



**UNIVERSIDAD DE GRANADA**

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA EDUCACIÓN**

**PROGRAMA DE DOCTORADO EN CIENCIAS DE LA EDUCACIÓN**

**Actividad cerebral y métodos de enseñanza: estudio  
comparativo entre el método de educación musical  
tradicional y metodología de indagación**

Tesis doctoral presentada por:

**Marcella Pereira Barbosa de Aquino**

Dirigida por:

**Dra. María Purificación Pérez-García**

Granada, 2019

Editor: Universidad de Granada. Tesis Doctorales  
Autor: Marcella Pereira Barbosa de Aquino  
ISBN: 978-84-1306-413-0  
URI: <http://hdl.handle.net/10481/58814>

**Reconocimientos:**

Esta investigación ha estado subvencionada por el Centro Universitário de João Pessoa (Brasil) y por el Vicerrectorado de Investigación de la Universidad de Granada (España).

## AGRADECIMIENTOS

---

A lo largo de todo el periodo doctoral tuve la oportunidad de sentir los más diferentes sentimientos de un modo vivido y apasionado. En los momentos de debilidad y de éxito, tuve el mayor aprendizaje. ***La amistad verdadera es el bien más imprescindible en la vida:*** sentir el cariño, compañerismo y amor de personas que han estado conmigo durante todo el camino, animándome, confiando y creyendo en mí antes que yo mí misma. Celebrando conmigo las victorias y asegurando mi mano en tiempos difíciles, solamente por querer verme bien. ¡**Gracias eternas!**

En primer lugar, y no podría ser distinto, quiero agradecer a **Dios**, incluso con mis imperfecciones y limitaciones, que esté conmigo ofreciendo su fuente inestimable de amor y vida. Sin que precise pedir, está presente. Por su auxilio y conforto en las horas difíciles. Sin ÉL, NADA SERÍA POSIBLE.

Quiero dar las gracias a Nuestra Madre **María Santísima**, mi Señora, por su inagotable humildad en Cristo, por su amor infinito de madre, inspiración y ejemplo de sierva y amante incuestionable de Dios, siempre presente en mi vida. Sin duda agradezco a **mi ángel de la guarda**, por estar a todas las horas conmigo, guiando por los caminos de Cristo y asegurando que nada malo me pase.

**A mis familiares**, amores insustituibles de mi vida, por el apoyo que me dan en todas las etapas de mi vida, respetando mis decisiones. En especial, a mis eternos profesores Afonso Pereira (*in memoriam*) (*título de mejor profesor del Brasil según el Congreso Brasileño*) y Clemilde Pereira, de los cuales tengo la honra de ser nieta, que juntos crearon historia en un momento arduo en la educación en Brasil, con dedicación, amor, perseverancia, revolución e innovación. Por la presencia constante en todos los

momentos de mi vida, enseñándome el camino recto y coherente e incentivando que nunca parara en las dificultades.

A mi eterno amigo, esposo, compañero **Eduardo José Nogueira de Aquino**, mi aire, que me enseñó que la herramienta más poderosa contra las adversidades de la vida está en mí, acreditar que es posible incluso cuando todo está en contra, nunca olvidar quién soy. Es el primero en creer en mi potencial, encontrando en mis limitaciones lo mejor de mí, incentivándome a nunca desistir, ¡Gracias mi amado por todo el cariño, atención, paciencia y cuidados prestados a mí y a mi futuro!

A mis hijos **Giovana María** y **Leonardo**, mi vida, que, con su alegría contagiante, me inspiran a hacer con pasión todos mis proyectos en mi carrera académica promisorio. A estas personas, con amor y agradecimiento incondicional, dedico.

A mis compañeros de trabajo académico, y ahora amigos, **Dr. Juan Verdejo-Román** y **Dr. Miguel Pérez-García** que me enseñaron lo enriquecedor que es trabajar en equipo, auxiliando y contribuyendo de forma significativa al largo de estos años doctorales.

A mi directora de tesis, persona de las más generosas y amiga que conozco, **Dra. María Purificación Pérez-García**, ejemplo de educadora que hace de la enseñanza un camino fructífero de crecimiento social y de valores con amor, competencia y vocación. Sin dudar, de modo incondicional me apoyó en todos los momentos, tanto en la academia como de modo privado, enseñándome sobre la vida y el significado de una verdadera amistad. - *¡Muchísimas gracias por depositar en mí la confianza necesaria, confianza esta que es transformadora en mí. Ahora me siento más segura como profesora e investigadora! ¡No vamos a olvidar escribir nuestro libro “Los bastidores de la vida de un doctorando”! -.*

A todos los voluntarios sin excepción - músicos, no músicos, estudiantes y el profesor Aarón - por participar en el estudio de modo efectivo. Sin su colaboración, no sería posible finalizar este trabajo. ¡Muchas gracias!

Por último y no menos importante, las instituciones compañeras en este proyecto doctoral. A la **Facultad de Ciencias de la Educación de la Universidad de Granada**, particularmente el Departamento de Didáctica y Organización Escolar, que me recibió con cariño como alumna de doctorado, apoyando mi proyecto y ofreciendo las herramientas necesarias para mi crecimiento como investigadora y educadora. Al **Centro de Investigación Mente, Cerebro y Comportamiento (CIMCYC) de la Universidad de Granada**, donde se desarrolló el experimento en resonancia magnética funcional y donde aplicamos las pruebas neurocognitivas. No escatimando esfuerzos, me ayudó en todo el proceso investigativo en términos técnico, académico y humano. Al **Vicerrectorado de Investigación y Transferencia** por concedernos una subvención que nos permitió continuar con las resonancias magnéticas. Al **Centro Universitario de João Pessoa, UNIPÊ**, en nombre de la profesora Ana Flávia Pereira Medeiros da Fonseca, por acreditar esta innovación, confiar en mi proyecto investigativo y apoyarlo financieramente.

## RESUMEN

---

El objetivo general de este trabajo doctoral ha sido comparar el método de educación musical tradicional frente a una metodología de indagación desde la perspectiva didáctica, neurocognitiva, de rendimiento académico y de estructura cerebral. Los objetivos específicos se traducen en: a) Desarrollar y aplicar tareas de memoria y creatividad en educación musical con músicos en Resonancia Magnética Funcional (fMRI); b) Evaluar desde la esfera didáctica, neurocognitiva y de rendimiento, una secuencia de actividades musicales basadas en el método de educación por indagación y en el método de educación tradicional; c) Comparar el método de enseñanza tradicional frente a una metodología de indagación en relación a la estructura cerebral, antes y después de la enseñanza musical. Cada uno de los objetivos específicos anteriores, han supuesto un estudio cuyos resultados han sido traducidos a un artículo de investigación.

Nuestra investigación, que fue aprobada por el Comité Ético para la Investigación en Humanos de la Universidad de Granada y fue realizada de acuerdo con la declaración de Helsinki, se apoya en la metodología cuantitativa. Hemos realizado un experimento que se desarrolla en 6 fases y comprende 3 estudios:

1ª Fase: revisión teórica.

2ª Fase: diseño de tareas para realizar dentro del tubo de resonancia magnética

Diseñamos dos tareas que tenían que realizar los estudiantes dentro del tubo de resonancia magnética. Una sobre memoria y la otra, sobre creatividad. Hubo que pensarlas de modo que se ajustaran a los requisitos de la máquina, pues el espacio era nulo. Además, no podían implicar excesivo movimiento, pues la cabeza tenía que permanecer inmóvil para que las imágenes fueran nítidas.

3ª Fase: validación de las tareas con músicos y no músicos

Una vez diseñadas debíamos comprobar si realmente discriminaban memoria y creatividad. Para ello comenzamos el estudio 1. Participaron 19 personas con más de 10 años de experiencia en música y otras 21 sin experiencia ninguna. Los 40 sujetos pasaron por fMRI y realizaron las dos actividades dentro del tubo.

4ª Fase: diseño de la secuencia de actividades según las metodologías docentes

Paralelamente a la fase 3, comenzamos a diseñar secuencias de actividades que respondieron a los procesos cognitivos que lleva implícitas la puesta en práctica de la metodología de enseñanza tradicional y la metodología por indagación. Las operaciones cognitivas que nos sirvieron de referencia fue la clasificación propuesta por Bloom, que se concretaba en: recordar, comprender, aplicar, analizar, evaluar y crear.

Al planear las clases de guitarra fueron definidos criterios diferenciales, como el tipo de agrupación, el estilo docente, el material aplicado y el tiempo de dedicación del profesor durante las sesiones, con actividades diarias; así como el monitoreo en términos de asiduidad, contenido y tiempo que cada sujeto empleaba en casa para asimilar lo que había aprendido.

El grupo con método tradicional se ajustó a determinados parámetros. Consistieron en proporcionar el material impreso a los estudiantes, la dedicación exclusiva fue de 50 minutos por parte del profesor, para explicar el contenido y quitar posibles dudas. Su actuación tuvo un estilo deductivo, expositivo y de modo individual. Cada alumno estudiaba por separado, bajo la supervisión del profesor. Estos criterios estaban de acuerdo con los presupuestos teóricos referentes a esta metodología.

En el grupo con método por indagación fue facilitado el material impreso, pero no se ofreció ninguna explicación del contenido por parte del profesor, que estaba allí como moderador, con dedicación mínima de tiempo (05 minutos); el estilo docente fue inductivo, indagativo y grupal. El grupo tenía que resolver las cuestiones presentadas, de modo que



tenía que salir de su zona de confort para crear musicalmente, con ayuda de sus compañeros.

Para descartar la posibilidad de variables adversas producidas por el profesor, un solo docente enseñó a los dos grupos siguiendo las directrices de cada método. Tanto la asignación del método A o B a cada grupo y la distribución de los estudiantes entre los grupos fue aleatoria, siguiendo el orden de inscripción en cada grupo durante el proceso de admisión a la universidad. Además, para reducir la transferencia de información entre los grupos, las clases se impartían al final de la mañana, justo después de que terminaran sus clases habituales de las distintas asignaturas del Grado, de modo que un grupo se impartía entre las 12:30 y las 13:30 p.m y el otro, entre las 13:30 y las 14:30 p.m. Las clases se celebraban el jueves y el viernes, ya que estos eran los únicos días en que los estudiantes podían asistir a las clases, no impidiendo su transcurso normal de carrera académica.

También fue preciso pensar en 1 docente encargado de poner en práctica los métodos de enseñanza. Los criterios para su selección fueron: a) saber tocar la guitarra; b) tener experiencia en ello; c) haber dado clases de guitarra a aprendices de diferentes edades; y d) tener disponibilidad horaria los jueves y viernes por la mañana. El muestreo empleado fue el incidental o por conveniencia.

#### 5ª Fase: validar la secuencia de aprendizaje

Para comprobar si la secuencia de actividades que habíamos dispuesto respondía a la metodología tradicional o a la metodología por indagación, sometimos la propuesta a la valoración de expertos, comenzando el estudio 2. Participaron 34 profesionales: 17 eran profesores de conservatorio Profesional y Superior; 6 profesores de Enseñanza Secundaria del departamento de Música; y 11 profesores de universidad, del área de Didáctica de la Expresión Musical.

#### 6ª Fase: desarrollo del experimento en tres momentos

Nos ceñimos a un diseño cuasi-experimental, pre-post test para comparar el método de enseñanza tradicional frente a una metodología de indagación en relación a la estructura cerebral. En el experimento participaron 42 estudiantes de primer curso de grado de Educación Infantil: 22 pertenecían al grupo de enseñanza tradicional y 20 al grupo por indagación. Diferenciamos tres momentos:

a. *Pre*: los estudiantes pasaron por fMRI realizando una tarea de memoria y creatividad; después hicieron un test de memoria y un test de creatividad, ambos estandarizados; y una prueba en conocimientos musicales empleada para examinar a los niños que acceden al conservatorio.

b. *Intervención*: los estudiantes aprendieron a tocar la guitarra, cada grupo con su metodología correspondiente, durante 4 meses. Para ello se les compró a los 42 estudiantes una guitarra española.

c. *Post*: los participantes volvieron a pasar por fMRI, a hacer los test estandarizados y a volver a hacer la prueba de conocimiento musical.

Sobre los instrumentos de recogida de información, en la FASE 2 y 3 se empleó una batería de preguntas que nos ofrecía datos importantes de los sujetos participantes. Si no cumplían determinados requisitos, no podían participar. El protocolo consideraba la edad, problemas de salud general, consumo de alcohol u otras drogas, nivel de formación académica, experiencia musical, ocupación actual, uso de medicación controlada, dominancia manual (diestro o zurdo), piercing y la aplicación del Symptom Checklist-90-R. Para la FASE 4 y 5 generamos tres instrumentos: un cuaderno de trabajo en que diseñamos dos secuencias de actividades que se ajustaban a dos métodos distintos de enseñanza y que pretendían enseñar el mismo contenido programático; una hoja de registro diario; y una plantilla de validación por juicio de expertos. Para la FASE 6, se aplicó la prueba neurocognitiva de imaginación y creatividad de PIC-A, el Test Breve de

Inteligencia de Kaufman K-BIT y la prueba de las letras y números de la batería de Wais-IV; también se sometió a todos los sujetos a un test de audiometría, puesto que las tareas de fMRI exigían discriminación auditiva. Se recogió información con un examen de conocimiento musical. Además, todos los participantes de las FASES 3 y 6 se sometieron a sesiones de imágenes por resonancia magnética. Los volúmenes, superficies y grosores corticales de la parcelación cerebral basados en el atlas de Destrieux fueron extraídos, junto con los volúmenes subcorticales del cerebro.

Os resultados de la tesis se presentan en tres artículos de investigación correspondientes a los tres estudios realizados en el experimento.

En el **artículo 01**, desarrollamos y aplicamos tareas de memoria y creatividad en educación musical con músicos en fMRI, revelando que durante una tarea de creatividad musical, los músicos muestran mayor activación del área complementaria motora, la corteza cingulada anterior, la corteza prefrontal dorsolateral y la ínsula, junto con una mayor desactivación de la red en modo predeterminado en comparación con los no músicos. También fue visto para el grupo de músicos correlación positiva entre la improvisación y la activación del área motora suplementaria, mientras que en el grupo de no músicos, el tiempo correlacionó con la activación de la ínsula. Los resultados para los músicos apoyan la noción de que el área motora suplementaria desempeña papel de representación y ejecución del comportamiento musical, mientras que en no músicos revelan el papel de la ínsula en el procesamiento de información musical novedosa.

En el **artículo 02**, se investigó desde la esfera didáctico-curricular, neurocognitiva y de rendimiento, una secuencia de actividades musicales basadas en el método de educación por indagación y en el método de educación tradicional. Fue visto que la metodología tradicional responden a parámetros de recuerdo y comprensión; y la indagación, responden a parámetros de aplicación, análisis, evaluación y creatividad. En aspecto neurocognitivo,

el uso de una u otra secuencia de enseñanza no estimula más o menos la creatividad o la memoria. Y según el rendimiento, correlaciona con la asistencia en la metodología por indagación.

En el **artículo 03**, comparó el método de enseñanza tradicional frente a una metodología de indagación en relación a la estructura cerebral, antes y después de la enseñanza musical. Concluye que en el grupo de metodología por indagación se redujo el volumen IFG Orbital (47), el volumen y superficie en el Cingulado Posterior Derecho y en la Circunvolución temporal superior izquierda. En la tradicional disminuyó el volumen de IFG Triangular (45) y el grosor en la Circunvolución temporal superior derecha. La ínsula redujo el grosor y aumentó la superficie en el área anterior izquierda en el grupo tradicional y al revés en el de indagación. Inferimos que el grupo por indagación, intentó “crear” un modo de reestructurar y/o inhibir la información y generar pensamientos e imágenes internas. El grupo tradicional promovió un esfuerzo mental más analítico, jerárquico y memorístico. La dinámica de reducción y aumento de zonas estructurales cerebrales aún sigue sin explicación, motivando su búsqueda en investigaciones futuras.

**Palabras clave:** Metodología enseñanza tradicional. Metodología por indagación. Neuropsicología. Neuroeducación. Neurociencias. Resonancia Magnética Funcional (fMRI). Estructura cerebral. Memoria. Creatividad. Música.

## ABSTRACT

---

This doctoral work has been carried out with the objective of comparing the traditional method of musical education with inquiry methodology from different perspectives (didactics, neurocognition, academic performance and brain structure). Thus, the specific objectives have been: a) To develop and perform memory and creativity tasks in musical education with musicians in Functional Magnetic Resonance Imaging (fMRI); b) To evaluate from a didactic, neurocognitive and performance perspective a sequence of musical activities according to the training method (by inquiry or traditional education); c) To compare both methods by analyzing the musicians' brain structure before and after the musical training sessions. In order to achieve each of these objectives, specific studies were designed and the results have been published in three papers.

This research has been approved by the Ethics Committee for Human Research of the University of Granada and carried out in accordance with the Helsinki Declaration. This quantitative work includes an experiment that has been conducted in 6 phases and consists of 3 studies:

Phase 1. Theoretical Framework.

Phase 2. Design of the tasks to be performed inside the MRI tube.

We designed two tasks to be performed by the students inside the MRI tube. One related to memory and the other one related to creativity. The design was determined by two factors: 1) there was barely room inside the tube and 2) the activities could not involve excessive movement because we needed the head to remain motionless to obtain good quality images.

Phase 3. Validation test with musicians and non-musicians.

Once the activities were designed, we needed to check if they really discriminated memory and creativity. For this purpose, we conducted the Study 1. A total of 40 people were recruited to go through fMRI and performed both activities inside the tube. 19 of them were musicians with more than 10 years of experience and 21 didn't have any experience at all.

Phase 4. Design of the sequence of activities according to teaching methodologies.

Parallel to phase 3, we started to design sequences of activities regarding the cognitive processes involved both in the traditional method and in the inquiry methodology. We used the Bloom's taxonomy of learning domains: remember, understand, apply, analyze, evaluate and create.

Differential criteria to analyze the results were set when planning the guitar lessons. Factors such as type of musical ensemble, teaching style, teaching material, and the time dedicated by the teacher with daily activities during the sessions; as well as monitoring elements in terms of assiduity, content and time spent by the students at home to assimilate what they had learned.

The training sessions for the traditional method group were designed in accordance with the theoretical assumptions regarding this methodology. Students were provided with printed learning materials and the teacher worked with them individually for 50 minutes to explain the content and to answer questions. This was an expository teaching style focused on a deductive and individual approach. Each student worked individually under the teacher's supervision.

As regards the inquiry methodology group, students were provided with the printed materials, but no explanation about the content was offered by the teacher. In fact, the teacher played the role of moderator with minimal time dedication on his part (5 minutes). The teacher used an inductive approach and a group-based and inquiry-based learning style.

The group must leave their comfort zone in order to solve the issues raised during the experiment and to create music with the help of their peers.

To rule out the possibility of adverse variables due to different teachers, a single teacher was in charge of teaching the two groups following the guidelines for each methodology. Both the method (A or B) and the distribution of students among the groups were randomly assigned according to the order of enrollment during the university admission process. To reduce the information transfer among groups, training sessions were held at the end of the morning turn, just after the end of their classes, so that one group's session was taught on Thursday and Friday from 12:30 pm to 1:30 p.m, and the other group's session took place one hour later, from 1:30 pm to 2:30 pm. The days were chosen in order to avoid any interference with the students' class schedule.

The selection of the person who was going to be in charge of the teaching sessions was made according to the following criteria: a) (S)he should play the guitar ; b) (S)he should have previous experience as guitarist; c) (S)he should have previous experience of teaching people of different ages; and d) (S)he should be available on Thursday and Friday in the morning. Convenience sampling (or accidental sampling) was used to select this person.

#### Phase 5. Validation of the learning sequences.

As part of the Study 2, our proposal of activities was assessed by a panel of experts in order to identify the methodology employed in each sequence (traditional method or inquiry methodology). A total of 34 experts took part in this stage of the experiment: 17 teachers of the Advanced Conservatory of Music, 6 high school music teachers and 11 university teachers from the Department of Didactics of Musical Expression.

Phase 6. Experiment performance in three stages.

We performed a quasi-experimental design (pre-post test) to compare the traditional teaching method with the inquiry methodology as regards the brain structure. 42 students of the first year of the Master Degree in Early Childhood Education were recruited to participate in the experiment. Subjects were assigned to one of the groups: 22 were part of the traditional method group and 20 participated as members of the inquiry methodology group. The experiment was performed in three stages:

a. *Pre*: the students performed both tasks (memory and creativity) inside the MRI tube before taking standardized memory and creativity tests. They also underwent the Conservatory's admission test for children.

b. *Intervention*: the students learned to play the guitar (each group with the corresponding methodology) for 4 months. We provided each student with a brand new Spanish guitar.

c. *Post*: participants went back to the MRI tube. They performed the same tasks and underwent the same tests as in the pre stage.

We used a battery of questions to collect information about the participants during PHASE 2 and PHASE 3. If they did not meet certain requirements, they weren't recruited to participate in the subsequent phases. The recruitment protocol considered factors such as health issues, previous experience with music, current occupation, use of prescribed medication, manual dominance (right- or left- handed), piercings and the application of the Symptom Checklist-90-R.

Three specific instruments were created for data collection in PHASE 4 and PHASE 5: a workbook with two sequences of activities (one for each teaching methodology),



intending to teach the same content regardless the methodology employed for each group; a daily record sheet; and an experts' validation template.

During PHASE 6, participants underwent several tests: the Creative Imagination test PIC-A, the Kaufman Brief Intelligence Test K-BIT and the Letter-Number Sequencing Subtests Wais-IV, as well as an audiometric test because the tasks performed in the tube required auditory discrimination. Information was also collected with a musical knowledge test.

Information from fMRI was collected in PHASE 3 and PHASE 6. Information about cortical volume, cortical surface area and cortical thickness of the cerebral parcellation based on the Destrieux atlas was extracted, as well as data about the subcortical volume of the brain.

The results of this doctoral thesis are presented in three articles corresponding to the three studies performed during the experiment.

In **article 01**, memory and creativity tasks in musical education were developed with musicians using fMRI. It was revealed that during the creativity task, musicians showed greater activation of the supplementary motor area, the anterior cingulate, the dorsolateral prefrontal cortex and the insula, and a stronger deactivation of the network in default mode compared to non-musicians. A positive correlation between improvisation and activation of the supplementary motor area was also seen for musicians, while in the group of non-musicians, time correlated with the activation of the insula. Results seem to confirm that the supplementary motor area of the musicians' brain plays a role in representation and execution of musical behavior, while the insula processes new musical information in non-musicians' brain.

In **article 02**, two sequences of musical activities, one based on the traditional education method and the other on the inquiry methodology, were investigated from a

didactic-curricular, neurocognitive and performance perspective. It was shown that the traditional method responds to criteria such as recall and understanding; and the inquiry methodology responds to criteria such as implementation, analysis, evaluation and creativity. As regards the neurocognitive aspects, the use of one or other teaching sequence did not show greater or less stimulation of creativity or memory, but it was revealed that performance correlated with assistance in the inquiry methodology.

In **article 03**, both methodologies were compared by analyzing participants' brain structure before and after the musical training sessions. A reduction in the volume of the IFG orbital and in the volume and the surface area of the right posterior cingulate and of the upper left temporal gyrus was observed for the inquiry methodology group. With regard to the other group, the volume of the triangular part of the IFG (45) and the thickness of the upper right temporal gyrus were reduced. Different modifications were shown in the insula depending on the group. A reduction of the thickness and an increase in the left anterior area was observed in the traditional method group, and the contrary in the other group. This might be caused because participants of the inquiry group may have tried to "create" a way to restructure or inhibit information and generate thoughts and inner images. On their part, participants of the traditional method group implemented a more analytical, hierarchical and memoristic mental effort. Nevertheless, the changes observed on the brain structure of participants still remain unexplained and need to be further investigated in future research.

**Keywords:** Traditional education methodology. Inquiry methodology. Neuropsychology. Neuroeducation. Neuroscience. Functional Magnetic Resonance Imaging (fMRI). Brain structure. Memory. Creativity. Music.

# ÍNDICE

---

<b>I INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>24</b>
<b>1. LA ACTIVIDAD CEREBRAL Y LA MÚSICA.....</b>	<b>30</b>
1.1 Neurofisiología de la vibración sonora en la audición humana.....	31
1.2 Estructura neural de la vibración sonora en la audición humana.....	37
1.3 Aspectos neurocognitivo y perceptivo de la música.....	42
<b>2. METODOLOGÍAS DE ENSEÑANZA EN GENERAL Y EN LA MÚSICA EN PARTICULAR.....</b>	<b>55</b>
2.1. Metodologías de Enseñanza en General.....	55
2.1.1. <i>Metodología Tradicional</i> .....	58
2.1.2 <i>Metodología por indagación</i> .....	60
2.2. La Música como herramienta educacional.....	69
<b>3. NEUROEDUCACIÓN MUSICAL EN LA METODOLOGÍA TRADICIONAL Y POR INDAGACIÓN.....</b>	<b>74</b>
3.1 Neurociencias de la Educación musical.....	74
3.2 Neuroeducación musical en metodología tradicional.....	82
3.2.1 <i>Aprender de memoria en neuroeducación</i> .....	82
3.3. La neurociencia de la creatividad y improvisación musical en metodología por indagación.....	97
3.3.1 <i>Neuroeducación en la creatividad musical</i> .....	98
3.3.2 <i>La neurociencia de la improvisación musical</i> .....	108
<b>4. JUSTIFICACIÓN Y PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>113</b>
4.1. Objetivos de la Investigación.....	114
4.2. Metodología de la Investigación.....	115
4.2.1 <i>Diseño de la investigación</i> .....	118
4.2.2 <i>Selección de la muestra</i> .....	123
4.2.3 <i>Instrumentos de recogida de información</i> .....	126
4.3 Análisis de los datos.....	140
4.3.1 <i>Dimensión de análisis estadísticos</i> .....	140
4.3.2 <i>Dimensión de análisis de Neuroimagen</i> .....	142

5. PRESENTACIÓN DE LA MEMORIA DE TRABAJO.....	145
5.1 Artículo 01 - Contribución diferencial del área suplementaria motora y la insula en tareas controladas de improvisación musical, entre músicos y no músicos.....	146
5.2 Artículo 02 - Diseño de un método de enseñanza musical a través de la investigación .....	176
5.3 Artículo 03 - Cambios estructurales en el cerebro basados en Metodologías de Enseñanza Musical .....	203
6. DISCUSIÓN GENERAL, CONCLUSIONES, LIMITACIONES, IMPLICACIONES Y PERSPECTIVAS FUTURAS.....	222
6.1 Discusión general.....	222
6.2 Implicaciones prácticas.....	228
6.3 Implicaciones teóricas.....	230
6.4 Conclusiones respecto a los objetivos.....	231
6.5 Limitaciones y perspectivas futuras.....	235
<b>II. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>239</b>
<b>III. ANEXOS.....</b>	<b>294</b>
Anexo 01: Consentimiento información al participante.....	295
Anexo 02: Criterio de inclusión: Cuestionario socio-demográfico, SCL-90-R.....	306
Anexo 03: Instrucciones de las tareas en resonancia magnética.....	311
Anexo 04: Partitura de las melodías utilizadas en resonancia magnética.....	315
Anexo 05: Partitura rítmicas utilizadas en resonancia magnética.....	319
Anexo 06: Examen de conocimiento musical.....	321
Anexo 07: Article 01 - <i>Different role of the supplementary motor area and the insula between musicians and non-musicians in a controlled musical creativity task</i> .....	323
Anexo 08: Article 02 - Diseño de un método de enseñanza musical a través de la investigación.....	336
Anexo 09: Article 03 – <i>Structural changes in the brain based on musical teaching methodologies</i> .....	361
Anexo 10: Cuaderno de trabajo de las metodologías de enseñanza tradicional.....	375
Anexo 11: Cuaderno de trabajo de las metodologías de enseñanza por indagación...	387
Anexo 12: Hojas de registro de las sesiones de aplicación de la Metodología Tradicional.....	399
Anexo 13: Hojas de registro de las sesiones de aplicación de la metodología por Indagación.....	420

## ÍNDICE DE FIGURAS

---

<b>Figura 01:</b> Sección transversal del oído. Ilustración del sistema auditivo y su anatomía (Roberts, 2002).....	33
<b>Figura 02:</b> Representación esquemática del Órgano de Corti. (Pickels, 1988).....	34
<b>Figura 03:</b> Mapa Tonotópico de distribución de frecuencias a lo largo de la cóclea...	35
<b>Figura 04:</b> Ilustración referente a transducción audio neural en las células ciliadas de la cóclea.....	37
<b>Figura 05:</b> Vista del nervio auditivo (VIII Par craneal) (Pujol et al., 2009).....	38
<b>Figura 06:</b> Modelo de procesamiento modular de la música (Soria-Urios G et al., 2011).....	41
<b>Figura 07:</b> Proyección axial del cerebro con la localización anatómica de los componentes que participan en el modelo cognitivo musical (García-Casares et al., 2011).....	48
<b>Figura 08:</b> Esquema de procesamiento musical. Se presentan distintas vías por las cuales camina la información mediante distintos componentes de la música. . Adaptado de: Peretz I, Coltheart M.(2003).....	50
<b>Figura 09:</b> Estructura de aprendizaje basada en investigación (fases generales, sub-fases y sus relaciones) (Pedaste et al., 2015).....	62
<b>Figura 10:</b> Etapas necesarias para el desarrollo del aprendizaje en la metodología por indagación (Uzcátegui & Betancourt, 2013).....	64
<b>Figura 11:</b> Mapa de la taxonomía digital de Bloom (Churches, 2009).....	68
<b>Figura 12:</b> Áreas encefálicas asociadas con funciones del aprendizaje y la memoria declarativa (Solís & López-Hernández, 2009).....	85
<b>Figura 13:</b> Corte sagital que muestra algunas de las áreas encefálicas y del sistema cerebeloso que participan en el aprendizaje y la memoria (Solís & López-Hernández, 2009).....	85
<b>Figura 14:</b> Clasificación de la memoria y aprendizaje. (Adrove-Roig et al., 2013).....	87
<b>Figura 15:</b> Taxonomía de los sistemas de memoria a largo plazo en los mamíferos (Milner et al., 1998).....	88
<b>Figura 16:</b> Procesamiento de la información para el almacenamiento de la memoria explícita. (Adaptado de Pampori & Malla 2016).....	89
<b>Figura 17:</b> Estructuras cerebrales implicadas en el aprendizaje y la memoria	

explícita (Marrón et al, 2013).....	90
<b>Figura 18:</b> Corte sagital del cerebro con las estructuras cerebrales implicadas en el aprendizaje y la memoria explícita a largo plazo (Marrón et al, 2013).....	91
<b>Figura 19:</b> Substrato neuroanatómico que almacena la memoria explícita e implícita (Kandel, 2007).....	94
<b>Figura 20:</b> Secuencias de eventos involucrados en una transmisión sináptica (Pampori & Malla, 2016).....	96
<b>Figura 21:</b> Bases neuropsicológicas implicadas en las fases del proceso creativo (López-Fernández et al., 2018).....	100
<b>Figura 22:</b> Secuencia de la investigación.....	116
<b>Figura 23:</b> Ejemplo de maquetación utilizado en las clases del grupo tradicional y grupo por indagación.....	122
<b>Figura 24:</b> Las regiones cerebrales muestran una interacción significativa en volumen cerebral.....	226
<b>Figura 25:</b> Las regiones cerebrales muestran una interacción significativa en superficie cerebral.....	227
<b>Figura 26:</b> Las regiones cerebrales muestran una interacción significativa en el grosor cortical.....	227

## ÍNDICE DE TABLAS

---

<b>Tabla 01:</b> Principales áreas implicadas al escuchar música y sus funciones (Levitin, 2006).....	51
<b>Tabla 02:</b> Modelos de indagación y destrezas desempeñada por alumnos (Bevins & Price, 2016).....	63
<b>Tabla 03:</b> Objetivos específicos distribuido por artículos.....	115
<b>Tabla 04:</b> Condiciones de aplicación didáctica de la metodología tradicional y por indagación.....	121
<b>Tabla 05:</b> Datos demográficos del grupo de músicos (M) y su especialidad y no músicos (NM).....	124
<b>Tabla 06:</b> Contenido programático aplicado al largo de las 20 sesiones para cada una de las metodologías evidenciadas (tradicional y por indagación).....	127
<b>Tabla 07:</b> Actividades de aprendizaje para las dos metodologías a lo largo de las 20 sesiones. Tales actividades corresponden al Contenido programático.....	128
<b>Tabla 08:</b> Hoja de Registro diario del profesor para cada grupo.....	131
<b>Tabla 09:</b> Plantilla de validación de los expertos.....	132
<b>Tabla 10:</b> Resumen de las actividades producidas en las fases correspondientes.....	139
<b>Tabla 11:</b> Estado de la difusión de los resultados.....	145

# INTRODUCCIÓN

---

El conocimiento de los métodos de enseñanza musical como herramienta de diseño educativo efectivo se ha ampliado al debatir las prácticas educativas tradicionales frente a prácticas activas como la enseñanza por indagación. En verdad, la tendencia está cada vez más en romper con los límites del conocimiento e invertir en investigaciones interdisciplinarias. Los avances científicos en neurociencia y educación han permitido responder a preguntas que antes se quedaban en cuestionamientos, observación, o censo común. En esta perspectiva, el presente trabajo de tesis se titula: “Actividad cerebral y métodos de enseñanza: estudio comparativo entre el método de educación musical tradicional y metodología de indagación”. El objetivo es comparar el método de educación musical tradicional frente a una metodología de indagación observando aspectos metodológicos didácticos, de rendimiento y neurocientíficos. Parte del principio que las metodologías indagatorias pueden alterar la estructura cerebral, ofertando a los docentes el conocimiento de cómo funciona el cerebro, revitalizando la enseñanza y el aprendizaje en este nuevo contexto de cultura avanzada.

La literatura propone que el aprendizaje cambia la arquitectura neuronal impulsada por estímulos externos mediante plasticidad cerebral. Estos cambios alteran la organización funcional de cada cerebro humano de modo muy particular, que aprende en tiempos diferentes a partir de la codificación de información a través de recursos multisensoriales (Bissonnette, et al., 2011; Bransford, et al., 2000; Goodin, 2013; López, 2015).

Estos recursos están contemplados en la enseñanza moderna por medio de motivación discente y resolución de problemas a partir de conocimientos previos almacenados en el sistema de memoria cerebral. Un ejemplo es la metodología por indagación con énfasis en la adquisición de competencias por conocimiento directo, en



primera persona, promoviendo la destreza de pensamiento y capacidad en formular, investigar y solucionar problemas. En verdad, el estudiante es protagonista de su aprendizaje. Su beneficio está en fomentar en el alumno la curiosidad e investigación respetando su ritmo y formas de trabajo. Además, promueve la actividad productiva y creativa, contribuye a solucionar situaciones problema en la actividad práctica y elevan el trabajo autónomo permitiendo realzar la comprensión de los temas, contenidos y aprendizajes. Sin embargo, uno de los obstáculos de esta metodología es la falta de materiales y propuestas didácticas fácilmente aplicables en la práctica curricular (Abril et al., 2014; Agencia de la calidad de la educación del Chile, 2016; Ariza et al., 2013; De Pro, 2012; European Commission, 2007; National Research Council, 2000).

La literatura nos enseña que la música, en cuanto a recurso educativo, va más allá de la simple articulación y combinación de sonidos y silencios. Puede influir en aspectos comportamentales humanos, como el físico, mental, emocional, promoviendo alteraciones que son constatadas empíricamente. En este sentido, acreditamos que la música altera el estado de espíritu, haciendo que el cuerpo accione las vibraciones sonoras. Para que el cerebro humano pueda codificar la música, es necesaria una gran articulación de tareas que se relacionan prácticamente con todos los procesos cognitivos, incluyendo la percepción, cognición social, emoción, aprendizaje y memoria. Esa riqueza hace que la música sea un instrumento ideal para investigar el funcionamiento cerebral humano en el aprendizaje. Cuando escuchamos música, la información auditiva pasa por medio de etapas de procesamiento, provocando diversas reacciones antes de llegar a la percepción consciente (Koelsch et al., 2006).

Este proyecto de investigación se justifica puesto que la comparación entre los métodos de enseñanza musical tradicional y por indagación, con enfoque en las neurociencias, es una materia de vanguardia insuficientemente explorado y de constante

inquietud de esta autora, que es profesora Universitaria, en cuanto a comprender el funcionamiento cerebral en relación a los métodos de enseñanza-aprendizaje. Además, el tema de la música y la neurociencia son objetos constantes de investigación en su formación y trayectoria profesional. Pasando por contexto social y psicológico con el trabajo académico para la obtención del título de Especialista en Neuropsicología en el Centro Universitario de João Pessoa – UNIPÊ, titulado “Música: instrumento ativador de funções neuropsicológicas em crianças frente à morte”. El presente estudio es la continuación del estudio musical, ahora en un contexto educativo, pues es otra vertiente que está constantemente presente y que encanta en sí mismo, y al que añadimos la implementación de mediciones tecnológicas y de resonancia.

El objetivo fundamental de la presente investigación es comparar el método de educación musical tradicional frente a una metodología de indagación. Participaron cuarenta y dos (42) alumnos universitarios divididos en dos grupos (tradicional y por indagación). Para esto fue necesario pasar por las siguientes fases que pasamos a describir:

1) Diseño de una tarea de memoria y una tarea de creatividad relacionadas con la educación musical, para llevar a cabo durante la resonancia magnética.

2) Aplicación de las tareas en músicos con más de 10 años de experiencia musical y en personas no músicas. Para esta etapa, fueron invitados de modo aleatorio veintiún (21) músicos, y veintiún (21) no músicos, un total 42 personas.

3) Diseño y validación de los cursos de guitarra siguiendo metodologías distintas, teniendo como base referencial teórica la taxonomía de Bloom y aval de expertos (profesores de Conservatorio, profesores del departamento de Música de los Institutos de Enseñanza Secundaria y profesores del área de Música de las facultades de Ciencias de la Educación, un total de 34 participantes).

4) Aplicación de estas metodologías en 02 grupos de adultos universitarios de la facultad de Ciencias de la Educación (A - adscritos al método de educación por indagación y B - en educación tradicional) a lo largo de 04 meses, dos veces por semana con duración de 1 hora cada sesión.

5) Pasación de pruebas neurocognitivas de aprendizaje, creatividad y memoria de trabajo a cada miembro de grupo.

6) Comparación de las metodologías de educación musical en el ámbito de la estructura cerebral aplicando resonancia magnética en dos momentos distintos (antes y después de la aplicación del curso de guitarra con las diferentes metodologías de enseñanza), realizando dentro del tubo de resonancia tareas ya validadas en la primera fase con los músicos.

7) Recogida de datos a través de pruebas de rendimiento académico musical.

El sonido y la música no son sinónimos. El sonido es una onda mecánica que se propaga a través del aire u otro medio elástico, y percibida mediante sensaciones auditivas (Sanz, 2018). Entre las cualidades del sonido tenemos la altura, intensidad, duración y timbre (Patterson et al, 2010), mientras que la música, debemos mencionar ritmo, melodía, armonía, textura, forma, movimiento y matices de expresión (Herdoíza & Moreira-Vera, 2016). Para este trabajo enfatizamos la música y su dimensionalidad rítmica y melódica.

La tesis está dividida en seis capítulos. En el primero, referente al encuadre teórico, mostramos los conceptos y aspectos de neurofisiología y estructura cerebral, los procesos neurocognitivos y perceptivos de las vibraciones sonoras y de la audición. En el segundo capítulo, abordamos aspectos metodológicos de la enseñanza en general y de la música en particular. Y en el tercero, nos hacemos eco de la neuroeducación musical en la metodología tradicional y por indagación.

El cuarto capítulo aborda el marco metodológico de las tesis. En él se explicita las fases que se han superado, así el diseño, los instrumentos, la muestras y los análisis practicados.

Tras la justificación, presentamos el quinto capítulo conformado por los resultados. Estos se muestran a través de las tres memorias de trabajo, correspondientes a las fases y sus debidos resultados en las que hemos desarrollado la investigación, en formato de artículo científico.

El sexto capítulo está dedicado a la discusión, conclusiones, limitaciones, implicaciones, fortalezas y perspectivas futuras, destacando los principales resultados verificados en los tres estudios, observando aspectos didácticos, de rendimiento y neurocientíficos. Finalmente, son presentadas las conclusiones obtenidas a lo largo de la investigación, ofreciendo una síntesis del proceso de investigación, así como los principales resultados y perspectivas futuras de trabajo.

# CAPÍTULO 1

*“Los estudios del cerebro y de la música pueden ser mutuamente reveladores.”*

*(Robert Zatorre)*

---

Qué se va a tratar:

## **1. LA ACTIVIDAD CEREBRAL Y LA MÚSICA**

- 1.1 Neurofisiología de la vibración sonora en la audición humana
- 1.2 Estructura neural de la vibración sonora en la audición humana
- 1.3 Aspectos neurocognitivo y perceptivo de la música

## 1. LA ACTIVIDAD CEREBRAL Y LA MÚSICA

Definiciones relativas a música son limitantes en cuanto a su dimensionalidad y función en nuestras vidas. Lo que se sabe es que la música es un conjunto de sonidos estructurados producidos por humanos como medio de expresión, de intrusión social y evocación emocional (Koelsch, 2019). En verdad, la musicalidad (los que la aprecian y/o producen) bien como el lenguaje son parte de nuestra sociedad como un trazado universal en todas las culturas a lo largo de la historia (Wang, 2015). Más particularmente en el Paleolítico Superior, en la prehistoria, al encontrar instrumentos musicales rudimentarios, de acuerdo con investigaciones arqueológicas (Gold et al., 2013; Zatorre & Salimpoor, 2013). Como tentativa, de entre muchas, de modo amplio se define la música como una sonoridad organizada (Bonilla, 2016). Son patrones sonoros perceptibles, aprendidos y procesados; son coherencia de sonidos y silencios (Herdoíza & Moreira-Vera, 2016).

La música puede ser una sustancia física que influye en aspectos biológicos y comportamentales del ser humano. Evoca una existencia material en forma de sonidos y en acciones que hacen que esos sonidos sean producidos. Esa materialidad está condicionada por nuestra biología y de cómo influye en nuestro cerebro, que es plástico y adaptativo (Herdoíza & Moreira-Vera, 2016). La naturaleza biológica del comportamiento musical humano indistintamente de su origen social y étnico, responde de igual forma a estímulos musicales.

En un contexto neurocientífico, ya se puede obtener mediante imágenes cerebrales, las regiones del cerebro que se activan al procesar distintos aspectos lingüísticos y musicales. En el presente capítulo resaltamos la relación entre cerebro y música,

observando su neuroanatomía, más precisamente su estructura neural, la neurofisiología y la neurocognitiva.

## 1.1 Neurofisiología de la vibración sonora en la audición humana

El sonido es definido como una sensación auditiva producida por el movimiento organizado de moléculas que componen el aire (Hewitt, 2008). En verdad, tiene como característica una onda mecánica que comprime y descomprime las moléculas del aire, promoviendo alteraciones de compresión y rarefacción recurrentes. En esta onda se presenta la amplitud (intensidad), frecuencia (número de oscilaciones por unidad de tiempo) y duración.

El tono es una cualidad perceptiva relacionada con la variable física de frecuencia o tasa de repetición de un sonido. Siendo un "atributo de la sensación auditiva mediante el cual los sonidos se ordenan en la escala utilizada para la melodía en la música" (ANSI 2013, p. 58). El tono puro, variaciones sinusoidales en la presión del aire, es una única frecuencia producida por el sonido. El sonido compuesto es aquel con más de una frecuencia, por más de una senoide o un tono puro (Oxenham, 2018) siendo más fácil de encontrar en nuestra rutina (Aquino, 2011; Nishida, 2007).

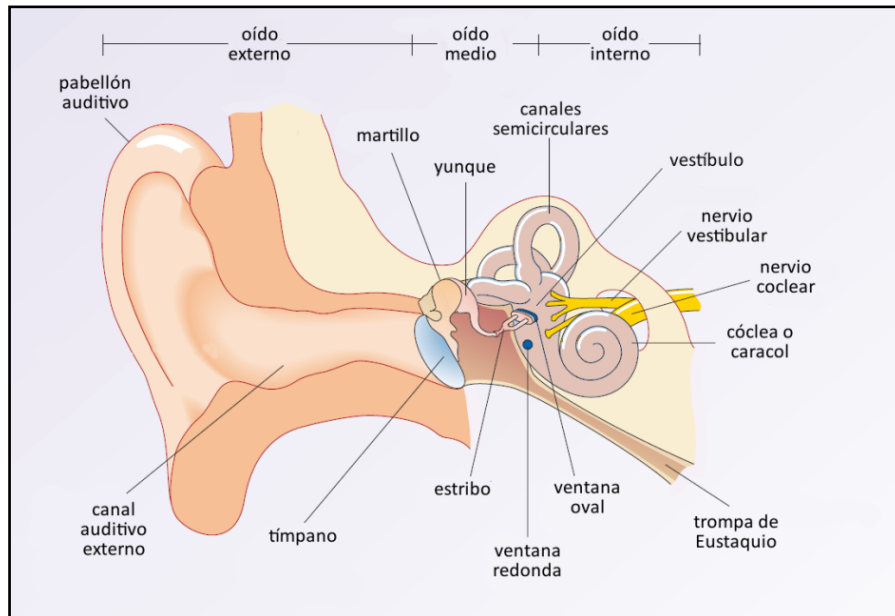
El instrumento vocal humano posee características propias en términos de una nota esencial y una frecuencia básica variando en los armónicos, lo que promueve los timbres propios de cada uno. En los humanos, el sistema auditivo humano percibe el sonido en la frecuencia entre 20 a 20.000Hz, próximamente a 10 octavas, siendo muy difícil escuchar fuera de este intervalo (Nishida, 2007; Oxenham, 2018). Las variaciones de amplitud sonora sugieren la altura del sonido, si está fuerte o débil (Nishida, 2007).

