365. doi:[10.1177/0305735607086044](https://doi.org/10.1177/0305735607086044)
- Gaser, C., & Schlaug, G. (2003). Brain Structures Differ between Musicians and Non-Musicians. *The Journal of Neuroscience*, 23, 9240–9245. doi:[10.1523/JNEUROSCI.23-27-09240.2003](https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.23-27-09240.2003)
- George, E., & Coch, D. (2011). Music training and working memory: an ERP study. *Neuropsychologia*, 49, 353–365.
- Golden, C. J. (2007). *Stroop test de colores y palabras, manual* (5° ed.). Madrid: TEA Ediciones.
- Grant, D., & Berg, E. (1948). A behavioral analysis of degree of reinforcement and ease of shifting to new responses in a Weigel-type card-sorting problem. *Journal of Experimental Psychology*, 38, 404–411.
- Hanna-Pladdy, B., & MacKay, A. (2011). The relation between instrumental musical activity and cognitive aging. *Neuropsychology*, 25, 378–386. doi:[10.1037/a0021895](https://doi.org/10.1037/a0021895)
- Heaton, R. (1981). *Wisconsin Card Sorting Test Manual*. Odessa, FL: Psychological Assessment Resource Inc.
- Hetland, L. (2000). Learning to make music enhances spatial reasoning. *Journal of Aesthetic Education*, 34, 179–238.
- Hottelling, H. (1953). New light on the correlation coefficient and its transformations. *Journal of the Royal Statistical Society, Series B*, 15, 193–225.
- Jaschke, A., Honing, H., & Scheder, E. (2018). Longitudinal Analysis of Music Education on Executive Functions in Primary School Children. *Frontiers in Neuroscience*, 12(103). doi:[10.3389/fnins.2018.00103](https://doi.org/10.3389/fnins.2018.00103)
- Kaganovich, N., Kim, J., Herring, C., Schumaker, J., & MacPherson, M. (2013). Musicians show general enhancement of complex sound encoding and better inhibition of irrelevant auditory changes in music: an ERP study. *European Journal of Neuroscience*, 37, 1295–1307.
- Koelsch, S., Rohrmeier, M., Torrecuso, R., & Jentschke, S. (2013). Processing of hierarchical syntactic structure in music. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110, 15443–15448. doi:[10.1073/pnas.1300272110](https://doi.org/10.1073/pnas.1300272110)
- Levene, H. (1960). *Robust tests for equality of variances*. Palo Alto, CA: Stanford University Press.
- Levitin, D. (2006). *This is your Brain on Music: The Science of a Human Obsession*. New York, NY: Dutton/Penguin.
- Levitin, D., Grahm, J., & London, J. (2018). The Psychology of Music: Rhythm and Movement. *Annual Review of Psychology*, 69, 51–75. doi:[10.1146/annurev-psych-122216-011740](https://doi.org/10.1146/annurev-psych-122216-011740)
- MacKenzie, C. (1986). Motor skills in music performance: Comments on Sidnell. *Psychomusicology*, 6, 25–28.
- Meinz, E. J., & Hambrick, D. Z. (2010). Deliberate practice is necessary but not sufficient to explain individual differences in piano sight-reading skill: the role of working memory capacity. *Psychological Science*, 21, 914–919. doi:[10.1177/0956797610373933](https://doi.org/10.1177/0956797610373933)
- Miendlarzewska, E., & Trost, W. (2014). How musical training affects cognitive development: rhythm, reward and other modulating variables. *Frontiers in Neuroscience*, 7 (279). doi:[10.3389/fnins.2013.00279](https://doi.org/10.3389/fnins.2013.00279)

- Miyake, A., Friedman, N. P., Emerson, M. J., Witziki, A. H., Howerter, A., & Wager, T. D. (2000). The unity and diversity of executive functions and their contributions to complex “frontal lobe” tasks: A latent variable analysis. *Cognitive Psychology*, 41, 49–100. doi:10.1006/cogp.1999.0734
- Moreno, S., Bialystok, E., Barac, R., Schellenberg, E. G., Cepeda, N. J., & Chau, T. (2011). Short-term music training enhances verbal intelligence and executive function. *Psychological Science*, 22, 1425–1433. doi:10.1177/0956797611416999
- Nettle, D. (2003). Hand laterality and cognitive ability: A multiple regression approach. *Brain and Cognition*, 52, 390–398. doi:10.1016/S0278-2626(03)00187-8
- Oechslin, M. S., Descoux, C., Croquelois, A., Chanal, J., Van de Ville, D., Lazeyras, F., & James, C. (2013). Hippocampal volumen predicts fluid intelligence in musically trained people. *Hippocampus*, 23, 552–558. doi:10.1002/hipo22120
- Oechslin, M. S., Van De Ville, D., Lazeyras, F., Hauert, C.-A., & James, C. E. (2013). Degree of musical expertise modulates higher order brain functioning. *Cerebral Cortex*, 23, 2213–2224. doi:10.1093/cercor/bhs206
- Oldfield, R. C. (1971). The assesment and analysis of handedness: The Edinburgh Inventory. *Neuropsychologia*, 9, 97–113.
- Ollen, J. (2006). *A criterion-related validity test of selected indicators of musical sophistication using expert ratings* (Electronic Thesis or Dissertation). Retrieved from <https://etd.ohiolink.edu/>
- Orlandini, L. (2012). La interpretación musical. *Revista Música Chilena*, 218, 77–81.