El instrumento musical también tiene su particularidad. Se constituye de un atributo físico, como por ejemplo del timbre. Las vibraciones de ondas con más de una frecuencia,

denominadas senoidales, originan un sonido específico en la sonorización del cuerpo musical (ej. guitarra) que las ha producida. Los armónicos, son múltiplos de la frecuencia fundamental y su composición espectral da un timbre a cada sonido. Además tiene un atributo perceptivo, como ejemplo las notas musicales, que no son más que una clasificación subjetiva de estas frecuencias a lo largo del espectro auditivo, basadas en una tonalidad (Bendor & Wang, 2006).

Cuando hablamos de espectro auditivo no podemos dejar de destacar los procesos fundamentales que componen la anatomía de la audición (ver figura 01). Lo que podemos decir en principio, es que la música no existe fuera del cerebro (Levitin, 2009). Es el cerebro el que da significado a lo que llamamos música. Inicialmente, al convertir de modo directo la actividad vibratoria mecánica del sonido que está en el ambiente en actividad mecánica en los líquidos cocleares (Herdoíza & Moreira-Vera, 2016). Cuando escuchamos una pieza musical, el oído externo hace converger las ondas de sonido en el meato auditivo estimulando la membrana timpánica mecánicamente (Cruz et al., 2013). La actividad mecánica sonora en el aire ingresa en la membrana timpánica (MT) y hace que esta vibre de forma igual al modelo vibratorio del estímulo sonoro hacia los tres huesecillos del oído medio (martillo, yunque y estribo) (Castillo & de Jorge, 2015; Díaz et al., 2019). Sin embargo, parte de este sonido es reflejado debido a mecanismos de resistencia que existen en la MT, resultando la disminución de la intensidad del estímulo sonoro (Santos & Russo, 2005).



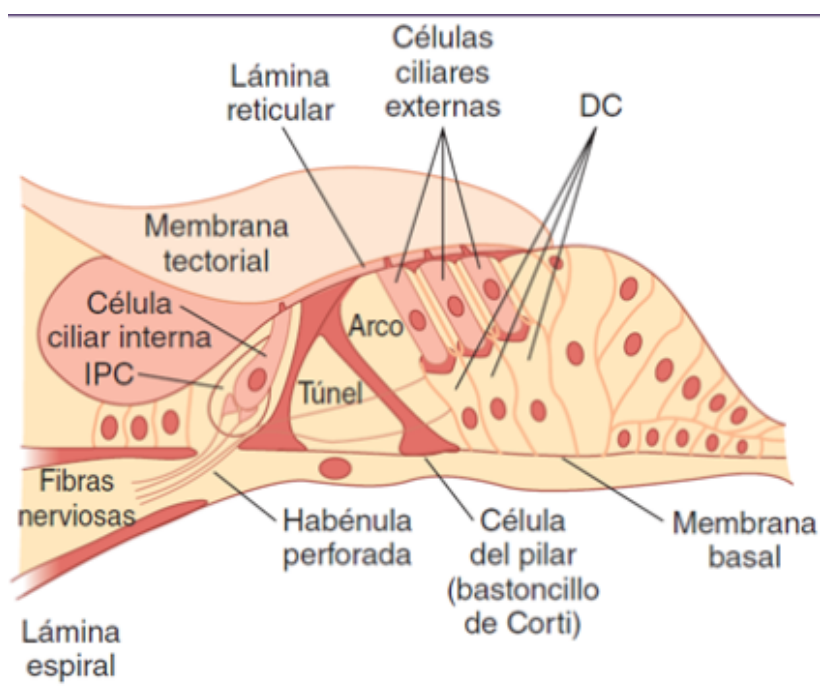


**Figura 01:** Sección transversal del oído. Ilustración del sistema auditivo y su anatomía (Roberts, 2002).

En el oído medio, también llamado de cavidad timpánica, el sonido reflejado es readquirido por medio de dos estructuras de amplificación mecánica: la cadena osicular, en el estribo y el mecanismo de reducción de área, debido a la diferencia de diámetro entre la MT y la ventana oval, esta última una pequeña membrana en que el estribo está acoplado (Castillo & de Jorge, 2015; Santos & Russo, 2005). En verdad, los tres huesecillos actúan como palancas de reducción de la magnitud de los movimientos de la membrana timpánica y aumento de su fuerza sobre la ventana oval (Castillo & de Jorge, 2015). Además de ser selectivo en frecuencias sonoras, el oído medio actúa de modo distinto a niveles de intensidad, conocido como reflejo acústico. Ese proceso se da por medio de impedancia en baja frecuencia, por la rigidez de los músculos que sujetan los huesecillos (Cobo, 2019).

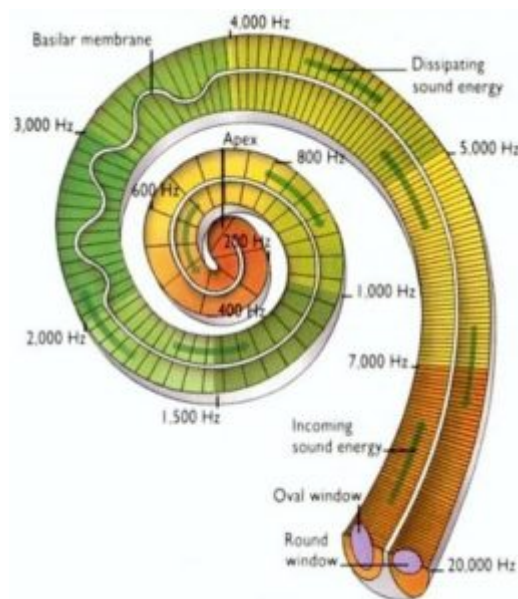
A partir de esa fase, ocurre el convertimiento de las vibraciones en impulsos nerviosos que viajan al cerebro donde se perciben como varios elementos de la música, como el tono y la melodía (Herdoíza & Moreira-Vera, 2016).

El oído interno, esencialmente un analizador de frecuencia (Cobo, 2019), está formado por la zona de los conductos semicirculares óseos, el vestíbulo y la cóclea (López, 2013). Es allí donde ocurre la conducción de ondas mecánicas moviendo la endolinfa en el laberinto y promoviendo el movimiento en todo el conducto coclear (Merino & Muñoz-Repiso, 2013). El órgano de Corti (Ver figura 02), es el mecanismo transductor del oído interno situado sobre la membrana basilar a lo largo de la Cóclea; recoge esos movimientos mediante células sensoriales ciliadas y tejido de sustentación, estando tales células sumergidas en la membrana tectorial. El órgano de Corti es estimulado por el movimiento de la membrana tectorial sobre los cilios de sus células sensoriales. Cuando los cilios salen de su posición de reposo ocurre una alteración en la carga eléctrica endocelular haciendo que promueva disparos en el impulso nervioso de las fibras nerviosas que, enseguida, van a componer el nervio-coclear. Este complejo proceso tiene por función convertir las vibraciones mecánicas en corrientes nerviosas (Cobo, 2019; López, 2013; Merino & Muñoz-Repiso, 2013; Oxenham, 2018).



**Figura 02:** Representación esquemática del Órgano de Corti. (Pickels, 1988).

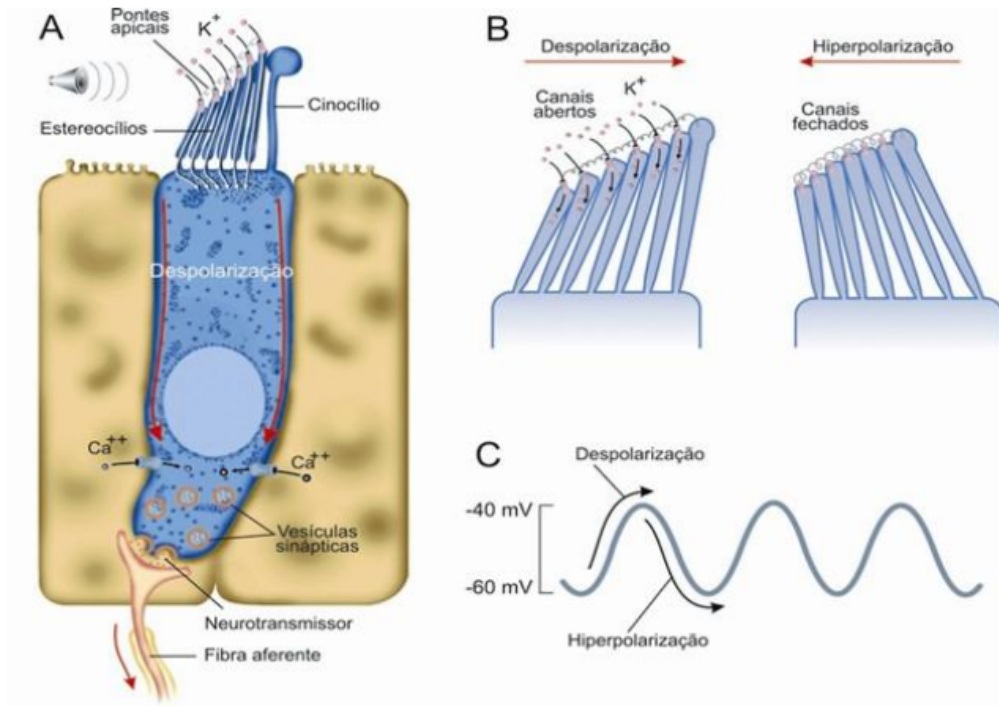
Podemos preguntar cómo mantener inalterada la información inicial. Es la magia del cuerpo humano. La respuesta está en la amplitud del desplazamiento de la membrana basilar que varía según la frecuencia e intensidad del estímulo sonoro (Cobo, 2019). Como la membrana basilar es sensible a la vibración mecánica, entra en resonancia, describiendo oscilaciones ascendentes y descendentes. El pico de esta oscilación depende de la frecuencia. En las ondas de alta frecuencia (sonidos agudos) alcanzan amplitud máxima de desplazamiento cerca de la base coclear (Kossowski, 2017) y cuando están bajas (sonidos graves), se sitúan cerca del vértice de la cóclea (Ceccato et al., 2017; Nishida, 2007). Este arreglo es conocido como organización tonotópica (ver figura 03) (Cobo, 2019). Juntas estas secuencias de eventos son responsables de la percepción acústica del mundo que nos rodea.



**Figura 03:** Mapa Tonotópico de distribución de frecuencias a lo largo de la cóclea. La fuerza de la señal nerviosa también depende del volumen del sonido. Esto es interpretado por el cerebro como sonoridad. Se cree que el tono es una interpretación del cerebro basada en la distribución de las células ciliadas estimuladas. (Fuente: <http://audiosocial.es/2012/06/26/el-mapa-tonotopico-de-la-coclea/>)

Cuando el oído recibe un sonido musical cada frecuencia captada excita un punto en la membrana basilar haciendo que el cerebro pueda interpretar de modo eficaz la altura y timbre, sin más que discernir qué terminaciones nerviosas fueron excitadas y con qué intensidad lo fueron (Merino & Muñoz-Repiso, 2013).

A partir de este punto ocurre el proceso de transducción electroquímica, convirtiendo energía mecánica en electroquímica. En este sentido, la medida que la membrana tectorial ejerce de fuerza, como consecuencia de la vibración de la membrana basilar, sobre los cilios de las células ciliadas, abrirá o cerrará los canales iónicos, permitiendo o impidiendo el establecimiento de una corriente eléctrica entre la endolinfa y la perilinfa. Al abrir los canales de potasio [K<sup>+</sup>], sus iones positivos presentes en la endolinfa, despolariza la célula. De este modo, los iones de calcio disparan una proteína promoviendo la restauración de los estereocilios a su posición original. Al ocurrir la recuperación, los canales se cierran y los cilios se mueven en sentido contrario, resultando una hiperpolarización. De este modo, promueve la abertura de los canales de [Ca<sup>2+</sup>] que son sensibles a variaciones de voltaje despolarizante. Con el aumento de [Ca<sup>2+</sup>] intracelular, estimula la liberación de neurotransmisores excitatorios para la fenda sináptica cuya membrana postsináptica pertenece a las terminaciones nerviosas del nervio vestibulococlear (VIII par craneano). La información ahora convertida en energía electroquímica será trasladada por las fibras nerviosas a la corteza auditiva para ser analizado, interpretado y respondido (Ver figura 04) (Cobo, 2019; Nishida, 2007; Santos & Russo, 2005).



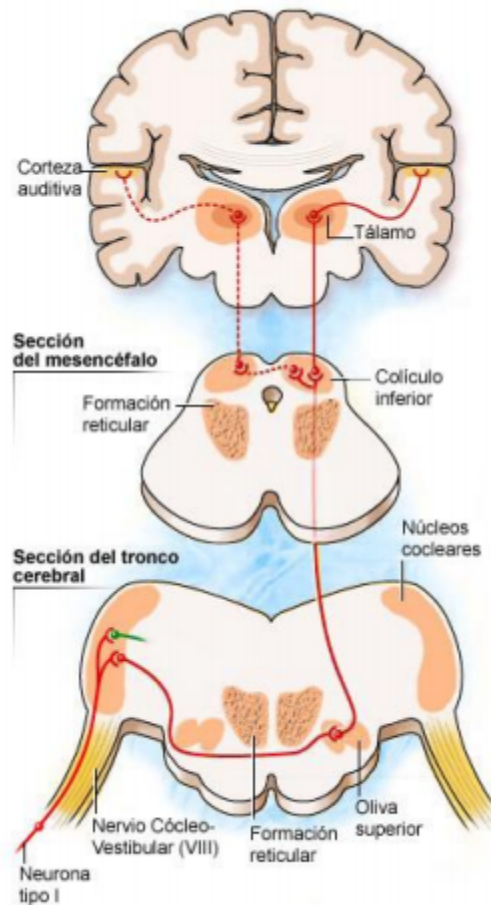
**Figura 04:** Ilustración referente a transducción audio neural en las células ciliadas de la cóclea. A) Su estructura. Al depender de la deflexión del estereocilio, ocurre despolarización o hiperpolarización del receptor; B) Sentido de deflexión. La deflexión del estereocilio ocurre alternando para un lado y para otro; C) Esa alternancia es acompañado por el potencial receptor.

## 1.2 Estructura neural de la vibración sonora en la audición humana

Las células ciliadas se conectan con las células nerviosas (neuronas) de la vía auditiva mediante nervio auditivo (Cobo, 2019). Este último se encarga de enviar información para las áreas de la percepción, procesamiento de la información y de la integración del mensaje generando una serie de procesamientos e intercambios de información binaural encaminados a ejemplo de la localización espacial y discriminación del habla en ruido (López, 2013).

En la figura de abajo (Figura 05) se puede observar el camino de las zonas cerebrales hasta la corteza y las fibras de nervio auditivo humano. Además de la vía

aferente hay una vía eferente que sirve como mecanismo de control de cada una de las partes de la vía (López, 2013).



**Figura 05:** Vista del nervio auditivo (VIII Par craneal) (Pujol et al., 2009).

Los núcleos del haz neuronal de la vía auditiva, en orden ascendente, son el núcleo coclear, el complejo olivar superior, el lemnisco lateral, el colículo inferior y el cuerpo geniculado medial. El haz neuronal en sentido ascendente se denomina vía auditiva aferente. Aunque la vía auditiva aferente conecta esencialmente cada oído con el hemisferio cerebral contrario (vía auditiva contralateral), también hay conexiones de cada oído con el hemisferio del mismo lado (vía auditiva ipsilateral). Asimismo hay neuronas que

transportan información de la corteza auditiva cerebral hasta el sistema periférico. Estos haces neuronales constituyen la vía auditiva eferente (Cobo, 2019).

Después de ocurrir la transducción sonora, los axones del ganglio espiral penetran en el tronco encefálico lateralmente, en la región surco bulbo-pontino (Neurona II) (Figura 05) (Herdoíza & Moreira-Vera, 2016). Una vez en el bulbo raquídeo, los axones inervan los núcleos cocleares dorsal y ventral, ramificando posteriormente y haciendo sinapsis en las neuronas pertenecientes a ambos núcleos cocleares. A partir de este momento, la vía auditiva sigue todo su trayecto en el sistema nervioso central (Carter, 2009; Cobo, 2019; Guida et al., 2007), pudiendo darse numerosas rutas nerviosas. Sin embargo, existe una vía principal llamada vía primaria que es especialmente importante (Bear et al., 2008; Sánchez, 2017).

Esta vía recorre desde los núcleos cocleares hasta la corteza auditiva (Sánchez, 2017). Los axones de las neuronas del núcleo coclear ventral se proyectan hacia las fibras nerviosas del complejo olivar, donde está situada la tercera neurona, y de los núcleos cocleares se proyectan para los colículos inferiores por medio del haz del lemnisco lateral (Herdoíza & Moreira-Vera, 2016; Koelsch, 2011; Soria-Urios et al., 2011) inervando el colículo inferior del mesencéfalo (Sánchez, 2017). Las neuronas del colículo mandan axones al cuerpo geniculado medial (neuronios IV), situado en la parte inferior del núcleo talámico (Bear et al., 2008). Tiene como objetivo la retransmisión auditiva relacionada con integración, frecuencia, intensidad y binauralidad. Desde el núcleo geniculado medial del tálamo, esta información partirá hacia la corteza auditiva sensorial (áreas 41, 42 y 52 de Brodmann) y aquí es donde las propiedades físicas musicales que analizamos en el primer paso se vuelven entonces propiedades perceptivas, es decir, donde formamos nuestra interpretación. La quinta neurona, ubicada en el tubérculo cuadrigémino inferior, recibe los axones de la cuarta neurona y se constituye como un centro auditivo fundamental del tallo.

Se comunica con las neuronas del lado opuesto como también hacen sinapsis con la sexta neurona situada en el cuerpo geniculado interno del tálamo. La séptima neurona se ubica en la primera circunvolución temporal, área llamada centro cortical auditivo primario. Desde el cuerpo geniculado interno nacen fibras que se dirigen a la cóclea (fibras eferentes) para modular la recepción de las señales auditivas aferentes (Herdoíza & Moreira-Vera, 2016).

Los estímulos auditivos son recibidos, interpretados y elaborados por la corteza auditiva en el lóbulo temporal, observando una activación distinta para cada zona en respuesta a diferentes tonos, participando la corteza auditiva secundaria y los campos auditivos anterior y posterior (Díaz et al., 2019). La corteza auditiva está dividida en corteza auditiva primaria, secundaria y terciaria que pasamos a comentar.

La corteza auditiva primaria, localizada en el giro transversal de Heschl en la fisura lateral, se extiende hacia la superficie lateral del lóbulo temporal (Custodio, et al., 2017; López, 2013); está tonotópicamente organizada (Cobo, 2019): distintas partes de esta área pueden ser activadas por sonidos de diferentes tonos (Custodio & Cano-Campos, 2017) y frecuencias (Carter, 2009); además de participar de otras funciones del procesado auditivo, como la intensidad, rango dinámico y umbral de audición (Durrant et al., 1984).

La corteza auditiva secundaria, localizada en la área 22 de Brodmann (López, 2013), es responsable del procesamiento de la armonía, ritmo y melodía (Carter, 2009). Además de participar de la memoria auditiva, es importante en el análisis de los aspectos subjetivos de la audición y en el procesado de sonidos complejos (Cobo, 2019).

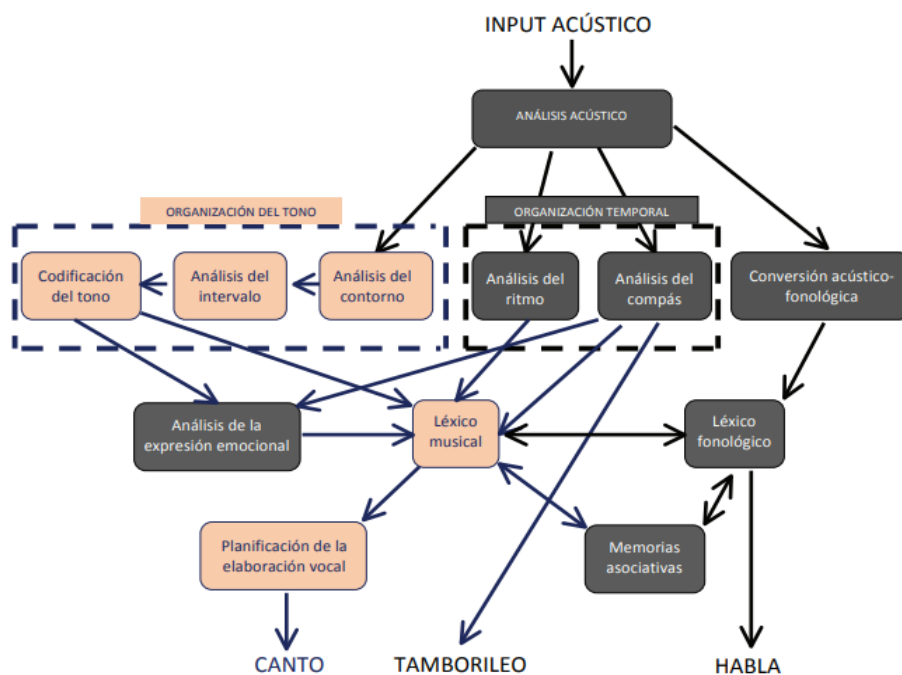
La corteza auditiva terciaria, relacionada con niveles más elevados de valoración e integración de los sonidos en términos de conjunto sonoro (Carter, 2009).

El área de Wernicke, localizada en la porción caudal del surco lateral izquierdo, en el giro temporal superior, es un elemento importante en el procesamiento auditivo de la red de lenguaje oral y está relacionada funcionalmente con mecanismos de comprensión oral y



escrita. Algunas además, están involucrada con el aprendizaje verbal (Rivera-Urbina et al., 2019). La consciencia sensorial sonora ocurre en el área sensitiva primaria, mientras que su interpretación ocurre en las áreas asociativas secundarias. Las áreas asociativas terciarias presentan conexiones aferentes con la vía auditiva. Están formadas por el área prefrontal, relacionada con el sistema límbico, siendo esta última relacionada, entre otras, con la memoria y el comportamiento emocional. Otra área relacionada es el temporoparietal que promueve la integración de las informaciones recibidas de las áreas visuales, auditivas y somestésicas (Guida et al., 2007).

Algunas estructuras cerebrales involucradas en el procesamiento musical tiene funciones múltiples (Tillmann et al., 2003), pero destacamos las siguientes: a) Corteza Prefrontal Rostromedial: Recuerda y procesa los tonos. Responsable del aprendizaje de las estructuras musicales. b) Lóbulo Temporal Derecho: Procesamiento básico del sonido. Separa la armonía musical de otros estímulos auditivos. c) Sistema Límbico: Responsable de percibir las emociones. Mantiene comunicación con el lóbulo temporal y por ello la música tiene impacto en los sentimientos (Herdoíza & Moreira-Vera, 2016).



**Figura 06:** Modelo de procesamiento modular de la música (Soria-Urios G et al., 2011).

En la figura 06 observamos un modelo de procesamiento modular de la música y distintas áreas del cerebro que se encargan de procesar sus distintos componentes. De este modo, cuando escuchamos una canción, inicialmente se realiza un análisis acústico: la letra de la canción será analizada por el sistema de procesamiento del lenguaje y el componente musical será analizado por dos subsistemas: organización temporal (analizamos el ritmo y el compás) y organización del tono (el análisis del contorno y los intervalos nos llevan a codificar el tono). El sistema léxico musical almacena toda la información musical que vamos recibiendo a lo largo de la vida y que posibilita el reconocimiento de una canción. Al cantar dicha canción, este sistema se conecta y activa con el plano fonológico, de manera que formen una planificación vocal que nos llevará al canto. Y los recuerdos vivenciados por la canción activaría la ‘memoria asociativa’, también relacionada con este sistema (Custodio & Cano-Campos, 2017).

### 1.3 Aspectos neurocognitivo y perceptivo de la música

Dar sentido al entorno acústico es una tarea crucial y compleja del sistema auditivo (Mehta et al., 2016). La capacidad de detectar, localizar e identificar sonidos es sorprendente dada la información sensorial aparentemente limitada y el modo de desconstrucción de la onda sonora en sus fuentes originales y decodificación de modo eficaz. Se acredita que el sistema auditivo utiliza para esto una combinación de información aprendida en el desarrollo juntamente con soluciones aprendidas a lo largo del tiempo (Oxenham, 2018).

En este apartado busca desarrollar como se da el proceso neurocognitivo y perceptivo musical como un modo de entender el sistema auditivo y sus múltiples funciones cognitivas superiores.

En términos neurocognitivos la audición representa en el ser humano un punto trascendental en el lenguaje, por lo tanto en el desarrollo de múltiples funciones cognitivas superiores (Herdoíza & Moreira-Vera, 2016). La Música como una herramienta investigativa es primordial en percibir cómo procesa el cerebro humano, por tener como característica la generación de gran variedad de procesos cognitivos (y afectivos) como por ejemplo el de la percepción, atención, memoria, cognición social, funciones comunicativas (destacando el procesamiento sintáctico y de información significativa, acción y emoción), integración multimodal (Koelsch, 2019).

Lo que se sabe es que la práctica musical requiere múltiples sistemas sensoriales y motores como también una amplia variedad de procesos cognitivos de nivel superior (Herholz & Zatorre, 2012), ya que implica la práctica regular y motivada de dificultad progresiva, con estímulos constantemente renovados y tareas que representan desafíos continuos para el individuo (Grassi et al., 2017). A largo plazo también se ha asociado con múltiples ventajas cognitivas generales (es decir, funciones de dominio general), como la velocidad de procesamiento (Jentzsch et al., 2014), la inhibición (Jentzsch et al., 2014; Travis et al., 2011), la atención (Rodrigues et al., 2013; Strait et al., 2010), memoria de trabajo y episódica (Talamini et al., 2017), capacidad visoespacial (Brochard et al., 2004; Sluming et al., 2007) y lenguaje (Bidelman et al., 2014; Parbery-Clark et al., 2009).

Esto se acompaña de cambios cerebrales, como lo demuestra el aumento en el volumen de materia gris en las regiones perceptivas, somatosensoriales y relacionadas con el motor, así como en áreas de funciones de alto nivel (Gaser & Schlaug, 2003; James et al., 2014). Además, los músicos también presentan beneficios en la materia blanca, como en el cuerpo calloso y el fascículo arqueado, entre otros (Bengtsson et al., 2005; Schlaug et al., 1995).

Esta gran variedad de procesos cognitivos están contemplados en lo que llamamos de “funciones musicales” que fue conceptualizado por Correia et al. (1998, p.747) como:

[...] conjunto de actividades cognitivas y motoras envueltas en el procesamiento de la música. Tales funciones exigen operaciones mentales multimodales, puesto que su práctica envuelve la modalidad visual para las notaciones musicales; la modalidad auditiva para apreciar melodías, ritmos, armonías y timbres,... expresión motora para la ejecución musical, que requiere la coordinación de diversos músculos y los procesos cognitivos e emocionales envuelto en la interpretación de la música.

En términos de percepción musical, el cerebro no recibe la música sino que le da significado (Levitin, 2006). La respuesta a estímulos generados por el sonido empieza con la codificación de la información acústica (Koelsch, 2019) mediante la captación de relación entre sonidos. El tono es fundamental en la percepción auditiva, ya que posibilita en la música la melodía, que no es más que secuencias de tono, como también las combinaciones simultáneas de tono definen armonía y tonalidad. Además en el habla, los contornos de tono proporcionan información sobre la prosodia y la identidad del hablante (Oxenham, 2018).

El procesamiento musical tiene lugar mediante canales separados por un sistema multimodal para los elementos temporales (ritmo), melódicos (tono, timbre, melodía), memoria y respuesta emocional (Custodio & Cano-Campos, 2017). La organización coherente de los sonidos, tonos y silencios nos da los parámetros fundamentales de la música, que son la melodía, la armonía y el ritmo (Logroño, 2016). La manera en la que se definen y aplican estos principios, varían de una cultura a otra. Destacamos de modo particular cada parámetro.

El ritmo es un elemento más simple y primitivo en comparación con los demás. Es la distribución de los sonidos en el tiempo, definiéndose como la capacidad de generar

contraste en la música, provocado por las diferentes dinámicas, timbres, texturas y sonidos. En la práctica se refiere a la acentuación del sonido y la distancia temporal que hay entre el comienzo y el fin del mismo o, dicho de otra manera, su duración (Herdoíza & Moreira-Vera., 2016). Su función está en organizar las relaciones de tiempo como aspecto físico-intelectual, promoviendo el sentido estético del movimiento y de la sensibilidad, la simetría y el equilibrio. Además, auxilia en la sincronización de los movimientos, estimulando respuestas psicofisiológicas. De este modo, cuando escuchamos determinados ritmos, nuestro cuerpo sufre alteraciones biológicas, por ejemplo de frecuencia cardíaca, relajación y cambios en la respiración, entre otras. En este parámetro, activan y cambian la coordinación motora promoviendo la comunicación no-verbal, además de facilitar la integración social (Martínez, 2003).

Otro elemento importante es la melodía, un componente que es considerada la más rica en sonidos. Está compuesta por un conjunto de sonidos y silencios que inciden en un ámbito sonoro particular, que suenan sucesivamente uno después de otro y que se percibe con identidad y sentido propio. El resultado es como una frase bien construida semántica y gramaticalmente (Herdoíza & Moreira-Vera, 2016).

La armonía regula la concordancia entre sonidos que suenan simultáneamente y su enlace con sonidos vecinos (Herdoíza & Moreira-Vera, 2016). Se apunta también que los principios básicos que rigen la teoría de la armonía, tales como la consonancia y la disonancia, son el reflejo de las propiedades anatómicas y fisiológicas de nuestros circuitos auditivos. Se entiende, por tanto que, a través de circuitos neuronales, el proceso neurocognitivo de la música se presenta como cierta universalidad. Igual en culturas diferentes, se usan mecanismos o esquemas cognitivos similares para procesar secuencias de sonidos (Andrade, 2004). El mapa musical de frecuencias y ritmos se encuentra en el

lóbulo temporal izquierdo y el análisis armónico y el timbre en el lóbulo temporal derecho (Custodio & Cano-Campos, 2017).

El funcionamiento cerebral de la música es distinto para cada persona (Custodio & Cano-Campos, 2017). Una sin experiencia percibe la música en su contorno melódico total, igual que con el lenguaje (hemisferio derecho, prosodia), mientras que un músico, la escucha como una relación de elementos y símbolos musicales (hemisferio izquierdo) (Soria-Urios et al., 2011; Boso et al., 2006).

El estímulo acústico también puede ser percibida de más de una manera generando una ambigüedad perceptiva y, en algunos casos, la estabilidad múltiple (Mehta et al. 2016). Se da cuando ocurre una secuencia sonora alternada de forma rápida de dos tonos, dando la percepción de una sola corriente auditiva si la separación de frecuencias es pequeña. Sin embargo, la misma secuencia se percibirá como dos flujos separados (uno alto y otro bajo) si la separación de frecuencia entre los dos tonos es grande (Oxenham, 2018).

Algunas combinaciones de tonos suenan bien o agradables juntas (consonante), mientras otras no (disonante). Los pitagóricos atribuyeron la naturaleza agradable a algunos intervalos musicales consonantes, como la octava (relación de frecuencia 2:1) o la quinta (relación de frecuencia 3:2). De hecho estas combinaciones parecen ocurrir en múltiples culturas y períodos de tiempo posibilitando explicaciones de la universalidad perceptiva musical (McDermott & Oxenham, 2008).

En un estudio inicial con hurones despiertos pero pasivos, se ha demostrado que a pesar de la diferencia perceptiva entre tonos sincrónicos y alternos, las respuestas a las secuencias de pares de tonos en la corteza auditiva primaria no dependían de esta diferencia (Elhilali et al., 2009). Sin embargo, otro estudio comparó las respuestas neuronales de los hurones cuando escuchaban pasivamente o prestaban atención activa a los sonidos. Se

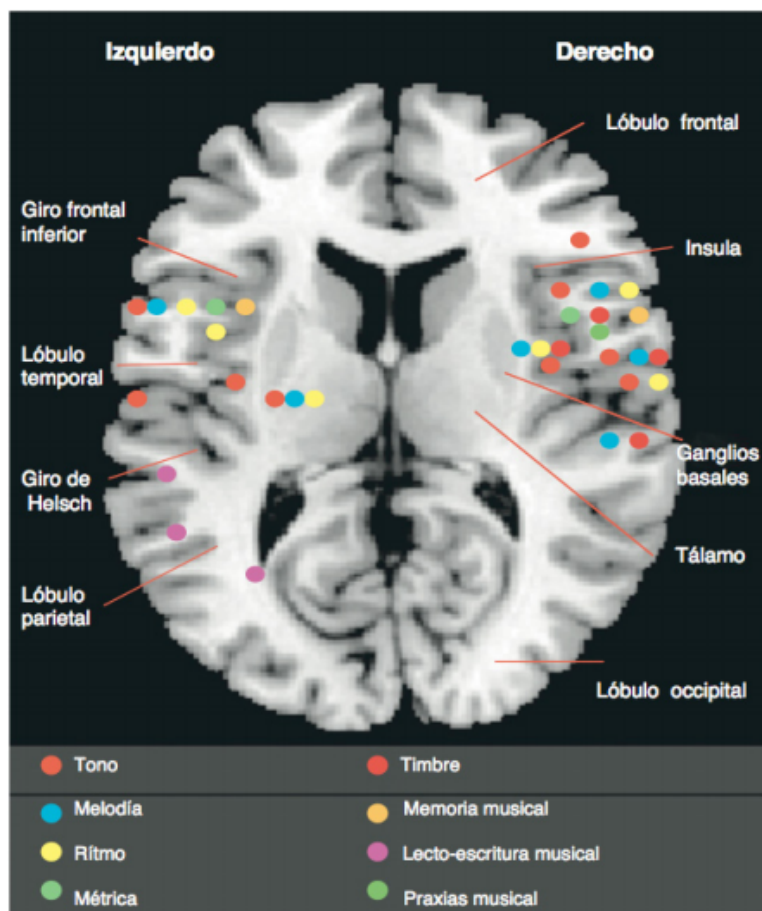
percibió evidencia de apoyo a la teoría de la coherencia temporal<sup>1</sup>, con tonos alternos que producen supresión en relación con las respuestas provocadas por tonos sincrónicos, pero solo cuando los hurones estaban atendiendo activamente a los estímulos (Lu et al., 2017).

El neurocientífico Levitin (2006) ha hecho un descubrimiento importante. Las personas cuando escuchan una música que les gusta, se produce activación en el cerebelo. Es significativo puesto que esta área es considerada la responsable del sistema motor. Se observa una direccionalidad de la información, ofrecido por el sonido, a esta área como también a regiones específicas del cerebro. En el cerebelo se sincroniza el ritmo musical haciendo que ocurra acompañamiento melódico. Parte de la sensación placentera es originada en esta área al depender de la sincronización de batidas rítmicas. Si esto ocurre el placer se mantiene, si se hace alguna alteración rítmica esa sensación aumenta.

Investigaciones han permitido desarrollar el diseño de un modelo de cognición musical. De acuerdo con este modelo, la percepción musical se organiza en dos sistemas independientes. Uno relacionado con el procesamiento de la melodía, que permite diferenciar los tonos, es decir, notas e intervalos (distancia entre notas) denominado sistema melódico (SM); y otro encargado del procesamiento del tiempo, permitiendo enmarcar la melodía procesada mediante ritmos (pulsos) y métrica (acentos), denominado sistema temporal (ST) (Cruz et al., 2013; García-Casares et al., 2011). La ruta melódica tiene sus componentes esenciales en el giro temporal superior derecho (Alossa & Castelli, 2009), mientras que áreas en los ganglios basales y en la corteza pre-motora están encargadas del control motor y de la percepción temporal (García-Casares et al., 2011) (Ver figura 7).

---

<sup>1</sup> Teoría de la coherencia temporal: Es una relación sincrónica repetida entre los elementos musicales (Oxenham, 2018). Postula que una señal se percibe como emitida desde una sola fuente solo cuando todas sus características están moduladas de forma coherente en el tiempo, lo que hace que se unan perceptualmente (Lu et al., 2017).



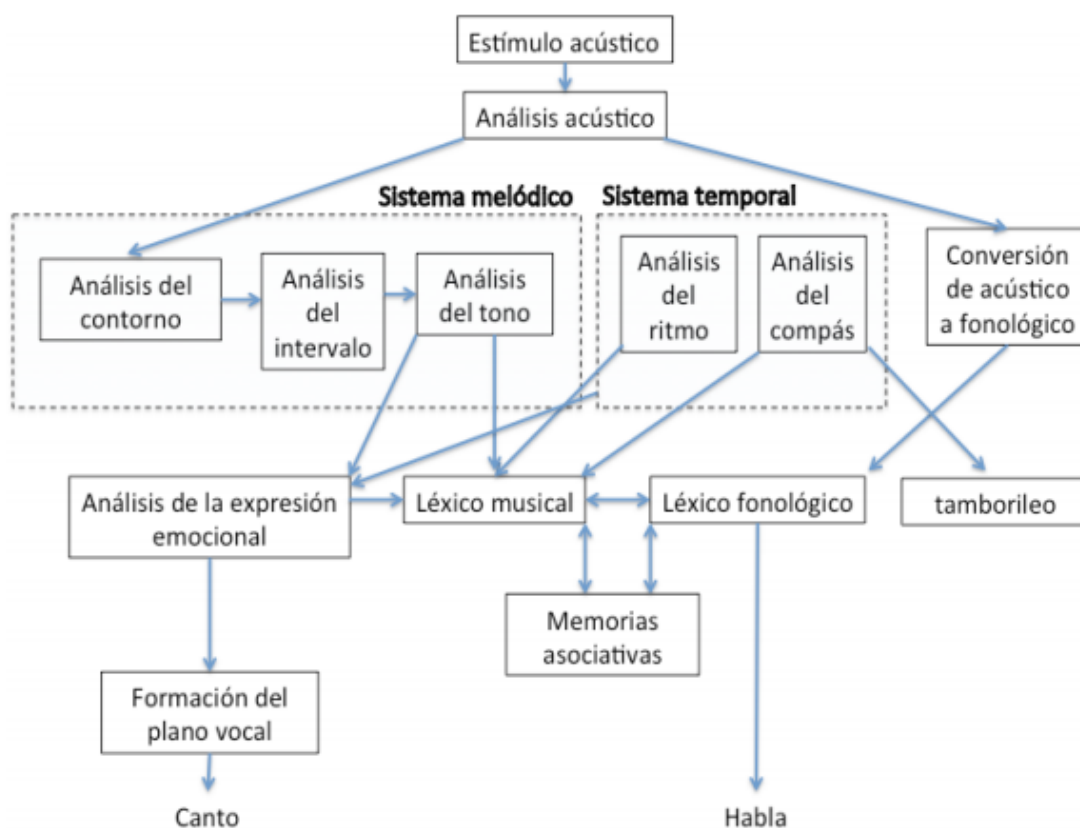
**Figura 07:** Proyección axial del cerebro con la localización anatómica de los componentes que participan en el modelo cognitivo musical (García-Casares et al., 2011).

El cerebro valora y analiza por separado los aspectos fundamentales del sonido (timbre, tono, ubicación temporal y espacial, intensidad, duración) y áreas relacionadas con la movilidad. El tono se procesa de manera primaria en el hemisferio cerebral izquierdo, específicamente en la corteza pre frontal dorso lateral; el ritmo, métrica y el tempo, en los ganglios de la base y cerebelo; el timbre, en el giro y surco temporal superior (bilateral); tanto la melodía como el contorno melódico se procesan en el giro temporal superior derecho; los intervalos en el lóbulo temporal dorsal (bilateral); la sintaxis musical se procesa en los lóbulos frontales de ambos hemisferios y áreas adyacentes a las regiones que procesan la sintaxis del habla y la semántica musical se procesa en áreas



posteriores del lóbulo temporal (bilateral). El procesamiento musical obedece a una extensa red neural cortical y subcortical en ambos hemisferios cerebrales y cerebelo. El cerebro del músico procesa más en el hemisferio izquierdo, analítico (Bermudez, et al., 2009; García-Casares, et al., 2011; Gómez, 2007; Soria-Urios, et al., 2011).

Los dos sistemas, melódico y temporal, actúan en conjunto enviando la información sonora mediante redes neuronales distintas al léxico musical. Es el lugar donde se encuentra toda la información musical que se percibe a lo largo de la vida, permitiendo activar el léxico fonético para el canto, la activación de funciones motoras para la ejecución musical y la activación de memoria asociativa para la recuperación de material no musical (García-Casares et al., 2011). En la figura 08 se muestra un esquema del modelo de procesamiento musical.



**Figura 08:** Esquema de procesamiento musical. Se presentan distintas vías por las cuales camina la información mediante distintos componentes de la música. Adaptado de: Peretz I, Coltheart M.(2003).

En el tabla 01 se observan algunas áreas cerebrales que se activan con la vibración sonora musical. Algunas de las áreas envueltas: cuerpo calloso, corteza motora, sensorial, auditiva, visual y prefrontal, nucleus accumbens, amígdala, hipocampo y cerebelo. Cada área tiene su funcionalidad específica mientras es interconectada a ambos hemisferios y entre ellos, formando una red imprescindible en el procesamiento emocional de la memoria, reacciones motoras y cognitivas etc.

ÁREAS CEREBRALES	FUNCIÓN MUSICAL
Cerebelo	Involucrado en el movimiento (pie tocando, bailando y tocando instrumento) y en las reacciones emocionales a la música.
Córtex visual	Involucrado en la lectura musical, en la observación de un determinado artista o en sus propios movimientos.
Hipocampo	Involucrado en la memoria musical, experiencias y contextos musicales.
Córtex auditivo	Involucrado en las primeras fases de escucha sonora y en la percepción y análisis de los sonidos.
Córtex sensorial	Involucrado en el <i>feedback</i> táctil de tocar instrumentos musicales y de baile.
Nucleus accumbens	Involucrado en las reacciones emocionales provocadas por la música.
Amígdala	Involucrado en las reacciones emocionales por la música.
Cuerpo caloso	Involucrado en la conexión de ambos hemisferios.
Córtex pre-frontal	Involucrado en la creación y satisfacción de las expectativas.
Córtex motor	Involucrado en el movimiento (batir el pie, bailar y tocar un instrumento).

**Tabla 01:** Principales áreas implicadas al escuchar música y sus funciones (Levitin, 2006).

Otras áreas también son activadas por la percepción musical, una amplia red bilateral tales como la corteza prefrontal ventromedial (Blood et al., 2001; Brown et al. 2004); el sistema emocional límbico, como la amígdala (Koelsch 2010), el hipocampo (Blood et al 2001; Steinbeis et al 2006), el giro parahipocampal (Green & Bavelier. 2008), la corteza cingular (Mitterschithaler et al., 2007), la corteza orbitofrontal (Blood et al., 2001; Tillmann et al., 2006), el hipotálamo (Menon & Levitin, 2005), la ínsula y el estriado (Blood et al., 2001; Mitterschithaler et al., 2007).

Según Janata (2009), la característica principal de las activaciones cerebrales inducidas por la música reside en emplear de una sola vez dos redes neuronales: la primera,

calificada como “red por defecto” (Raichel, 2010) parece actuar en los estados de auto conciencia; la segunda, dedicada a la gestión de acciones dirigidas al mundo exterior. Tiene por función organizar el comportamiento en el tiempo y ambiente exterior, posibilitando conexiones constantes entre percepción y acción, memoria de trabajo, lenguaje, funciones ejecutivas, planeamiento motor y atención. Las zonas cerebrales relacionadas con esta red se sitúan en la zona del surco intraparietal, del giro frontal inferior, especialmente en la corteza prefrontal dorsolateral y neocórtex ventrolateral prefrontal. Esta última corresponde, en el lado izquierdo, con el área de Broca, involucrada en la organización secuencial de las acciones. El área motora suplementaria y la corteza premotora lateral pertenecen al componente motor de esta red (Bigand, 2014).

La organización perceptiva de la música se torna interesante cuando separa los flujos sonoros y los organiza de modo similar a la lingüística (Bigand, 2014). La escucha musical puede activar reconocimientos implícitos de regularidades de ese lenguaje musical, contribuyendo a la integración de los sonidos musicales en una red compleja de relaciones jerárquicas (Bigand & Poulin-Charronnat, 2006).

El sistema perceptivo integral (olfativo, gustativo, visual y propioceptivo), vinculado a áreas asociativas de confluencia cerebral es participante de esta red, generando memorias y sensaciones frente a la música (Muszkat et al., 2000). La memoria de trabajo desempeña un papel en la comprensión del desarrollo de un proceso musical en pequeña y larga escala temporal (Lallite & Bigand, 2006; Lallite et al., 2009); la memoria semántica es solicitada cuando la música termina, si estás familiarizado, así como en la memoria episódica activada al almacenar informaciones contextuales (nombre del compositor e intérpretes, local de la escucha, etc.) sobre la audición. Además, para almacenar símbolos estructurados instiga la memoria no verbal mediante áreas asociativas secundarias (Muszkat et al., 2000). La memoria también está relacionada con la cognición musical, incluyendo la

memoria de trabajo, atención e imaginación motora. Además, cubre el procesamiento semántico, multisensorial de reglas abstractas, numérico y sintáctico del lenguaje (Andrade, 2004).

Acciona áreas terciarias cerebrales, en el lóbulo frontal, responsable de las funciones paraxiales de secuenciación, de la melodía cinética del autolenguaje y de la mímica de la relación a las reacciones corporales de los sonidos (Muszkat et al., 2000).

Al mismo tiempo, el oyente sentirá diversas emociones, algunas veces intensas en términos neurofisiológicos (Blood et al., 2001; Salimpoor et al. 2011). La música tiene acceso directo a áreas límbicas responsables de los impulsos, emociones y motivación (Muszkat et al., 2000). Esa experiencia emocional cabe en el rastro de la memoria dejada por la escucha musical (Bigand, 2014).

De este modo, la percepción musical involucra una amplia red bilateral de áreas frontales, temporales, parietales y del cerebelo, así como de regiones subcorticales relacionadas con la atención, memoria de trabajo, memoria episódica y semántica, funciones motoras, velocidad de procesamiento de la información, procesamiento de la semántica y sintaxis de la música, razonamiento y creatividad (Pfeiffer & Sabe, 2015).

# CAPÍTULO 2

*“La música es una revelación mayor que toda la sabiduría y la filosofía”  
(Ludwig van Beethoven).*

---

Qué se va a tratar:

## **2. METODOLOGÍAS DE ENSEÑANZA EN GENERAL Y EN LA MÚSICA EN PARTICULAR**

### **2.1 Metodologías de Enseñanza en General**

*2.1.1 Metodología Tradicional*

*2.1.2 Metodología por indagación*

### **2.2 La Música como herramienta educativa**

## **2. METODOLOGÍAS DE ENSEÑANZA EN GENERAL Y EN LA MÚSICA EN PARTICULAR**

Los continuos cambios de la sociedad, los nuevos desafíos y oportunidades en educación nos enseña la necesidad de modificar los tradicionales conceptos y modos de enseñar, haciendo que los profesores y estudiosos de la educación se estimulen a mejorar constantemente las prácticas y saberes docentes posibilitando nuevos métodos de enseñanza (Vaillant & Marcelo García, 2012).

En la raíz de las nuevas metodologías se busca conseguir una educación integral del alumno, observando su desarrollo en todas sus dimensiones. Incluyendo la creatividad e imaginación, pues son dos aspectos claves para potencializar las capacidades inherentes de cada alumno (González, 2019; Robinson, 2015); y objetivando su logro en un aprendizaje realmente significativo (González, 2019).

En los siguientes epígrafes profundizaremos en las perspectivas metodológicas y neurobiológicas de la enseñanza en general, y de forma más precisa, en el enfoque metodológico tradicional y por indagación. Después abordaremos la música como una herramienta neuroeducativa.

### **2.1 Metodologías de enseñanza en general**

Al entender los procesos metodológicos de la enseñanza aprendizaje es necesario conceptualizar palabras claves relativas a este proceso. Empezamos por la Educación que, además de estar presente de modo continuado en nuestra vida, es considerada como un proceso multidireccional. Proceso este que transmite conocimientos, costumbres, valores y formas de actuar y que no sólo se produce a través de la palabra, sino en la conducta,

acciones, sentimientos y actitudes. Esta habilidad multidireccional de darse el contenido en torno a un método de aprendizaje es lo que torna la enseñanza tan significativa.

La enseñanza y aprendizaje, otras palabras clave en el proceso, son normalmente requeridas como fenómeno social, económico y cultural de las sociedades, cuyo objetivo es generar cambio, de la ignorancia al saber y de la reconstrucción de nuevos caminos a partir del conocimiento previo (Seguel & Viveros, 2016). No está relacionado con maduración o envejecimiento (Illeris, 2018).

El aprendizaje puede ser perceptivo, de estímulo-respuesta, motor y relacional. El aprendizaje perceptivo nos posibilita reconocer determinados estímulos haciendo que nuestra respuesta sea la más adecuada. El aprendizaje estímulo-respuesta es aprender a dar una determinada respuesta ante un determinado estímulo, incluye el condicionamiento clásico y el instrumental. Aprendizaje motor es aprender a realizar una respuesta nueva. El aprendizaje relacional es el tipo más complejo de aprendizaje que incluye el reconocimiento de objetos mediante más de una modalidad sensitiva (Martínez & Casas, 2018).

La didáctica es la ciencia que auxilia la redefinición de la enseñanza para el aprendizaje formativo, ofreciéndonos explicaciones y propuestas orientadoras científicas para los problemas didácticos y de cambio docente, educación discente y la formación pedagógica del profesor, orientada a la mejora social (Herrán, 2011). Además puede ser vista como una ciencia pedagógica referida a la metodología de la enseñanza que imparte el docente en clase (Herrán, 2011; Salinas, 2013).

Al buscar conceptualizar la metodología de enseñanza, encontramos un conjunto procedimental didáctico (Nérice, 1978), que estudia el método o los métodos, nutrido de conceptos, teorías y modelos, desarrollando un esquema adecuado (Alsina, 2007) con el fin de alcanzar objetivos de máxima eficacia y rendimiento en la enseñanza y aprendizaje



(Brighenti et al., 2015). De este modo, hay una amplia variedad de métodos aplicables, destinados a efectuar el proceso de enseñanza (Navarro, 2017).

Encontrar un modelo metodológico que mejore este proceso multidireccional visando el conocimiento propio del alumno como habilidad asociativa en la construcción de este conocimiento (Stender et al., 2018) es una constante por parte de los teóricos actuales (Biasutti, 2017; Luquet, 2015). Los cambios sociales y la necesidad de mejora constante de las prácticas y saberes docentes (Vaillant & Marcelo García, 2012) favorece la búsqueda de un método o forma efectiva de aprendizaje que incentiva a indagar continuamente su manifestación en todos los ámbitos.

La metodología en el ámbito curricular es esencial, pues constituye una de las principales preocupaciones de los futuros maestros cuando tienen que enseñar un contenido de ciencias. La eterna pregunta a la que buscan respuesta es: ¿cómo conseguir que los alumnos aprendan? Para responder a esta pregunta, los investigadores han divergido sobre cuál es el mejor método de enseñanza. Hay quienes responden que implica pasar de un modelo de enseñanza centrado en el profesor a uno centrado en el alumno (sus ideas, afectos, intereses, necesidades, etc.) (Friedrichsen et al., 2011) generando un ambiente escolar que favorezca las interacciones (entre profesores y alumnos, entre los propios alumnos, entre distintos tipos de saberes, etc.) (Duit & Treagust, 2003; Watts & Jofili, 1998).

Adoptar un modelo u otro, tiene repercusiones claras a nivel curricular, tanto en los contenidos, como en la metodología, como en la evaluación. Para entender el papel imprescindible en la enseñanza, dirigimos nuestra atención a dos metodologías muy utilizadas en nuestro medio y al mismo tiempo extremos entre sí, los métodos tradicionales y por indagación.

### *2.1.1 Metodología Tradicional*

El proceso educativo está orientado por metodologías que permitan al docente atender los objetivos propuestos (Brighenti et al., 2015). La metodología tradicional está ampliamente utilizada en la educación en todos los niveles y asume un modelo didáctico y metodológico centrado en el docente. Los estudiantes son iguales, convirtiéndolos en seres receptivos pasivos del aprendizaje (Mezzari, 2011; Santos, 2011; Seguel & Viveros, 2016) siendo el docente considerado “propietario” del conocimiento (Barros & Calero, 2018), quien repasa la información con sus alumnos, memorizando y repitiendo lo que les fue enseñado, sin rodearse de cuestionamientos o dudas sobre la temática propuesta. El método es limitado en términos de conocimiento (Krüger & Ensslin, 2013).

Posee un concepto de aprendizaje en tercera persona, expositivo, declarativo, indirecto, colectivo, objetivo, explícito y con la evaluación dirigida al resultado (Georgiou & Sharma, 2012; Slater et al., 2014). Su enfoque está muy relacionado con la transmisión de la información sin trabajar con la capacidad particular del conocimiento previo. Este método suscita el memorismo; la repetición de lo que les fue enseñado, sin cuestionamientos; la pasividad y el academicismo teórico (Agencia de la Calidad de la Educación del Chile, 2016; Krüger & Ensslin, 2013; López, 2015; Slater et al., 2014). Al centrarse el profesor como transmisor de la información básicamente teórica y el alumno como su espectador (Oliveira et al., 2012), se percibe dificultad en el desarrollo del pensamiento crítico, con poca iniciativa, con poca creatividad, ni autorresponsabilidad (Mezzari, 2011). Otra dificultad es que el docente concilia la práctica por medio de clases expositivas con poca aplicabilidad de la información enseñada (Weintraub et al., 2011).

Un ejemplo es la metodología expositiva en clase. Esta se centra en el profesor que asume el papel de transmisor de la información -básicamente teórica- y el alumno es su

espectador. Otras metodologías tradicionales: “la del libro de texto”, la cual contiene el contenido de la disciplina (Kuri et al., 2006); resolución de “ejercicios-modelo” por parte del profesor y proposición de ejercicios para los alumnos (Kuri et al., 2006; Weintraub et al., 2011). La resolución de ejercicios-modelo sirve para que el alumno identifique cómo organizarse en el contexto (Backes et al., 2010; Fornaziero et al., 2010; Mezzari, 2011; Oliveira et al., 2012; de Pinho et al., 2010; Rodrigues, 2010).

Al profundizar en esta temática en las clases musicales de los conservatorios y/o otros centros académicos es común observar que los métodos empleados son secuencias crecientes de ejercicios y/o repertorios. Estos están ajustados para el dominio de la técnica musical y contruidos a partir de principios y finalidades que no son comúnmente explicitados (Krüger & Ensslin, 2013). Esta metodología usada tradicionalmente para la enseñanza y el aprendizaje musical se centra en quien la enseña (González, 2018).

Históricamente, este tipo de enseñanza ha percibido la partitura e interpretación musical (notado como ejecución de una partitura) como objetos principales de aprendizaje, ignorando la búsqueda por estados de ánimo y expresiones por detrás de los sonidos (Bosch, 2014). Acreditamos que depender del entusiasmo del maestro puede activar los recursos multisensoriales (ej. motivación) del alumno, despertando el interés por la temática y consecuentemente su aprendizaje (Fornaziero et al., 2010).

Una característica de la metodología tradicional es que el profesor detiene el control de los alumnos por ser el “propietario del conocimiento” (de Pinho et al., 2010). Su gran desventaja es la de incitar en el alumno un comportamiento pasivo, dificultando el desarrollo del pensamiento crítico, con poca iniciativa, creatividad y autorresponsabilidad. Además de esto, el maestro acaba por no tener la certeza real del efectivo aprendizaje del alumno. Incluso con críticas negativas, esta metodología presenta resultados satisfactorios

en la clase, ya que su utilización está siendo muy usada por parte de los maestros (Backes et al., 2010; Mezzari, 2011; Weintraub et al., 2011).

### *2.1.2 Metodología por indagación*

Muchos estudiosos han enfocando la enseñanza en el alumno (Solaz-Portolés et al., 2016), desarrollando y utilizando modelos instruccionales como de aprendizaje activo (Bonwell & Eison, 1991), aprendizaje colaborativo (Bruffee, 1999), aprendizaje basado en la indagación (Marx et al., 2004), aprendizaje cooperativo (Johnson et al., 1998) o enseñanza mediante investigación dirigida (Gil, 1993). Tales modelos desarrollan estrategias que favorecen: la actitud activa de aprendizaje y participativa del alumno (Barbosa & Moura, 2013); su autoconciencia en cuanto al que está siendo enseñado; la interacción, colaboración y construcción del conocimiento con los demás (Barbosa & Moura, 2013, Weimer, 2013); la creación, por parte del profesor, de ambientes de aprendizaje que resulten de interés para el estudiante, teniendo un papel de orientador, supervisor, facilitador del proceso de enseñanza y aprendizaje (Barbosa & Moura, 2013). Además la evaluación constituye una parte muy relevante en este tipo aprendizaje (Weimer, 2013).

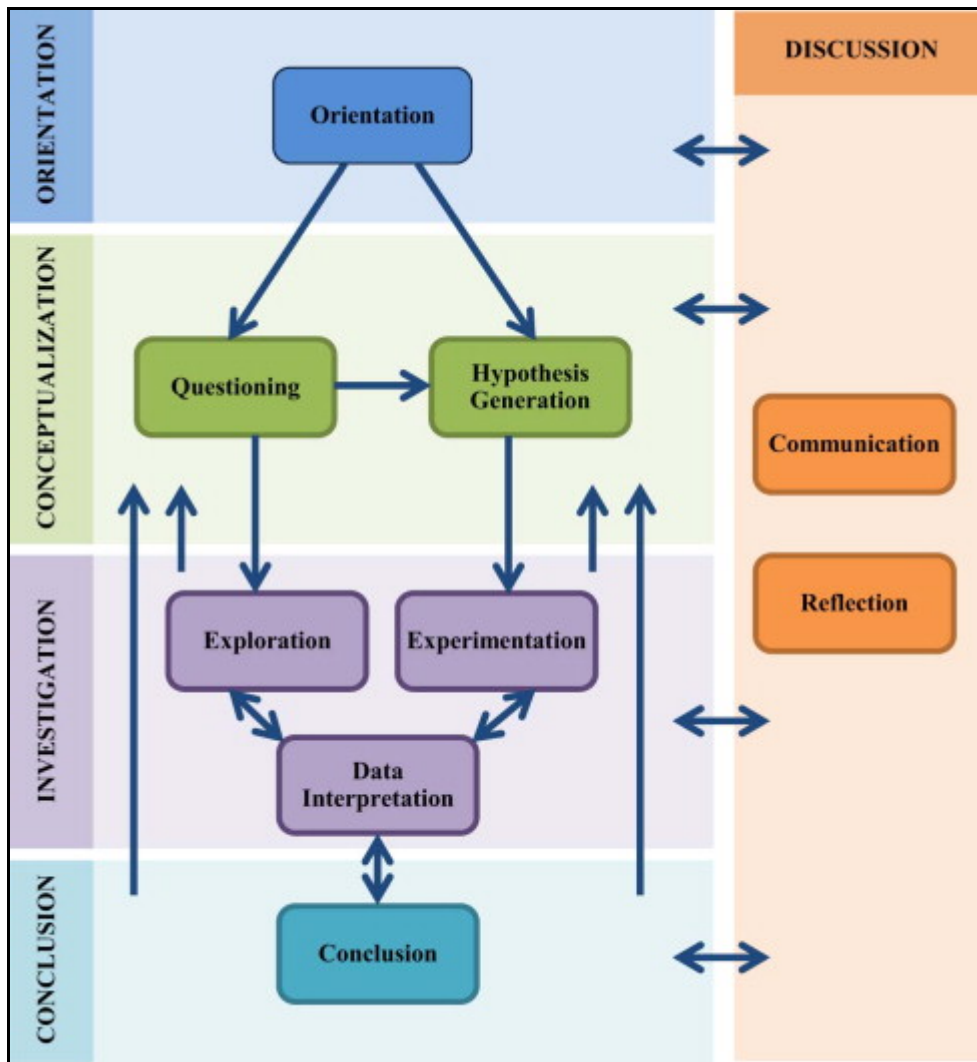
Al especificar el modelo instruccional de indagación -temática en esta investigación-, consideramos que es un método estratégico de enseñanza y aprendizaje de las ciencias, alternativo, ante la necesidad de mejorar la actual forma de enseñar en los centros educativos. Sin embargo, las investigaciones sobre este método de enseñanza son reducidas (Aguilera, et al 2018). Lo que hemos visto son escasos estudios de revisión acerca del tema en el panorama internacional (Alfieri et al., 2011; Furtak et al., 2012;

Lazonder & Harmsen, 2016; Minner et al., 2010), mientras que en el ámbito nacional solo disponemos del trabajo de Romero-Ariza (2017).

Puede ser definida como una actividad polifacética que envuelve la observación, la formulación de preguntas, la búsqueda de información, el diseño y planificación de investigaciones, la revisión de ideas observando la evidencia experimental disponible, el manejo de herramientas asociadas a la adquisición, análisis e interpretación de datos, la formulación de respuestas, explicaciones y predicciones y la comunicación de resultados. La indagación requiere la identificación de asunciones, la aplicación del pensamiento lógico y crítico y la consideración de explicaciones alternativas (National Research Council, 2012; Ariza et al., 2016).

Incluso teniendo características parecidas con las demás metodologías citadas anteriormente, la diferencia está en observar a los estudiantes como constructores del conocimiento (Escalante, 2016). Teniendo como particularidad central la capacidad de investigar e indagar científicamente (Barrow, 2006; Bevins & Price, 2016; Escalante, 2016; Garritz, 2010). La meta principal es solucionar problemas planteados e identificados en una realidad, desarrollando habilidades y competencias que están firmemente relacionadas con la investigación científica (Uzcátegui & Betancourt, 2013).

En el figura 09, hay un modelo no lineal propuesto por Pedaste et al. (2015) que incluye cinco fases generales y 9 sub-fases relacionadas entre sí, que representan la diversidad de posibles implementaciones en la clase. Esas fases de investigación y procesos relacionados pueden estar organizadas en diferentes caminos, que son seguidos mediante situaciones de aprendizaje específicas. La calidad de la indagación llevada a cabo por el alumno está determinada por los elementos transversales del modelo propuesto, como la discusión, comunicación y reflexión.



**Figura 09:** Estructura de aprendizaje basada en investigación (fases generales, sub-fases y sus relaciones) (Pedaste et al., 2015).

Este modelo empieza de modo más básico en la fase de conceptualización, donde los alumnos tienen la posibilidad de pasar a la fase de investigación generando preguntas o hipótesis. Al tener un conjunto de preguntas, hacen un plan y empiezan con la exploración. Mientras que un abordaje orientado por hipótesis, posibilita al alumno experimentar de modo más estructurado la fase de investigación. Además, un ciclo de investigación puede ser adaptado a partir de diferentes énfasis en la fase de discusión. Los alumnos pueden presentar sus conclusiones, basadas en cuestionamientos; mientras que otras por procesos más sofisticados, como la comunicación y la reflexión pueden ser procesos de relevancia que están invocados en todas las fases de la investigación (Pedaste et al., 2015).

Otra tipología son los modelos de indagación según la autonomía del alumno, (desarrollados en la tabla 02), que enriquecen la diferenciación con los demás metodologías. Desde propuestas centradas en la confirmación de experiencias discutidas en clase, hasta la toma de decisión del alumnado sobre qué investigar y cómo hacerlo, pasando por estrategias de indagación estructurada (el profesor proporciona tanto la pregunta como el procedimiento para resolverla) y de indagación guiada (el docente proporciona la pregunta y los alumnos deciden cómo resolverla) (Aguilera, et al., 2018; Windschitl, 2003).

<b>Modelos de indagación</b>	<b>Destrezas de indagación agrupadas en dimensiones</b>				
<b>Nivel</b>	<i>1. Plantear preguntas científicamente</i>	<i>2. Basarse en pruebas</i>	<i>3. Explicar a partir de pruebas</i>	<i>4. Explicar a partir de conocimientos</i>	<i>5. Comunicar y justificar</i>
<b>3. Abierta</b>	Formulan sus preguntas	Determinan aquello que constituye una prueba y lo recaban	Formulan explicaciones después de agrupar sus pruebas	Examinan otros recursos para formular explicaciones sobre su trabajo	Buscan cómo formular argumentos lógicos para comunicar sus explicaciones
<b>2. Guiada</b>	Seleccionan preguntas y plantean otras nuevas	Se les orienta para que recaben ciertos datos	Se les guía en el proceso de formular explicaciones a partir de pruebas	Se les dirige hacia áreas y fuentes de conocimiento científico	Se les orienta hacia estrategias para desarrollar la comunicación
<b>1. Estructurada</b>	Clarifican o concretan las preguntas que se les asignan	Reciben datos y se les pide su análisis	Se les proporcionan ejemplos de cómo usar las pruebas para formular explicaciones	Se proporcionan posibles conexiones con el conocimiento científico	Se les proporcionan directrices a usar para enfocar la comunicación
<b>0. Confirmación / actividades de verificación</b>	Dan respuesta a las preguntas proporcionadas por otros	Reciben datos y se les explica cómo analizarlos	Reciben explicaciones sobre sus resultados	Se les indica la conexión precisa entre los conocimientos	Reciben pasos y procedimientos específicos para la comunicación

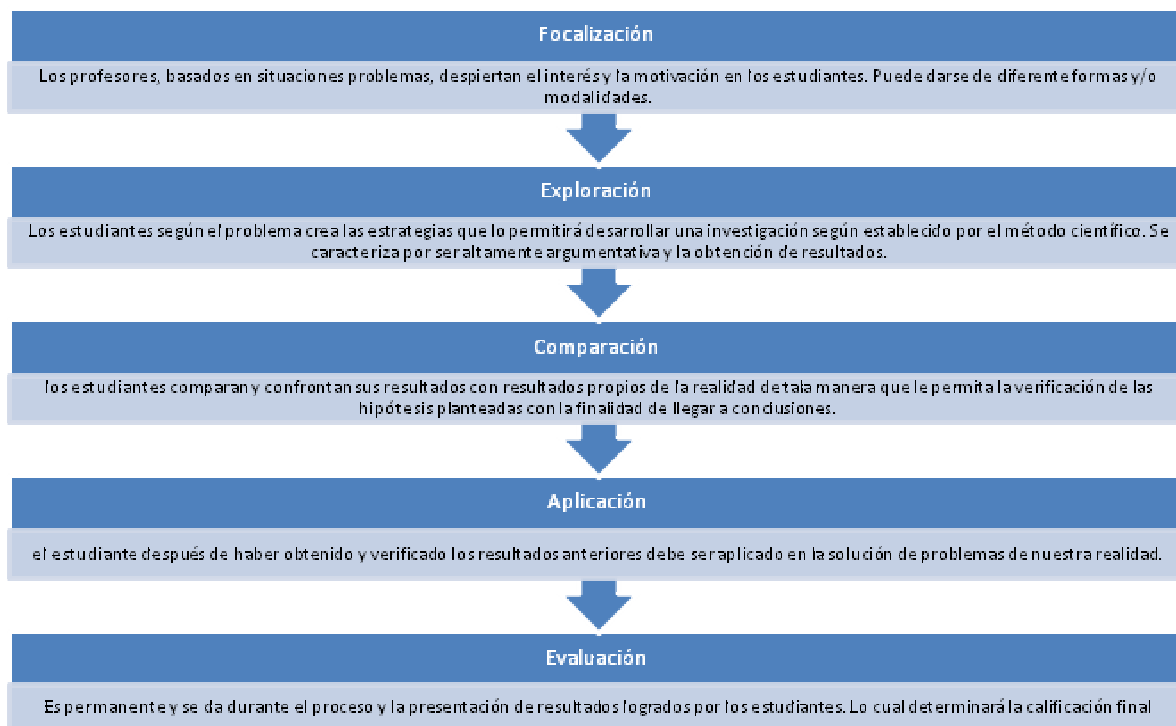
**Tabla 02:** Modelos de indagación y destrezas desempeñada por alumnos (Bevins & Price, 2016).

Otra diferenciación, en relación a las demás metodologías, está relacionada con su implementación en clase. Como el alumno está integrado en un auténtico proceso de descubrimiento científico (Pedaste et al., 2015), el método por indagación posibilita al alumno: identificar problemas o cuestiones; emitir hipótesis razonables a fin de resolver la cuestión o problema propuesto; buscar pruebas que confirmen o refuten la hipótesis,

mediante experimentos o búsqueda de información; racionalizar analizando e interpretando resultados; extraer conclusiones y comunicarlas (Martínez-Chico, 2013).

Además de llevar la autenticidad de la metodología científica, esta metodología de indagación posibilita tanto involucrar y motivar a los alumnos (Aguilera, et al., 2018; Couso, 2014) teniendo en cuenta la influencia de los factores afectivos y motivacionales en el aprendizaje; como facilitar actitudes positivas hacia la ciencia y la apropiación de ideas y procesos científicos por parte de los estudiantes (Bevins & Price, 2016).

En la figura 10, mostramos las etapas que son necesarias para que el alumno desarrolle el aprendizaje en la citada metodología de indagación:



**Figura 10:** Etapas necesarias para el desarrollo del aprendizaje en la metodología por indagación (Uzcátegui & Betancourt., 2013).

De este modo, esta metodología se torna relevante para la enseñanza aprendizaje, cuando observamos la sugerencia de que la mejor forma de aprender ciencias es por medio de cuestionamientos y por indagación (Lederman et al., 2013). Otros argumentan que es el



mejor método para enseñar, debido a su habilidad para fomentar la investigación y auxiliar a interiorizar nuevos contenidos mediante la búsqueda de respuestas formuladas (Bevins & Price, 2016). Estos autores consideran que es el mejor método, puesto que enfoca la enseñanza centrada en el estudiante, resultando ser más motivadora que la metodología tradicional (Méndez-Coca, 2015). Además de haber mejoras significativas en los resultados de aprendizaje cuando se usan estrategias de enseñanza centradas en el estudiante (Anjur, 2011; Granger et al. 2012).

En un trabajo reciente utilizando meta-análisis, fue medido el tamaño del efecto de esta metodología en comparación con otras más tradicionales. Se observó que las actividades enfocadas a la promoción de la capacidad de pensar, razonar y argumentar basadas en evidencias, es un predictor positivo de la comprensión de las ideas científicas por parte del alumnado sometido a aprendizaje por indagación. Fue visto también mayor impacto en el desarrollo de destrezas de indagación y moderado tamaño del efecto sobre el aprendizaje de conceptos. Igualmente el tamaño del efecto de la indagación está relacionado con las actividades de indagación que se llevan a cabo en el aula, con el nivel de guía o apoyo del profesor y el tipo de resultado de aprendizaje medido (Romero-Ariza, 2017).

La investigación de Romero-Ariza fortalece el papel del profesor al incorporar nuevas metodologías frente a modelos tradicionales. El profesor es visto como relevante en el proceso, ya que la indagación no guiada no facilita el aprendizaje, mientras que cuando el proceso está debidamente asistido por el docente sí se obtienen beneficios importantes (Romero-Ariza, 2017). La idea que se refleja es que los docentes pasan a ser conocedores del medio, haciendo que el alumno sea el agente de su proceso de aprendizaje, desarrollando nuevas habilidades como buscar, evaluar, organizar, seleccionar y utilizar (Puerto, 2018). Diferentes investigaciones concluyen que los mejores resultados de

aprendizaje se obtienen con la indagación guiada (Furtak et al. 2012; Lazonder & Harmsen 2016; Minner et al. 2010).

La práctica educacional no es sencilla en la metodología de indagación, puesto que hay autores que debaten: a) la propia concepción de indagación, el modo y las barreras de implementación metodológica en el aula, el papel y la falta de preparación del profesor (Abril et al., 2014; Anderson 2002; Cuevas et al., 2005; Forbes & Davis, 2010; Lucero et al., 2013; McDonald & Butler Songer, 2008; Newman et al., 2004); b) el limitado número de maestros en formación para la implementación de actividades de indagación (Pérez & Mauriz, 2014; Lucero et al., 2013); c) el que no sea aún relevante el peso de las actividades relativas a esta metodología en las prácticas diarias de clase (Engeln et al., 2013; García-García et al., 2019) como son el diseño, la elección de la pregunta a investigar y la ejecución de la investigación (Pérez & Mauriz, 2014; Lucero et al., 2013); d) la escasez de recursos, limitación temporal, currículo extenso y la presión de los padres (Anderson, 1996). Por otro lado, también encontramos investigaciones que ponen en evidencia una correlación negativa entre las metodologías de indagación en el aula y el rendimiento académico en las pruebas PISA (Areepattamannil, 2012; McConney et al 2014).

De todos modos, algunos trabajos muestran cómo una adecuada formación específica puede modificar las concepciones didácticas sobre el aprendizaje y la eficacia de los enfoques de enseñanza (Martínez-Chico et al., 2015). Así como reducir la percepción de obstáculos para la utilización de la indagación en el aula (Godoy et al., 2014), aunque se reclama un mayor número de propuestas coherentes de formación de profesorado (Jiménez-Tenorio & Oliva, 2016).

Independiente de la metodología aplicada, un modo de establecer las competencias de aprendizaje, de forma secuencial y progresiva y de menor a mayor nivel de habilidades de pensamiento, fue generado por Bloom (1956). Más tarde su

clasificación fue revisada por Anderson y Krathwohl (2001), actuando en diferentes tipos y niveles de conocimiento (factual, conceptual, procedimiento y metacognición). La taxonomía revisada proporciona un conjunto de clasificaciones para los procesos cognitivos de aprendizaje que se circunscriben a los objetivos educativos. Esta diferencia se traduce en el aspecto creativo como el último nivel del proceso de aprendizaje.

La taxonomía original continúa siendo una herramienta válida, sin embargo, una vez adentrado en la era digital, fue revisada y optimizada por Andrew Churches (2009), adaptando un nuevo enfoque en la enseñanza - aprendizaje. Recientemente, llamada como taxonomía digital de Bloom (Ver gráfico 01), además de atender las prácticas tradicionales de clase, incorpora las relacionadas con las TIC, los procesos y acciones asociados. Se divide en niveles o fases que el alumno debe superar para que ocasione un verdadero proceso de aprendizaje e incorpora los verbos y herramientas digitales aplicados a nuevas actividades, acciones, procesos y objetivos de aprendizaje derivado de la integración de las TIC. La Taxonomía digital no se restringe solamente a aspectos cognitivos como los observados en otras taxonomías aquí transcritas, sino que contiene los elementos cognitivos, así como métodos y herramientas. Es la calidad de la acción o proceso lo que define el nivel cognitivo y no por sí mismo (Bosch, 2014; Churches, 2009).

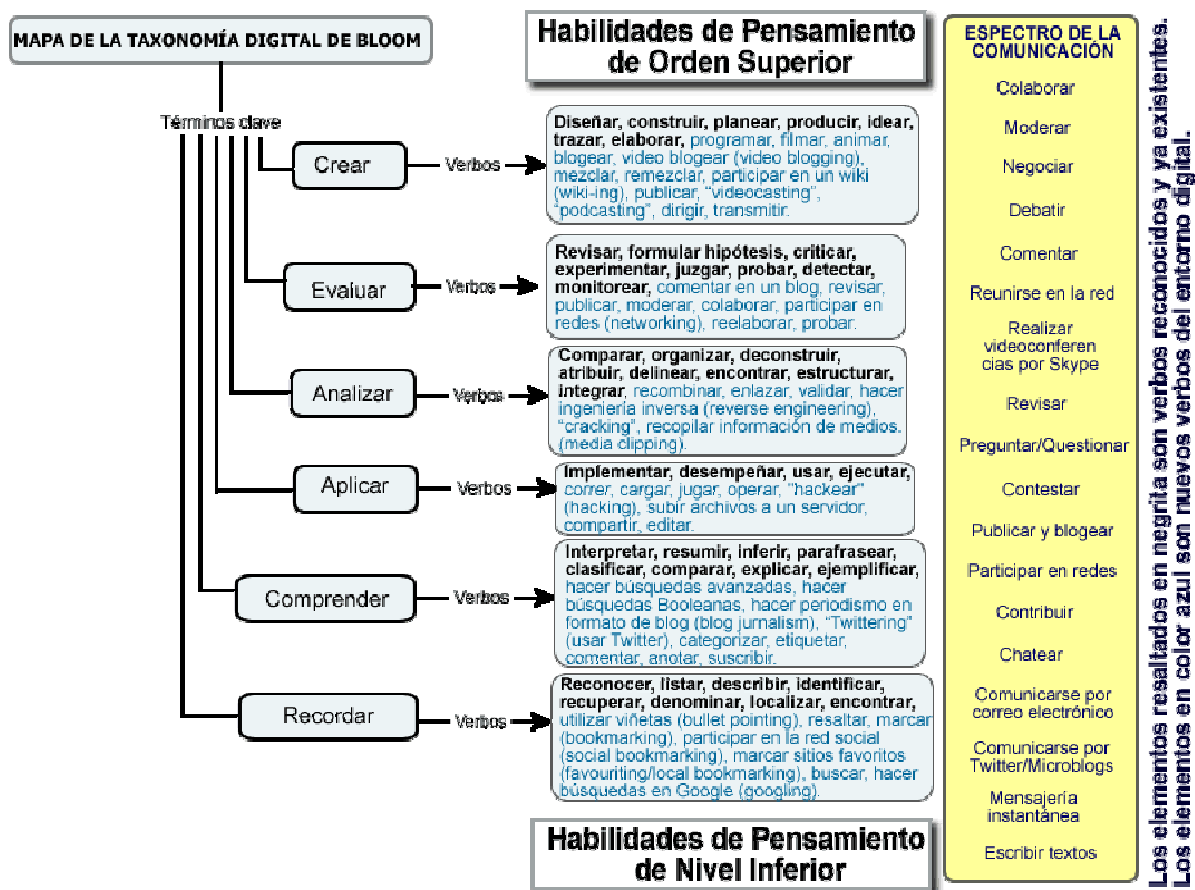


Figura 11: Mapa de la taxonomía digital de Bloom (Churches, 2009).

Las acciones o verbos de orden superior en la taxonomía digital de Bloom (como crear, colaborar, producir, etc.) adquieren valor en nuestro estudio, sirviendo como herramienta ideal para el análisis no sólo de la competencia digital, sino también de la competencia musical, en la educación musical.

Históricamente, este tipo de enseñanza ha percibido la partitura y la interpretación musical (notado como ejecución de una partitura) como objetos principales de aprendizaje, ignorando la producida por los estados de ánimo como las expresiones emergentes detrás de los sonidos. La educación musical está comúnmente dividida entre los que son capaces de leer una partitura y ejecutarla (como un lenguaje internacional permitiendo tocar con el grupo de forma coordinada) y los

que pueden hacerlo sin partitura (significa improvisar y ser capaz de crear partiendo de estructuras preestablecidas). La educación ideal es la suma de los dos modos de conocimiento. Al ser capaz de comunicar musicalmente de manera espontánea y reflexiva se dominaría el lenguaje musical (Bosch, 2014).

## 2.2 La música como herramienta educativa

Variables sociohistóricas y culturales, además de fenómenos físicos y acústicos que la música genera en sí, hacen que esta sea algo indispensable para el crecimiento social y cultural de modo más completo. Este recurso de desarrollo integral del ser humano, está presente en diversos campos como la biología, la cultura, la sociología y el aprendizaje. Su naturaleza biológica se manifiesta como patrón universal de comportamiento en el desarrollo del lenguaje (Palacios, 2012). En términos de la naturaleza cultural, la música refuerza la identidad, valores personales y colectivos en el alumnado, promoviendo el fomento de la preservación y diversidad cultural (UNESCO, 2006) en un acto de comunicación (González et al., 2019). En una visión sociológica, se evidencia cómo el hecho musical es omnipresente y actual (Palacios, 2012).

En términos educativos, la música es defendida por diversos teóricos como una herramienta de gran valor para el sistema (Iotova, 2009; López, 2013; Martínez et al., 2015; Matos, 2012; Morales Zúñiga, 2014). Uno de los motivos es su carácter interdisciplinar con otras asignaturas (González Barroso, 2015). Como también el estímulo para las facultades del ser humano, ofreciendo infinitas posibilidades de desarrollo intelectual y emocional (Izquierdo et al, 2019; Muñoz, 2013). Posibilita el fortalecimiento de la memoria, concentración, atención (Hernández, 2016). desarrollo social y relación hormonal del estrés (Gómez, 2018); sentir, conocer, valorar, interpretar y apreciar el hecho

sonoro, como también la abstracción, razonamiento lógico y matemático, la imaginación, el orden y el compromiso personal mediante la creatividad (Palacios, 2012).

Cuando discutimos la enseñanza en el área musical, el método está comúnmente relacionado con la materia (Ej. Método X de la flauta dulce, Método Y de la guitarra popular). Estos métodos están conformados por la secuenciación progresiva de ejercicios y/o repertorios adecuados para el dominio de la técnica musical. Sin embargo, el material didáctico es construido a partir de principios y finalidades que, en este caso, poco es explicitado o incluso no concientizado por sus autores (Krüger & Ensslin, 2013).

De este modo, el docente es visto como técnico y ejecutor de una propuesta pedagógica ya concebida y planeada en otras instancias, desconsiderando peculiaridades de orden cultural y del contexto en que será utilizado. Teniendo el profesor una función meramente instrumental y reproductor de una propuesta pedagógica. Sin embargo, el papel del profesor puede ser entendido de otro modo.

Según Nóvoa (2002) se entiende que el conocimiento del profesor está constituido a partir de una reflexión sobre la práctica. El profesor es un profesional reflexivo. Esta característica sirve de soporte para la toma de decisiones en un contexto de organización cotidiano en clase (Krüger & Ensslin, 2013); como también tiene el papel autoevaluativo de su propia enseñanza aprendizaje, tomando decisiones dentro de los límites y posibilidades de la situación educativa en concreto. La toma de decisión por parte del profesor está relacionada con su método de enseñar, ya que los métodos pedagógicos constituyen un escenario para pensar y realizar la práctica educativa (Bru, 2009).

Los métodos pedagógicos en música no se definen como mezcla de técnicas y procedimientos (Bru, 2009). Algunos teóricos lo entienden como un conjunto de ideas, ejemplos y secuencias pedagógicas, dándole el profesor su enfoque particular, mientras que otras propuestas son sustituidas por el principio pedagógico, por el objetivo, por la

tendencia, permitiendo múltiples respuestas didácticas al mismo problema pedagógico (Gainza, 1988).

Diversas investigaciones enfocan la música en el contexto educativo. Un ejemplo de ello es la observación del efecto en las ondas cerebrales al escuchar intervalos musicales distintos, así como la mejora de la disposición y la capacidad para el aprendizaje de las lenguas extranjeras. Como resultado se ha visto que la música puede constituir una gran ayuda para alumnos y profesores, aplicada a diferentes áreas del conocimiento, en especial, a aquellas de difícil aprendizaje (Piñeros et al., 2016). Por ejemplo, se buscó la música como innovación en la educación tradicional, facilitando el aprendizaje de una segunda lengua a niños y jóvenes (De Castro Martínez, 2014). En otra investigación, con el uso de encuestas y el análisis de repertorio musical, se comprobó que la música favorecía mejor la retención de textos mediante al ritmo, repeticiones y rimas propias de la música (Orradóttir, 2015). Mediante procesos de investigación cualitativa, otro estudio demostró que la música tenía impacto positivo en la conducta, concentración y capacidad cognitiva puestas en práctica, para realizar las actividades en el aula (Aimara, 2015). También fue objeto de investigación, determinar la influencia de la música mediante el diseño de estrategias didácticas que posibilitara el desarrollo de la motricidad de los niños de educación inicial, de las cuales fueron claves la unión sistemática del movimiento, del uso de la voz y de sonidos de percusión (González M., 2012). Al investigar la formación musical, se ha demostrado correspondencia significativa con el rendimiento académico, con la lectura específicamente y la capacidad y el logro matemático (Balbag, et al., 2014).

En música hay diversos métodos educativos, entre los que destacan el de Kodály, Willems, Orff, Martenot, Suzuki o Wuytack que ofertan “material didáctico diferenciado entre sí y entre los métodos más tradicionales” (Gainza, 1988, p.105). Algunos son más prescriptivos, valiéndose de materiales didácticos cerrados; otros menos, con actividades

más abiertas y flexibles; otros discuten fundamentos filosóficos o psicológicos; mientras que otros son divulgados en gran parte mediante cuadernos de actividades o experiencias relatadas (como en el caso de Paynter y Schafer). Sin embargo, todos los métodos configuran propuestas de cómo desarrollar una práctica de educación musical estructurada en principios, finalidades y orientaciones generales explicitadas en mayor o menor grado. Cada uno de estos teóricos nos transmite la idea de que la música puede ser enseñada a todos y no solamente a los dotados de talento innato, cuestionando así los modelos tradicionales (Krüger & Ensslin, 2013).

Incluso reconociendo la importancia de los citados métodos, no nos vamos adentrar en este tópico, puesto que nuestra propuesta es profundizar en las metodologías tradicional y por indagación, en el campo musical y sus modificaciones cerebrales, abriendo una amplia discusión sobre una eventual aplicabilidad en las demás ciencias.



# CAPÍTULO 3

*“El entrenamiento musical es un instrumento más potente que cualquier otro porque el ritmo y la armonía encuentran su camino en los más profundo del alma” (Platón).*

---

Qué se va a tratar:

## **3. NEUROEDUCACIÓN MUSICAL EN LA METODOLOGÍA TRADICIONAL Y POR INDAGACIÓN**

### **3.1 Neurociencias de la Educación musical**

### **3.2 Neuroeducación musical en metodología tradicional**

#### *3.2.1 Aprendizaje y memoria en neuroeducación*

### **3.3. La neurociencia de la creatividad y improvisación musical en metodología por indagación**

#### *3.3.1 Neuroeducación en la creatividad musical*

#### *3.3.2 La neurociencia de la improvisación musical*

### **3. NEUROEDUCACIÓN MUSICAL EN LA METODOLOGÍA TRADICIONAL Y POR INDAGACIÓN EN CLASE MUSICAL**

Al buscar un mejor entendimiento acerca de los mecanismos afectados en la enseñanza-aprendizaje en términos de mecanismos cerebrales (De Oliveira, 2013; Filipin et al. 2016), la neuroeducación gana énfasis: a) uniendo conocimientos de las neurociencias y los procesos mnemónicos del aprendizaje y educación; b) envolviendo procesos y técnicas establecidas (Oliveira & Rossi, 2017); y c) optimizando su aplicación en la educación y en los procesos de enseñanza y aprendizaje (Maia, 2011; Mora, 2012).

Hasta el momento, la metodología tradicional, muy común en las clases musicales, posee características enraizadas en la memorización y la repetición, siendo promovida a partir de la posesión de conocimientos. Sin embargo, la metodología por indagación, de modo tímido más creciente en la educación musical, es más exploratoria y creativa. En este sentido, no hay investigaciones que profundicen en términos neuro-educacionales de cómo el cerebro reacciona delante de las metodologías citadas. Ante esta afirmación, en este apartado tratamos de discutir puntos de conexión entre la metodología tradicional y por indagación en el campo de la neuroeducación musical. Para esto, se hace necesario contextualizar la educación en campo de las neurociencias.

#### **3.1 Neurociencias de la Educación musical**

Los avances tecnológicos influyen directamente en la educación. De este modo, al pensar en la educación musical en neurociencias es imprescindible profundizar en el tema de modo multidisciplinar, creando marcos teóricos para el estudio de la mente musical y aportando datos empíricos: en cuestiones como el procesamiento musical (Koelsch, 2011);

el estudio del sustrato neurológico musical en el cerebro (Koelsch, 2014; Zatorre & Salimpoor, 2013); los aspectos relacionados con la percepción musical (Huss, et al., 2011; Jolij & Meurs, 2011; Maes et al., 2014; Wu et al., 2012); y el estudio sobre música y emociones (Lamont & Eerola, 2011; Scherer & Coutinho, 2013). Incluyendo las actividades musicales (interpretación, escucha, danza, imaginación musical, composición e improvisación) que permitan el estudio de los mecanismos cognitivos implicados. Por lo general, las neurociencias utilizan metodologías propias de la ciencia médica (mediante el uso de técnicas de neuroimagen) y de la psicología (mediante tests, cuestionarios y pruebas).

Conscientes del alcance de este tema, nuestro trabajo consiste en centrarnos en el comportamiento cerebral ante la aplicabilidad de métodos de enseñanza, utilizados rutinariamente en la clase con contenido musical.

En términos neurocognitivos, el aprendizaje es visto como un proceso orgánico, de modificación de conducta, que se adapta a las condiciones cambiantes del medio (Loubon & Franco, 2010; Morgado, 2005). Posibilita la alteración tanto a nivel de arquitectura neuronal como también en la organización funcional en el cerebro humano, de modo muy particular, mediante plasticidad cerebral. Esta particularidad se debe a los tiempos distintos de aprendizaje y a la codificación de la información mediante recursos multisensoriales de cada alumno (Bissonnette et al., 2011; Bransford, et al., 2000; Goodin, 2013; López, 2015).

Estos recursos multisensoriales están contemplados en la enseñanza moderna a través de la motivación discente y la capacidad cognitiva de resolución de problemas, a partir de conocimientos previos almacenados en el sistema de memoria cerebral. De esto modo, se permite el desarrollo de las habilidades del alumno.