- Pallesen, K. J., Brattico, E., Bailey, C. J., Korvenoja, A., Koivisto, J., Gjedde, A., & Carlson, S. (2010). Cognitive control in auditory working memory is enhanced in musicians. *PloS one*, 5(6), e11120. doi:10.1371/journal.pone.0011120
- Parbery-Clark, A., Skoe, E., Lam, C., & Kraus, N. (2009). Musician enhancement for speech-in-noise. *Ear and Hearing*, 30, 653–661. doi:10.1097/AUD.0b013e3181b412e9
- Patel, A. (2008). *Music, Language and the Brain*. New York, NY: Oxford University Press.
- Peretz, I., & Morais, J. (1989). Music and Modularity. *Contemporary Music Review*, 4, 279–293. doi:10.1080/07494468900640361
- Petschke, H., Lindner, K., & Rappelsberger, P. (1988). The EEG: An adequate method to concretize brain process elicited by music. *Music Perception*, 6, 133–160.
- Plack, C. J., Oxenham, A. J., Fay, R. R., & Popper, A. N. (2005). *Pitch: Neural Coding and Perception*. New York, NY: Springer.
- Powell, J. L., Kemp, G. J., & García-Finaña, M. (2012). Association between language and spatial laterality and cognitive ability: an fMRI study. *NeuroImage*, 59, 1818–1829. doi:10.1016/j.neuroimage.2011.08.040
- Pretto, M., & James, C. (2015). Principles of Parsimony: fMRI Correlates of Beat-Based Versus Duration-Based Sensorimotor Synchronization. *Psychomusicology*, 25, 380–391. doi:10.1037/pmu0000122
- Reynolds, C., & Voress, J. (2007). *Test of memory and language* (2nd ed.). Austin, TX: PRO-ED Inc.
- Riva, D., Cazzniga, F., Esposito, S., & Bulgheroni, S. (2013). Executive functions and cerebellar development in children. *Applied Neuropsychology Child*, 2, 97–103. doi:10.1080/21622965.2013.791092
- Robert, C., & Casella, G. (2004). *Monte Carlo Statistical Methods*. New York, NY: Springer.
- Rosas, R., & Santa Cruz, C. (2013). *Dime en qué colegio estudiaste y te diré qué CI tienes: Radiografía al desigual acceso al capital cognitivo en Chile*. Santiago: Ediciones Universidad Católica de Chile.

- Santa Cruz, C., & Rosas, R. (2017). Mapping of Executive Functions/Cartografía de las Funciones Ejecutivas. *Estudios de Psicología*, 38, 284–310. doi:[10.1080/02109395.2017.1311459](https://doi.org/10.1080/02109395.2017.1311459)
- Schellenberg, E. G. (2011). Examining the association between music lessons and intelligence. *British Journal of Psychology*, 102, 283–302. doi:[10.1111/j.2044-8295.2010.02000.x](https://doi.org/10.1111/j.2044-8295.2010.02000.x)
- Shapiro, S., & Wilk, M. (1965). An analysis of variance test for normality (Complete Samples). *Biometrika*, 52, 591–611. doi:[10.1093/biomet/52.3-4.591](https://doi.org/10.1093/biomet/52.3-4.591)
- Slater, J., Ashley, R., Tierney, A., & Kraus, N. (2018). Got Rhythm? Better Inhibitory Control Is Linked with More Consistent Drumming and Enhanced Neural Tracking of the Musical Beat in Adult Percussionists and Nonpercussionists. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 30, 14–24.
- Slater, J., Azem, A., Nicol, T., Swedenborg, B., & Kraus, N. (2017). Variations on the theme of musical expertise: cognitive and sensory processing in percussionists, vocalists and non-musicians. *European Journal of Neuroscience*, 45, 952–963. doi:[10.1111/ejn.13535](https://doi.org/10.1111/ejn.13535)
- Slevc, L. R., Davey, N., Buschkuehl, M., & Jaeggi, S. (2016). Tuning the Mind: Exploring the connections between musical ability and Executive Functions. *Cognition*, 152, 199–211. doi:[10.1016/j.cognition.2016.03.017](https://doi.org/10.1016/j.cognition.2016.03.017)
- Tan, S. L., Pfordresher, P., & Harré, R. (2010). *Psychology of music: From sound to significance*. New York, NY: Psychology Press.
- Tramo, M. J., Cariani, P. A., Koh, C. K., Makris, N., & Braidá, L. D. (2005). Neurophysiology and Neuroanatomy of Pitch Perception: Auditory Cortex. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1060, 148–174.
- Wechsler, D. (1999). *Wechsler Abbreviated Scale of Intelligence*. San Antonio, TX: Psychological Corporation.
- Wechsler, D. (2003). *Wechsler Intelligence Scale for Children. WISC-IV* (4th ed.). San Antonio, TX: Pro-Ed, Inc.
- Wechsler, D., Rosas, R., Pizarro, M., & Tenorio, M. (2013). *WAIS-IV: Manual de administración y corrección* (p. 221). Santiago: NCS Pearson.
- Wheeler, L., & Wheeler, V. (1951). The intelligence of music students. *Journal of Educational Psychology*, 42, 223–230. doi:[10.1037/h0055291](https://doi.org/10.1037/h0055291)
- Wright, A., & Diamond, A. (2014). An effect of inhibitory load in children while keeping working memory load constant. *Frontiers in Psychology*, 5, 213. doi:[10.3389/fpsyg.2014.00213](https://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.00213)
- Zatorre, R. (1983). Category-boundary effects and speeded sorting with a harmonic musical-interval continuum: Evidence for dual processing. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 9, 739–752. doi:[10.1037/0096-1523.9.5.739](https://doi.org/10.1037/0096-1523.9.5.739)
- Zuk, J., Benjamin, C., Kenyon, A., & Gaab, N. (2014). Behavioral and neural correlates of executive functioning in musicians and non-musicians. *PloS One*, 9(6), e99868.