Las investigaciones neurocientíficas del aprendizaje y su relación con la música está en constante crecimiento (Albusac-Jorge & Giménez-Rodríguez, 2015). Sin embargo, los

modelos explicativos sobre la forma en que el cerebro procesa la música aún no han tenido un impacto significativo en el campo de la educación musical, donde las habilidades en el procesamiento de la música son un elemento central (Collins, 2013).

Lo que se sabe es que en la práctica musical en el aula, requiere del ser humano habilidades neurocognitivas relevantes, y para identificarlas, se hace necesario comparar los efectos de estas prácticas educativas en individuos con y sin formación musical.

Para individuos con formación musical, las investigaciones han revelado mejoras en habilidades lingüísticas en comparación a aquellos sin formación en dominios tales como: el conocimiento del vocabulario, la atención selectiva del habla y la percepción de la prosodia. Además, la formación musical se ha demostrado corresponder significativamente con el rendimiento académico, con la lectura y con el logro matemático; y a largo plazo, la práctica musical profesional favorece la protección de enfermedades neurodegenerativas, debido al aumento de volumen o espesura cerebral de materia gris y blanca, que origina el aprendizaje musical y minimiza la neurodegeneración celular (Balbag et al., 2014; Hannon & Trainor, 2007; Leber et al., 2008; Moreno et al., 2011; Parbery-Clark et al., 2009b; Schellenberg & Peretz, 2008; Soria-Urios et al., 2011b).

Las investigaciones sobre los efectos de la enseñanza musical demuestran que la práctica de la música influye en el desarrollo de las funciones y estructuras cerebrales (Herholz & Zatorre, 2012; Patel, 2010; Trainor et al., 2009) relacionados con el procesamiento del lenguaje (Moreno et al., 2011; Patel & Iversen, 2007; Schlaug et al., 2009), el proceso fonológico (Thompson et al., 2004) y del habla (Rocanglia-Denissen et al., 2018), y en el desarrollo y una mejor conciencia fonológica (Herrera et al., 2011); cambios en el sistema auditivo para la mejora de la percepción auditiva, relacionada con la correcta interpretación musical en los músicos, así como en la mejora del procesamiento musical en público en general (Boh et al., 2011).

Aparte de la mejora de las habilidades del lenguaje y fonológica, se observa también mejora en la fluencia y memoria (Fauvel, et al., 2014, Rocanglia-Denissen et al., 2018), la memoria verbal (Ho et al., 2003), memoria de almacenamiento y recuperación de datos, la atención sostenida, la percepción, el comportamiento dirigido, la programación motora debido a ejecución musical, la parte sensorial motriz, la emoción y, en particular, la flexibilidad cognitiva al accionar la función ejecutiva (Soria-Urios et al., 2011b), lo cual conduce a la mejora de determinadas capacidades cognitivas propias de las funciones ejecutivas (Sempere, 2018). Esta flexibilidad se refiere a la capacidad mental de ajuste de pensamiento o atención en respuesta a metas y/o estímulos ambientales de modo simultáneo sobre varios conceptos. Incluye regiones de la corteza prefrontal, los ganglios basales, corteza cingulada anterior y corteza parietal posterior (Soria-Urios et al., 2011b).

La existencia de la relación entre las regiones motora y auditiva es verificada mediante la corteza premotora, más precisamente ventral, dorsal y medial izquierda, durante la percepción y producción de ritmos musicales. Por otra parte, el giro temporal superior se activa durante la percepción y sincronización de movimientos rítmicos y la corteza temporal derecha, los estímulos auditivos, son analizados y transmitidos a otras regiones corticales. Se ha constatado que los individuos con entrenamiento musical utilizan más el hemisferio izquierdo en el procesamiento de tareas musicales, y mayor bilateralización de la percepción musical, con una mayor potencialidad interhemisférica que los individuos no músicos (Williamon et al., 2014). La música influye en el estado de ánimo, que a su vez acciona procesos de control ejecutivo. Las funciones ejecutivas, por su parte, son esenciales para el proceso aprendizaje (Mansouri et al., 2017).

Una actividad bien utilizada en formación musical es el entrenamiento musical, muy común en investigaciones neurocognitivas comparativas. El aprendizaje musical es un potente entrenamiento que se traduce en cambios plásticos anatómicos y funcionales. Estos

cambios afectan no sólo a “circuitos musicales” sino también a otros cambios comunes y compartidos con otras funciones demostradas (Altenmüller, 2008; Bissonnette et al., 2011; Goodin, 2013; Moreno et al., 2011b).

Cuando hablamos de plasticidad, indubitablemente se hace necesario redirigir el foco de atención sobre las bases estructurales neurológicas en investigaciones sobre el entrenamiento musical. En este contexto, se observa acentuación de volumen de materia gris, precisamente en las regiones partícipes del procesamiento de aprendizaje: cuerpo calloso, la corteza prefrontal, auditivo y premotora, el cerebelo y las áreas asociativas parieto-occipito temporales.

Reafirma cambios en toda la vía auditiva, desde el tronco cerebral (Strait & Kraus, 2014) hasta la corteza auditiva primaria y las áreas proximales (Bermudez et al., 2009; Elmer et al., 2013; Gaser & Schlaug, 2003), llegando también hacia otras áreas que participan en el procesamiento auditivo de alto nivel (James et al., 2014; Loui et al., 2012). El mayor volumen de sustancia gris en zonas cerebrales auditivas es encontrado cuando observamos el tiempo de entrenamiento. En aquellos que han realizado mayor entrenamiento musical en comparación con aquellos que han practicado menos, siendo más significativas estas diferencias cuando observamos las edades de iniciación de la enseñanza musical, independiente del instrumento estudiado (Hutchinson et al., 2003; Pantev et al., 1998). También se nota que al entrenar musicalmente por algún tiempo, sea por años o semanas, hay evidencias de cambios estructurales en el giro de Heschl, en el giro temporal superior izquierdo y en el giro supramarginal (Gaab et al., 2006; Schneider et al., 2002).

En edades más tempranas de iniciación del entrenamiento musical se aprecia mayor volumen de sustancia gris en la región premotora ventral derecha entre músicos (Bailey et al., 2014; Palomar-García et al., 2017); y en estructuras subcorticales, como los ganglios basales, y el cerebelo (Bermudez et al., 2009; Gaser & Schlaug, 2003; Hutchinson et al.,

2003). Este circuito neural está conectado con el control motor y planificación de los movimientos durante el aprendizaje motor (Schmidt & Lee, 2011).

Además, los efectos del entrenamiento musical también producen cambios en la sustancia blanca del cuerpo calloso y el fascículo arqueado (Sempere, 2018). Una investigación ha demostrado que, con el entrenamiento musical, se produce aumento de tamaño en el cuerpo calloso y que este creciente aumento se correlaciona con el número de horas semanales. Así que un mayor número de horas de práctica produce mayor aumento del cuerpo calloso (Schlaug et al., 2009). El cuerpo calloso sostiene que la música incrementa las conexiones neuronales y estimula tanto el aprendizaje, actividad principal del hemisferio izquierdo, como la creatividad, desarrollada en el hemisferio derecho (Britos, 2013; Gaser & Schlaug, 2003). Otros estudios manifiestan que el fascículo arqueado se encarga de unir la región temporal con la frontal, descubriendo la participación de este en el procesamiento audio-motor del lenguaje y la música (Halwani et al., 2011; López-Barroso et al., 2013). Otro estudio buscó investigar las adaptaciones cerebrales en los cantantes, comparándolos con los músicos instrumentistas y los no músicos. Los resultados obtenidos demostraron mayor volumen y valores más altos de anisotropía fraccional (propiedad del tejido cerebral normal que depende de la direccionalidad de las moléculas del agua y de la integridad de las fibras de sustancia blanca) en el fascículo arqueado (FA) en el grupo de cantantes y músicos, en comparación con los no músicos (Halwani et al., 2011).

Un estudio reciente con una duración de seis semanas (12 sesiones) evidenció mejoras en la memoria de trabajo de niños, medida por medio de una prueba de retención de dígitos (Guo et al., 2018). Estudios comparativos en cerebros de músicos y no músicos encontraron que la mitad anterior del cuerpo calloso es significativamente mayor en los músicos (especialmente en los hombres cuando son comparados con mujeres del grupo

musical), en especial en aquellos que iniciaron sus estudios musicales a edades tempranas (antes de los 7 años) (Lee et al., 2003; Schlaug et al., 1995). Se observan resultados parecidos en el cerebelo, en áreas motoras y auditivas cuando entrenaban niños durante 15 meses (Hyde et al., 2009) que interactúan en la producción y percepción de la música (Soria-Urios et al., 2011a). La edad inicial del entrenamiento está correlacionada con el nivel de rendimiento motor en tareas de sincronización rítmica (Bailey et al., 2014) y considerada decisiva en la dinámica de cambios estructurales del cerebro, cuando están relacionados con la experiencia musical (Groussard et al., 2014; Steele et al., 2013). Hay estudios en pianistas que apuntan que el área motora suplementaria está implicada tanto en el paso y repetición de la sincronización durante tareas de escucha y el rendimiento (Brown et al. 2013), como en tareas rítmicas y de improvisación melódica (De Manzano & Ullén, 2012), confirmando su papel en el entrenamiento musical. Otros estudios sugieren que, cuando los músicos son profesionales, la actividad de estructuras motoras disminuye, debido a la posible automatización o especialización (Gaser & Schlaug, 2003; James et al. 2014). En términos de rendimiento académico se observó que, al comparar músicos con no músicos en fase adulta, los músicos mostraron mejor rendimiento y plasticidad cognitiva en tareas de fluidez verbal así como en tareas relacionadas con la memoria de trabajo (Zhu et al., 2014).

Incluso conscientes de la relevancia de tantos hallazgos sobre el entrenamiento musical, es común observar investigaciones que se limitan al uso de tareas de reproducción musical, advirtiéndose su relación con la creatividad o la improvisación. Con excepción de algunas investigaciones como la de Pinho y colaboradores (2014) que han investigado los efectos específicos del entrenamiento de la creatividad musical en pianistas clásicos y de jazz, pareciendo depender de la cortezas prefrontal dorsolateral bilateral, corteza premotora dorsal y áreas pre suplementarias.



Los artículos más actuales relativos a la práctica musical y al aprendizaje informan de la eficacia de la formación musical en el aprendizaje de idiomas (Fonseca-Mora et al. 2015, François et al 2015), puesto que el aprendizaje musical provoca cambios neuroplásticos sustanciales en las regiones corticales y subcorticales de las redes de procesamiento motor, auditivo y del habla. Otra investigación relata el impacto del entrenamiento auditivo o fonológico en diversas tareas con personas con dislexia, impedimentos específicos del lenguaje y niños con discapacidades (Ylinen & Kujala, 2015). Otro estudio comprueba la eficacia de un método de entrenamiento cognitivo-musical (CMT) en niños disléxicos, reforzando el uso de entrenamiento musical para esta población (Habib et al., 2016). También se investigan el rendimiento académico diferencial (Parra, et al., 2018; Barros & Calero, 2018); el pensamiento crítico en temas específicos, como el ejemplo de Bioquímica (Parra, et al., 2018) o Enfermería (Llobet & Herrero, 2014); la evaluación del diseño e implementación del programa de una asignatura con aprendizaje basado en problemas (PBL) (Trujillo & Moscardó, 2018); la comparación entre metodologías tradicional y PBL en el pensamiento crítico, la resolución de problemas y el aprendizaje autodirigido (Choi et al., 2014). Estos hallazgos exponen la relevancia de la temática y de la necesidad de profundizar y debatir más sobre el tema.

Ante esto nos preguntamos ¿cómo se dará la activación cerebral en la esfera estructural cuando se comparan los métodos de educación musical tradicional versus metodología por indagación?. Esta investigación se justifica, pues además de haber un vacío de producciones científicas que articulen “neurociencia y educación” (Bacaro & Sforzi, 2016), la comparación estructural cerebral entre métodos, desde el enfoque de las neurociencias es una materia de vanguardia, insuficientemente explorado.

## 3.2 Neuroeducación musical en metodología tradicional

La metodología tradicional posee entre otras características que favorece la memorización, mediante el almacenamiento del contenido de modo descontextualizado, aislado y carente de otra información que la haga atractiva o que la marque emocionalmente. A esta metodología se le imputan rasgos tales como la repetición de la información y la organización de los alumnos en filas, normalmente estáticas, con pocas posibilidades de socializar, debatir y compartir (García, 2017) entre ellos.

Hemos comprobado la dificultad existente en encontrar estudios que, con bases neurocientíficas, expliquen cómo se dan los procesos neurocognitivos elencados en la educación tradicional.

Nos dedicamos en el apartado siguiente a discutir los mecanismos básicos inherentes a sus características memorísticas y repetitivas, con un intento de inferir cómo se produce el proceso neuroeducativo musical en esta metodología tan practicada habitualmente en clase.

### *3.2.1 Aprendizaje y memoria en neuroeducación*

Una de las características que diferencian el ser humano en relación a los animales es la toma de decisiones sobre lo que queremos aprender. Es decir, podemos guiar los mecanismos de la memoria, de acuerdo a un plan consciente, posibilitando aprender de distintos modos: mediante *priming*, habituación, respuestas condicionadas, aprendizaje semántico, imitación, y también mediante la acción (Marina, 2011).

En clase, con el uso de la metodología tradicional como herramienta educativa, la memorización está presente. Se vale de la repetición de un concepto o frase hasta que la memoria sea capaz de reproducirlo, no ocurriendo en muchos casos comprensión de la materia. Para que la información sea memorizada de modo satisfactorio, se hacen necesarias fases como la *comprensión* (comprender o entender de qué trata la información); *adherencia* (la repetición que se va a dar al concepto o información utilizada); *conservación* (al manejar una repetición se debe mantener y fijar en el conocimiento); y *evocación* (lo adquirido en la nueva información debe ser expuesta por nuestra mente cuando se desee) (Jurado, 2019).

El papel de la memoria a lo largo de los años en la sociedad, en la que el conocimiento es traspasado por las generaciones, acumulando y conservando los valores del mundo (Brunner, 2002; Fiszer, 2007), persiste en las clases educativas actuales, debido a los resultados considerados fáciles de verificación: “Cuando los alumnos repiten algo, palabra por palabra, es evidente que lo han aprendido” (Glaserfeld, 2001, p. 173).

Esta información adquirida mediante el aprendizaje, forma parte de un proceso fundamental del ser humano, la plasticidad cerebral hasta el punto que el cerebro humano está en constante desarrollo, y aunque sus funciones van cambiando, no deja de desarrollarse a lo largo de la vida (Magaña & Ruiz-Lázaro, 2015).

De este modo el aprendizaje y la memoria son procesos íntimamente relacionados, simbióticos, pero no sinónimos, imposibilitando realizar distinción dentro del circuito neuronal (Erickson, 2019, Loubon & Franco, 2010; Machado et al., 2008, Poolton et al., 2005). El primer proceso, como hemos referido anteriormente, corresponde al modo como adquirimos el conocimiento de nuestro alrededor (Loubon & Franco, 2010), donde las experiencias modifican el sistema nervioso y, por lo tanto, nuestra conducta (Martínez &

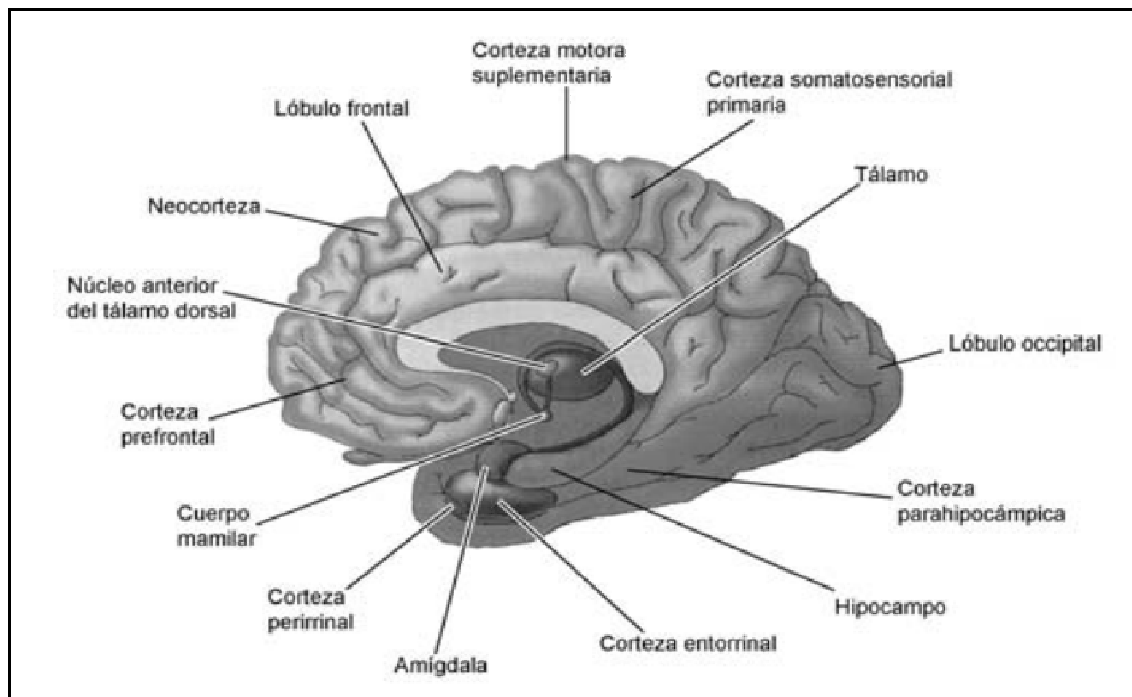
Casas, 2018). En nivel educativo, el aprendizaje es la acogida de nueva información para resaltar la adquirida anteriormente, dándole uso a sus necesidades (Jurado, 2019).

La memoria, en términos biológicos, es el proceso en que el conocimiento adquirido es codificado, almacenado en el cerebro, consolidado y posteriormente recuperado (Adrover-Roig, et al, 2013; Loubon & Franco, 2010; Pampori & Malla, 2016), siendo crucial para el comportamiento adaptativo (Tonegawa et al., 2015). La memoria mantiene la información nueva en el cerebro y, posteriormente, la utilizan según las necesidades, influyendo en el comportamiento (Jurado, 2019).

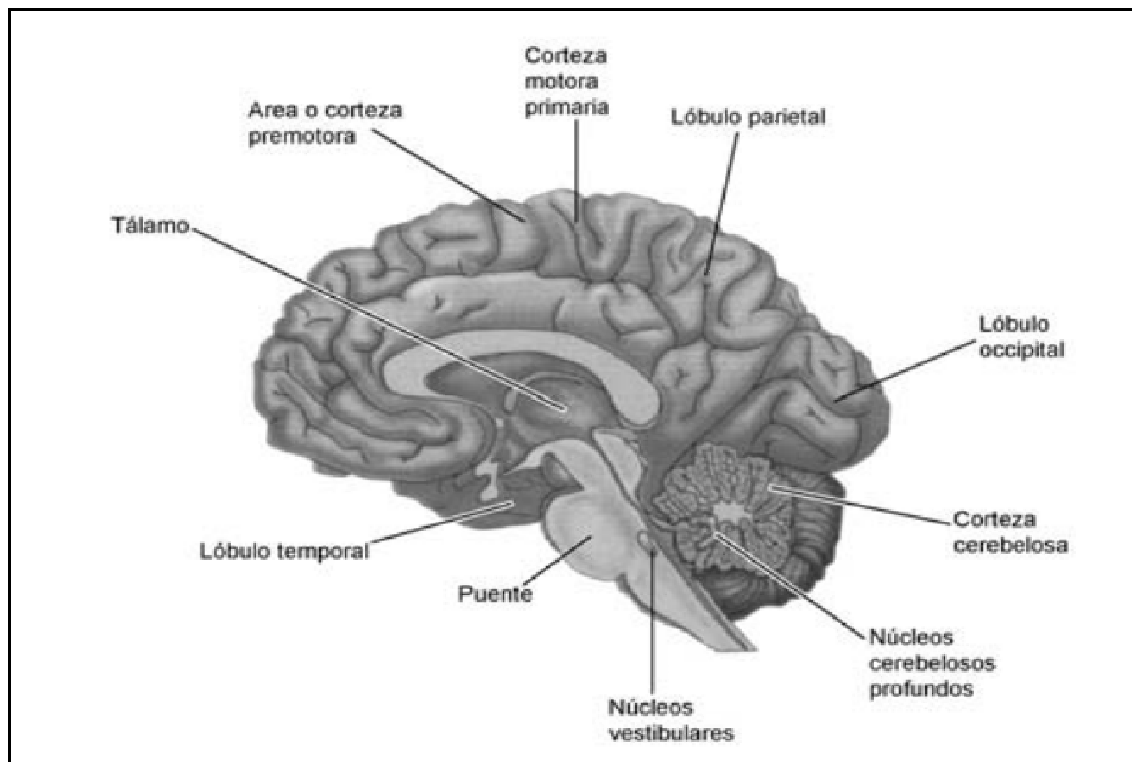
La codificación es la fase de la memoria que permite adquirir los estímulos y hacer una representación mental dándoles enfoque y aplicabilidad para procesarlos. El almacenamiento, a su vez, organiza la información mediante la retención de los datos o estímulos para ser utilizados posteriormente. La recuperación es la fase de la memoria en que el ser humano accede a la información ya almacenada. Es en esta fase, que puede encontrarse de forma espontánea, casual y voluntaria, donde se permite volver a almacenar la información. De este modo, la memoria se procesa mediante recogida de una nueva información, está a su vez es organizada y almacenada, para posteriormente convertirse en una nueva significación para el ser humano (Jurado, 2019).

Uno de los mayores retos para la investigación en neurociencias es comprender la memoria asumiendo que esta función neurocognitiva es compleja y elusiva. Es un proceso que abarca todo el cerebro (Pampori & Malla, 2016). Pero esto no ha sido un impedimento para que se conozca sobre la anatomía y fisiología del aprendizaje y la memoria (Martínez & Casas, 2018). Lo que se sabe es que en los seres humanos, la parte del cerebro que parece ser la más importante para la memoria es el lóbulo temporal medio, y en particular, el hipocampo (Tonegawa et al., 2015). Agregándose el tálamo, la amígdala del lóbulo

temporal, los cuerpos mamilares y el cerebelo, entre otras, como nos enseñan las figuras 12 y 13 (Solís & López-Hernández, 2009).



**Figura 12:** Áreas encefálicas asociadas con funciones del aprendizaje y la memoria declarativa (Solís & López-Hernández, 2009).



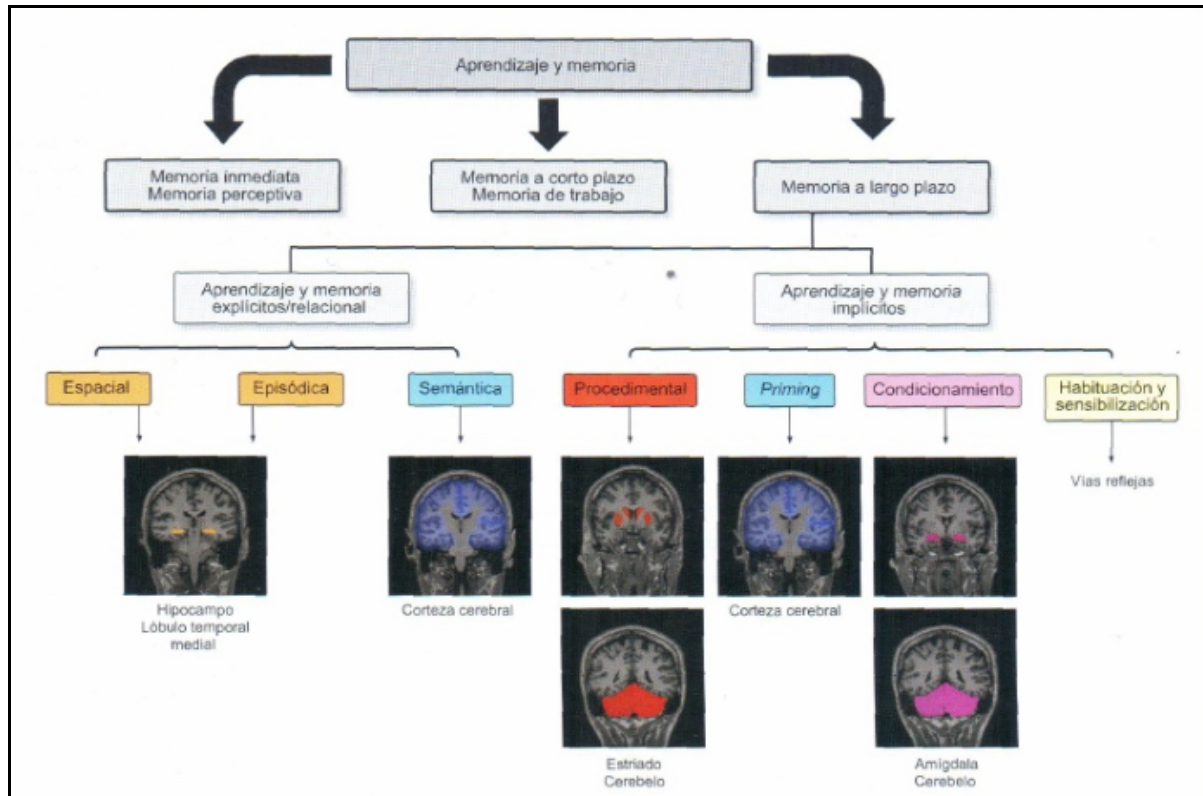
**Figura 13:** Corteza sagital que muestra algunas de las áreas encefálicas y del sistema cerebeloso que participan en el aprendizaje y la memoria (Solís & López-Hernández, 2009).

La investigación en torno a estos dos conceptos (memoria y aprendizaje) desde la neurociencia cognitiva han revelado la existencia de múltiples sistemas divididos en categorías funcionales (Marrón et al, 2013).

Una de las categorías funcionales existentes es la memoria explícita (declarativa-consciente). Es muy flexible y afecta a la asociación de múltiples fragmentos y trozos de información, almacenando y posibilitando recordarla mediante esfuerzo consciente. Esta memoria está al frente la memoria implícita (no declarativa-inconsciente) que es más rígida y está estrechamente conectada a las condiciones de los estímulos originales bajo los cuales se produjo el aprendizaje. Almacena habilidades motoras y es inconsciente (Adrove-Roig et al., 2013; Benfenati, 2007; Fell et al., 2006; Hotermans et al., 2006; Marrón et al, 2013, Pampori & Malla, 2016).

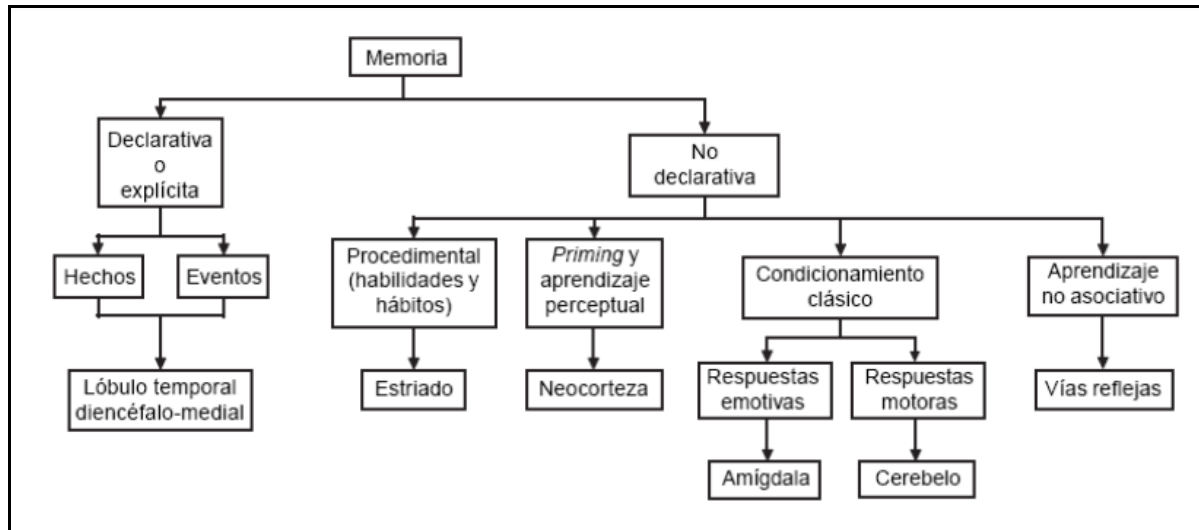
Otra categoría funcional es la sede neuronal (dependiente o no del hipocampo). El criterio temporal diferencia la memoria inmediata -dura milisegundos a segundos-, a corto plazo -minutos hasta pocas horas- y largo plazo -a partir de 24 horas- (Adrove-Roig et al., 2013).

En la figura 14 están descritos los diferentes subsistemas de memoria y aprendizaje.



**Figura 14:** Clasificación de la memoria y aprendizaje. La memoria a largo plazo se divide en dos sistemas. La primera caracterizada por su recuperación consciente, denominada memoria declarativa o explícita. El otro comprende diversas capacidades de aprendizaje y memoria inconscientes, y se denomina memoria no declarativa o implícita. La memoria explícita consiste en dos subsistemas: memoria de tipo episódico, la cual implica memorias de información sujeta a parámetros espacio temporal, y memoria semántica, que consiste en hechos y conocimiento del tipo general. La memoria semántica es impersonal e independiente del contexto, mientras que la memoria episódica es personal. Ésta incluye el dónde y el cuándo los eventos ocurrieron, y se acompaña de un sentimiento de recuperación de episodios vividos de forma individual. Tanto la memoria episódica como la semántica dependen del lobo temporal medial y del diencefalo. La memoria no declarativa incluye aprendizaje procedimental de habilidades, hábitos sensorio motores y cognitivos, priming, aprendizaje por condicionamiento, habituación, sensibilización, todos ellos independientes del lobo temporal medial (Adrove-Roig et al., 2013).

En la siguiente imagen, figura 15, recordamos la taxonomía de los sistemas de memoria específicamente a largo plazo.



**Figura 15.** Taxonomía de los sistemas de memoria a largo plazo en los mamíferos (Milner et al., 1998).

Como nos enseñan las figuras anteriores, la memoria y el aprendizaje están en constante interrelación. La memoria que está relacionada es: la *memoria inmediata o perceptiva* que nos sirve para recabar información del medio que nos rodea. La *memoria a corto plazo* que permite guardar y manipular la información de forma temporal. Y la *memoria a largo plazo* que puede ser declarativa y no declarativa.

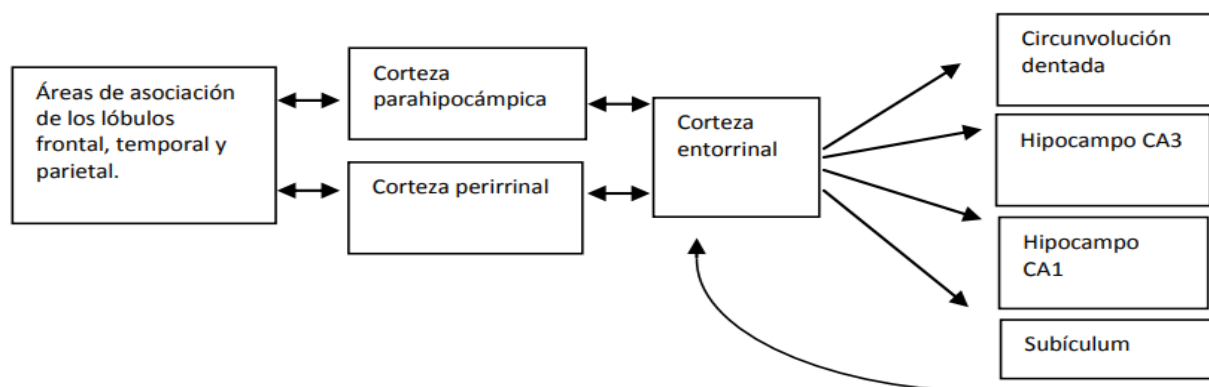
La memoria de trabajo interviene entre la percepción y la fijación final de memorias declarativas, favoreciendo la guarda y manipulación de la información en tiempo real y facilitando resolver problemas inmediatos (Guillén, 2012). La información se va almacenando de modo muy limitado y se olvida muy rápidamente. Solamente cuando la atención es selectiva y sostenida (control ejecutivo) somos capaces de pasar la información de la memoria a corto plazo a la memoria a largo plazo. De este modo los aprendizajes se tornan significativos cuando verdaderamente nos apropiamos de la información (Adrover-Roig, et al, 2013). Además, es considerada el lugar en el que se da la consciencia y reflexión, combinando ideas y transformándose en novedosas y creativas. El área muy activa en este tipo de memoria es la corteza prefrontal. Esta está relacionada con las funciones ejecutivas, con la planificación y la toma de decisiones (Guillén, 2012). En las



operaciones referentes a la memoria de trabajo, la corteza prefrontal dorsolateral es la región que asume el control general en todas las modalidades sensoriales (Marrón et al, 2013).

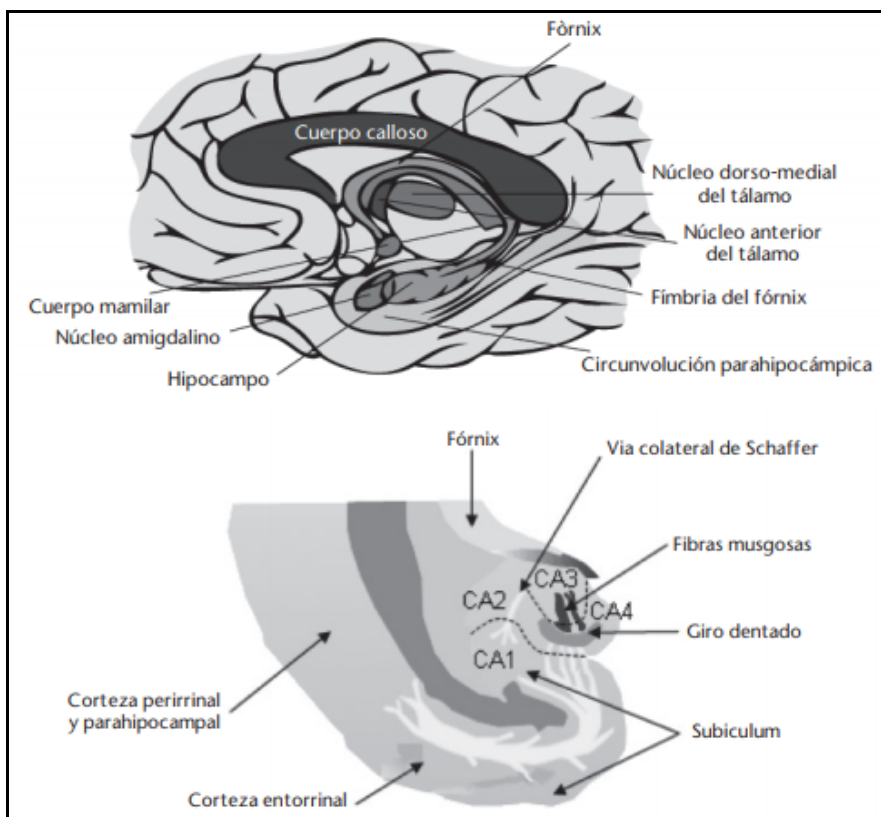
La memoria explícita o declarativa, a su vez, se distingue en episódica o eventos - referente a recuerdos episódicos de nuestra vida-, espacial -por ejemplo, recordar diferentes rutas- o semántica o hechos - almacenamos nombres, números, fechas, etc.- (Blakemore et al, 2007). El sistema temporal es la estructura cerebral central en el aprendizaje explícito y está compuesto por la corteza entorrinal, perirrinal, parahipocámpica y el hipocampo. Especialmente, el hipocampo es la estructura cerebral más directamente relacionada con el aprendizaje y la memoria explícita. Es crítico para la adquisición de la nueva información, codificación y consolidación de nuevos contenidos y la recuperación del conjunto de memorias que son accesibles a la consciencia. Además, posibilita la transferencia de dicho material de la memoria a corto plazo a la memoria a largo plazo (Blakemore et al, 2007; Eichenbaum, 2001; Marrón et al., 2013).

A continuación, se ofrece una breve descripción de los pasos referentes al almacenaje de la información en la memoria explícita (Ver figura 16), así como de las estructuras implicadas en el aprendizaje y la memoria explícita a nivel cerebral (Ver figura 17, 18).

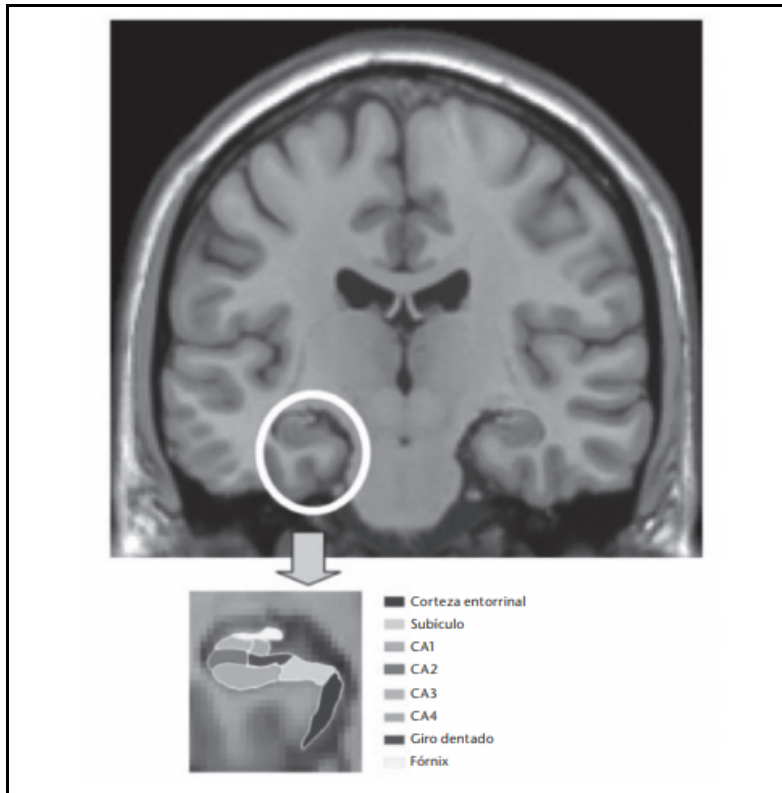


**Figura 16:** Procesamiento de la información para el almacenamiento de la memoria explícita. (Adaptado de Pampori & Malla, 2016).

La información almacenada como memoria explícita puede ser adquirida de manera rápida, incluso a partir de una única experiencia, sobre todo si ésta tiene una alta carga emocional (Marrón et al, 2013). Se adquiere, en primer lugar, mediante el procesamiento asociativo de las áreas prefrontal, límbica y parietooccipitotemporal de la corteza, que sintetizan la información visual, auditiva y somática. Después, la información se transporta a las cortezas parahipocámpicas y perirrinal; a continuación, la corteza entorrinal, la circunvolución dentada, el hipocampo, el subículo; y, finalmente, vuelve hacia la corteza entorrinal. En este punto la información es devuelta hacia las cortezas del parahipocampo y perirrinal, y finalmente, de nuevo a las áreas de asociación de la neocorteza (Buffalo et al., 2006). La corteza entorrinal es importante en el proceso por tener una doble función: es la principal fuente de aferencias hacia el hipocampo y es la principal vía eferente del hipocampo (Pampori & Malla, 2016).



**Figura 17:** Estructuras cerebrales implicadas en el aprendizaje y la memoria explícita (Marrón et al, 2013).



**Figura 18:** Corte sagital del cerebro con las estructuras cerebrales implicadas en el aprendizaje y la memoria explícita a largo plazo (Marrón et al, 2013).

Es preciso puntualizar que el hipocampo es una vía que permite codificar y recuperar la información de la memoria declarativa almacenada en distintas áreas del cerebro. El almacenamiento de la memoria declarativa tiene lugar en áreas que procesan inicialmente la información sensorial (Kibiuk et al., 2008). El conocimiento semántico se almacena de forma distribuida. Cada vez que algo es recordado, el recuerdo se construye a partir de diferentes fragmentos de información, cada uno almacenado en lugares especializados de memoria (Bruce, 2001; Kandel, 2001). La memoria episódica se almacena en las zonas de asociación de los lóbulos frontales (Loubon & Franco, 2010).

Sin embargo, este sistema no almacena la información de modo permanente y tampoco la conecta a otros tipos de memoria. La capacidad para retener y evocar recuerdos episódicos depende en gran medida del hipocampo, mientras que en la formación de nuevos

recuerdos declarativos intervienen tanto el hipocampo como el parahipocampo (Ofen et al., 2007).

Con relación a la memoria no declarativa o implícita, esta también tiene sus correspondientes correlatos neuroanatómicos ante una serie de sistemas de memoria. El aprendizaje que se apoya en la memoria implícita se apoya en estructuras y circuitos cerebrales diferentes de la memoria explícita (Marrón et al, 2013).

La memoria procedimental permite la adquisición de habilidades y hábitos, como por ejemplo, la destreza motora de atar cordones (Blakemore et al., 2007). La corteza prefrontal participa en la tarea, contando con la información que le proporcionan las diferentes áreas asociativas corticales. Al hacer el acto motor, va recibiendo feedback acerca de la adecuación de su desarrollo, posibilitando corregir posibles errores y elaborando conductas finas y bien articuladas conforme a las circunstancias contextuales (Marrón et al, 2013). El sustrato neuroanatómico principal implicada en el aprendizaje y la memoria son las conexiones cortico-estrio-corticales y cortico-cerebelo-corticales. Los ganglios basales que incluyen: el núcleo caudado, el putamen, el globo pálido, el núcleo subtalámico y la sustancia nigra (Marrón et al, 2013, Ofen et al., 2007) así como el cerebelo por su participación motora (Ofen et al., 2007).

A medida que aprendemos, las áreas cerebrales responsables se activan (el cerebelo, la corteza cingulado anterior y las áreas premotoras), con la mejora y consecuente automatización de la ejecución de la tarea. Por el contrario, la activación de los ganglios basales, el área motora suplementaria y la corteza prefrontal ventrolateral, relacionadas con la adaptación motora, permanece a lo largo de todo el proceso de aprendizaje (Marrón et al, 2013).

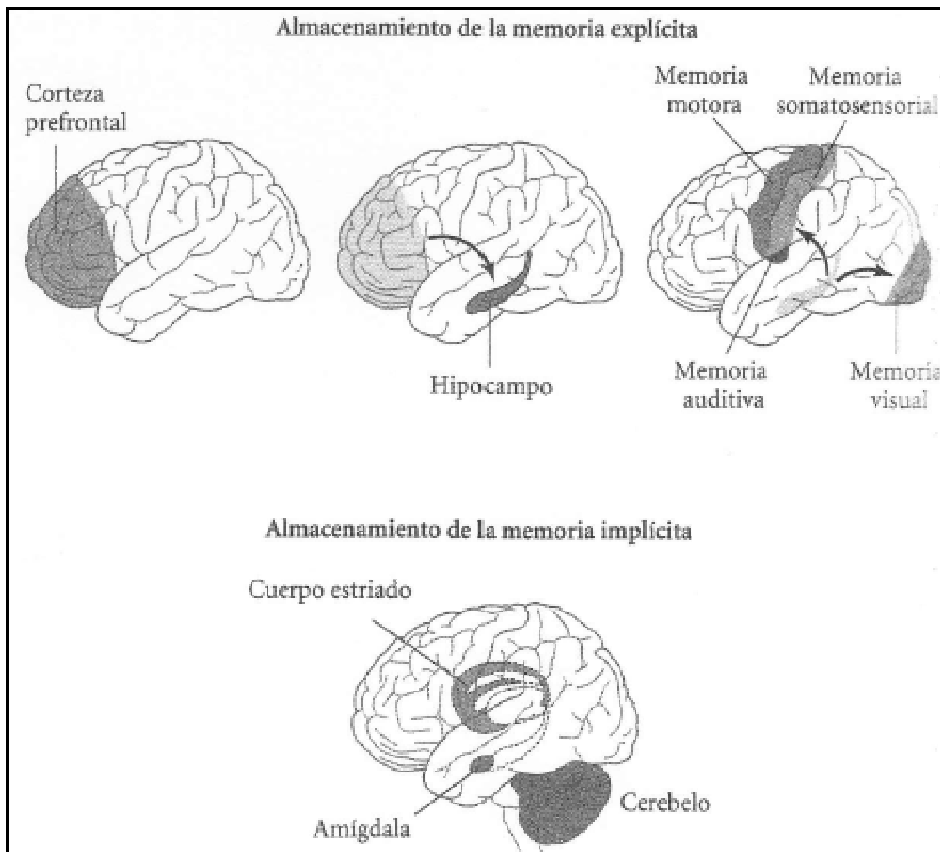
Se observan otros procesos involucrados en la memoria no declarativa como el priming (facilitación), el aprendizaje perceptual y el condicionamiento. El *primero* consiste

en la preactivación de un nodo de información que facilita el procesamiento posterior de nodos vinculados. Se puede acceder a una palabra más rápido si está precedida por otra palabra en la que comparte características semánticas (França et al., 2005). Esto ocurre a través de conexiones establecidas en la neocorteza, al depender del tipo de estímulo: la activación occipitotemporal ocurre cuando los estímulos son presentados visualmente e inferotemporal en los auditivos (Marrón et al, 2013).

El *segundo*, es la capacidad de aprender a reconocer los estímulos vistos con anterioridad. Cada uno de los sistemas sensoriales es capaz de un aprendizaje perceptual. Su representación se encuentra en distintas áreas cerebrales corticales, también de acuerdo a la modalidad sensorial involucrada.

Otro tipo de memoria no declarativa es el *condicionamiento* clásico e instrumental. El sustrato neuronal dependerá del tipo de estímulo y respuesta implicados. Por ejemplo, si los estímulos y respuestas fueran emotivos, como el miedo, el área involucrada sería la amígdala. Diferentes estructuras cerebrales sustentan el condicionamiento instrumental, siendo el cuerpo estriado una de las más relevantes. Tanto la asociación entre conducta y sus consecuencias, como el establecimiento de la relación causal de esta asociación, depende de la actividad del estriado dorsomedial. Están implicados en este tipo de aprendizaje, los circuitos córtico-estriado-tálamo-corticales, dentro de los cuales la corteza prefrontal posee un papel relevante (Marrón et al, 2013).

La figura 19 nos muestra un resumen de las áreas involucradas en las memorias declarativa e implícita.



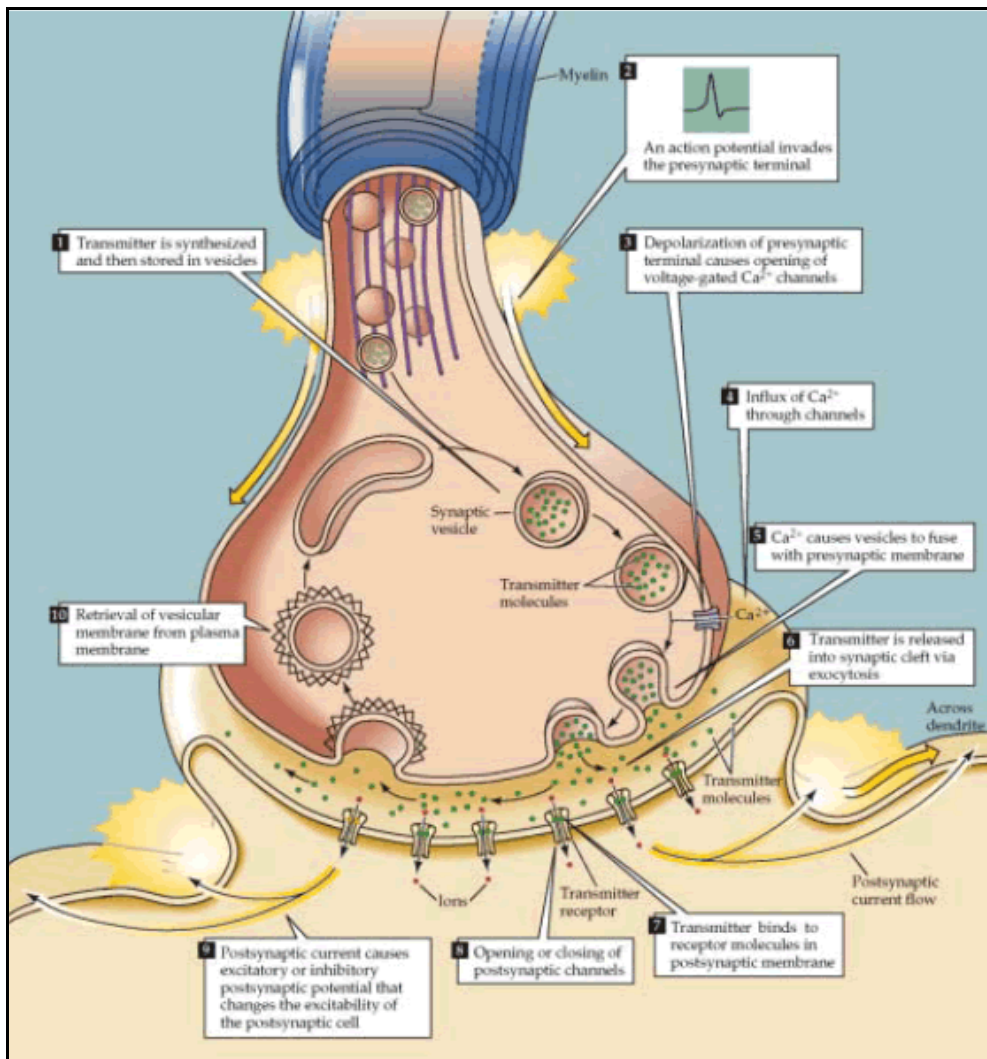
**Figura 19:** sustrato neuroanatómico que almacena la memoria explícita e implícita (Kandel, 2007).

Ahora que conocemos las bases cerebrales responsables de la memoria y sus diferentes sistemas, enfocamos nuestra atención sobre la consolidación de la memoria mediante plasticidad sináptica, que requiere una nueva síntesis de proteínas y cambios moleculares a largo plazo. Los recuerdos formados se almacenan en un estado inactivo y luego se recuperan pasivamente. Recientes estudios sugieren que los recuerdos se forman y se recuperan activamente, que requieren la "síntesis de nuevas proteínas y cambios moleculares para conferir persistencia de la memoria a largo plazo" (Clem & Schiller, 2016, p. 340). La importancia de entender cómo se crea, se almacena y recupera la memoria son significativos para la comprensión del proceso de aprendizaje (Atkinson & Shiffrin 2016).

La memoria también se encuentra ligada a la plasticidad cerebral por el proceso de potenciación a largo plazo. Este proceso se refiere a una mayor eficiencia de una

determinada red neuronal, debido a la exposición repetitiva de un determinado estímulo. Al recibir este estímulo promueve el refuerzo de estas sinapsis, favoreciendo el proceso de potenciación a largo plazo y de este modo posibilitando almacenar información (Huerta et al., 2013; Kempermann, 2006).

Fisiológicamente, los recuerdos y la memoria son generados mediante cambios de sensibilidad de transmisión sináptica. La transmisión sináptica es un sitio físico cerebral que sirve como puente para el paso de la información de una neurona a la siguiente. De este modo, permite que las diferentes partes del sistema interactúan funcionalmente (ver Figura 20) (Kandel & Siegelbaum, 2000; Pampori & Malla, 2016). Estas variaciones desarrollan nuevas vías neuronales o vías facilitadas de transmisión de señales por los circuitos neurales. Estas vías nuevas o facilitadas son llamadas huellas de memoria. Una vez establecidos, estos rastros de memoria pueden activarse y las memorias pueden ser reproducidas (Guyton, 2001; Kandel & Siegelbaum, 2000; Pampori & Malla, 2016). Las alteraciones físicas estructurales de la sinapsis ocurren cuando se desarrollan huellas de la memoria a largo plazo (Pampori & Malla, 2016).



**Figura 20:** Secuencias de eventos involucrados en una transmisión sináptica (Pampori & Malla, 2016).

En la descripción del aprendizaje y de la memoria vimos que estos dos procesos neurofisiológicos y cognitivos no están localizados en una zona específica cerebral. Sin embargo, son imprescindibles para la supervivencia, ya que estos cambian nuestra conducta y el modo de ver el mundo.

La memoria se percibe como la que proporciona a nuestro organismo la competencia necesaria para aprender y adaptarse a experiencias previas, así como para construir relaciones (Pampori & Malla, 2016). Esta idea es la que refuerza la viabilidad de



la metodología tradicional como productora de conocimiento académico, ya que esta utiliza la memorización y la repetición como protagonistas del aprendizaje.

En el siguiente apartado describiremos otra metodología que indubitadamente activa también la memoria; ya que esta función cognitiva es intrínseca al ser humano. Pero con la diferencia de enfocar la creatividad como protagonista del proceso. Esta es una herramienta que da soporte para que se creen relaciones y se construya un contenido informativo significativo.

### 3.3 La neurociencia de la creatividad e improvisación musical en metodología por indagación

La enseñanza creativa, observada en la metodología por indagación, se centra en favorecer potencialidades y conseguir una mejor utilización de los recursos individuales y grupales dentro del proceso enseñanza-aprendizaje. Es de interés en este tipo de enseñanza, el modo libre de pensar y actuar del alumno formando personas ricas en originalidad, flexibilidad, iniciativa, confianza y listas para la resolución de problemas en su vida escolar y cotidiana (Hanco Mayta & Huamani Huayna, 2018).

Por centrarse en el alumno como constructor del conocimiento (Escalante, 2016), la metodología por indagación está apoyado en el discente, provocando de manera activa, productiva y creativa (Bevins & Price., 2016), haciendo que este observe, argumente, busque evidencias, analice, interprete, saque conclusiones e intercambie conocimientos (National Research Council, 2012). Particularmente en clase musical las actividades puede estar permeadas de creatividad e improvisación musical.

### *3.3.1 Neuroeducación en la creatividad musical*

Referencialmente, la creatividad es el resultado de la interacción entre la capacidad o aptitud del individuo, el proceso en el que se encuentra inmerso y el entorno en que se desarrolla, siendo favorable en la producción de alguna idea o producto novedoso y útil dentro de un contexto determinado (Raso & Aranda, 2019). Esta se relaciona con numerosas habilidades cognitivas (Sastre-Riba & Pascual-Sufrate, 2013) desde que se detecta el problema o situación que requiere solución, hasta que se logra un producto final. Sin olvidar los aspectos no cognitivos igualmente necesarios, tales como los estados motivacionales, los rasgos de personalidad y un estilo de trabajo favorecedor (Romo, 2006).

Al intentar delimitar con más precisión el significado del término, los autores Baer (2017), Balaj (2015), De La Herrán, (2010) o Regadera y Sánchez (2015) analizan la creatividad mediante la estimación y valoración psicométrica de su prevalencia y desarrollando métodos y estrategias para su identificación, potenciación o desbloqueo. De hecho, algunos autores señalan el papel clave de la creatividad en el desarrollo del aprendizaje exitoso en los estudios universitarios (Baer, 2017; Nissim et al., 2016), así como en etapas posteriores de inserción laboral y en el aprendizaje a lo largo de la vida (Sheridan-Rabideau, 2010; Tsai, 2013). Es interesante un estudio que ha tratado de valorar la efectividad de un curso creado para fomentar la creatividad en estudiantes universitarios, obteniendo resultados positivos en relación a las técnicas de gestión empleadas por los alumnos (Taha et al., 2015). Además, es curiosa la creación de cursos para el desarrollo de la creatividad mediante el uso de las TIC, teniendo como resultado la mejora de la fluidez, la originalidad y la resistencia al cierre prematuro en los sujetos participantes (Higuchi et al., 2016). Observan también la percepción de discentes de educación superior y

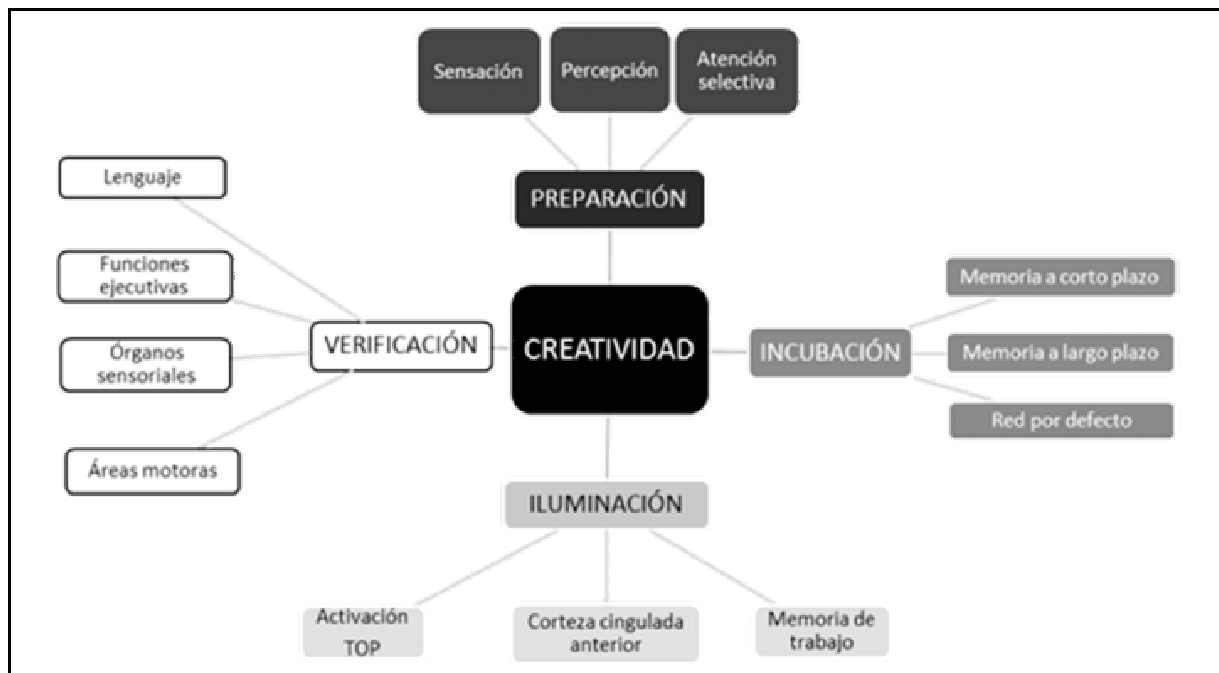
profesionales, con respecto a la creatividad, resultando estar asociada con la capacidad humana que ha evolucionado a lo largo del tiempo (Rampersad & Patel, 2014). Como también el estudio de la importancia de trabajar la psicología individual y grupal en el alumnado dentro de una metodología didáctica, que fomente el desarrollo de la creatividad y establezca procesos educativos que contribuyan a eliminar estereotipos cognitivos y conductuales, encontrando una correlación positiva entre la creatividad, motivación e inteligencia emocional (Mynbayeva, et al., 2016).

En términos de percepción y visión docente sobre la creatividad, las investigaciones destacan los resultados de la complejidad evolutiva y transdisciplinariedad como referenciales metodológicos en la potenciación de la creatividad en alumnos de los niveles superiores del sistema educativo (Cuevas et al., 2015). Se contemplan estrategias fundamentales para promoverla en el aula, a saber: ejercicios de autor reflexión del estudiante, la toma de decisiones independientes, la curiosidad, la motivación, la producción de un trabajo, idea o resultado específico, así como la generación de nuevas ideas originales por parte de los discentes (Hong et al., 2017).

Sin embargo, la importancia del fomento de la creatividad en clase es discutida, debido a la complejidad incierta que genera a los docentes en cuanto al modo de trabajarla y evaluarla (Hong et al., 2017; Cancino, 2018). De este modo, la relevancia de la creatividad nos instiga a la continua investigación multidimensional, culminando en el estudio en diferentes áreas del saber –Artes, Educación, Psicología y Neurociencia–, así como en distintas etapas educativas (Baer, 2017; Hong et al., 2017; Sriraman & Leikin, 2017). Esto favorece la construcción de nuevos conceptos, aplicabilidades de técnicas innovadoras y nuevos enfoques de enseñanza-aprendizaje que potencien su desarrollo (Taha et al., 2015).

Al pensar en investigaciones multidimensionales, abrazamos la neurociencia como campo de apoyo neuroeducativo para explicar la base estructural que subyace al proceso creativo (Runco et al., 2001) en clase. Incluso conscientes de la indispensabilidad del ser humano, su base neural permanece imprecisa, en parte debido a los distintos modos y métodos de medición aplicados en investigación (Zhu et al., 2016). Así como que los procesos neurocognitivos son poco conocidos (Kaufman et al., 2010).

Algunos investigadores han realizado una amplia revisión sobre los estudios neurocognitivos de la creatividad y percibieron que hay diversas áreas cerebrales relacionadas con la creatividad, puesto que son funciones complejas que implican un trabajo simultáneo de varias áreas (Boccia et al., 2015; Bowden et al., 2005). En la Figura 20 exhiben distintas fases del proceso creativo con los principales procesos, funciones y estructuras con las que se han relacionado.



**Figura 21:** Bases neuropsicológicas implicadas en las fases del proceso creativo (López-Fernández et al., 2018).

Las cuatro fases del proceso creativo bajo el modelo de Wallas (2014), aunque demasiado simplificadas, nos posibilita organizar la complejidad a la que puede llegar este proceso (Villagomez-Oviedo, 2019). Está compuesto por:

1. *Fase de Preparación.* La inquietud intelectual y de sensibilidad hacia un problema propuesto, que genera curiosidad, incongruencia o una necesidad, favoreciendo la captación de información y la familiarización sobre un determinado problema (López-Fernández et al., 2018, Villagomez-Oviedo, 2019). Las funciones cognitivas en esta fase son la sensación, la percepción y la atención selectiva (López-Fernández et al., 2018). La información llega a las áreas sensoriales primarias implicadas en la sensación, de ahí pasa a las áreas unimodales relacionadas con la percepción, para ir a las áreas transmodales implicadas en el reconocimiento del objeto. Después, estas áreas proyectan la información a las estructuras frontales, límbicas y para límbicas para un procesamiento completo. Posteriormente, la corteza prefrontal interactúa con las estructuras del lóbulo temporal de la vía ventral, para centrar la atención en las características particulares del estímulo (Rendón, 2009).

2. *Fase de incubación.* Es en esta fase donde se produce un distanciamiento consciente del problema. El cerebro trabaja la idea sin la necesidad consciente de la persona, buscando la información, identificando, seleccionando, almacenando y clasificando (López-Fernández et al., 2018, Villagomez-Oviedo, 2019) mediante distintos procesos mentales, lo cuales posibilitan transformar los estímulos en elaboraciones más complejas a través de asociación, anticipación, abstracción y actividades simbólicas (Chávez et al., 2004). Las funciones cognitivas requeridas para esta fase están relacionadas con la memoria y estructuras como el hipocampo (López-Fernandez et al., 2016). La creatividad estaría relacionada con la representación de la información que se adquiere, valiéndose de los datos almacenados y combinando en la memoria (Rendón, 2009;

Salanova, 2003). De este modo la memoria a largo plazo está evidenciado su relación entre el conocimiento (memoria semántica) y la creatividad, llegando a la conclusión básica de que el conocimiento específico de dominio es un requisito previo para la creatividad (Weisberg, 1999). No obstante, los procesos implicados también requieren la participación de la memoria de trabajo, permitiendo mantener, operar y manipular la información de manera activa durante periodos limitados (Drubach et al., 2007). La inhibición de información de tareas irrelevantes se logra con la ejecución de los procesos de búsqueda complejas, que permiten la selección de ideas entre un gran conjunto de alternativas que compiten. Todo esto se logra con el incremento de la conectividad funcional entre las regiones de la corteza prefrontal y la red por defecto (DMN, Default Mode Network) (Beaty et al., 2014). Las áreas participantes de esta red son las áreas de asociación, la corteza prefrontal medial (MPFC), corteza cingulada anterior, precuneus, cíngulo posterior, corteza parietal lateral (giro supramarginal y angular) y lóbulo temporal lateral (Vergara & Behrens, 2013). Además, las regiones dentro de dicha red convergen en la corteza cingulada posterior, extendiéndose al precuneus que se encuentra fuertemente conectado con el hipocampo (Vergara & Behrens, 2013). Este aumento de la conectividad funcional entre dichas regiones se puede corresponder con una mayor capacidad de los individuos creativos para dirigir su imaginación (Beaty et al., 2014).

3. *Fase de iluminación.* Es el instante en que, tras haber procesado y reposado todo el conocimiento, llega la idea (Peyró et al., 2018). El problema se presenta de manera estructurada, repentina o bien por asociaciones alternativas entre elementos disponibles, permitiendo al individuo conocer, de manera nítida, cómo solucionar el problema alcanzando el producto creativo (Hanco Mayta & Huamani Huayna, 2018). Esta reconstrucción del problema y repentina aparición de la solución, muchas veces llamada *insights*, ocurre después de búsquedas sistemáticas no conscientes para soluciones que han

fracasado (Yeh et al., 2014). Para esta fase son de gran relevancia estructuras cerebrales como el giro temporal superior y la corteza cingulada anterior (Dietrich & Kanso, 2010). Además de la memoria, que requiere procesos asociativos o combinatorios para una solución. La memoria de trabajo específicamente se considera un requisito previo para la flexibilidad cognitiva, la planificación estratégica y la velocidad con que la información se transfiere a la memoria a largo plazo (Cowan, 2010). También ocurre activación en la circunvolución angular y en las conexiones temporo-parietal-occipitales (TOP) capaz de crear conceptos representados por medio de mapas mentales, y una adicional conectividad logrando más asociaciones de manera fluida y sin esfuerzo. La creatividad es el resultado de esta capacidad (Ramachandran, 2004). En consonancia con esta idea, Dietrich (2004) afirma que el *insight* espontáneo emerge precisamente de la conectividad entre los lóbulos temporal, parietal y occipital y que estas áreas se relacionan con la percepción y la memoria a largo plazo. El lóbulo frontal integra la información procesada por las áreas temporo-parieto-occipitales, encargándose de propiciar cogniciones de alto nivel como el pensamiento abstracto, la planificación, la atención, la memoria de trabajo (Sawyer, 2011). “ La creatividad consciente y deliberada se relaciona con la parte anterior del cerebro, la corteza frontal, pero no tanto con la espontánea, que emergería de los tres lóbulos que se hallan bajo y tras la corteza frontal” (Dietrich, 2004 citado por López-Fernández et al., 2018, pp.120). Las estructuras cerebrales relacionadas con el *insight* son: la corteza cingulada anterior (ACC) y el lóbulo temporal izquierdo (Área de Wernicke) (Kounios et al., citado por Mallgrave, 2010). La primera área se considera como uno de los poderes ejecutivos de los centros del cerebro que centra la atención al suprimir pensamientos irrelevantes o actividades perceptivas secundarias. La segunda participa en la asociación de ideas remotas (Jung-Beeman et al., 2004). De esta manera, cuando existe un problema sin resolver, comienza un proceso de lucha de tipo semántico, que a veces se resuelve sin

estridencias, pero otras veces lucha y llega a un callejón sin salida. El *insight* llega en el momento en el que, de repente, se rompe ese conflicto. Además, el pensamiento divergente se relaciona con la activación de la red por defecto (regiones asociadas con cognición espontánea) y con el córtex prefrontal inferior (regiones asociadas con el control cognitivo) en este momento. Estas asociaciones se harían de manera inconsciente hasta llegar al momento iluminador (Beatty et al., 2014).

4. *Fase de verificación.* En esta fase del proceso es donde se comprueba si la solución es eficaz, evaluando y comprobando con el objetivo de encontrar puntos fuertes y débiles (Hanco Mayta & Huamani Huayna, 2018, López-Fernández et al., 2018). Las áreas motoras, visuales, auditivas y de los centros del lenguaje son partícipes del proceso, favoreciendo que la persona creativa plasme su obra (Arieti, 1976). Otras estructuras relevantes estarían relacionadas con las funciones ejecutivas. La corteza prefrontal se mantiene activa ante la estimulación interna y externa, generando de manera continua nuevos esquemas para la acción voluntaria, la toma de decisiones, la formulación de metas, la selección de respuesta, la programación y, por último, el inicio de la acción (Jahanshahi, 1998). Precisamente en este inicio de la acción es donde los mecanismos ejecutivos de supervisión controlan todos los procesos motores no rutinarios (Rendón, 2009). Las áreas que más consistentemente se han mostrado activadas son: el córtex premotor dorsal bilateral, el córtex premotor ventral, el área premotora suplementaria, el surco intraparietal contralateral y el cerebelo ipsilateral. De hecho, también el cerebelo anterior derecho puede tener un papel crucial en esta fase (Chávez et al., 2004), ya que se ha asociado tanto a funciones motoras como a actividades relativas al lenguaje, la memoria o el seguimiento visual. Por otra parte, algunas teorías se basan en la participación de los procesos ejecutivos en el pensamiento creativo. Entre estos procesos, la fluidez es crítica para las tareas de pensamiento divergente, correlacionando el rendimiento con la fluidez y el flujo sanguíneo



cerebral en el giro frontal inferior en personas sanas (Gonen-Yaacovi et al., 2013). Por su parte, la flexibilidad cognitiva se ha asociado con la unión frontal inferior y la corteza parietal posterior. Específicamente, esta primera se asocia con procesos ejecutivos y de control que podrían mediar la inhibición de respuestas obvias en las características típicamente creativas como fluidez, flexibilidad y originalidad (Gonen-Yaacovi et al., 2013). Aunque estructuras como los ganglios basales suponen un mecanismo que genera de manera constante la novedad (variación), es la corteza prefrontal la que representa, posiblemente en sus áreas dorsolaterales, el mecanismo computacional que convierte la novedad en conductas creativas explícitas (Oliverio, 2008).

En la búsqueda constante por entender la creatividad se han fomentado investigaciones en el campo de las neurociencias. Utilizando resonancia magnética funcional (fMRI), en personas creativas se ha encontrado mayor activación del giroscopio frontal inferior, con mayor conectividad funcional entre esta zona y las regiones de la red de modo por defecto (DMN), así como conexiones más fuertes con la corteza parietal inferior bilateral y la corteza prefrontal dorsolateral izquierda (Beaty et al., 2014). Estudios más recientes se han centrado en la conectividad funcional como modo de entender las interacciones dinámicas de las redes cerebrales cuando el cerebro crea e improvisa (Beaty et al., 2016).

Otra investigación, con el propósito de indagar en la estructura cerebral subyacente a las diferencias individuales en la creatividad cotidiana, a través de la medición del Inventario Comportamental Criativo (CBI), revelón que las actividades más creativas eran significativamente y positivamente asociadas a un mayor volumen de masa gris (GMV) en la corteza pre motora regional (PMC), relacionada con la planificación motora y que está envuelta en la creación y selección de nuevas acciones e inhibiciones. El aumento del volumen en esta área tuvo una relación positiva con el logro creativo y las puntuaciones de

arte, lo que fortalece la concepción de que la práctica y el entrenamiento pueden generar cambios en la estructura cerebral. Además, estos resultados indican que la creatividad cotidiana está relacionada con la PMC y que el volumen en esta área puede predecir el logro creativo, apoyando la concepción de que la planificación motora puede desempeñar un papel crucial en el comportamiento creativo (Zhu et al., 2016).

En el caso de la creatividad espontánea o inconsciente, se observa una disminución de la influencia de la corteza dorsal prefrontal (dlPFC) en el proceso creativo (Klimenko, 2017). Debido a la relación entre la creatividad y el pensamiento autorreferencial, algunos estudios han sugerido un papel para la DMN (el área media y posterior parietal) en el proceso de cognición creativa espontánea (Beaty et al., 2014; Wei et al., 2014). La corteza parietal, al igual que el giro angular, también se ha vinculado a la creatividad espontánea (Mok, 2014). Mientras que en la creatividad deliberada o controlada, la estructura cerebral predominantemente activa es la corteza prefrontal (Klimenko, 2017; Mok, 2014), con especial atención al dlPFC (Klimenko, 2017), siendo la corteza parietal inferior parte de la red de control que requiere atención dirigida externamente (Beaty et al., 2016) junto con la corteza cingular anterior dorsal (dACC) (Luo et al., 2014).

El dlPFC y el dACC son las estructuras responsables del desplazamiento del conjunto mental orientado a la búsqueda de información relevante, la combinación de elementos en las redes semánticas (Klimenko, 2017), el control inhibitorio y la actualización de la memoria de trabajo y la planificación de acciones (Pinho et al., 2016). Esta red contribuye al modo de evaluación del pensamiento creativo y desempeña un papel en el procesamiento analítico y deliberado de la información y en la consideración del valor de las ideas nuevas (Sowden et al., 2015).

Después del referencial presentado sobre la creatividad en el contexto neurocognitivo, en los siguientes párrafos dirigimos nuestra atención a la música, más precisamente en creatividad musical en contexto neuroeducativo.

Neurociencia de la educación o neuroeducación es un campo científico interdisciplinar que investiga la interacción entre los procesos neuronales, psicológicos y la educación, tratando de trasladar los datos encontrados de la práctica educativa de un modo aplicado (Sigman et al., 2014) y de mejorar el proceso de enseñanza y aprendizaje del alumno (Martínez-González et al., 2018).

No hay definición clara en cuanto a lo que es la creatividad musical (Bashwiner, 2018). Podemos considerarla como un proceso estructurado activo del individuo al racionalizar el sonido con el objetivo de producir o crear con ello algo novedoso, comúnmente asociado con la composición e improvisación musical (Sliverberry Genomix, 2018; Webster, 2002).

Tradicionalmente, la enseñanza de la música es una asignatura de formación de conservatorio o lúdica en las escuelas, sin observar el potencial que ofrece para desarrollar las capacidades cognitivas. Los avances neurocientíficos destacan la importancia de aprender música en relación con los beneficios cognitivos derivados de su práctica. Ello posibilita una gran demanda de desarrollo en las funciones cognitivas del ser humano, lo que confirma la intervención cerebral que afectan a una gran parte del cerebro y un aumento en los niveles de atención y concentración (Jauset-Berrocal et al., 2017).

Cuando observamos la actividad cerebral evocada por la creatividad musical, un conjunto de regiones cerebrales prefrontales parecen estar sistemáticamente activadas, incluyendo el área motora suplementaria (SMA), la corteza prefrontal media, el gyrus frontal inferior izquierdo, el dlPFC y la corteza premotora dorsal (Beaty, 2015). Más recientemente, la creatividad musical se ha vinculado a cambios estructurales en el cerebro,

con personas creativas que tienen un mayor volumen en la corteza prefrontal dorsomedial, la corteza temporal, la corteza orbitofrontal y la amígdala (Bashwiner et al., 2016), todas las cuales se asocian con puntuaciones más elevadas en una prueba de creatividad musical. Además, en los creativos hay un aumento de la materia gris en el precuneus izquierdo y en el cuneus (Fink et al., 2014), mientras que se ha encontrado una correlación positiva entre las puntuaciones del índice compuesto de creatividad y el volumen cortical en la corteza cingular posterior. Un área que está involucrada en la formación y regulación de las emociones y el procesamiento de datos relacionados con el comportamiento, el aprendizaje y la memoria (Jung et al., 2010). Así, las personas musicalmente creativas muestran mayor activación y superficie o volumen cortical en regiones motoras-asociadas de mayor orden cognitivo y procesamiento sonoro específico del dominio (corteza premotora dorsal, áreas motoras suplementarias y pre-suplementarias y el planum temporales), en regiones relacionadas con el DMN (corteza prefrontal dorsomedial, giroscopio temporal medio y polo temporal) y en regiones relacionadas con las emociones, es decir, la corteza orbitofrontal, el polo temporal y la amígdala (Bashwiner et al., 2016).

### *3.3.2 La neurociencia de la improvisación musical*

La improvisación musical supone que se implementen secuencias auditivo-motoras, perceptivas y de producción sonora (Loui, 2015, Loui et al., 2015); y aumenten las habilidades del alumno con respecto a la codificación sensorial y perceptiva, el almacenamiento y recuperación de la memoria, el control motor y la supervisión del rendimiento (Biasutti, 2017).

Puede ser considerada como una de las herramientas neuroeducativas factibles de ser utilizadas en la metodología por indagación. Esto es debido a la alta promoción del

desarrollo de la creatividad, a la construcción de conocimiento interactivo (Biasutti, 2017), al pensamiento crítico y a las habilidades para la resolución de problemas, auxiliando la práctica reflexiva musical durante la improvisación (Biasutti, 2013). Estas características son un punto de encuentro y coincidencia con el perfil metodológico por Indagación.

Diversas investigaciones consideran la improvisación como parte de la creatividad musical (Gomez & Galán, 2015), un camino para el proceso creativo musical en tiempo real en el cerebro (Loui, 2018), además de ser un modo de aprendizaje creativo requiriendo distintas forma de enseñar (Luquet, 2015).

Las investigaciones sobre la improvisación musical han reportado datos sobre los cambios en las estructuras del cerebro en áreas importantes como las auditivas, motoras y visuoespacial cuando se comparan músicos con no músicos. Además señalan que ocurre un aumento del volumen de materia gris en el hipocampo izquierdo y en las regiones frontales derecha superior y media, la ínsula derecha y el área motora suplementaria y la zona temporal superior izquierda y posterior y el cíngulo posterior (Groussard et al., 2014).

En otro estudio se pedía a músicos (improvisadores y ejecutores) y los no músicos, evaluar la presentación de la música enseñada o imaginar que estaban tocándola con el objeto de observar el papel del sistema parietal y temporal en la percepción musical (Harris & de Jong, 2015). Los músicos improvisadores involucran el área dorsal del hemisferio derecho, sugiriendo la movilización del sistema de procesamiento espacial amodal con la intención de facilitar su rendimiento motor virtual. Esta mayor activación en la corteza auditiva bilateral sugiere un aumento de los efectos de la percepción auditiva. Los músicos ejecutores activaron el hemisferio izquierdo, las áreas motoras junto con la parte posterior del surco temporal superior derecho, infiriendo una relación entre la discriminación auditiva y la representación simbólica.

Otra investigación se ha focalizado en los músicos de rap de estilo libre para estudiar la improvisación espontánea y la forma multidimensional de la creatividad en la interacción de la música y el lenguaje. Mediante imágenes de resonancia magnética funcional se comprobó que el desempeño improvisado se caracteriza por la actividad disociada en las cortezas prefrontales medial y dorsolateral. Esto proporciona un contexto en el que pueden desarrollarse conductas independientes del estímulo en ausencia de monitoreo consciente y control volitivo. Los análisis de conectividad revelaron correlaciones generalizadas relacionadas con la improvisación entre el prefrontal medial, el motor cingulado, las cortezas perisilvianas y la amígdala. Esto sugiere el surgimiento de una red que vincula la motivación, el lenguaje, el afecto y el movimiento (Liu et al., 2012).

Los estudios con fMRI más recientes se han centrado en investigar la conectividad funcional como un modo de comprender lo que pasa con la interacción dinámica del sistema cerebral (ejemplo del default y del control ejecutivo; la memoria y el lenguaje) cuando el cerebro crea e improvisa (Beaty et al., 2016). En estudios con tareas espontáneas, se han investigado cambios de la representación cortical en el aprendizaje y adquisición de nueva habilidad musical, por medio de entrenamiento desde edad temprana, relacionado con la red motora, incluyendo los tractos corticoespinales (Imfeld et al., 2009), los tractos piramidales (Rüber et al., 2015), como también el cuerpo calloso (Steele et al., 2013), la cápsula interna (Bengtsson et al., 2005; Han et al., 2009) y el circuito auditivo-motor (Palomar-García et al., 2017). En pianistas de Jazz, por ejemplo, se observa que la improvisación se caracteriza, consistentemente, por un patrón disociativo: de activación de la corteza prefrontal, desactivando áreas como las orbitales dorsales y prefrontales laterales y con activación focal de la corteza medial prefrontal (frontal polar); y por activación de las áreas sensorio motoras neocorticales, así como la desactivación de las estructuras límbicas

(Limb & Braun, 2008). La corteza parietal, como el giro angular, estaría también relacionada con la creatividad espontánea (Mok, 2014).

# CAPÍTULO 4

## PRESENTACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

---

Qué se va a tratar:

### **4. JUSTIFICACIÓN Y PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **4.1 Objetivos de la Investigación**

#### **4.2 Metodología de la Investigación**

*4.2.1 Diseño de la investigación*

*4.2.2 Selección de la muestra*

*4.2.3. Instrumentos de recogida de información*

#### **4.3 Análisis de los datos**

*4.3.1 Dimensión de análisis estadísticos*

*4.3.2 Dimensión de análisis de Neuroimagen*



#### **4. JUSTIFICACIÓN Y PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN**

La revisión teórica realizada en los capítulos anteriores, nos ha permitido conocer el arte de la cuestión y considerar la neuroeducación como una disciplina interdisciplinar de integración entre las ciencias de la educación y las ciencias del desarrollo cognitivo humano (Battro y Cardinali, 1996). Esta interdisciplinariedad promueve un campo fértil de entendimiento acerca de la enseñanza aprendizaje, aunque se encuentra todavía en una etapa muy primaria.

La bibliografía revisada también nos ha permitido asociar la formación musical con cambios cerebrales específicos de orden estructural. Sin embargo, el enfoque metodológico neuro-didáctico no está estudiado, siendo el planteamiento de nuestra tesis una oportunidad de vanguardia en este campo. Al hilo de toda esta información, nos preguntamos: ¿la estructura del cerebro se puede modificar?, ¿qué sabemos sobre los métodos de enseñanza y el cerebro?, ¿existe alguna evidencia más allá del rendimiento académico o pruebas cognitivas que nos puedan decir que un método de enseñanza es mejor que otro?, ¿sería esta información revolucionaria para los centros educativos y los propios docentes?

En este sentido, nuestro trabajo pretende conocer, de manera más precisa, a luz de las neurociencias, las metodologías de enseñanza tradicional y de indagación, observando la modificación que estas metodologías provocan en la estructura cerebral. Esto es novedoso, ya que damos un paso más, fijamos la atención en la estructura del cerebro mientras que actualmente, en contextos diversos, las investigaciones actuales se detienen en comparaciones conductuales, didácticos y de rendimiento académico.

La creatividad que está muy relacionada con la metodología por indagación - materia de estudio de este trabajo-, se ha comprobado que casi todos trabajos de investigación se centran específicamente en niños y jóvenes procedentes de las etapas

primarias de educación (Azevedo et al., 2017; Medina et al., 2017; Rodrigues et al., 2018; Tsai, 2013), por lo que existe un vacío manifiesto en el campo de los adultos. Teniendo en cuenta estos aspectos, el estudio de la creatividad desde una perspectiva neurobiológica (Chávez et al., 2004) didáctica es un reto que vamos a afrontar.

A continuación, se exponen los objetivos, seguido de las técnicas e instrumentos de investigación y la especificación de la muestra seleccionada, procedimiento y recogida de los datos. Finalmente, se explica la temporalización y se dimensionan los resultados.

## 4.1 Objetivos de la Investigación

### *Objetivo General:*

Comparar el método de educación musical tradicional frente a una metodología de indagación desde la perspectiva didáctica, neurocognitiva, de rendimiento académico y de estructura cerebral.

### *Objetivos Específicos:*

- Desarrollar y aplicar tareas de memoria y creatividad en educación musical con músicos en Resonancia Magnética Funcional (fMRI).
- Evaluar desde la esfera didáctica, neurocognitiva y de rendimiento, una secuencia de actividades musicales basadas en el método de educación por indagación y en el método de educación tradicional.
- Comparar el método de enseñanza tradicional frente a una metodología de indagación en relación a la estructura cerebral, antes y después de la enseñanza musical.

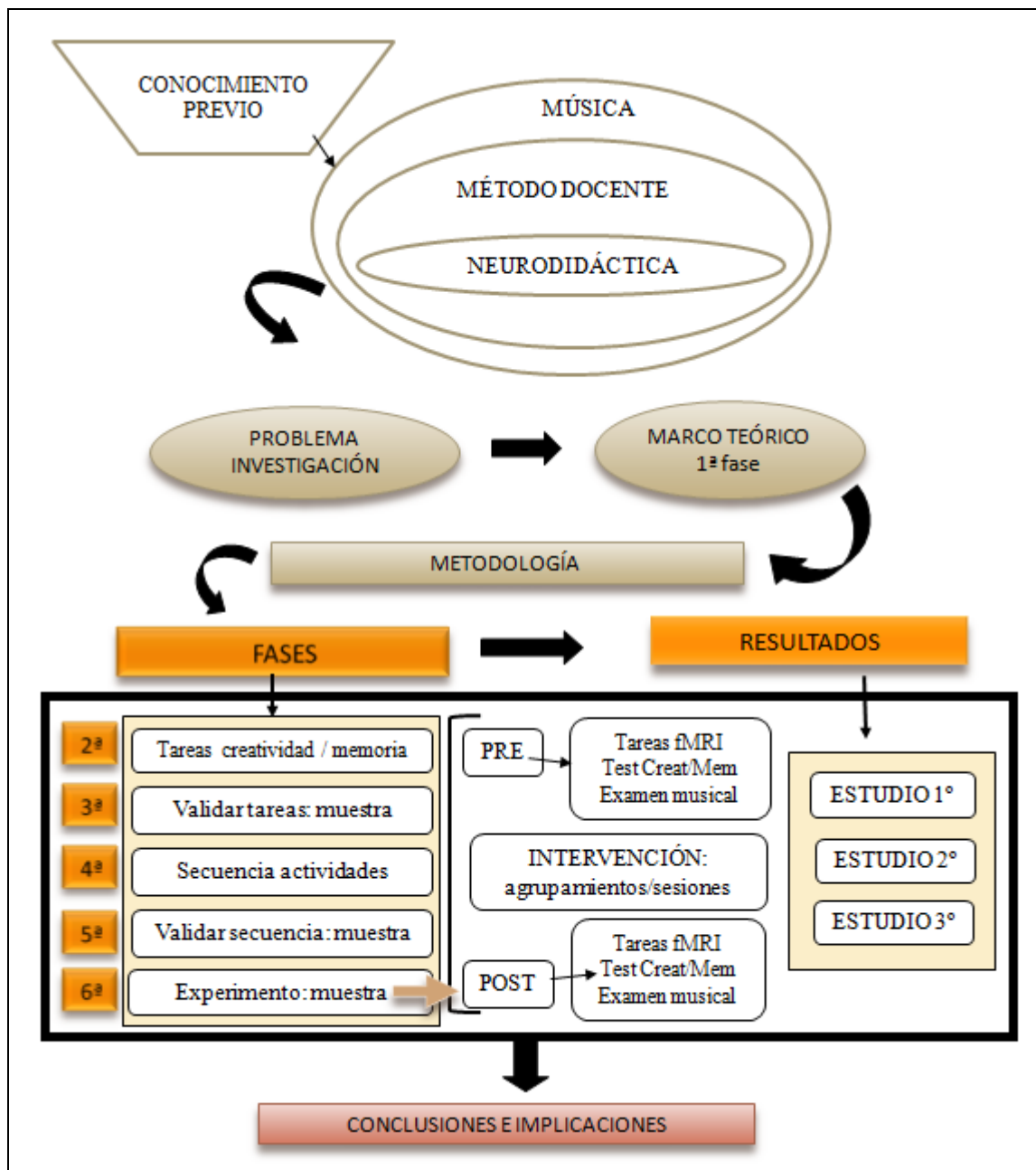
Cada uno de los objetivos específicos anteriores, han supuesto un estudio que hemos traducido a un artículo de investigación y que explicitamos en la tabla 03.

TÍTULO DE LOS ARTÍCULOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS
Contribución diferencial del área suplementaria motora y la ínsula en tareas controladas de improvisación musical, entre músicos y no músicos.	Desarrollar y aplicar tareas de memoria y creatividad en educación musical con músicos en Resonancia Magnética Funcional (fMRI).
Diseño de un método de enseñanza musical por indagación	Evaluar desde la esfera didáctica, neurocognitiva y de rendimiento, una secuencia de actividades musicales basadas en el método de educación por indagación y en el método de educación tradicional.
Cambios Estructurales en el cerebro basados en Metodologías de Enseñanza Musical	Comparar el método de enseñanza tradicional frente a una metodología de indagación en relación a la estructura cerebral, antes y después de la enseñanza musical.

**Tabla 03:** Objetivos específicos distribuido por artículos.

## 4.2 Metodología de la Investigación

Nuestra investigación se apoya en la metodología cuantitativa. Hemos realizado un experimento que se desarrolla en 6 fases y comprende 3 estudios. La siguiente figura visualiza el procedimiento seguido para su desarrollo:



**Figura 22:** Secuencia de la investigación.

### 1ª FASE: REVISIÓN TEÓRICA

Dada la aproximación al tema de estudio que poseíamos, avanzamos en el planteamiento de preguntas y presupuestos de partida que nos fue marcando la línea hacia la que dirigir nuestra búsqueda bibliográfica, perfilando los conceptos clave con los que adentrarnos en las bases de datos científicas.

Tras un primer acercamiento que se produjo con el Trabajo Fin de Máster, tomamos medida al campo de conocimiento. Nos permitió ver el vacío de estudios en relación a la estructura del cerebro y las metodologías de enseñanza. En cambio, sí resultaron estudios de los efectos del aprendizaje de la música a nivel conceptual y cerebral.

## 2ª FASE: DISEÑO DE TAREAS PARA REALIZAR DENTRO DEL TUBO DE RESONANCIA MAGNÉTICA

Diseñamos dos tareas que tenían que realizar los estudiantes dentro del tubo de resonancia magnética. Una sobre memoria y la otra actividad, sobre creatividad. De la revisión teórica pudimos extraer ideas que nos ayudaron a configurar los ejercicios.

En la tarea de memoria, el estudiante tenía que memorizar una serie de ritmos; en la tarea de creatividad, debían improvisar con un conjunto de notas musicales sobre un patrón.

Hubo que pensarlas de modo que se ajustaran a los requisitos de la máquina, pues el espacio era nulo. Además, no podían implicar excesivo movimiento, pues la cabeza tenía que permanecer inmóvil para que las imágenes fueran nítidas.

## 3ª FASE: VALIDACIÓN DE LAS TAREAS CON MÚSICOS Y NO MÚSICOS

Una vez diseñadas debíamos comprobar si realmente discriminaban memoria y creatividad.

Para ello comenzamos el estudio 1. Participaron 19 personas con más de 10 años de experiencia en música y otras 21 sin experiencia ninguna. Los 40 sujetos pasaron por fMRI y realizaron las dos actividades dentro del tubo.

#### 4ª FASE: DISEÑO DE LA SECUENCIA DE ACTIVIDADES SEGÚN LAS METODOLOGÍAS DOCENTES

Paralelamente a la fase 3, comenzamos a diseñar secuencias de actividades que respondieron a los procesos cognitivos que lleva implícitas la puesta en práctica de la metodología de enseñanza tradicional y la metodología por indagación. Las operaciones cognitivas que nos sirvieron de referencia fue la clasificación propuesta por Bloom, reinterpretada por Churches (2009) que se concretaba en: recordar, comprender, aplicar, analizar, evaluar y crear.

#### 5ª FASE: VALIDAR LA SECUENCIA DE APRENDIZAJE

Para comprobar si la secuencia de actividades que habíamos dispuesto respondía a la metodología tradicional o a la metodología por indagación, sometimos la propuesta a la valoración de expertos, comenzando el estudio 2.

Participaron 34 profesionales: 17 eran profesores de conservatorio Profesional y Superior; 6 profesores de Enseñanza Secundaria del departamento de Música; y 11 profesores de universidad, del área de Didáctica de la Expresión Musical.

#### 6ª FASE: DESARROLLO DEL EXPERIMENTO EN TRES MOMENTOS

Llegados a este punto, teníamos controladas las variables que nos permitirían iniciar la respuesta a nuestro tercer objetivo específico, que era comparar el método de enseñanza tradicional frente a una metodología de indagación en relación a la estructura cerebral.

Comenzamos el experimento, en el que participaron 42 estudiantes de primer curso de grado de Educación Infantil: 22 pertenecían al grupo de enseñanza tradicional y 20 al grupo por indagación.

Diferenciamos três momentos:

- *Pre:* los estudiantes pasaron por fMRI (como dato económico, cada resonancia suponía un coste de 150 € por alumno) realizando una tarea de memoria y creatividad; después hicieron un test de memoria y un test de creatividad, ambos estandarizados; y una prueba en conocimientos musicales empleada para examinar a los niños que acceden al conservatorio.
- *Intervención:* los estudiantes aprendieron a tocar la guitarra, cada grupo con su metodología correspondiente, durante 4 meses. Para ello se les compró a los 42 estudiantes una guitarra española, costando cada una de ellas 73 €.
- *Post:* los participantes volvieron a pasar por fMRI (otros 150 € cada estudiante), a hacer los test estandarizados y a volver a hacer la prueba de conocimiento musical.

Como se puede deducir, llevar a cabo las 6 fases de la investigación, requería de una elevada suma económica. El Vicerrectorado de Investigación de la Universidad de Granada nos concedió una ayuda de 3000 € y el Centro Universitario de João Pessoa (Brasil) nos subvencionó 27000 €.

#### *4.2.1 Diseño de la investigación*

Pasamos a narrar con más detalle el desarrollo seguido de la investigación. No antes sin declarar que este estudio fue aprobado por el Comité Ético para la Investigación en Humanos de la Universidad de Granada y fue realizado de acuerdo con la declaración de Helsinki. Todos los participantes fueron debidamente informados de la investigación y firmaron un consentimiento informado certificando su participación voluntaria en el estudio (ver Anexo 01).

Los diseños que cada fase ha desarrollado, responden a la metodología cuantitativa. Los artículos resultantes son los procedimientos ocurridos en las diferentes etapas o fases, con el fin de atender a nuestra demanda principal que era entender el funcionamiento cerebral y su diferenciación entre los métodos de enseñanza tradicional y por indagación, a nivel cerebral, neurocognitivo y de rendimiento académico. Como hilo argumentativo, recurriremos a las *fases* descritas en la investigación.

El diseño empleado en las **FASES 2 y 3** para validar las tareas de creatividad (ver Anexo 05) y memoria (ver Anexo 04) en voluntarios sin conocimiento musical y en músicos con 10 años de experiencia contempló medidas de examen imagenológico por Resonancia Magnética Funcional. Los participantes, en una habitación normal previa a la sala donde se hacían las resonancias, primero fueron informados de la secuencia de pasos (ver Anexo 03) que aparecerían en la pantalla, ya dentro del tubo de resonancia, así como fueron entrenados en el manejo del ratón.

En paralelo, iniciamos el procedimiento para las **FASES 4 y 5**. Su diseño estaba pensado para facilitar el contraste de dos experiencias metodológicas en educación musical, una tradicional y otra por indagación, construyendo una secuencia de actividades fundamentadas en la taxonomía y experiencia de Bloom.

Al planear las clases de guitarra fueron definidos criterios diferenciales, como el tipo de agrupación, el estilo docente, el material aplicado y el tiempo de dedicación del profesor durante las sesiones, con actividades diarias; así como el monitoreo en términos de asiduidad, contenido y tiempo que cada sujeto empleaba en casa para asimilar lo que había aprendido.

El grupo con método tradicional se ajustó a determinados parámetros. Consistieron en proporcionar el material impreso a los estudiantes, la dedicación exclusiva fue de 50 minutos por parte del profesor, para explicar el contenido y quitar posibles dudas. Su



actuación tuvo un estilo deductivo, expositivo y de modo individual. Cada alumno estudiaba por separado, bajo la supervisión del profesor. Estos criterios estaban de acuerdo con los presupuestos teóricos referentes a esta metodología.

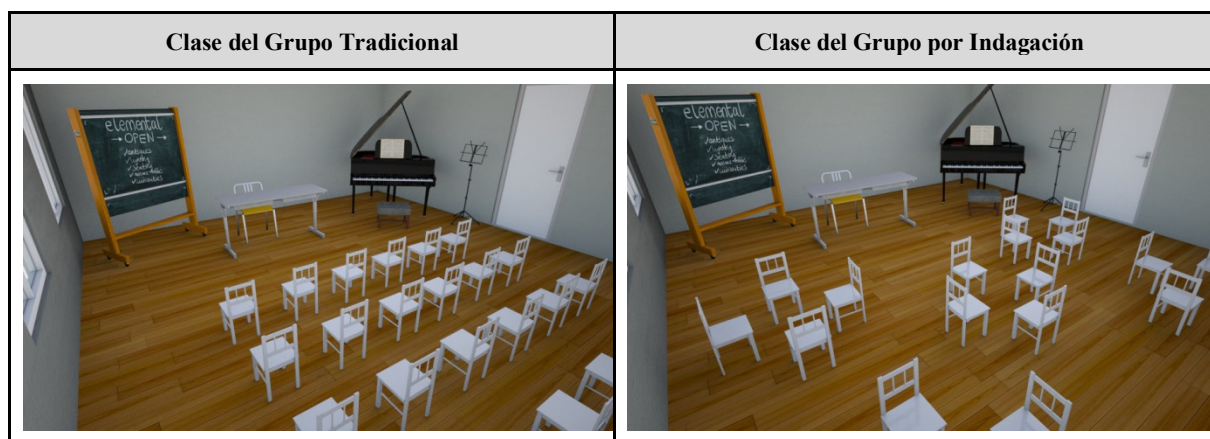
En el grupo con método por indagación fue facilitado el material impreso, pero no se ofreció ninguna explicación del contenido por parte del profesor, que estaba allí como moderador, con dedicación mínima de tiempo (05 minutos); el estilo docente fue inductivo, indagativo y grupal (Krüger & Ensslin, 2013). El grupo tenía que resolver las cuestiones presentadas, de modo que tenía que salir de su zona de confort para crear musicalmente, con ayuda de sus compañeros.

La tabla siguiente (ver nº 04) resume las condiciones didácticas de cada metodología.

Tradicional	Indagación
Aula expositiva del tema por el profesor	Planteamiento del problema guiado por el profesor
Práctica individual por medio de repetición y memorismo	Búsqueda de respuesta en grupos pequeños, con el uso de la improvisación y creatividad
El profesor interactúa 50 minutos con el alumno	El profesor interactúa 05 minutos con el alumnado
	Presentación de la respuesta para el gran grupo (normalmente una creación o improvisación musical)
<b>Resumen:</b> estilo docente de carácter deductivo, expositivo, de modo individual	<b>Resumen:</b> estilo docente de carácter inductivo, indagativo y grupal

**Tabla 04:** Condiciones de aplicación didáctica de la metodología tradicional y por indagación.

De forma visual (figura 23) presentamos la disposición del mobiliario y el tipo de agrupamiento en el que los estudiantes y el profesor impartían las clases.



**Figura 23:** Ejemplo de maquetación utilizado en las clases del grupo tradicional y grupo por indagación.

Para descartar la posibilidad de variables adversas producidas por el profesor, un solo docente enseñó a los dos grupos siguiendo las directrices de cada método. Tanto la asignación del método A o B a cada grupo y la distribución de los estudiantes entre los grupos fue aleatoria, siguiendo el orden de inscripción en cada grupo durante el proceso de admisión a la universidad. Además, para reducir la transferencia de información entre los grupos, las clases se impartían al final de la mañana, justo después de que terminaran sus clases habituales de las distintas asignaturas del Grado, de modo que un grupo se impartía entre las 12:30 y las 13:30 p.m y el otro, entre las 13:30 y las 14:30 p.m. Las clases se celebraban el jueves y el viernes, ya que estos eran los únicos días en que los estudiantes podían asistir a las clases, no impidiendo su transcurso normal de carrera académica.

El profesor evaluó a todos los alumnos al final de cada una de las 20 clases que componen los cursos, utilizando una escala entre 1 y 5. La evaluación del aprendizaje durante los cursos se basó en el porcentaje de asistencia de cada estudiante, así como la diferencia entre su desempeño en las primeras 5 clases y su desempeño en las últimas 5. Esto permitió evaluar la mejora de cada estudiante evitando al mismo tiempo el posible sesgo asociado con el uso de mediciones de una sola sesión.

En la **6ª FASE**, la tercera etapa de nuestro estudio, que corresponde al artículo 3, nos ceñimos a un diseño cuasi-experimental, pre-post test. Consistió en aplicar pruebas de resonancia magnética; test neurocognitivos de aprendizaje, creatividad y memoria de trabajo; así como una prueba de rendimiento académico musical; y también para cada grupo, una prueba de audiometría. Todo ello, antes de proceder a la intervención -que recordemos pretendía comparar las metodologías de educación musical en el ámbito de activación cerebral en resonancia magnética en dos momentos distintos (antes y después de la enseñanza) por medio de tareas ya validadas- ; después, se intervino con la aplicación de las dos metodologías a los dos grupos; y por último, se volvieron a pasar los test y la prueba de contenido musical, excepto la prueba otorrinolaringológica.

#### *4.2.2 Selección de la muestra*

Para desarrollar la **FASE 2 y 3**, la unidad de análisis fueron los músicos con más de diez años de experiencia en conocimientos musical y estudiantes de la Facultad de Educación de la Universidad de Granada, sin ninguna experiencia. En total fueron **40 participantes** (ver tabla 05). Por tanto, la muestra final estuvo compuesta por 19 músicos con una media de edad de 20,26 años (SD = 2,05), siendo 10 mujeres (52,6%) y 9 hombres (47,4%), así como 21 no-músicos con media de edad de 20,19 años (SD = 2,36), siendo 16 mujeres (76,2%) y 5 hombres (23,8%). Los grupos no mostraron diferencias significativas en sexo ( $p = 0.119$ ), edad ( $p = 0.918$ ) o nivel de educación ( $p = 0.199$ ). La selección de los casos fue siguiendo el muestreo de tipo intencional. Se partió de la divulgación en la Facultad de Ciencias de la Educación de la Universidad de Granada.

Code	Sex	Age	Musical specialty	Code	Sex	Age
M01	Male	21	Guitar	NM01	Male	18
M03	Male	24	Tuba	NM02	Female	22
M04	Female	21	Clarinet	NM03	Female	23
M05	Male	23	Piano & guitar	NM04	Female	20
M06	Male	19	Piano	NM05	Male	18
M07	Female	19	Guitar	NM06	Female	18
M08	Male	20	Guitar	NM07	Female	19
M09	Female	18	Singing	NM08	Female	21
M10	Female	19	Piano	NM09	Female	22
M11	Male	22	Clarinet	NM10	Female	26
M12	Male	19	Piano	NM11	Female	19
M14	Female	20	Bassoon	NM12	Female	18
M15	Male	18	Guitar	NM13	Female	20
M16	Female	18	Piano	NM14	Male	24
M17	Female	17	Piano	NM15	Male	18
M18	Female	20	Guitar	NM16	Female	21
M19	Female	21	Clarinet	NM17	Male	19
M20	Female	22	Piano & Singing	NM18	Female	18
M21	Male	24	Guitar	NM19	Female	18
				NM20	Female	19
				NM21	Female	23

**Tabla 05:** Datos demográficos del grupo de músicos (M) y su especialidad y no músicos (NM).

A todos los participantes se les preguntó por la edad, problemas de salud general, consumo de alcohol u otras drogas, nivel de formación académica, experiencia musical, ocupación actual, uso de medicación controlada, dominancia manual (diestro o zurdo), piercing en su cuerpo, y la aplicación del Symptom Checklist-90-R cuyo objetivo es verificar si ha sufrido daño o disfunciones psicopatológicas. Esta batería de preguntas también se pasó a los sujetos de la fase 6ª (Anexo 02).

Para la **FASE 4 y 5**, que correspondía a la validación de los métodos de enseñanza, tradicional y por indagación de los cursos de guitarra, fueron invitados **34 expertos** con media de 18,87 años de experiencia ( $SD = 8.46$ ) siendo 16 mujeres y 18 hombres. Los expertos (17) que trabajan en conservatorios procedían de Granada, Melilla, Málaga, Jaén y Cádiz; los de universidad (11) de las facultades de Educación de Granada, Madrid, Bilbao, Sevilla, Cádiz y Albacete; y los de institutos de enseñanza secundaria (6) de Almería, Jaén y Granada. El reclutamiento fue con un muestreo intencional y ocurrió partiendo de divulgación en la Universidad de Granada. A través del efecto *bola de nieve* (Bisquerra, 2016), se incorporaron los profesores de instituto y conservatorio.

También fue preciso pensar en **1 docente** encargado de poner en práctica los métodos de enseñanza. Los criterios para su selección fueron: a) saber tocar la guitarra; b) tener experiencia en ello; c) haber dado clases de guitarra a aprendices de diferentes edades; y d) tener disponibilidad horaria los jueves y viernes por la mañana. El muestreo empleado fue el incidental o por conveniencia.

La persona seleccionada fue un hombre de entre 45 y 50 años. Doctor y licenciado en Historia del Arte (Musicología) y maestro de E. G. B. por la Universidad de Granada. Su actividad profesional se bifurca en lutier y maestro en un centro concertado.

Para el experimento -corresponde a la **FASE 6ª**- se buscó la homogeneidad en ambos grupos. Los dos estaban a cargo del mismo profesor, recibían clases en el mismo

salón y estudiaban la misma temática (Guitarra para principiantes). Participaron en este estudio **42** estudiantes **universitarios** sin experiencia musical previa. Todos ellos realizaron un curso de aprendizaje de guitarra pero fueron divididos aleatoriamente en dos grupos: 22 fueron asignados al grupo en el que se utilizaba una metodología de enseñanza tradicional con media de 21.27 años (SD = 6.341), siendo 18 mujeres y 4 hombres y 20 a un grupo de aprendizaje por indagación con media de 19.15 años (SD = 2.183), siendo 17 mujeres y 3 hombres. Los grupos no mostraron diferencias en sexo ( $p = 0.782$ ), edad ( $p = 0.152$ ), o años de educación ( $p = 0.315$ ).

Para asegurar una potencia estadística de al menos el 0.8, se calculó el tamaño de muestra usando G\*Power 3.1.9.2. y la propuesta de Zandbelt et al. (2008) para potencia estadística en estudios de resonancia. En un reciente estudio sobre las diferencias cerebrales entre músicos y no, utilizando un tipo de análisis similar, Zamorano et al. (2017) encontraron una Cohen's d mayor de 2. Debido a que nuestro estudio no es igual, decidimos ser conservadores e hipotetizamos una Cohen's  $d > 1$  para nuestro estudio. En este sentido, teniendo en cuenta esta consideración, calculamos el tamaño muestral necesario, decidiendo a priori ser conservadores y aceptar un Cohen's d superior a 1 y, por tanto, para obtener una potencia estadística de 0.8, con un alfa level= 0.05, el tamaño mínimo requerido fue de 18 participantes por grupo. Se reclutó un 10% más por los posibles *dropo ut*.

#### *4.2.3. Instrumentos de recogida de información*

En cada una de las fases de la investigación se requirió un tipo de instrumento para la recogida de información.

En la **FASE 2 y 3** se empleó una **batería de preguntas** (ver Anexo 2) que nos ofrecía datos importantes de los sujetos participantes. Si no cumplían determinados requisitos, no podían participar. El protocolo consideraba la edad, problemas de salud general, consumo de alcohol u otras drogas, nivel de formación académica, experiencia musical, ocupación actual, uso de medicación controlada, dominancia manual (diestro o zurdo), piercing y la aplicación del Symptom Checklist-90-R.

Para la **FASE 4 y 5** generamos tres instrumentos. El primero fue un **cuaderno de trabajo** en que diseñamos dos secuencias de actividades que se ajustaban a dos métodos distintos de enseñanza y que pretendían enseñar el mismo contenido programático general sobre la guitarra. Tales contenidos están en la tabla 06:

SEMANA	CONTENIDO PROGRAMÁTICO
01	Evaluación inicial del curso. Introducción al instrumento musical guitarra (anatomía, cuerdas, etc.), “digitación”, indicaciones numéricas y alfabéticas. Ubicación de los distintos sonidos en el diapásón, escalas de notas y afinación de la guitarra.
02	Rasgueo (Pulgar-Dedos y sus combinaciones). Acordes mayores (Do mayor, Mi mayor, sol mayor...), valores musicales en la práctica del instrumento: compás, ritmo, pentagrama. Introducción de acompañamiento armónico con los acordes. Práctica de pequeñas melodías
03	Lectura formal y escritura de notas (acordes), de compás, de ritmo en el pentagrama. Acompañamiento armónico con los acordes.
04	Revisión general y ejecución de pequeñas melodías.
05	Lectura y escritura de notas (acordes) en el pentagrama. Presentación de canción popular simples para interpretar, “Las Mañanitas”.
06	Lectura y escritura de notas (acordes) en el pentagrama. Presentación de canción popular simples para interpretar., “Las Mañanitas”.
07	Introducción de acordes en la canción popular “Las Mañanitas”.
08	Introducción de acordes en la canción popular “Feliz Navidad” mediante control de práctica en nuevas notas por acorde de guitarra (tonalidad Re).
09	Repaso de piezas musicales.
10	Revisión general y evaluación final del curso.

**Tabla 06:** Contenido programático aplicado al largo de las 20 sesiones para cada una de las metodologías evidenciadas (tradicional y por indagación).

Para cada una de ellas se programó el contenido, la actividad o actividades bien como su relación con las Dimensiones observadas de la taxonomía de Bloom, el aprendizaje esperado y la evaluación para las metodologías tradicional y por indagación. Su desarrollo completo (Anexo 10 y 11) los mostramos a continuación (tabla 07).

ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE		
Sesión	Grupo tradicional	Grupo por Indagación
01	Evaluación inicial de conocimiento musical básico del alumno.	Evaluación inicial de conocimiento musical básico del alumno.
02	<p>Enseñar mediante exposición teórica las partes del instrumento, su uso correcto, cuidado y afinación.</p> <p>Pedir al alumno que identifique las partes de su instrumento e intentar afinarlo de acuerdo con el contenido presentado.</p>	<p>En la pizarra estará el nombre de las partes del instrumento sin identificarlo. Si pedirá a cada grupo que los mismos identifiquen y clasifiquen a su modo las partes con un papelito bien como cuestionarse cómo es su uso correcto, cuidado y como podría ser hecha una afinación. Después van a comparar el resultado con los otros grupos.</p> <p>Buscar la misma nota en otra cuerda y afinar (plantearles que afinen solo una cuerda (por ejemplo Mi<sup>7</sup> en la 6<sup>a</sup> cuerda y, a partir de ahí, busquen la nota de la 5<sup>a</sup> cuerda (La) usando la que ya tienen afinada y traten de afinar así las siguientes).</p>
03	<p>El profesor va a tocar un pequeño fragmento de una canción y los alumnos intentan imitarlo.</p> <p>El alumno va a practicar el rasgueo aprendido y ritmo distintos por medio de repetición.</p> <p>Enseñar mediante exposición teórica los acordes mayores (Do mayor, Mi mayor, Sol mayor...), pentagrama y pedir para practicar por repetición.</p>	<p>Entrega el profesor los acordes en una hoja y el grupo debe intuir cómo aplicarlo en la guitarra, como se lleva a cabo.</p> <p>El alumno va a identificar el rasgueo utilizado en la canción que el profesor va a tocar y pensar cómo podrían hacer el rasgueo de modo distinto para el pequeño fragmento musical.</p> <p>El profesor pide que materialice en un papel como serían los elementos musicales de duración y altura así como los acordes mayores en pentagrama.</p>
04	El profesor tocará un pequeño fragmento de una canción y los alumnos intentan imitarlo.	<p>Promover una pequeña improvisación a modo de “diálogo”. Uno toca un pequeño fragmento (como si estuviera “diciendo” algo, y el otro le “contesta”). Después, ponen en común “la conversación musical” que han tenido.</p> <p>El mini grupo va a improvisar un ritmo basado en la marcha (con notas y silencio). El profesor va a grabar con el móvil.</p>
05	Enseñar mediante exposición teórica cómo hacer una lectura formal de compás, ritmo. En seguida hacer un dictado musical.	El profesor pone distintos ritmos e intentan saber en qué compás están hechas (con compases simples, no usará más del 2/4; 3/4). En seguida el mini grupo va a escuchar su grabación de improvisación rítmica de la clase anterior e intentar pasar al papel a su modo este ritmo. Después de esto el profesor va a presentar la tablatura.



<b>06</b>	Enseñar lo que es armonía, acompañamiento armónico en guitarra, cambio de tres acordes aprendidos. En seguida hacer un dictado musical.	El alumno va inventar un trozo musical improvisado en el pentagrama y el subgrupo va a tocar todo los trozos de forma ordenada con acompañamiento armónico.
<b>07</b>	El profesor enseña tres trozos musicales y al dividir el gran grupo en tres, pedir para ejecutar cada trozo como un coro. Al final todos hacen a la vez.	Ordenar secuencia de 09 compás y ejecutarlos al gran grupo. En seguida una de esta secuencia de 03 compás será tocada por un grupo, el otro marcará el pulso de ritmo 3/4 y el tercer grupo generará una secuencia nueva diferente al del primero grupo. Al final todos hacen a la vez.
<b>08</b>	Charla para dudas en cuanto al contenido expuesto hasta el momento. En seguida el alumno de modo individual va a ejecutar un trozo sencillo musical que está escrito en una hoja como también pasará al pentagrama lo que escucha.	Charla para dudas en cuanto al contenido expuesto hasta el momento. En seguida los estudiantes forman parejas y se colocan enfrentados, de manera que se pide que uno de ellos ejecute un trozo sencillo musical que está escrito en una hoja, mientras que el otro pasará al pentagrama lo que escucha.
<b>09</b>	El estudiante va a reproducir un trozo sencillo musical (de la pieza musical Las Mañanitas, 2ª parte) por medio de imitación del profesor y lectura en pentagrama.	Los estudiantes forman parejas y se colocan enfrentados de manera que se pide que uno de ellos reproduzca un trozo sencillo musical (de la pieza musical Las Mañanitas, 2ª parte) que está escrito, mientras que el otro va a pasar al pentagrama lo que escucha. Improvisar una estructura melódica a partir de elementos musicales presentes en la pieza musical Las Mañanitas.
<b>10</b>	Practicar la pieza musical Las Mañanitas, 2ª parte.	Los estudiantes forman parejas y se colocan enfrentados, de manera que se pide que uno de ellos cree un pequeño trozo mientras que el compañero va a pasar al pentagrama lo que escucha. Después se cambian de rol, el que antes improvisaba ahora pasa lo que escucha al pentagrama. Después se procede a un intercambio entre parejas, de modo que la nueva pareja debe crear sobre la improvisación de la pareja anterior.
<b>11</b>	El estudiante va a reproducir un trozo sencillo musical (de la pieza musical Las Mañanitas, 3ª parte) por medio de imitación del profesor y lectura en pentagrama.	Los estudiantes forman parejas y se colocan enfrentados de manera que se pide que uno de ellos reproduzca un trozo sencillo musical (de la pieza musical Las Mañanitas, 3ª parte) que está escrito, mientras que el otro va a pasar al pentagrama lo que escucha. Improvisar una estructura melódica a partir de elementos musicales presentes en la pieza musical Las Mañanitas.
<b>12</b>	Practicar la pieza musical Las Mañanitas, 3ª parte.	Los estudiantes forman parejas y se colocan enfrentados, de manera que se pide que uno de ellos cree un pequeño trozo mientras que el compañero va a pasar al pentagrama lo que escucha. Después se cambian de rol, el que antes improvisaba ahora pasa lo que escucha al pentagrama. Después se procede a un intercambio entre parejas, de modo que la nueva pareja debe crear sobre la improvisación de la pareja anterior.
<b>13</b>	El estudiante va a reproducir toda la pieza musical Las Mañanitas por medio de imitación del profesor y lectura en pentagrama.	Los estudiantes forman grupos de 04 y se pide que reproduzcan toda la pieza musical Las Mañanitas que está escrito en un pentagrama por intuición.
<b>14</b>	Introducir la lectura de los acordes de la canción Las Mañanitas.	Los estudiantes forman parejas y se colocan enfrentados, en seguida improvisan una estructura melódica a partir de elementos musicales presentes en la pieza musical Las Mañanitas y que uno improvise mediante rasgueo rítmico 3/4, por punteo y acordes.

15	El estudiante va a reproducir toda la pieza musical de Feliz Navidad en la tonalidad Re por medio de imitación del profesor y lectura en pentagrama. El profesor va a enseñar de modo expositivo los acordes en esta tonalidad.	Los estudiantes forman parejas y se pide que reproduzcan la pieza musical Feliz Navidad en la tonalidad Re que está escrito en un pentagrama por intuición. Luego después hacen una improvisación con la pieza musical elegida mediante rasgueo rítmico, por punteo y acordes.
16	Practicar los cambios de acordes en el orden que aparecen en la canción elegida (Feliz Navidad) que incluye las notas aprendidas (Escala Re).	Practicar los cambios de acordes en el orden que aparecen en la canción elegida (Feliz Navidad) que incluye las notas aprendidas (Escala Re). En seguida promover una pequeña improvisación a modo de “diálogo”. Uno toca un pequeño fragmento de la canción elegida anteriormente en escala Re (Flecha) y el otro continúa con otro fragmento de la canción.
17	Practicar los cambios de acordes en el orden que aparecen en la canción elegida Feliz Navidad.	Los estudiantes forman parejas y se pide que hagan una imagen mental sobre una secuencia de compás, escriba y ejecute. En seguida presentar la secuencia musical racionalizada a sus compañeros.
18	Practicar los cambios de acordes en el orden que aparecen en la canción elegida Feliz Navidad.	Los estudiantes forman parejas y recogen la secuencia musical racionalizada de la clase anterior de otra pareja para improvisar sobre esta secuencia como modo de revisión de todo el contenido. En seguida presentar su improvisación a sus compañeros.
19	Repaso y estudio, durante 15 minutos de la canción Feliz Navidad según lo aprendido en las clases, posteriormente grabar un vídeo de aproximadamente 3 o 4 minutos con el móvil tocando primero con acordes y posteriormente también punteando la pieza. Se ha de realizar la misma actividad anterior con la canción Las Mañanitas.	Buscar un pentagrama tablatura en Internet de otro villancico de libre elección y grabarlo en video rasgueado o punteado, con una duración máxima de 3 o 4 minutos. Posteriormente se ha de realizar una composición personal, intentando que tenga algún sentido musical, de 9 compases de tres por cuatro. Se debe memorizar, escribir en tablatura siguiendo el sistema aprendido en clase y posteriormente grabar.
20	Evaluación Final	Evaluación Final

**Tabla 07:** Actividades de aprendizaje para las dos metodologías a lo largo de las 20 sesiones. Tales actividades corresponden al Contenido programático.

El segundo instrumento fue una **hoja de registro diario** (anexo 12, 13) de las sesiones de aplicación de las metodologías de enseñanza en el que íbamos anotando el componente que tocaba, su grado de ejecución, es decir, si mal, regular, aceptable, bien o muy bien; cómo había ido; y algún comentario cualitativo del profesor. Era de fácil aplicación y se pasaba al final de la sesión. Mostramos un ejemplo a continuación (tabla 08).



## VALIDACIÓN POR EXPERTOS

En primer lugar, queremos agradecer tu colaboración por participar en la valoración de una serie de actividades que hemos diseñado para enseñar a tocar la guitarra. La realizarás en menos de 15 minutos y será de gran ayuda para la investigación que estamos realizando. Marca con una **X** si cada una de las actividades que te proponemos, estimula un único proceso cognitivo (el recuerdo, la comprensión, la aplicación, el análisis, la evaluación o la creatividad), o bien varios procesos. No hay respuestas correctas o incorrectas. Si quieres contactar con algún miembro del equipo de investigación, utiliza el siguiente correo electrónico: marcella.neurociencia@gmail.com (Marcella Aquino) o mpperez@ugr.es (Purificación Pérez). ¡Gracias de nuevo!.

Años de experiencia:

Trabajas en: ( ) Conservatorio ( ) Universidad ( ) Instituto de Enseñanza Secundaria

	Elige <b>solo 1 proceso</b> cognitivo que consideres como principalmente relacionado con la actividad que has leído						Puedes marcar <b>otros procesos</b> relacionados con la actividad					
	R e c u e r d o	C o m p r e h e n s i ó n	A p l i c a c i ó n	A n á l i s i s	E v a l u a c i ó n	C r e a t i v i d a d	R e c u e r d o	C o m p r e h e n s i ó n	A p l i c a c i ó n	A n á l i s i s	E v a l u a c i ó n	C r e a t i v i d a d
01	Pedimos al alumno que identifique las partes de su instrumento, una vez que se las hemos explicado y que lo afinen de acuerdo con el contenido presentado.											
02	En la pizarra estará el nombre de las partes del instrumento sin identificarlas. Pedimos a cada grupo de estudiantes que identifiquen y clasifiquen, a su modo, las partes, así como que se cuestionen cómo es su uso correcto, cuidado y cómo se haría una afinación.											
03	Pedimos a los estudiantes que busquen la misma nota en otra cuerda y afinen solo una cuerda (por ejemplo Mi <sup>7</sup> en la 6ª cuerda y, a partir de ahí, busquen la nota de la 5ª cuerda (La) usando la que ya tienen afinada y traten de afinar así las siguientes.											
04	Los alumnos imitan un pequeño fragmento de una canción tocado por el profesor											
05	Los alumnos practican el rasgueo que han aprendido y ritmos distintos, por medio de la repetición.											

<p>06 El profesor pide a los estudiantes que creen un sistema mnemotécnico de un acorde (LA) mediante un esquema y la representación gráfica de este acorde para que les permita reproducirlo.</p>	
<p>07 Los estudiantes hacen una pequeña improvisación a modo de “diálogo”: uno toca un pequeño fragmento (como si estuviera “diciendo” algo”) y el otro le “contesta”. Después, ponen en común “la conversación musical” que han tenido.</p>	
<p>08 Los estudiantes hacen un dictado musical.</p>	
<p>09 Los estudiantes escuchan la grabación de su improvisación rítmica de la clase anterior y la pasan al papel, a su modo.</p>	
<p>10 Un alumno de un pequeño grupo inventa un trozo musical improvisado en pentagrama y el resto del subgrupo toca todos los trozos de forma ordenada con acompañamiento armónico.</p>	
<p>11 Los estudiantes hacen un dictado musical tras enseñarles el concepto de armonía, acompañamiento armónico en guitarra y cambio de tres acordes aprendidos.</p>	
<p>12 El profesor enseña tres trozos musicales, hace tres grupos y les reparte un trozo a cada grupo para que lo toquen como un coro, todos a la vez.</p>	
<p>13 Los estudiantes ordenarán la secuencia de nueve compases y la ejecutan.</p>	
<p>14 Tres compases serán tocados por un grupo, el otro marcará el pulso de ritmo 3/4 y el tercer grupo generará una secuencia nueva diferente a de la del primero, para al final, todos tocar a la vez.</p>	
<p>15 Después de dejar un tiempo para dudas, pedimos a los estudiantes, de modo individual, que ejecuten un trozo sencillo musical que está escrito en una hoja, como también que pasen al pentagrama lo que escuchan.</p>	
<p>16 Después de dejar un tiempo para dudas, pedimos a los estudiantes que se agrupen por parejas y se coloquen enfrentados, de manera que se pide que uno de ellos ejecute un trozo sencillo musical que está escrito en una hoja, mientras que el otro pasa al pentagrama lo que escucha.</p>	









0,93 para las pruebas y entre 0,87 y 0,97 para los Índices y el CIT. En general, la fiabilidad promedio de las pruebas e Índices varía entre buena y excelente (Haertel, 2006; Amador, 2013).

También se sometió a todos los sujetos a un **test de audiometría**, para comprobar su nivel auditivo, puesto que las tareas de fMRI exigían discriminación auditiva. Este test permite observar la integridad del sistema auditivo determinando los umbrales auditivos por vía aérea (VA); y un vibrador óseo para la investigación de umbrales tonales por vía ósea (VO), comparando los valores obtenidos con los patrones de normalidad (Lopes et al., 2015). Cuando VA y VO están entre 0 y 20 dB se considera la existencia de pérdida auditiva. Es leve cuando está entre los 20 y 40 dB; y moderada cuando existe una pérdida de la audición de 40 a 60 dB. Por último, la pérdida es severa cuando llega a ser de entre 60 y 80 dB. La pérdida es profunda si ha llegado, o sobrepasa los 80 dB (Bravo, 2017).

En este test fonoaudiológico, el sujeto utiliza audífonos en una cabina o sala de pruebas y se le pide que levante la mano o apriete un botón cada vez que oiga un determinado sonido. Para el resultado de la audiometría, se considera el tipo de la pérdida auditiva, grado de la pérdida, configuración audiométrica y lateralidad (Sistema de Conselhos Federal e Regionais de Fonoaudiologia, 2013).

Se recogió información con el **examen de conocimiento musical** que utilizan en el conservatorio como prueba de acceso, para el Grado Elemental. Consiste en 4 preguntas: 2 sobre entonación, en las que se pide al alumno que repita juegos de notas y una canción con la letra; 1 pregunta sobre reconocimiento de intervalos, en la que han de distinguir los conceptos de alto y bajo (o agudo y grave) en un intervalo musical; y 1 pregunta sobre ritmo, que consiste en pedir para repetir algunos ejercicios musicales con las palmas (Anexo 06). La evaluación ocurría de forma diaria por parte del profesor. La evaluación se pasó para ver el nivel antes y después de someterse al aprendizaje de la guitarra. En la

práctica el profesor valora cada participante en función de su rendimiento, en cada actividad propuesta, en todas las sesiones en los dos grupos metodológicos. La escala está compuesta de: 1- Mal/ 2- Regular/ 3- Aceptable/ 4- Bien/ 5- Muy bien. Además, todos los participantes de las FASES 3 y 6 se sometieron a sesiones de imágenes por **resonancia magnética**. Las imágenes de resonancia magnética fueron adquiridas en un curso de 3T. Escáner Tesla Magnetom Tim Trio (Siemens Medical Solutions, Erlangen, Alemania) equipado con un escáner de 32--bobina de cabezal de sólo recepción de canal. Se obtuvo una imagen sagital tridimensional ponderada T1 de alta resolución, en ambas sesiones. Los datos fueron procesados usando el software FreeSurfer versión 6.0 (<http://surfer.nmr.mgh.harvard.edu>) en el clúster Alhambra de la Universidad de Granada, España. Las imágenes fueron procesadas siguiendo el estándar que ha sido previamente validado para segmentar y medir los volúmenes de la subestructura cerebral, espesor cortical y superficie (Dale et al., 1999; Fischl et al., 1999; Fischl & Dale, 2000). Antes del preprocesamiento, todas las imágenes fueron inspeccionadas visualmente en busca de artefactos de adquisición.

Las etapas de procesamiento incluían (i) el despojo del cráneo, (ii) el registro automatizado de Talairach, (iii) la materia gris/blanca, (iv) construcción de un límite de materia gris-blanca modelo, y (v) parcelación de la corteza cerebral en ROIs basados en estructuras giratorias y sulcales del atlas de Destrieux (Dale et al. 1999; Destrieux, et al. 2010; Fischl et al., 1999; Fischl & Dale, 2000). Las salidas de FreeSurfer también fueron visualmente inspeccionadas para comprobar la correcta segmentación y parcelación. Los volúmenes, superficies y grosores corticales de la parcelación cerebral basados en el atlas de Destrieux fueron extraídos, junto con los volúmenes subcorticales del cerebro.

En la siguiente tabla (ver nº10) recopilamos la información abordada hasta ahora a modo de resumen:

OBJETIVO	FASE	ARTÍCULO	MUESTRA	CRITERIO DE INCLUSIÓN	CRITERIO DE EXCLUSIÓN	INSTRUMENTO
Desarrollar y aplicar tareas de memoria y creatividad en educación musical con músicos en Resonancia Magnética Funcional (fMRI).	2ª; 3ª	1- Contribución diferencial del área suplementaria motora y la ínsula en tareas controladas de improvisación musical, entre músicos y no músicos	42	-Músicos: tener 10 años de experiencia en conocimiento musical. -No músicos: No haber realizado ningún tipo de formación musical más allá de los cursos obligatorios incluidos en el currículo escolar	- Problemas acústicos o médicos graves, habiendo sufrido lesiones en la cabeza con pérdida del conocimiento más de 30 minutos - El consumo de drogas - Sufrido daños cerebrales o disfunciones psicopatológicas - Cualquier condición incompatible con la sesión magnética de resonancia (embarazo, tatuajes, claustrofobia, piercing o presencia de implantes ferromagnéticos)	-Resonancia magnética funcional de 3T  - Pruebas neurocognitivas: PIC-A; el K-BIT; la prueba de las letras y números de la batería de Wais-IV
Evaluar desde la esfera didáctica, neurocognitiva y de rendimiento, una secuencia de actividades musicales basadas en el método de educación por indagación y en el método de educación tradicional	4ª; 5ª	2- Diseño de un método de enseñanza musical por indagación	34  40  1	Profesorado de Conservatorio, Universidad e Institutos de Secundaria  Estudiantes universitarios de 1º, de los Grados de Educación Infantil y Educación Primaria  Profesional y docente en guitarra		-Plantilla validación       -Cuaderno de trabajo -Hoja de registro diario

Comparar el método de enseñanza tradicional frente a una metodología de indagación en relación a la estructura cerebral, antes y después de la enseñanza musical.	6 <sup>a</sup>	3- Cambios Estructurales en el cerebro basados en Metodologías de Enseñanza Musical	40 estudiantes universitarios	No haber realizado ningún tipo de formación musical más allá de los cursos obligatorios incluidos en el currículo escolar.	- Problemas acústicos o médicos graves, habiendo sufrido lesiones en la cabeza con pérdida del conocimiento más de 30 minutos - El consumo de drogas - Sufrido daños cerebrales o disfunciones psicopatológicas - Cualquier condición incompatible con la magnética sesión de resonancia ( embarazo, tatuajes, claustrofobia, piercing o presencia de implantes ferromagnéticos)	-Resonancia magnética funcional de 3T  - Pruebas neurocognitivas: PIC-A; el K-BIT; la prueba de las letras y números de la batería de Wais-IV  - Examen conocimiento musical  - Audiometria
---	----------------	---	-------------------------------	--	---	---

**Tabla 10:** Resumen de las actividades producidas en las fases correspondientes.

### 4.3 Análisis de los datos

En este apartado evidenciamos las análisis de los datos recolectados en esta investigación, contemplando las dimensiones estadísticas y de Neuroimagen.

#### 4.3.1 Dimensión de análisis estadísticos

En la FASE 3 se revisaron las diferencias entre músicos y no músicos y se aplicaron análisis comportamental y de neuroimagen.

Con relación al primer análisis, fue utilizado el paquete Estadístico para Ciencias Sociales versión 20 (SPSS; Chicago, IL). Aplicamos la prueba *t* para muestras

independientes y comparamos los grupos en variables demográficas, creativas, IQ y relacionadas con tareas de fMRI. Todos los datos de comportamiento siguieron una distribución normal según lo evaluado con las pruebas de Kolmogorov-Smirnov (todas  $p > 0.05$ ).

En el segundo análisis, se modelaron tres regresores de tareas (Improvisar, Repetir y Descanso) durante los 14 segundos que los participantes tuvieron que seguir las instrucciones y convivir con la función de respuesta hemodinámica canónica SPM12. Para evitar artefactos de movimiento, se introdujeron seis parámetros de movimiento de la cabeza como regresores, sin interés en todos los análisis de primer nivel. Los datos se filtraron por paso alto para eliminar el ruido de baja frecuencia (1/128Hz) y se corrigieron para la autocorrelación temporal mediante un modelo AR autorregresivo.

Se realizaron pruebas  $t$  de una muestra en las imágenes de contraste de primer nivel resultantes, para evaluar las activaciones entre grupos en cada contraste. A continuación, se practicó una prueba  $t$  de dos muestras, para evaluar las diferencias entre grupos, utilizando las mismas imágenes de contraste de primer nivel. Para excluir los posibles factores de confusión relacionados con el IQ, esta variable se incluyó como una covariable en todos los análisis. Para poder enfocarnos en los sustratos cerebrales de la creatividad musical, también incluimos las partituras de creatividad general como covariables en todos los análisis. Ambas covariables fueron ortogonalizadas antes de incluirlas en los modelos.

El límite de significación estadística se corrigió para múltiples comparaciones utilizando una combinación de intensidad de vóxel y cluster-extent thresholds. El límite de extensión espacial se determinó mediante 1.000 simulaciones de Monte Carlo, utilizando el algoritmo AlphaSim tal como se implementó en SPM REST. Los parámetros de entrada incluían una máscara cerebral de 176 588 vóxeles, un voxel individual de probabilidad de

0,001 y un cluster de conexión de 5 mm. Se estimó un cluster-extent thresholds de 201 vóxeles.

Para examinar la asociación entre las activaciones cerebrales y la ejecución de tareas en músicos y no músicos, realizamos un análisis de correlación de Pearson en SPSS. Los valores beta propios de cada pico de diferencias significativas entre grupos en los contrastes de *Improvise > Repeat* se extrajeron utilizando una esfera de 5 mm y se correlacionaron con las medidas de la tarea conductual (es decir, el número total de teclas tocadas y el tiempo total de improvisación) y la puntuación total de la prueba de creatividad. Para explorar si estas relaciones son específicas para cada grupo, realizamos estos análisis dentro de cada grupo.

En la FASE 5, para testar la hipótesis de asociación entre las respuestas frecuentes de los expertos musicales (jueces) y la metodología inicialmente propuesta, recurrimos al test de Chi-cuadrado de Pearson calculado con el software SPSS (v. 17; SPSS Inc; Chicago, IL). Se consideraron estadísticamente significativos los resultados con  $p\text{-value} \leq 0.05$ .

En la FASE 6 fueron analizados los datos de comportamiento con el Paquete Estadístico para las Ciencias Sociales versión 20 (SPSS; Chicago, IL). Se realizaron pruebas *t* de muestra independientes (de dos colas) para comparar los grupos en términos demográficos y de IQ variables antes de la metodología de enseñanza de guitarra y también para comparar la asistencia y el rendimiento musical durante el curso.

#### *4.3.2 Dimensión de análisis de Neuroimagen*

En la FASE 6, se llevaron a cabo 2x2 medidas repetidas ANOVAS para cada una de las diferentes mediciones cerebrales con un tiempo de imágenes como la variable dentro del

sujeto (Pre, Post) y el grupo como la variable entre sujetos (Tradicional, Investigación). Las medidas cerebrales utilizadas fueron los volúmenes, las superficies y los espesores corticales basados en el atlas de Destrieux. Además, fueron realizados análisis correlacionales entre las regiones para las cuales los análisis previos revelaron resultados significativos y la mejora en el rendimiento durante el curso. Estos análisis se realizaron en SPSS v.20.

# CAPÍTULO 5

## MEMORIA DE TRABAJO: ARTÍCULOS

---

Qué se va a tratar:

### **5. PRESENTACIÓN DE LA MEMORIA DE TRABAJO**

**5.1 Artículo 01** - Contribución diferencial del área suplementaria motora y la ínsula en tareas controladas de improvisación musical, entre músicos y no músicos.

**5.2 Artículo 02** - Diseño de un método de enseñanza musical por indagación.

**5.3 Artículo 03** - Cambios Estructurales en el cerebro basados en Metodologías de Enseñanza Musical.



## 5. PRESENTACIÓN DE LA MEMORIA DE TRABAJO

En este capítulo presentamos los resultados, que toda tesis ha de contemplar tras el desarrollo de la investigación, su diseño, la recogida de la información y el análisis de los datos.

Está escrito en formato “artículos” para facilitar la difusión y divulgación de la investigación. La siguiente tabla nos informa del estado de tales documentos:

OBJETIVO TESIS	ARTÍCULO	REVISTA	ESTADO
Desarrollar y aplicar tareas de memoria y creatividad en educación musical con músicos en Resonancia Magnética Funcional (fMRI).	"Different role of the supplementary motor area and the insula between musicians and non-musicians in a controlled musical creativity task"	Scientific Reports. JCR Q1	Aceptado
Evaluar desde la esfera didáctica, neurocognitiva y de rendimiento, una secuencia de actividades musicales basadas en el método de educación por indagación y en el método de educación tradicional	Design of a musical teaching method by inquiry	Journal of the Learning Sciences . JCR Q1	Enviado
Comparar el método de enseñanza tradicional frente a una metodología de indagación en relación a la estructura cerebral, antes y después de la enseñanza musical	Structural changes in the brain based on musical teaching methodologies	Mind, Brain and Education. JCR Q1	Enviado

**Tabla 11.** Estado de la difusión de los resultados.

## 5.1 Artículo 01

### **Contribución diferencial del área suplementaria motora y la ínsula en tareas controladas de improvisación musical, entre músicos y no músicos.**

*"Different role of the supplementary motor area and the insula between musicians and non-musicians in a controlled musical creativity task"*

**Marcella Pereira Barbosa de Aquino\*, Juan Verdejo-Román\*\*, Miguel Pérez-García\*\*, Purificación Pérez-García\*,**

\*Facultad de Ciencias de la Educación de la Universidad de Granada, España \*\* Centro de Investigación Mente, Cerebro y Comportamiento (CIMCYC), Universidad de Granada, España

#### **Resumen**

La capacidad de componer ideas creativas musicales depende de la cooperación de mecanismos cerebrales involucrados en procesos múltiples incluyendo la cognición creativa controlada que es un tipo de creatividad poco investigada. El objetivo de esta investigación fue estudiar las activaciones provocadas por el cerebro mediante el uso de fMRI, tanto en músicos como no músicos, durante una tarea general de creatividad musical controlada y su relación con la creatividad general. Los resultados revelaron que durante una tarea de improvisación rítmica, los músicos activan más el área suplementaria motora, cíngulada anterior, corteza prefrontal dorsolateral, la ínsula; y desactivan más la red cerebral por defecto que los controles durante una tarea de creatividad musical. También se ha encontrado una correlación positiva entre el tiempo de improvisación y la activación del área suplementaria motora en los músicos, mientras que en los no músicos el tiempo de improvisación correlacionó con la activación de la ínsula. Los resultados en el grupo de músicos avalan el papel del área suplementaria motora en la representación y ejecución de la conducta musical, mientras que los resultados en no músicos ponen de manifiesto el papel de la ínsula en el procesamiento de información musical novedosa.

#### **Abstract**

The ability to compose creative musical ideas depends on the cooperation of brain mechanisms involved in multiple processes, including controlled creative cognition, which is a type of creativity that has so far been poorly researched. Therefore, the objective of this study was to examine the brain evoked activations by using fMRI, in both musicians and non-musicians, during a general task of controlled musical creativity and its relationship with general creativity. Results revealed that during a rhythmic improvisation task, musicians show greater activation of the motor supplementary area, the anterior cingulate cortex, the dorsolateral prefrontal cortex, and the insula, along with greater deactivation of the default mode network in comparison with non-musicians. For the group of musicians, we also found a positive correlation between the time improvising and the activation of the supplementary motor area, whilst in the non-musicians group improvisation time correlated with the activation of the insula. The

results found for the musicians support the notion that the supplementary motor area plays a role in the representation and execution of musical behaviour, while the results in non-musicians reveal the role of the insula in the processing of novel musical information.

---

La creatividad es una particularidad del comportamiento humano percibida como una actividad fundamental en el procesamiento de información (Bashwiner et al, 2016), pero su substrato neuronal está aún poco explorado. La literatura propone que la creatividad o cognición creativa resulta de un conjunto de procesos mentales que asocia, analiza e interpreta conocimientos adquiridos para generar o elaborar un producto o idea nueva, original y útil (Diedrich et al, 2015; Pinho et al, 2014; Stevenson et al, 2014; Weinberger et al, 2017; Loui, 2018). Para eso se requiere tener flexibilidad y persistencia cognitiva (Nijstad et al, 2010; Jung et al, 2013) y contar con la ayuda de procesos de búsqueda cognitiva o emocional (Eldaief et al., 2012) o de información significativa (Smeekens & Kane, 2016). Para que se produzca la creatividad es necesario utilizar conocimientos adquiridos (Dietrich, 2004; Ogawa et al., 2018), la memoria (Smeekens & Kane, 2016), el razonamiento normal y el lenguaje (Escobar & Gómez-González, 2006), así como un proceso cíclico de generación y evaluación de ideas (Kleinmintz et al., 2018). Además, se ha propuesto la implicación de otros procesos cognitivos (Beaty et al., 2016), entre ellos, la capacidad atencional de enfocar y desenfocar para la acción (Takeuchi et al., 2011; Smeekens & Kane, 2016); la generación de respuestas nuevas (Bengtsson et al., 2007; Nathaniel-James et al., 2002) y la inhibición de las repetitivas (Frith, 2000). La combinación de estos procesos genera dos tipos de creatividad: la que aparece de modo espontáneo e inconsciente, y la creatividad deliberada o controlada que se pone en marcha por un esfuerzo consciente, basado en conocimientos o experiencias anteriores y en la centralización de los sentimientos y/o emociones como herramienta para resolución de problemas (Pinho, 2018; Klimenko, 2017, Ritter & Mostert, 2017). Por tanto podemos

decir que la creatividad es un proceso humano complejo en el que múltiples funciones están implicadas.

Desde un punto de vista cerebral, la capacidad de componer ideas creativas depende de la cooperación de mecanismos cerebrales involucrados en los procesos neurocognitivos descritos anteriormente. Estudios realizados en personas creativas han encontrado de manera sistemática una mayor activación del giro frontal inferior, así como una mayor conectividad funcional entre esta zona y regiones de la red cerebral por defecto, así como con la corteza parietal inferior bilateral y la corteza prefrontal dorsolateral izquierda (Beaty, 2014). Por otro lado, los estudios con fMRI más recientes se han centrado en investigar la conectividad funcional como un modo de comprender lo que pasa con la interacción dinámica del sistema cerebral (ejemplo del default y del control ejecutivo; la memoria y el lenguaje) cuando el cerebro crea e improvisa (Beaty et al., 2016). En el caso de la creatividad espontánea o inconsciente, se observa la disminución de la influencia de DLPFC en el proceso creativo (Klimenko, 2017). Debido a la relación de la creatividad con el pensamiento autorreferencial, los estudios han implicado el Default Mode Network (DMN) (la área parietal medial y posterior) como participante del proceso de cognición creativa espontánea (Beaty et al, 2014, 2018, Wei et al, 2014). La corteza parietal, como el giro angular, estaría también relacionada con la creatividad espontánea (Mok, 2014). En el caso de la creatividad deliberada o controlada, la estructura cerebral principalmente activa es la corteza prefrontal (Mok, 2014, Klimenko, 2017), con especial atención a la corteza prefrontal dorsolateral (DLPFC) (Klimenko, 2017), la corteza parietal inferior anterior participante de la red de control que requiere atención dirigida externamente (Beaty et al, 2015) y la corteza cingulada anterior dorsal (dACC) (Luo et al, 2014). DLPFC y dACC son estructuras responsables por el desplazamiento del conjunto mental orientado a la búsqueda de información relevante, la combinación de elementos en las redes semánticas (Klimenko,

2017), del control inhibitorio y actualización de la memoria de trabajo, así como de la planificando la acción (Pinho, 2016; Villén, 2017). Esta red ha contribuido en el modo evaluativo del pensamiento creativo, colaborando en el proceso analítico y deliberado de la información, valorando la idea considerada como novedosa (Sowden et al, 2015).

La música es un tipo de actividad humana caracterizada por una alta creatividad. Webster (2002) definió la creatividad en la música como: "el compromiso de la mente en el proceso activo y estructurado de pensar en el sonido con el propósito de producir algún producto que sea nuevo para el creador". Por lo tanto, los dos ejemplos principales de creatividad musical son el proceso de componer música y la improvisación musical. Otros investigadores también han considerado la improvisación musical como una expresión de creatividad musical porque el elemento fundamental de la improvisación es la creación de nueva música (Gómez et al, 2015). Además, trabajos recientes en la neurociencia de la creatividad conceptualizan la improvisación musical como un proceso creativo musical en tiempo real en el cerebro (Beaty, 2015).

Cuando observamos la conducta creatividad musical en general, un conjunto regiones cerebrales prefrontales aparecen sistemáticamente activas, incluyendo el área suplementaria motora, la corteza prefrontal medial, la circunvolución frontal inferior izquierda, la corteza prefrontal dorsolateral y la corteza premotora dorsal (Beaty, 2015). Además, más recientemente se ha relacionado la creatividad musical con cambios estructurales en el cerebro, encontrándose mayores volúmenes de la corteza prefrontal dorsomedial, el giro y corteza temporal, corteza orbitofrontal y la amígdala (Bashwiner et al, 2016) asociados a mayores puntuaciones de un test de creatividad musical. Por otro lado en personas creativas se encuentra un aumento de la materia gris en el cuneus izquierdo y precuneus (Fink et al., 2014a, 2014b); y una correlación positiva entre las puntuaciones del índice de creatividad compuesto y el volumen cortical en el córtex cingulado posterior, un

área participe en la formación y regulación de emociones y procesamiento de datos relativos a la conducta, aprendizaje y memoria (Jung et al., 2010). De este modo, personas musicalmente creativas evidencian mayor activación y superficie cortical o volumen, en regiones asociativas motoras de orden cognitiva superior y procesamiento de sonidos específicos del dominio (corteza premotora dorsal, suplementaria y áreas motoras pre-suplementarias y planum temporales), en regiones relacionadas con el DMN (corteza prefrontal dorsomedial, circunvolución temporal media y polo temporal) y en regiones relacionadas con la emoción (corteza orbitofrontal, polo temporal y amígdala) (Bashwiner et al., 2016).

Considerando los tipos de creatividad descritos anteriormente, los estudios referentes a las bases cerebrales de actividad musical, también han utilizado tareas de creatividad espontánea y creatividad controlada. En el caso de creatividad espontánea, las tareas utilizadas han consistido en que los participantes tenían que improvisar sin atender a ningún modelo, solo con el auxilio de recombinaciones espontáneas e implícitas de su experiencia, de sus representaciones y rutinas establecidas (Pinho, 2016). Un ejemplo es la improvisación de los pianistas de jazz (Limb & Braun, 2008) que se ha encontrado patrón disociativo de activación de la corteza prefrontal, desactivando áreas como las orbitales dorsales y prefrontales laterales con activación focal de la corteza medial prefrontal (frontal polar); acompañados por activación de las áreas sensorio motoras neocorticales, así como la desactivación de las estructuras límbicas (Limb & Braun, 2008). También se ha estudiado la improvisación con músicos de rap (Liu et al, 2012) en los que se ha encontrado, después de improvisación espontánea, actividad disociada en las cortezas prefrontales medial y dorsolateral. También se han investigado los cambios de la representación cortical en el aprendizaje y adquisición de nuevas habilidades musicales por medio de entrenamiento desde edad temprana, y se han encontrado cambios en la red motora, incluyendo los tractos

corticoespinales (Imfeld et al, 2009), los tractos piramidales (Rüber et al, 2015), como también el cuerpo caloso (Steele et al, 2013), la cápsula interna (Bengtsson et al., 2005; Han et al., 2009) y el circuito auditivo-motor (Palomar-García et al, 2017).

En el caso de estudios de creatividad deliberada o controlada en músicos, se han utilizado diversos paradigmas como por ejemplo, improvisar a partir de una estructura rítmica (Bengtsson, 2007, Chen et al, 2008, Berkowitz & Ansari, 2010) o una estructura melódica (Bangert et al., 2006, de Manzano & Ullén, 2012); o de ambas (Berkowitz & Ansari, 2010); escuchar una melódica (Harris & de Jong, 2015; Herholz et al, 2016); realizar ajustes tonales usando teclas y un conjunto de tonos (Pinho, 2016); o realizar entrenamiento en creatividad musical en un instrumento concreto, por ejemplo, pianistas (Pinho et al, 2014; Biasutti, 2017). Los resultados de estos estudios han mostrado mayor actividad en la corteza dorsolateral e inferior frontal, la circunvolución temporal superior, la circunvolución supramarginal y las áreas motoras y premotoras suplementarias que se co-activan durante cualquier tipo de tarea, indicando las áreas involucradas en la integración auditivo-sensoriomotora (Bangert et al., 2006). En tareas deliberadas de ritmo comparando músicos y no músicos, los músicos activan la corteza prefrontal en mayor medida que los no músicos, mientras que las regiones motoras secundarias se ejercitaron en la misma medida (Chen et al, 2008). Otra investigación de improvisación melódica y pulsación de teclas pseudoaleatorias en pianistas, ha encontrado mayor actividad de las circunvoluciones frontal inferior bilateral, ínsula, corteza cingulada anterior, área motora (pre-SMA) y cerebelo bilateral (de Manzano & Ullén, 2012).

A pesar de los escasos trabajos existentes usando tareas de creatividad deliberada musical, estos trabajos presentan algunas limitaciones. En primer lugar, en la mayor parte de las investigaciones relativas a la creatividad musical con uso de tareas controladas, se ha estudiado a músicos que son intérpretes de un instrumento y estilo musical determinado,

especialmente piano y jazz. En general, se han encontrado resultados parcialmente comunes con respecto a la activación cerebral y en lo relativo al papel del lóbulo frontal y de la participación de funciones ejecutivas en el proceso creativo (Klimenko, 2017). Esto permite saber cuáles son las bases cerebrales de la creatividad musical asociado a ese instrumento o estilo, pero no las bases cerebrales de la creatividad musical deliberada en general. En nuestra opinión es extremadamente relevante añadir diversas especialidades musicales posibilitando saber cuáles son las áreas que efectivamente son participantes del proceso creativo musical deliberada. Otra importante debilidad de los estudios publicados es que no han relacionado los resultados de la neuroimagen cerebral con pruebas conductuales de creatividad, de inteligencia y de improvisación musical en músicos y no músicos. Los estudios considerando estas tres dimensiones podrían comprobar si estas áreas cerebrales están relacionadas con la creatividad musical deliberada en términos neurocognitivos.

Por todo esto, el objetivo principal del presente estudio fue investigar la actividad cerebral asociada a la improvisación musical deliberada en músicos con más de 10 años de formación musical en diversos tipos de instrumentos y en personas sin entrenamiento musical, y determinar si esas activaciones se relacionaban con su habilidad durante la improvisación musical, y con los resultados de un test de creatividad general. De acuerdo con la literatura previa (Beatty, 2015), hipotetizamos que habrá una mayor activación cerebral en los músicos en comparación con los no músicos, específicamente en la corteza prefrontal y regiones motoras así como una mayor desactivación de la unión temporoparietal. Además, hipotetizamos que las activaciones cerebrales durante la tarea se asociarán tanto con el rendimiento en la tarea de improvisación musical como con las puntuaciones en los test de creatividad en ambos grupos (Biasutti, 2017).

## **Resultados**



## Resultados de comportamiento

Los grupos no mostraron diferencias en ninguna de las subescalas de la prueba de creatividad (todas  $p > 0.3$ ). Los músicos mostraron una puntuación de CI significativamente mayor que los no-músicos ( $p = 0.003$ ) (Ver tabla 1). Los dos grupos no mostraron diferencias en la precisión al repetir las secuencias en la condición de reproducir ( $p = 0.150$ ). Los músicos improvisaron durante más tiempo ( $p = 0.026$ ) y tocaron más notas durante ese tiempo ( $p < 0.001$ ) que el grupo de no músicos. Finalmente, calculamos la distancia de edición de Levenshtein entre Repeatir y el desempeño de la improvisación para estimar el grado en que la improvisación difiere del original ritmo. Descubrimos que los músicos realizaban un ritmo que difería más del original en comparación con no músicos ( $p < 0.001$ ) (ver Tabla 2). El tiempo improvisando y el número de notas no correlacionó con ninguna de las escalas de la prueba de creatividad.

	Musicians	Non-musicians	p-value
Creativity Test			
General Creativity	133.32 (39.56)	124.86 (29.44)	0.445
Narrative Creativity	119.42 (38.22)	110.71 (29.24)	0.421
Fantasy	23.26 (9.97)	23.10 (10.03)	0.958
Narrative Fluency	53.68 (18.49)	48.76 (12.98)	0.332
Flexibility of thinking	37.63 (7.44)	36.62 (6.35)	0.645
Narrative Originality	28.63 (14.30)	25.33 (12.27)	0.437
Graphic Creativity	13.89 (4.60)	14.14 (4.68)	0.867
Graphic Originality	6.42 (3.50)	5.43 (2.86)	0.330
Elaboration of the response	1.89 (1.15)	2.29 (1.93)	0.447
Creative details	1.21 (1.03)	1.52 (0.93)	0.318
Title	4.37 (2.31)	4.90 (1.97)	0.434
K-Bit intelligence test			
Intelligence Quotient (IQ)	114.79 (4.45)	109.43 (5.90)	<b>0.003</b>

**Tabla 01:** Datos de comportamiento sobre la creatividad y las pruebas de coeficiente intelectual (medias y desviaciones estándar [SD])

	<b>Musicians</b>	<b>Non-musicians</b>	<b>p-value</b>
Repetition accuracy (%)	97.91 (3.49)	96.12 (3.94)	0.150
Time spent improvising (sec)	7.88 (2.39)	6.36 (1.60)	<b>0.026</b>
Notes played while improvising	17.47 (6.51)	10.64 (2.44)	<b>&lt;0.001</b>
Levenshtein edit distance between Repeat and Improvisation performance	8.94 (5.42)	3.89 (2.09)	<b>0.001</b>

**Tabla 02:** Rendimiento conductual durante la tarea de fMRI (medias y desviaciones estándar [SD])

## Resultados de Neuroimagen

Durante la condición de improvisar, en comparación con reproducir, ambos grupos activaron la corteza prefrontal dorsolateral derecha y el área suplementaria motora extendiéndose la activación hacia la corteza cingulada anterior dorsal. Específicamente, los músicos también activaron bilateralmente el giro frontal superior, la región opercular frontal, la corteza parietal inferior, la parte anterior de las ínsulas y el cerebelo, además de la corteza prefrontal dorsolateral y motora izquierdas (ver Tabla 03).

Durante la condición de reproducir, en comparación con improvisar, ambos grupos activaron de manera bilateral la corteza occipital, los giros parahipocampales y fusiformes y los hipocampos. Adicionalmente, el grupo de músicos, activó regiones de la línea media del cerebro como el precuneus, las cortezas prefrontal medial, cinguladas anterior, en su porción subgenual y posterior, además de bilateralmente las cortezas temporal medias y el giro angular izquierdo (Ver Tabla 04).

Cuando comparamos ambos grupos, encontramos que asociado con la condición de improvisar, los músicos muestran mayores activaciones que los no músicos en la corteza motora y el área suplementaria motora, la porción dorsal de la corteza cingulada anterior, y específicamente en el hemisferio izquierdo, la corteza dorsolateral prefrontal, el giro frontal

inferior, el opérculo frontal, la ínsula anterior, y la corteza parietal inferior (Ver Tabla 05 y figura 01).

Por el contrario los músicos, en comparación con los no-músicos, muestran una mayor desactivación durante la condición de improvisar de tres regiones del DMN, el precuneus, el giro angular y la corteza temporal media izquierdos.

	BA	Side	MNI Coordinates			Cluster Size	Cluster p-value	t-value	Voxel p-value
			X	Y	Z				
<b>Musicians</b>									
Supplementary Motor Area	6, 8	R/L	4	14	62	7879 <sup>a</sup>	<0.0001	9.28	<0.0001
Dorsal ACC	32	R/L	-4	24	42	7879 <sup>a</sup>		8.50	<0.0001
Dorsolateral Prefrontal Cortex	9, 46	L	-42	36	24	7879 <sup>a</sup>		7.67	<0.0001
Dorsolateral Prefrontal Cortex	9, 46	R	42	42	24	1006	<0.0001	6.38	<0.0001
Superior Frontal Gyrus		R	20	12	58	7879 <sup>a</sup>		6.60	<0.0001
Superior Frontal Gyrus		L	-12	10	56	7879 <sup>a</sup>		5.45	<0.0001
Frontal Operculum		L	-46	20	-2	7879 <sup>a</sup>		6.51	<0.0001
Inferior Frontal Gyrus		L	-48	10	20	7879 <sup>a</sup>		5.91	<0.0001
Anterior Insula	13	L	-32	22	6	7879 <sup>a</sup>		6.22	<0.0001
Motor Cortex	6	L	-36	2	34	7879 <sup>a</sup>		5.40	<0.0001
Inferior Parietal Cortex	40	R	46	-34	44	841	<0.0001	7.37	<0.0001
Inferior Parietal Cortex	40	L	-52	-40	48	899	<0.0001	7.00	<0.0001
Cerebellum		L	-34	-62	-28	879	<0.0001	6.41	<0.0001
Cerebellum		R	36	-52	-32	494	0.0004	6.01	<0.0001
Frontal Operculum		R	50	16	0	784 <sup>b</sup>	<0.0001	5.37	<0.0001
Inferior Frontal Gyrus		R	50	14	14	784 <sup>b</sup>		4.52	<0.0001
Anterior Insula	13	R	34	26	-2	784 <sup>b</sup>		4.66	<0.0001
<b>Non-Musicians</b>									
Supplementary Motor Area	6, 8	R/L	10	26	62	752	<0.0001	5.52	<0.0001
Dorsolateral Prefrontal Cortex	9, 46	R	28	48	32	226	0.0098	4.80	<0.0001

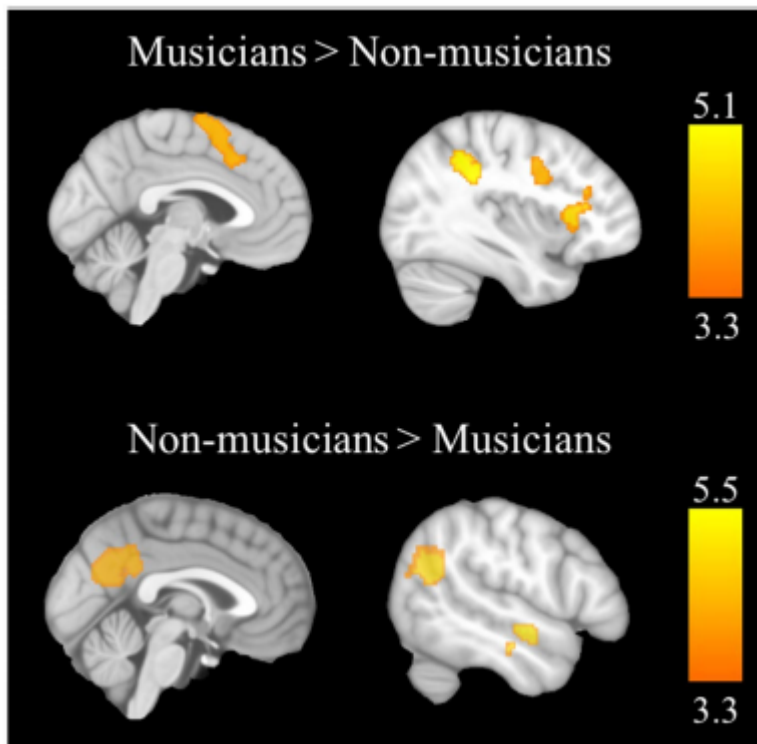
**Tabla 3.** Regiones cerebrales que muestran activaciones significativas dentro del grupo en el contraste "Improvisar> Repetir". ACC, Corteza cingulada anterior; BA, área de Brodmann; R, derecha; L, izquierda; <sup>a,b</sup> indica parte del mismo grupo. Todos los resultados sobrevivieron a la corrección de Alphasim para comparaciones múltiples.

	BA	Side	MNI Coordinates			Cluster Size	Cluster p-value	t-value	Voxel p-value
			X	Y	Z				
<b>Musicians</b>									
Precuneus	31	R/L	-6	-62	22	20569 <sup>a</sup>	<0.0001	9.58	<0.0001
Hippocampus		L	-32	-28	-12	20569 <sup>a</sup>		9.71	<0.0001
Hippocampus		R	30	-10	-20	20569 <sup>a</sup>		6.21	<0.0001
Fusiform Gyrus	37	L	-30	-36	-16	20569 <sup>a</sup>		9.28	<0.0001
Fusiform Gyrus	37	R	34	-50	-10	20569 <sup>a</sup>		6.84	<0.0001
Parahippocampal Gyrus		L	-24	-38	-10	20569 <sup>a</sup>		8.85	<0.0001
Parahippocampal Gyrus		R	36	-34	-12	20569 <sup>a</sup>		8.63	<0.0001
Occipital Cortex	19	R	44	-72	0	20569 <sup>a</sup>		9.89	<0.0001
Occipital Cortex	19	L	-42	-76	6	20569 <sup>a</sup>		7.13	<0.0001
Middle Temporal Cortex	21	L	-64	-8	-14	20569 <sup>a</sup>		8.43	<0.0001
Angular Gyrus	39	L	-42	-54	24	20569 <sup>a</sup>		7.97	<0.0001
Posterior Cingulate Cortex	31	R/L	-2	-48	34	20569 <sup>a</sup>		7.39	<0.0001
Medial Prefrontal Cortex	10, 11	R/L	6	40	-12	1577 <sup>b</sup>	<0.0001	7.04	<0.0001
Subgenual ACC		R/L	6	30	-10	1577 <sup>b</sup>		5.39	<0.0001
Middle Temporal Cortex	21	R	56	-4	-16	757	<0.0001	6.79	<0.0001
<b>Non-Musicians</b>									
Occipital Cortex	19	R	44	-76	0	3915 <sup>c</sup>	<0.0001	6.42	<0.0001
Occipital Cortex	19	L	-26	-80	16	4524 <sup>d</sup>	<0.0001	6.14	<0.0001
Parahippocampal Gyrus		R	34	-36	-12	3915 <sup>c</sup>		6.17	<0.0001
Parahippocampal Gyrus		L	-26	-40	-12	4524 <sup>d</sup>		4.40	<0.0001
Fusiform Gyrus	37	R	34	-44	-12	3915 <sup>c</sup>		6.15	<0.0001
Fusiform Gyrus	37	L	-40	-38	-14	4524 <sup>d</sup>		5.55	<0.0001
Hippocampus		R	32	-22	-12	3915 <sup>c</sup>		5.54	<0.0001
Hippocampus		L	32	26	12	4524 <sup>d</sup>		4.02	0.0001

**Tabla 4.** Regiones del cerebro que muestran activaciones significativas dentro del grupo en el contraste "Repetir> Improvisar". ACC, Corteza cingulada anterior; BA, área de Brodmann; R, derecha; L, izquierda; <sup>a</sup>, <sup>b</sup>, <sup>c</sup>, <sup>d</sup> indica parte del mismo grupo. Todos los resultados sobrevivieron a la corrección de Alphasim para comparaciones múltiples.

	BA	Side	MNI Coordinates			Cluster Size	Cluster p-value	t-value	Voxel p-value
			X	Y	Z				
<b>Musicians &gt; Non-Musicians</b>									
Supplementary Motor Area	6, 8	R/L	4	12	62	1300 <sup>a</sup>	<0.0001	5.08	<0.0001
Motor Cortex		L	-38	2	34	1300 <sup>a</sup>		4.47	<0.0001
Dorsal ACC	32	R/L	-8	22	38	1300 <sup>a</sup>		3.64	0.0004
Inferior Frontal Gyrus	44	L	-50	10	18	1300 <sup>a</sup>		4.22	<0.0001
Frontal Operculum	47	L	-48	18	0	344 <sup>b</sup>	0.0022	4.27	<0.0001
Anterior Insula	13	L	-30	22	10	344 <sup>b</sup>		4.66	<0.0001
Dorsolateral Prefrontal Cortex		L	-42	32	24	344 <sup>b</sup>		3.90	0.0002
Inferior Parietal Cortex	40	L	-52	-40	46	386	0.0013	4.76	<0.0001
<b>Non-Musicians &gt; Musicians</b>									
Precuneus/Posterior Cingulate	31	R/L	-4	-66	24	984	<0.0001	5.42	<0.0001
Middle Temporal Cortex	21	L	-64	-8	-14	297	0.0039	5.39	<0.0001
Angular Gyrus	39	L	-42	-54	24	640	<0.0001	5.13	<0.0001

**Tabla 5.** Regiones del cerebro que muestran diferencias significativas entre grupos en el contraste "Improvisar > Reproducir". ACC, corteza cingulada anterior; BA, área de Brodmann; R, derecha; L, Izq; <sup>a, b</sup> indica parte del mismo grupo. Todos Los resultados sobrevivieron a la corrección de Alphasim para comparaciones múltiples.

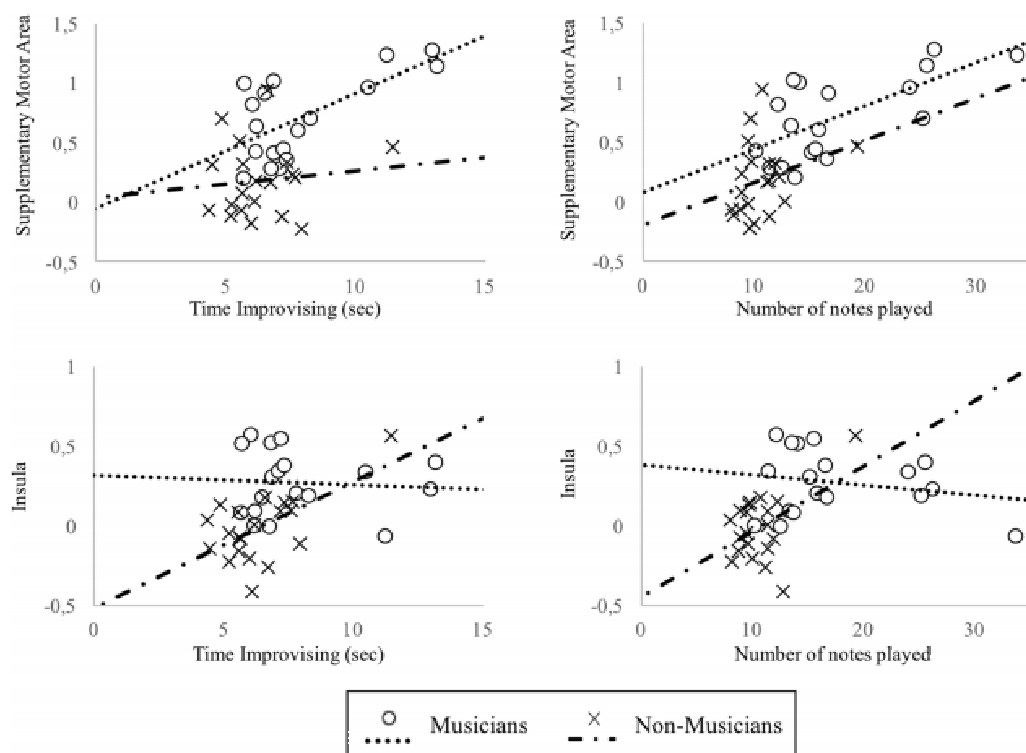


**Figura 01.** Regiones cerebrales que muestran diferencias significativas entre grupos en "Improvisar > Reproducir". Las barras de color y las agrupaciones indican valores t.

## Correlaciones

### Tarea de Neuroimagen:

En el grupo de músicos, el tiempo improvisando y el número de notas tocadas correlacionó con la actividad en la corteza suplementaria motora ( $r= 0.657$ ,  $p=0.003$  y  $r= 0.678$ ,  $p=0.002$ , respectivamente), mientras que en el grupo de no músicos esta correlación no fue significativa ( $r= 0.117$ ,  $p=0.624$  y  $r= 0.283$ ,  $p=0.227$ ). Por el contrario, en el grupo de no músicos se encontró que el tiempo improvisando y el número de notas tocadas correlacionó con la actividad en la ínsula anterior ( $r= 0.603$ ,  $p=0.005$  y  $r= 0.478$ ,  $p=0.033$ ), mientras que en el grupo de músicos no se encontraron estas asociaciones ( $r= -0.069$ ,  $p=0.787$  y  $r= -0.204$ ,  $p=0.416$ ) (Ver figura 02).



**Figura 02:** Correlaciones entre SMA y la activación de Insula y el tiempo y el número de notas tocadas durante la improvisación. Los puntos y la línea de puntos representan músicos, las cruces y las líneas punteadas representan no músicos.

### **Tarea de creatividad:**

No se encontraron correlaciones significativas entre las activaciones cerebrales y la puntuación total del test de creatividad, ni para la muestra completa ni para cada uno de los grupos.

### **Discusión**

El objetivo del presente trabajo fue investigar los mecanismos cerebrales de la creatividad musical deliberada entre músicos y no músicos, así como su relación con el pensamiento creativo y la conducta musical creativa controlada. Los resultados han confirmado nuestra hipótesis de que el grupo de músicos activan más que los no músicos diversas regiones motoras (p.ej.: el área suplementaria y la corteza motora), prefrontales izquierdas (giro frontal inferior y dorsolateral), así como la ínsula y la región parietal inferior. Complementariamente, en los músicos se encontró una mayor desactivación de la red cerebral por defecto, en línea con la desactivación esperada de la TPJ. Con respecto a las correlaciones, en el caso de los músicos, se ha encontrado una correlación entre el tiempo de improvisación y la activación del área suplementaria motora, sin embargo, en los no músicos el tiempo de improvisación se asoció con la activación de la ínsula. Contrariamente a nuestra hipótesis no se encontraron correlaciones significativas entre la activación cerebral y las puntuaciones en el test de creatividad general.

Nuestros resultados de activación cerebral en ambos grupos durante tareas de improvisación musical replican los patrones de activación encontrados en estudios previos sobre creatividad musical (Beaty, 2015), si bien esa activación es significativamente mayor en el grupo de músicos que en el de no músicos. El hecho de que se activen las áreas previamente relacionadas con la creatividad musical justifica la metodología aplicada en este artículo como efectiva, ya que la presente tarea de control deliberado activa estructuras

cerebrales comúnmente vistas en el proceso de creatividad en ambos grupos (Klimenko, 2017; Mok, 2014). La mayor parte de las regiones cerebrales involucradas en la creatividad musical también interactúan en diversos procesos, lo que indica que el pensamiento creativo se basa en redes distribuidas (De Manzano & Ullén, 2012). De este modo, las áreas activadas en el cerebro de nuestros voluntarios mientras improvisaban, la corteza prefrontal dorsolateral (Chen et al, 2014; Klimenko, 2017) y la corteza cingulada anterior dorsal (Luo et al, 2014) son las zonas típicas de actuación creativa (Bashwiner et al., 2016; Benedek et al, 2012). Éstas implican el desplazamiento mental para el planeamiento de la acción por medio de la búsqueda de información y selección de ideas novedosas de relevancia; combinación de elementos en las redes semánticas (Sowden et al., 2015, Klimenko, 2017); control inhibitorio y actualización de la memoria de trabajo (Pinho, 2016; Villén, 2017); y colaboración en el proceso analítico y deliberado de la información, valorando la idea considerada como novedosa (Sowden et al, 2015). Otras áreas más activadas en músicos y que comúnmente se han asociado con la conducta motoras y de procesamiento del sonido es la corteza motora suplementaria (Bashwiner et al., 2016), así como la corteza prefrontal dorsolateral (Beaty, 2015). En términos creativos, el área suplementaria motora también está involucrada en el proceso creativo de improvisación (De Manzano & Ullén, 2012; Loui, 2018). Además artículos han demostrado mayor activación de estas mismas áreas auditiva-sensoriomotoras en los músicos en comparación a los no músicos (Bangert et al., 2006).

Otras áreas encontradas como más activadas en músicos que en no músicos en nuestro estudio, como el giro frontal inferior izquierdo o la corteza parietal inferior también se han encontrado relacionadas con procesos creativos tanto rítmicos como melódicos (Berkowitz & Ansari, 2008). Finalmente la ínsula anterior también se observó más activada en los músicos. Esta región se relaciona junto con la corteza anterior dorsal del cíngulo con



el monitoreo y la detección de estímulos conductuales relevantes, así como en el auxilio en la dinámica de alternancia entre las redes anteriormente comentadas (Beaty et al, 2015, 2018; Jung et al., 2013; Menon, 2015; Uddin, 2015).

Con relación a la mayor desactivación de la Default Mode Network (DMN) en músicos, sabemos que la realización de una tarea cognitiva requiere de la activación de regiones dedicadas al enfoque atencional, las habilidades de razonamiento y memoria de trabajo, todas ellas direccionados hacia la tarea y a la solución del problema motivando la cognición para cumplir objetivos específicos (Liu, 2018). También es sabido que a la vez que se produce esa activación dirigida a la tarea se produce una desactivación del DMN. Por tanto tiene sentido que la mayor activación de todas las regiones comentadas anteriormente dedicadas al desempeño de la tarea, vaya acompañado de una mayor desactivación del DMN en este caso en el grupo de músicos.

En la comparación entre grupos, observamos que no existen diferencias conductuales significativas en cuanto al rendimiento en la condición de reproducción musical. Sin embargo, sí se manifestó diferenciación al improvisar mostrando los músicos mayor tiempo improvisando y mayor número de notas tocadas, lo cual era de esperar por su mayor bagaje en el campo de la música. Sin embargo para nuestra sorpresa, en el caso de los músicos se ha encontrado una correlación entre el tiempo de improvisación y la activación del área suplementaria motora; en cambio, en los no músicos, el tiempo de improvisación correlaciona con la activación en la ínsula. Según la literatura, la zona insular se relaciona con la unificación de la información multisensorial (He et al, 2018; Uddin et al, 2014), integrando y manteniendo el equilibrio de la información interna y externa (He et al, 2018) y, además, coordina redes cerebrales implicadas en los procesos afectivos y de orden ejecutiva (Uddin et al, 2014), así como en el rendimiento musical (Zamorano et al, 2017). Esta zona está relacionada con la atención externa orientada, la

cognición auto relacionada (Uddin et al, 2014), con la conciencia interoceptiva (Chong et al, 2017) y con la activación de la información sensorial motriz (Kleber et al, 2013). Además, la ínsula tiene un papel imprescindible en el procesamiento emocional, implicado en el pensamiento creativo, facilitando la notación para la red Ejecutiva y DMN de elementos contrafactuales emocionalmente prometedores en el ambiente y de asociaciones en la mente (Cauda et al, 2011). La ínsula anterior por ser central en la red de relevancia se torna importante cuando cambiamos un modo de pensar convencional a una nueva ruta (Heinonen et al, 2016).

Por el contrario la activación del área motora suplementaria, correlacionó en los músicos con el tiempo de improvisación. Este área es activada en tareas que requieren programación y ejecución motora (Tanaka & Kirino, 2017), participando del control cognitivo (Sachs et al, 2017), de la planificación de movimientos motores complejos, como también durante la escucha y el rendimiento musical (Tanaka & Kirino, 2017). Sin embargo, también es sensorio motora en representación (Tanaka & Kirino, 2017) y en el procesamiento de secuencias en varios dominios cognitivos, como secuencias de acción, procesamiento del tiempo, procesamiento espacial, cognición numérica, percepción del lenguaje y música y producción (Cona & Semenza, 2017; Hertrich et al., 2016). Puesto que desempeña un papel crucial en los procesos de secuencia de dominio general, contribuyendo a la integración de elementos secuenciales en representaciones de orden superior, independientemente de la naturaleza de dichos elementos, y por ser esencial al rendimiento musical, es compatible con estudios previos que sugieren que esta región es central en el procesamiento musical (Cona & Semenza, 2017). De este modo inferimos que el grupo musical, al asumir un bagaje teórico/práctico de la música y su consecuente facilidad sobre la temática, el área motora suplementaria construye la representación interna del rendimiento y procesamiento musical, integrando la información multimodal requerida

para su desempeño (Tanaka & Kirino, 2017), planeando con propiedad los movimientos motores complejos solicitados. Sin embargo, el grupo no musical, por no tener dicha experiencia guía su comportamiento de improvisación a través de la ínsula, favoreciendo la composición de información multisensorial en el rendimiento musical. De este modo, al integrar los datos sensoriales de la información adquirida (la tarea) percibida como novedosa y relevante desde su perspectiva, la red de relevancia y la ínsula son accionadas estimulando la conducta improvisacional en los no músicos. Además, nuestros resultados sugieren que los no músicos, por no contar con experiencia cognitiva musical, se implica el proceso emocional a fin de que se construya un pensamiento creativo ante la tarea, cambiando el modo de resolución de problema habitual por un nuevo modo de pensar.

Otro dato de relevancia fue la ausencia de correlaciones entre la puntuación de creatividad general PIC-A y tanto la actividad cerebral, como el desempeño en la tarea de resonancia magnética. La ausencia de resultados significativos parece mostrar que la creatividad musical tanto desde un punto de vista cerebral como conductual es específico del ámbito musical, no teniendo relación con las capacidades de creatividad en otros dominios más generales. Futuras investigaciones deben explorar si la capacidad de creatividad musical se puede asociar con otros campos creativos más específicos.

Este estudio cuenta con varias fortalezas. En primer lugar, la metodología empleada desde el punto de vista de la neuroimagen es robusta, con una tarea previamente validada y donde se han utilizado umbrales estadísticos corregidos por comparaciones múltiples. Por otro lado la muestra de músicos cuenta con un amplio bagaje de formación y experiencia musical, permitiendo el estudio de una población experta en una tarea específicamente diseñada para medir la creatividad musical. Además se trata del primer estudio que explora la relación entre la creatividad asociada a un campo específico como es la música y la creatividad general utilizando un instrumento ampliamente utilizado como es el PIC-A. Por

último la presencia de músicos con diversas especialidades y el uso de una tarea rítmica permite una generalización de los resultados que no es posible en estudios previos donde todos los participantes eran de una misma especialidad y realizaban una tarea propia de ese instrumento.

Sin embargo también existen una serie de limitaciones que deben ser tenidas en cuenta. En primer lugar los grupos de estudio son suficientemente grandes pero aún limitados en número. Estudios futuros deberán replicar estos resultados con muestras mayores. Además, existían diferencias en el cociente intelectual entre los dos grupos, si bien se ha tenido en cuenta controlando su efecto en todos los análisis estadísticos introduciéndose como covariable.

En resumen, nuestro estudio ha mostrado que los músicos, en comparación con los no músicos, activan diversas regiones motoras, prefrontales izquierdas, así como la ínsula y la región parietal inferior pero al mismo tiempo desactivan las áreas del DMN. Además, las áreas cerebrales relacionadas con el tiempo de improvisación musical eran diferentes según la experiencia musical. En el caso de los músicos, se ha encontrado una correlación entre el tiempo de improvisación y la activación del área suplementaria motora. Sin embargo, en los no músicos el tiempo de improvisación se asoció con la activación de la ínsula. Futuros estudios deberían replicar estos hallazgos en muestras más amplias con más variedad de instrumentos y deberían profundizar en la relación entre las áreas cerebrales encontradas y los distintos parámetros de la conducta musical.

## **Método**

### **Participantes**

El tamaño de la muestra se estimó en base a un estudio reciente sobre las diferencias cerebrales entre músicos y no músicos, que informó una Cohen d de 2 (Zamorano et al,

2017) . Por lo tanto, para obtener un poder estadístico de 0.8, con un nivel alfa = 0.05, la muestra mínima requerida fue de 13 participantes por grupo, de acuerdo con las recomendaciones de Zandbelt (2008) para análisis basados en vóxel. Incluimos un 50% adicional de participantes para evitar los posibles efectos de la deserción.

Nuestra muestra de participantes estaba compuesta por 21 músicos (11 mujeres y 10 hombres) con al menos 10 años de experiencia musical (ver Tabla 6) y 21 no músicos (5 hombres y 16 mujeres) con edades comprendidas entre 17 y 26 años. El criterio de inclusión para el grupo de músicos era tener más de 10 años de entrenamiento formal en música (media = 14.19 años, DE = 2.58), mientras que los participantes en el grupo control debían no tener experiencia en entrenamiento musical más allá de los estudios obligatorios en colegio. Los criterios de exclusión fueron la presencia de cualquier tipo de problema acústico o médico grave, haber sufrido lesiones en la cabeza con pérdida de conciencia durante más de 30 minutos, o el consumo de drogas, todo registrado mediante una entrevista personal. Además, los participantes no deben haber sufrido daños ni disfunciones psicopatológicas, según se midió con la Lista de comprobación de síntomas-90-R. Cualquier problema de incompatibilidad con la sesión de resonancia magnética (p. Ej., Embarazo, claustrofobia, o la presencia de implantes ferromagnéticos) también se consideraron criterios de exclusión. Todos los participantes tenían capacidad auditiva normal y visión normal o corregida.

Dos participantes del grupo de músicos fueron excluidos debido al movimiento excesivo ( $> 2$  mm) durante el procedimiento fMRI (explicado en la sección titulada 'adquisición y preprocesamiento de datos de imágenes'). Por lo tanto, la muestra final consistió en un grupo de 19 músicos con una edad promedio de 20.26 años (DE = 2.05), 10 de los cuales eran mujeres (52.6%) y 9 hombres (47.4%), así como un grupo de 21 no músicos con una edad media de 20,19 años (DE = 2,36), de los cuales 16 eran mujeres

(76,2%) y 5 (23,8%) hombres (ver Tabla 6). Los grupos no difirieron significativamente en términos de sexo ( $p = 0.119$ ), edad ( $p = 0.918$ ) o nivel de educación ( $p = 0.199$ ).

Musicians				Non-musicians		
Code	Sex	Age	Musical specialty	Code	Sex	Age
M01	Male	21	Guitar	NM01	Male	18
M03	Male	24	Tuba	NM02	Female	22
M04	Female	21	Clarinet	NM03	Female	23
M05	Male	23	Piano & guitar	NM04	Female	20
M06	Male	19	Piano	NM05	Male	18
M07	Female	19	Guitar	NM06	Female	18
M08	Male	20	Guitar	NM07	Female	19
M09	Female	18	Singing	NM08	Female	21
M10	Female	19	Piano	NM09	Female	22
M11	Male	22	Clarinet	NM10	Female	26
M12	Male	19	Piano	NM11	Female	19
M14	Female	20	Bassoon	NM12	Female	18
M15	Male	18	Guitar	NM13	Female	20
M16	Female	18	Piano	NM14	Male	24
M17	Female	17	Piano	NM15	Male	18
M18	Female	20	Guitar	NM16	Female	21
M19	Female	21	Clarinet	NM17	Male	19
M20	Female	22	Piano & Singing	NM18	Female	18
M21	Male	24	Guitar	NM19	Female	18
				NM20	Female	19
				NM21	Female	23

**Tabla 6.** Datos demográficos y especialidad musical de los participantes.

El proceso de reclutamiento se realizó al azar en la Universidad de Granada. Este estudio fue aprobado por el comité de ética para la investigación en humanos de la Universidad de Granada y se realizó de acuerdo con la declaración de Helsinki. Todos los participantes fueron debidamente informados de la investigación y dieron su consentimiento informado firmado, confirmando su participación voluntaria en el estudio.

## **Procedimiento**

La investigación se llevó a cabo en dos sesiones de una hora. Primero, evaluamos el desempeño de los participantes en pruebas neurocognitivas de creatividad e inteligencia. Posteriormente, la tarea de la creatividad musical se llevó a cabo dentro de un escáner de resonancia magnética. Ambas sesiones tuvieron lugar en el Centro de Investigación de Mente, Cerebro y Comportamiento (CIMCYC) de la Universidad de Granada.

## **Instrumentos**

El rendimiento de los sujetos en pruebas neurocognitivas de imaginación y creatividad fue analizado utilizando el PIC-A (González et. al, 2012) y el Test Breve de Inteligencia de Kaufman K-BIT (Kaufman & Kaufman, 2004).

### **Prueba de imaginación creativa (PIC-A)**

La prueba de creatividad utilizada en esta investigación fue la Prueba de imaginación y creatividad (PIC-A) que mide la creatividad mediante el uso de la imaginación. El PIC-A considera varias variables que han demostrado ser relevantes para el estudio de la creatividad: fantasía, fluidez de ideas, flexibilidad de pensamiento, originalidad de las respuestas, elaboración de las respuestas, uso de detalles creativos como color, sombra y expansividad y título. Consiste en cuatro pruebas, las tres primeras evalúan la creatividad verbal o narrativa y la última evalúa la creatividad gráfica.

La primera prueba consiste en observar un dibujo, y luego imaginar y escribir todo lo que podría estar sucediendo en esa escena. Esto permite activar los procesos de imaginación y fantasía y explorar la capacidad de formular hipótesis y pensar en términos

de lo que es posible. La segunda prueba es una adaptación de la Prueba de Guilford "Usos de un ladrillo". Consiste en hacer una lista de todas las cosas para las que un determinado objeto podría ser útil. Esta parte evalúa la capacidad de "redefinir" los problemas: es decir, la capacidad de encontrar usos, funciones y aplicaciones diferentes de las habituales, acelerar la mente y ofrecer nuevas interpretaciones o significados a objetos familiares para darles un nuevo uso. o significado. La tercera prueba presenta una situación improbable a los participantes, después de lo cual se les exige que digan lo que piensan que sucedería si fuera cierto (por ejemplo, "Imagine lo que sucedería si nunca dejáramos de crecer"). Evalúa la capacidad de fantasear y la capacidad de manejar ideas no convencionales que el participante probablemente no se atrevería a expresar en situaciones más serias, así como evaluar la apertura y la receptividad ante situaciones novedosas. Finalmente, la cuarta prueba de imaginación gráfica está inspirada en elementos de la prueba Torrance. Consiste en completar dibujos de algunos trazos dados y dar a cada uno un título de una manera creativa. Esta prueba discrimina a los sujetos que tienen pocas ideas pero que trabajan mucho, con gran imaginación, de aquellos sujetos que tienen ideas muy originales pero tienen dificultades para elaborarlas. Evalúa la capacidad de fantasear y la capacidad de manejar ideas no convencionales que el participante probablemente no se atrevería a expresar en situaciones más serias, así como evaluar la apertura y la receptividad ante situaciones novedosas. Finalmente, la cuarta prueba de imaginación gráfica está inspirada en elementos de la prueba Torrance. Consiste en completar dibujos de algunos trazos dados y dar a cada uno un título de una manera creativa. Esta prueba discrimina a los sujetos que tienen pocas ideas pero que trabajan mucho, con gran imaginación, de aquellos sujetos que tienen ideas muy originales pero tienen dificultades para elaborarlas. Evalúa la capacidad de fantasear y la capacidad de manejar ideas no convencionales que el participante probablemente no se atrevería a expresar en situaciones más serias, así como evaluar la



apertura y la receptividad ante situaciones novedosas. Finalmente, la cuarta prueba de imaginación gráfica está inspirada en elementos de la prueba Torrance. Consiste en completar dibujos de algunos trazos dados y dar a cada uno un título de una manera creativa. Esta prueba discrimina a los sujetos que tienen pocas ideas pero que trabajan mucho, con gran imaginación, de aquellos sujetos que tienen ideas muy originales pero tienen dificultades para elaborarlas. Así como evaluar la apertura y receptividad ante situaciones novedosas. Finalmente, la cuarta prueba de imaginación gráfica está inspirada en elementos de la prueba Torrance. Consiste en completar dibujos de algunos trazos dados y dar a cada uno un título de una manera creativa. Esta prueba discrimina a los sujetos que tienen pocas ideas pero que trabajan mucho, con gran imaginación, de aquellos sujetos que tienen ideas muy originales pero tienen dificultades para elaborarlas. así como evaluar la apertura y receptividad ante situaciones novedosas. Finalmente, la cuarta prueba de imaginación gráfica está inspirada en elementos de la prueba Torrance. Consiste en completar dibujos de algunos trazos dados y dar a cada uno un título de una manera creativa. Esta prueba discrimina a los sujetos que tienen pocas ideas pero que trabajan mucho, con gran imaginación, de aquellos sujetos que tienen ideas muy originales pero tienen dificultades para elaborarlas.

El sistema de puntuación es relativamente fácil y está bien explicado en el manual. Las calificaciones de fantasía, flexibilidad de pensamiento, fluidez narrativa y originalidad narrativa se obtuvieron de las tres primeras pruebas, junto con una puntuación global de creatividad narrativa. De la cuarta prueba obtuvimos las calificaciones de Originalidad gráfica, Elaboración de las respuestas, Detalles creativos, Título y una puntuación global de creatividad gráfica. Al final, se calculó una puntuación final de Creatividad general como la suma de las clasificaciones globales narrativas y gráficas. La evaluación psicométrica del

PIC-A mostró consistencia interna con un Alfa de Cronbach de 0.85, mientras que la validez de constructo estaba de acuerdo con la teoría (Artola et al., 2012).

### **La prueba de inteligencia de Kaufman (K-BIT)**

La Prueba de inteligencia breve de Kaufman (K-BIT) se utilizó para evaluar la inteligencia de los participantes. El K-BIT mide las funciones cognitivas a través de dos pruebas: verbal (vocabulario, compuesto de dos pruebas) y no verbal (matriz), que evalúa la inteligencia cristalizada y fluida, y obtiene un cociente de inteligencia compuesto (IQ). Esta prueba podría usarse en personas de 4 a 90 años.

La prueba verbal evalúa el conocimiento de las palabras y la formación de conceptos verbales, mientras que la parte no verbal mide la inteligencia fluida y la capacidad de los participantes para resolver nuevos problemas percibiendo relaciones y completando analogías. Los puntajes brutos de cada prueba se convirtieron en puntajes típicos con una media de 100 y una desviación estándar de 15. La versión en español del K-BIT presentó un coeficiente de confiabilidad test-retest resultante de las correlaciones encontradas para vocabulario (0.94) y para matrices (0,86), mientras que la consistencia interna para el puntaje compuesto se evidenció por un valor de 0,90 (Kaufman & Kaufman, 2004).

### **Tarea fMRI**

Para evaluar la respuesta cerebral asociada con la creatividad musical, se utilizó una tarea de improvisación musical durante una sesión de resonancia magnética funcional. Utilizamos una versión modificada de la tarea de creatividad musical desarrollada por Bengtsson et al (2007). En ese estudio examinaron los sustratos neurales de la

improvisación en pianistas, por lo que instruyeron a sus participantes a realizar y memorizar una improvisación (condición experimental) y repetirla después (condición de control). Por el contrario, dado que estábamos interesados en comparar los procesos de improvisación en músicos y no músicos, esa tarea sería difícil para las personas no capacitadas para tocar música, y probablemente no podrían memorizar y repetir la improvisación. En consecuencia, cambiamos las condiciones del experimento y, en cambio, se les pidió a nuestros participantes que repitieran un ritmo (condición de control) y luego realizaran una improvisación (condición experimental). Se les pidió a los participantes que se acostaran en el escáner y se les indicó que presionen con los dedos un sistema Evoke Response Pad (Resonance Technology Inc., Northridge, California) de la misma manera que presionan la tecla de un piano o golpean un tambor.

Todos los participantes completaron tres condiciones durante la tarea: improvisar, repetir y descansar. Inicialmente, se les solicitó el nombre de la condición durante los primeros dos segundos de cada prueba. Para la condición de reposo, la pantalla se oscureció durante los siguientes 21 segundos y se indicó a los participantes que permanecieran quietos y se relajaran. Para las otras condiciones, apareció una puntuación de ritmo en la pantalla durante 7 segundos. El puntaje se incluyó dentro de un marco rojo rectangular y los participantes escucharon el ritmo a través de tapones auditivos compatibles con resonancia magnética. Luego desapareció el marco y durante los 14 segundos restantes se les pidió que siguieran las instrucciones mostradas anteriormente. Durante la condición de improvisación, la instrucción era tocar un nuevo ritmo empleando cualquier tipo de modificación de la puntuación del ritmo presentado.

Se utilizaron un total de 8 puntuaciones de ritmo (Fig. 3) en el experimento. Fueron escritos para el presente estudio. El orden de las condiciones fue fijo y siempre realizaron la condición de improvisación antes de la condición de repetición para favorecer la

improvisación cuando escucharon el ritmo solo una vez. El tiempo total necesario para completar la tarea fue de 9 minutos y 12 segundos. Se registró el tiempo total y el número de teclas que se tocaron durante la condición de improvisación. También registramos el tiempo y el número de teclas tocadas durante la condición de repetición para determinar con qué precisión repitieron los ritmos. Finalmente, la distancia de edición de Levenshtein entre la repetición y el rendimiento de la improvisación se calculó para estimar en qué medida la improvisación difería del ritmo original.

RHYTHM SCORES	
Rhythm 1	
Rhythm 2	
Rhythm 3	
Rhythm 4	
Rhythm 5	
Rhythm 6	
Rhythm 7	
Rhythm 8	
Rhythm Demo 1	
Rhythm Demo 2	

**Figura 03:** Puntuaciones de los ritmos utilizados en la tarea fMRI.

La tarea se administró utilizando el Presentation software (versión 1.8; <http://neurobs.com>) y se mostró en una pantalla compatible con resonancia a través de un sistema de espejo invertido. Antes de la sesión de resonancia magnética, todos los participantes fueron entrenados en la tarea. Para asegurarse de que entendieron la tarea y

podieron realizarla, los investigadores explicaron cuidadosamente a los participantes que la improvisación significa cualquier cambio en el ritmo que acaban de escuchar, por ejemplo, cambiar una posición de una pausa o cambiar la velocidad de los latidos. Completaron cada condición dos veces usando ritmos diferentes a los escuchados dentro del escáner, durante el cual los investigadores comprobaron que realmente realizaron la improvisación.

### **Adquisición y preprocesamiento de datos de imágenes.**

Se obtuvieron imágenes de resonancia magnética en un escáner 3 Tesla Magnetom Tim Trio (Siemens Medical Solutions, Erlangen, Alemania) equipado con una bobina de cabezal de recepción de 32 canales. Durante la ejecución de la tarea, se adquirió una secuencia de imagen de eco-plano ponderado T2 \* (EPI) con los siguientes parámetros: Tiempo de repetición (TR): 2000 ms; tiempo de eco (TE): 25 ms; ángulo de giro: 80 °; campo de visión (FOV): 238 mm; número de rodajas: 35; tamaño de vóxel: 3.5 × 3.5 × 3.5 mm; brecha: 0.7 mm; cantidad de volúmenes: 276. Las imágenes fueron recolectadas axialmente y paralelas al plano AC-PC. En la misma sesión, también se obtuvo una imagen sagital tridimensional ponderada en T1 para referencia anatómica y para descartar anomalías anatómicas graves. Los parámetros fueron los siguientes: TR: 2300 ms; TE: 3,1 ms; ángulo de giro: 9 °; FOV: 256 mm; número de rodajas: 208; tamaño de vóxel: 0.8 × 0.8 × 0.8 mm.

Las imágenes funcionales se preprocesaron utilizando el software de mapeo estadístico paramétrico (SPM12) (Wellcome Department of Cognitive Neurology, Institute of Neurology, Queen Square, London) que se ejecuta bajo Matlab R2017 (MathWorks, Natick, MA, EUA). El preprocesamiento incluyó volver a cortar la primera imagen de la serie de tiempo, deformación, corrección con la imagen estructural de cada participante, normalización a una plantilla EPI en el espacio del Instituto Neurobiológico de Montreal

(MNI) y suavizado espacial por convolución con un núcleo Gaussiano 3D [ancho completo a la mitad máximo (FWHM) = 8 mm]. Los datos de dos músicos (M02 y M13) se descartaron debido al movimiento excesivo ( $> 2$  mm) durante la tarea de fMRI.

## **Análisis estadístico**

### **Análisis de comportamiento**

Los datos de comportamiento se analizaron con el Paquete Estadístico para las Ciencias Sociales versión 20 (SPSS; Chicago, IL). Realizamos pruebas t de muestra independientes (dos colas) para comparar grupos en variables demográficas, creativas, IQ y relacionadas con tareas de fMRI. Todos los datos de comportamiento siguieron una distribución normal según lo evaluado con las pruebas de Kolmogorov-Smirnov (todas  $p > 0.05$ ).

### **Análisis de neuroimagen**

Se modelaron tres regresores de tareas (Improvisar, Repetir y Descansar) durante los 14 segundos que los participantes tuvieron que seguir las instrucciones y se involucraron con la función de respuesta hemodinámica canónica SPM12. Para evitar artefactos de movimiento, se ingresaron seis parámetros de movimiento de la cabeza como regresores sin interés en todos los análisis de primer nivel. De acuerdo con los objetivos del estudio, definimos dos contrastes de interés (i) Improvisar  $>$  Repetir y (ii) Repetir  $>$  Improvisar. Los datos se filtraron en paso alto para eliminar el ruido de baja frecuencia (1/128 Hz) y se corrigieron para la autocorrelación temporal utilizando un modelo AR autorregresivo.

Se realizaron pruebas t de una muestra en las imágenes de contraste de primer nivel resultantes para evaluar las activaciones entre grupos en cada contraste. Luego, realizamos una prueba t de dos muestras para evaluar las diferencias entre grupos utilizando las

mismas imágenes de contraste de primer nivel. Para excluir posibles confusiones vinculadas al coeficiente intelectual, esta variable se incluyó como una covariable en todos los análisis. Para centrarnos en los sustratos cerebrales de la creatividad musical, también incluimos los puntajes generales de creatividad como una covariable en todos los análisis. Ambas covariables fueron ortogonalizadas antes de ser incluidas en los modelos.

El umbral de significación estadística se corrigió para comparaciones múltiples usando una combinación de intensidad de vóxel y umbrales de extensión de grupo. El umbral de extensión espacial se determinó mediante 1,000 simulaciones de Monte Carlo, utilizando el algoritmo AlphaSim implementado en la caja de herramientas REST SPM. Los parámetros de entrada incluyeron una máscara cerebral de 176 588 vóxeles, una probabilidad de umbral de vóxel individual de 0.001 y un radio de conexión de conglomerado de 5 mm, considerando la suavidad real de los datos después de la estimación del modelo. Se estimó un umbral de extensión de racimo de 201 vóxeles.

Para examinar la asociación entre las activaciones cerebrales y el desempeño de tareas en músicos y no músicos, realizamos análisis de correlación de Pearson en SPSS. Los valores propios beta de cada pico de diferencias significativas entre grupos en los contrastes Improvisar > Repetir se extrajeron usando una esfera de 5 mm y se correlacionaron con las medidas de la tarea de comportamiento (es decir, el número total de teclas jugadas y el tiempo total de improvisación) y la puntuación total de La prueba de creatividad. Para explorar si estas relaciones son específicas de cada grupo, realizamos estos análisis dentro de cada grupo.

*Agradecemos a Facultad de Ciencias de la Educación de la Universidad de Granada, al Centro de Investigación Mente, Cerebro y Comportamiento (CIMCYC) (Universidad de Granada), y Centro Universitario de João Pessoa – UNIPÊ por darnos apoyo a esta investigación científica.*

## **Diseño de un método de enseñanza musical a través de la investigación**

*Design of a musical teaching method by inquiry*

Marcella Pereira Barbosa de Aquino\*, Purificación Pérez-García\*, Miguel Pérez-García\*\*, Juan Verdejo-Román\*\*\*

\*Facultad de Ciencias de la Educación de la Universidad de Granada, España\*\* Facultad de Psicología de la Universidad de Granada, España \*\*\* Facultad de Psicología. Universidad Complutense de Madrid., España

### **Resumen**

Percibimos la necesidad de evaluar una propuesta educativa basada en la metodología por indagación para la enseñanza de la música. Observando aspectos didácticos y curriculares, neurocognitivos y de rendimiento académico. Para ello diseñamos y aplicamos dicha propuesta. Este estudio tiene como objetivo evaluar una secuencia de actividades musicales basadas en el método de educación por indagación y en el método de educación tradicional comparando sus respuestas a nivel didáctico-curricular, neurocognitivo y de rendimiento académico. El diseño de la investigación se concretó en: 1) aplicar pruebas pre-post neurocognitivas de aprendizaje (creatividad y memoria de trabajo para cada grupo); 2) pasar pruebas pre-post de rendimiento musical académico; 3) diseñar una secuencia de actividades con contenido musical, siguiendo los preceptos de las metodologías de enseñanza tradicional y por indagación, como también la base referencial teórica de la taxonomía de Bloom; 4) someter a juicio de expertos dicha secuencia antes de su aplicación; 5) poner en práctica estas metodologías en 02 grupos de adultos universitarios (A - adscritos al método de educación por indagación y B - en educación tradicional) a lo largo de 04 meses (dos veces por semana, jueves y viernes, con una duración de 1 hora, que se daba al final de su jornada lectiva, a última hora de 12:30 a 13:30 y de 13:30 a 14:30).

Para el experimento, se buscó la homogeneidad en ambos grupos quienes estaban a cargo del mismo profesor, recibían clases en la misma aula y estudiaban el mismo currículum (todo el contenido necesario para aprender a tocar la guitarra). Participaron en este estudio 42 estudiantes universitarios sin experiencia música; y para la validación del método de enseñanza por indagación fueron invitados 34 expertos que eran profesores de conservatorio Profesional y Superior, de Enseñanza Secundaria y profesores de universidad, del área de Didáctica de la Expresión Musical.

Para evaluar la secuencia de actividades musicales basadas en los métodos de enseñanza comparando sus respuestas a nivel didáctico-curricular, según el criterio de jueces expertos, recurrimos a la Chi-cuadrado de Pearson. Para comprobar el efecto del rendimiento académico, correlacionamos las puntuaciones con la metodología a la que pertenecían; y analizamos si había diferencias significativas en relación a los test neurocognitivos (memoria y creatividad) en relación a la metodología empleada.

Según se desprende de los resultados, podemos concluir que la secuencia metodológica didáctica y curricular, por indagación como tradicional, para la enseñanza de contenidos musicales, se ubican dentro de las expectativas planteadas según sus referentes teóricos. Es decir, las actividades encuadradas en la



metodología tradicional responden a parámetros de recuerdo y comprensión; y las pensadas como estimuladoras de la indagación, también son acordes a la filosofía de esta metodología, promoviendo la aplicación, el análisis, la evaluación y la creatividad. Desde la perspectiva neurocognitiva, el uso de una u otra secuencia de enseñanza no estimula más o menos la creatividad o la memoria. Y según el rendimiento, correlaciona con la asistencia en la metodología por indagación.

## Abstract

We perceive the need to evaluate an educational proposal based on inquiry-based methodology for teaching music. Observing didactic and curricular aspects, neurocognitive and academic performance. The objective of this study is to evaluate a sequence of musical activities based on the method of education by inquiry and on the method of traditional education by comparing their responses at the didactic-curricular, neurocognitive and academic performance levels. The design of the research was concretized in: 1) to apply pre-post neurocognitive learning tests (creativity and working memory for each group); 2) to pass pre-post tests of academic musical performance; 3) to design a sequence of activities with musical content, following the precepts of traditional teaching methodologies and by inquiry, as well as the theoretical referential base of Bloom's taxonomy; 4) to submit this sequence to expert judgement before its application; 5) to put into practice these methodologies in 02 groups of university adults (A - assigned to the education method by inquiry and B - in traditional education) throughout 04 months (twice a week, Thursday and Friday, with a duration of 1 hour, which was given at the end of their teaching day, at the last hour of 12:30 to 13:30 and 13:30 to 14:30).

For the experiment, homogeneity was sought in both groups who were in charge of the same teacher, received classes in the same classroom and studied the same curriculum (all the necessary content to learn to play the guitar). Forty-two university students without music experience participated in this study; and for the validation of the method of teaching by inquiry 34 experts were invited who were professors of Professional and Superior Conservatory, of Secondary Education and university professors, of the area of Didactics of Musical Expression.

To evaluate the sequence of musical activities based on teaching methods by comparing their didactic-curricular responses, according to the criteria of expert judges, we resorted to Pearson's Chi-square. To check the effect of academic performance, we correlated the scores with the methodology to which they belonged; and we analyzed if there were significant differences in relation to the neurocognitive tests (memory and creativity) in relation to the methodology used.

According to the results, we can conclude that the didactic and curricular methodological sequence, by inquiry as traditional, for the teaching of musical contents, are located within the expectations raised according to their theoretical referents. That is to say, the activities framed in the traditional methodology respond to parameters of remembrance and comprehension; and those thought to stimulate inquiry are also in accordance with the philosophy of this methodology, promoting application, analysis, evaluation and creativity. From the neurocognitive perspective, the use of one or another teaching sequence does not more or less stimulate creativity or memory. And according to performance, it correlates with assistance in methodology by inquiry.

En nuestra literatura emergente se ha demostrado la inquietud en cuanto a la búsqueda de métodos de enseñanza y aprendizaje y la necesidad de construir nuestro propio conocimiento (Luquet, 2015; Biasutti, 2017). Por ejemplo, los estándares del currículum de ciencias evidencian la necesidad de que los estudiantes asimilen tanto el conocimiento propio de las ciencias como las habilidades asociativas en la construcción de este conocimiento (Stender et al, 2018). Incorporar nuevas metodologías frente a modelos tradicionales refleja el entendimiento de que los docentes pasan a ser concedores del medio haciendo que el alumno sea el agente de su proceso de aprendizaje, desarrollando nuevas habilidades como buscar, evaluar, organizar, seleccionar y utilizar (Puerto, 2018). Bajo esta premisa, intentamos profundizar en la temática, elaborando una propuesta de evaluación de un método de enseñanza musical por indagación frente a un método tradicional.

Comúnmente conocido como aprendizaje por investigación, Inquiry-Based Learning (IBL) o Inquiry-Based Science Education (IBSE) (Romero-Ariza, 2017), es un método con características construccionistas de enseñanza (Savery, 2006), que se define como un proceso de construcción de modelos conceptuales y de significación posibilitando que el discente cuestione, investigue, comprenda y construya nuevos conocimientos, compartiendo su aprendizaje con otros, aplicando el conocimiento de forma productiva a situaciones no familiares (Romero-Ariza, 2017). Presenta como particularidad, lograr la interiorización del conocimiento que está orientado por el planteamiento de la búsqueda de respuestas a situaciones problemas previamente formuladas (Bevins & Price, 2016; Cañal, 2006; Gil, 1993); mediante aprendizaje colaborativo centrado en el alumno, involucrándose activamente en la construcción del conocimiento con el método hipotético-deductivo (Hmelo-Silver et al., 2007; Kaiser et al, 2018).

Las diferencias metodológicas de enseñanza indagativa frente a tradicional estriban en la conducta del alumno y profesor frente al aprendizaje. En el modelo tradicional, el maestro es “propietario” del conocimiento (Barros & Calero, 2018); es quien planifica la enseñanza buscando la construcción de contenidos, motivando al alumno a través de preguntas que promuevan conceptos y metodologías (Dibarboure & Rodríguez, 2013). Repasa la información sin trabajar con la capacidad intrínseca o particular del conocimiento previo, suscitando el memorismo; favorece la repetición de lo que le han enseñado sin acercarse a cuestionar la temática propuesta; la pasividad y el academicismo teórico son propios (Agencia de la calidad de la educación del Chile, 2016; Slater et al, 2014, López, 2015, Krüger & Ensslin, 2013). El alumno es receptor del contenido del que no se ha apropiado y del cual cree son verdades casi incuestionables (Wilson & MacDonald, 2017).

Sin embargo, en el modelo por indagación, la conducta del alumno es bien distinta. Es protagonista de su propio aprendizaje, fomentando su carácter activo e investigativo (Bevins & Price, 2016) debido a la acción directa que ejerce sobre los objetos investigados (Couso, 2014, Wilson & MacDonald, 2017), respetando su ritmo, formas de trabajo y motivación (Couso, 2014). Es considerado experto buscador de información y lector crítico que observa la pertinencia, veracidad y relevancia de esta (Wilson & MacDonald, 2017). Mientras que el profesor es considerado agente facilitador del proceso, que establece como estrategia educativa la instrucción en etapas o fases, instituyendo ciclos formativos (Couso, 2014), de modo progresivo (Martinello & Cook, 2000). Además, es agente emocional y de colaboración, que lleva al alumno a la toma de decisiones, no limitándolo y le proporciona fuentes de información (Wilson & MacDonald, 2017).

Al profundizar sobre la metodología por indagación, se percibe diferencias tanto de modelos de indagación como de destrezas del alumno en función del grado de su autonomía. Windschitl (2003) nos muestra dicha variabilidad que pasa desde la

confirmación de experiencias previamente discutidas en el aula, hasta aquellas que se plantean como indagación abierta en donde el alumno es autónomo sobre qué investigar y cómo hacerlo. Además, se perciben estrategias de indagación estructuradas en las que el profesor proporciona tanto la pregunta como el procedimiento para resolverla, o aquellas de indagación guiada en la que el docente ofrece la pregunta y los alumnos deciden cómo enfrentarla, incidiendo en mayor o menor medida en distintas destrezas científicas del alumnado (Bevins & Price, 2016). Para este artículo, la metodología por indagación evidenciada es la guiada, habiendo evidencias de mejores resultados en el aprendizaje (Furtak et al. 2012; Lazonder & Harmsen, 2016; Minner et al. 2010).

Una característica de esta metodología es que propicia la participación activa intensa y la colaboración (Kaiser et al, 2018). El uso de trabajos colectivos, en pequeños grupos, está evidenciado (Wilson & MacDonald, 2017), más aún si nos valemos de situaciones vivenciadas anteriormente. Los alumnos investigan, comparan, deducen, revisan juntos, debaten entre sí, responden a preguntas que encuentran en guías de auto-aprendizaje y escriben las conclusiones de las discusiones, interactúan con la información adquirida y al observar sus errores se auto-corrijen, como una evaluación formativa continua, posibilitando un aprendizaje más significativo (Wilson & MacDonald, 2017). Sin embargo, algunos docentes critican el poco tiempo para enseñar a los alumnos las habilidades necesarias para trabajar en equipo de modo efectivo (Han et al, 2018).

Otra peculiaridad es el interés que genera en el propio alumno. Preguntas aparentemente sin respuestas que motivan al alumno a investigar de modo científico, fomentando hipótesis, planificando, haciendo experimentos y análisis de datos (Kaiser et al, 2018). De manera activa, productiva y creativa (Bevins & Price, 2016) el alumno observa, argumenta, busca evidencias, analiza, interpreta, saca conclusiones, además intercambia con expertos los conocimientos, asiste a debates, evalúa soluciones alternativas y desarrolla

modelos, prototipos y analogías (Harlen, 2013; National Research Council, 2012). Amplía su comprensión, motivación y actitud frente a la práctica científica, contribuyendo a su autoestima y capacidad de manejo de nuevos datos, con mayor control de su propio aprendizaje (Bevins & Price, 2016). Moviliza la disposición del alumno tanto a reaccionar y descubrir, con estructura docente dirigida y facilitadora, como a manejar didácticamente la respuesta hacia necesidades internas de solucionar problemas, propuestos en la actividad práctica. Así como esta tipología posibilita elevar su trabajo autónomo y realzar la comprensión de temas, contenidos y aprendizajes (Bevins & Price, 2016). En realidad, el aprendizaje por indagación es una herramienta, no acabando en sí mismo.

En término de rendimiento académico, se centra la atención en el nivel de conocimiento que el alumno manifiesta tener en el área y qué demuestra saber en las áreas, materias y asignaturas, en relación a los objetos de aprendizaje (Hijar, 2017). En este sentido, en algunos estudios se ha visto que el predominio de actividades de indagación en clases resultó ser un predictor negativo del rendimiento en las pruebas PISA (Areepattamannil, 2012; McConney et al. 2014), aunque se encontró correlación positiva entre el uso de esta metodología y el interés y motivación por las ciencias. Sin embargo, los autores de estos estudios discuten limitaciones del trabajo señalando que, el alumnado pudo haber adquirido un conocimiento más profundo sobre los tópicos trabajados en clase, aunque no un dominio amplio de todos los contenidos evaluables (Harlen, 2010; McConney et al., 2014). Se sabe que las pruebas PISA miden amplitud de contenidos (OCDE, 2016) y no la profundidad de la comprensión del alumnado sobre un determinado tema (Romero-Ariza, 2017). Además se han encontrado beneficios positivos (relativamente modestos) del uso del aprendizaje basado en la indagación (Furtak et al., 2012), las teorías que subyacen a la efectividad de esta metodología son todavía bastante controvertidas (Kirschner et al., 2006; Hmelo-Silver et al., 2007).

En la literatura se encuentran estudios a favor y en contra de la utilización del aprendizaje basado en la investigación (Kirschner et al., 2006). Puede parecer que las tareas de aprendizaje en este método exige demasiado de los alumnos, cuando se requiere que los mismos procesen nueva información mientras buscan una solución a una tarea propuesta, si tenemos en cuenta el estudio de Cowan (2001) quien demostró que la mente humana sólo puede procesar conscientemente cuatro nuevos objetos a la vez. De este modo, los alumnos pueden terminar sin haber aprendido después de mucho tiempo resolviendo una determinada tarea de aprendizaje (Kirschner et al., 2006). En contraposición, otro estudio ha demostrado que los maestros que emplean esta metodología de enseñanza tienen más éxito cuando dan instrucciones que permiten a los alumnos mayor grado de libertad cognoscitiva en lugar de libertad de comportamiento, orientación instructiva en lugar de puro descubrimiento, y enfoque curricular en lugar de exploración no estructurada (Mayer, 2004). Algunos estudios enseñan que los alumnos están más involucrados y aprenden más en ambientes de laboratorio con base en la indagación, sin embargo también aluden a que son más frustrantes y difíciles (Dunlap & Martin, 2012).

Lo que son vistos como aspectos positivos en esta metodología son la utilización de métodos activos y técnicas grupales, vinculando la enseñanza con la práctica. El énfasis en los aspectos motivacionales de la enseñanza, la variedad en la utilización de estilos de enseñanza y la estimulación de intereses propios, influye positivamente en los logros (Tella, 2007); también es beneficioso el modo en cómo el aprendizaje afecta al alumnado en términos de planificación, articulación y orientación por parte del profesor (Couso, 2014; Kawalkar & Vijapurkar, 2013). Aparte de los resultados cognitivos, el aprendizaje por indagación presenta resultados afectivos generales y diferenciados positivos (Borovay et al, 2019). Sin embargo, las implicaciones de esta metodología son diversas. Uno de los problemas más relevantes es la falta de consenso sobre qué implica enseñar ciencias por

indagación, siendo esto un obstáculo en las conclusiones acerca de la influencia de esta metodología en el aprendizaje de las ciencias (Bevins & Price, 2016). Otro punto negativo es que a pesar de las distintas reformas educativas y numerosos esfuerzos formativos, gran parte del docente sigue valiéndose de modelos basados en la transmisión-recepción, siendo minoritario el que se sitúa en modelos de indagación o de investigación dirigida (Anderson, 2002). La razón es que encuentra problemas con la orientación y control de las acciones; predomina la espontaneidad ante la ausencia de la maestría-pedagógica; y le faltan materiales y propuestas didácticas fácilmente aplicables en la práctica curricular (Ariza et al, 2013; Abril et al, 2014; Agencia de la calidad de la educación del Chile, 2016). El papel docente es desafiante, pues ha de fomentar en los estudiantes el razonamiento y justificación de argumentos (Grigg et al., 2013), de implementar un proceso de cuestionamientos de calidad en clase (Romero-Ariza, 2017, Peeters & Meijer, 2014) y en el diseño de investigación (Yoon, et al., 2012), lo cual exige la necesidad de un personal altamente cualificado y actitudinalmente predispuesto.

Después de lo expuesto, percibimos la necesidad de evaluar una propuesta educativa basada en la metodología por indagación para la enseñanza de la música. Observando aspectos didácticos y curriculares, neurocognitivos y de rendimiento académico. Para ello diseñamos y aplicamos dicha propuesta. Este estudio tiene como objetivo evaluar una secuencia de actividades musicales basadas en el método de educación por indagación y en el método de educación tradicional comparando sus respuestas a nivel didáctico-curricular, neurocognitivo y de rendimiento académico.

## **Método**

### **Muestra**

Para esto se diseñaron y desarrollaron dos metodologías de educación musical en dos grupos de adultos universitarios a lo largo de 4 meses (dos veces por semana, jueves y viernes, con una duración de 1 hora, que se daba al final de su jornada lectiva, a última hora de 12:30 a 13:30 y de 13:30 a 14:30). Se aplicaron tareas muy sencillas de memoria y creatividad para cada grupo metodológico (tradicional y por indagación) antes y después de la aplicación del método de enseñanza musical. Para esto fueron subdivididos dos grupos: A (adscritos al método de educación por indagación) y B (en educación tradicional). El criterio de inclusión fue considerado a través de un auto informe en el que se les preguntó sobre su edad, problemas de salud general, consumo de alcohol u otras drogas, nivel de formación académica, experiencia musical, ocupación actual, uso de medicación controlada y dominancia manual (diestro o zurdo), aplicación del Symptom Checklist-90-R cuyo objetivo era verificar si había sufrido daño o disfunciones psicopatológicas, para optimizar la imagen cerebral del sujeto y una audiometría. El reclutamiento ocurrió partiendo de la divulgación en la facultad de Ciencias de la Educación de la Universidad de Granada.

Para el experimento, se buscó la homogeneidad en ambos grupos (el de control y el experimental). Ambos grupos estaban a cargo del mismo profesor, recibían clases en la misma aula y estudiaban el mismo currículum (todo el contenido necesario para aprender a tocar la guitarra). Participaron en este estudio 42 estudiantes universitarios sin experiencia musical previa. Fueron divididos aleatoriamente en dos grupos: 22 fueron asignados al grupo en el que se utilizaba una metodología de enseñanza tradicional con media de 21.27 años ( $SD = 6.341$ ), siendo 18 mujeres y 4 hombres y 20 a un grupo de aprendizaje por indagación con media de 19.15 años ( $SD = 2.183$ ), siendo 17 mujeres y 3 hombres. Los



grupos no mostraron diferencias en sexo ( $p = 0.782$ ), edad ( $p = 0.152$ ), o años de educación ( $p = 0.315$ ).

Fue preciso pensar en el docente encargado de poner en práctica los métodos de enseñanza. Los criterios para su selección fueron: a) saber tocar la guitarra; b) tener experiencia en ello; c) haber dado clases de guitarra a aprendices de diferentes edades; y d) tener disponibilidad horaria los jueves y viernes por la mañana. El muestreo empleado fue el incidental o por conveniencia. La persona elegida fue un hombre de entre 45 y 50 años. Doctor y licenciado en Historia del Arte (Musicología) y maestro de E. G. B. por la Universidad de Granada. Su actividad profesional se bifurcaba en lutier y maestro en un centro concertado.

Para la validación método de enseñanza por indagación fueron invitados 34 expertos con media de 18,87 años de experiencia ( $SD = 8.46$ ) siendo 16 mujeres y 18 hombres. De los expertos, 17 eran profesores de conservatorio Profesional y Superior, 6 profesores de Enseñanza Secundaria del departamento de Música y 11 profesores de universidad, del área de Didáctica de la Expresión Musical. El muestreo fue incidental y partió tanto de la divulgación en la facultad de Ciencias de la Educación de la Universidad de Granada, como del efecto bola de nieve (Bisquerra, 2016), por el cual unos usuarios reclutaban a otros.

## **Instrumentos**

Fue elaborado un instrumento que consistía en un listado de actividades para ponerlas en práctica con metodología tradicional y otras con metodología por indagación (tabla 1). La planificación de las actividades se desarrolló en base en las características peculiares de cada metodología, así como a la taxonomía digital cognitiva de Bloom. Un

grupo de expertos tuvo que dirimir cuáles se ajustaban a los parámetros de la condición tradicional y cuáles a los de indagación (tabla 2).

Previo a la aplicación de los métodos de enseñanza, fueron analizados los niveles de rendimiento académico sobre contenido musical de los sujetos, aplicando la prueba de acceso a conservatorio en la etapa Elemental; un otorrino controló el nivel de audición a través de una audiometría; y se pasaron pruebas neurocognitivas de imaginación y creatividad como el PIC-A (González et. al, 2012) y el Test Breve de Inteligencia de Kaufman K-BIT (Kaufman & Kaufman, 2004) y la prueba de las letras y números de la batería de Wais-IV que se destina a investigar la memoria auditiva de trabajo. Todos los test contaban con los cálculos psicométricos y ajustados al contexto cultural donde se aplicaron.

## **Diseño experimental**

Los pasos seguidos para la investigación fueron: 1) aplicar pruebas pre-post neurocognitivas de aprendizaje (creatividad y memoria de trabajo para cada grupo); 2) pasar pruebas pres-post de rendimiento musical académico; 3) diseñar una secuencia de actividades con contenido musical, siguiendo los preceptos de las metodologías de enseñanza tradicional y por indagación, como también la base referencial teórica de la taxonomía de Bloom; 4) someter a juicio de expertos dicha secuencia; 5) poner en práctica estas metodologías en 02 grupos de adultos universitarios (A - adscritos al método de educación por indagación y B - en educación tradicional) a lo largo de 04 meses.

## **Diseño y validación de la secuencia de actividades**

Independiente de la metodología operada, un modo de establecer las competencias relativas al aprendizaje, de modo secuencial y creciente en nivel de habilidades de pensamiento, es la taxonomía digital cognitiva de Bloom. Este sistema permite clasificar habilidades de aprendizaje, categorizadas, que fomentan diferentes niveles de cognición, mediante la abstracción de preguntas en torno al conocimiento y comprensión que se producen en contextos educativos. Esta taxonomía, además de atender las prácticas tradicionales de clase, incorpora las relacionadas con las TIC y los procesos y acciones asociados (Bosch, 2014).

De esto modo, al planificar nuestra secuencia de aprendizaje, tuvimos en cuenta tanto los verbos y las palabras-claves referenciales para la generación de preguntas en distintos niveles de dificultad, como los niveles de habilidades cognitivas que el alumno debe superar para que ocasione un verdadero proceso de aprendizaje, que son: recordar, comprender, aplicar, analizar, evaluar y crear (Bosch, 2014). Las acciones o verbos de orden superior, en la taxonomía digital de Bloom (como crear, colaborar, producir, etc.), adquieren más valor, sirviendo como herramienta ideal para el análisis, no sólo de la competencia digital, sino también de la competencia musical. Puesto que, la educación musical está comúnmente dividida entre los que son capaces de leer una partitura y ejecutarla y los que pueden hacerla sin partitura de modo improvisatorio. Por tanto, crear, improvisar y compartir son verbos superiores en la taxonomía musical, previstos en la educación musical al abordar el conocimiento del código musical (partitura) con la expresión que lo simboliza (Bosch, 2014).

Teniendo en cuenta estos preceptos teóricos, en este artículo, adjudicamos para el grupo tradicional las palabras-claves recordar y comprender; mientras que aplicar, analizar,

evaluar y crear fue para el grupo por indagación. Las actividades que diseñamos fueron pensadas para que se ajustaran a la estimulación de estos procesos cognitivos. En esta tabla mostramos la propuesta de actividades para cada metodología de enseñanza (tabla 1).

SESIÓN	ACTIVIDADES GRUPO TRADICIONAL	ACTIVIDADES GRUPO POR INDAGACIÓN
01	Evaluación inicial de conocimiento musical básico del alumno.	Evaluación inicial de conocimiento musical básico del alumno.
02	<p>Enseñar mediante exposición teórica las partes del instrumento, su uso correcto, cuidado y afinación.</p> <p>Pedir al alumno que identifique las partes de su instrumento e intentar afinarlo de acuerdo con el contenido presentado.</p>	<p>En la pizarra estará el nombre de las partes del instrumento sin identificarlo. Se pedirá a cada grupo que los mismos identifiquen y clasifiquen a su modo las partes con un papelito bien como cuestionarse cómo es su uso correcto, cuidado y cómo podría ser hecha una afinación. Después van a comparar el resultado con los otros grupos.</p> <p>Buscar la misma nota en otra cuerda y afinar. Plantearles que afinen solo una cuerda, por ejemplo Mi en la 6ª cuerda y, a partir de ahí, busquen la nota de la 5ª cuerda (La) usando la que ya tienen afinada y traten de afinar así las siguientes.</p>
03	<p>El profesor va a tocar un pequeño fragmento de una canción y los alumnos intentan imitarlo.</p> <p>El alumno va a practicar el rasgueo aprendido y ritmo distintos por medio de repetición.</p> <p>Enseñar mediante exposición teórica los acordes mayores (Do mayor, Mi mayor, Sol mayor...), pentagrama y pedir para practicar por repetición.</p>	<p>Entrega el profesor los acordes en una hoja y el grupo debe intuir cómo aplicarlo en la guitarra, cómo se lleva a cabo.</p> <p>El alumno va a identificar el rasgueo utilizado en la canción que el profesor va a tocar y va a pensar cómo podrían hacer el rasgueo de modo distinto para el pequeño fragmento musical.</p> <p>El profesor pide que materialice en un papel cómo serían los elementos musicales de duración y altura, así como los acordes mayores en pentagrama.</p>
04	El profesor tocará un pequeño fragmento de una canción y los alumnos intentan imitarlo.	<p>Promover una pequeña improvisación a modo de “diálogo”. Uno toca un pequeño fragmento (como si estuviera “diciendo” algo, y el otro le “contesta”). Después, ponen en común “la conversación musical” que han tenido.</p> <p>El mini grupo va a improvisar un ritmo basado en la marcha (con notas y silencio). El profesor va a grabar con el móvil.</p>
05	Enseñar mediante exposición teórica cómo hacer una lectura formal de compás, ritmo. Después hacer un dictado musical.	El profesor pone distintos ritmos e intentan saber en qué compás están hechas (con compases simples, no usaría más del 2/4; 3/4). En seguida el mini grupo va a escuchar su grabación de improvisación rítmica de la clase anterior e intentará pasar al papel este ritmo a su modo. Después de esto, el profesor va a presentar el pentagrama.
06	Enseñar lo que es armonía, acompañamiento armónico en guitarra y cambio de tres acordes aprendidos. En seguida hacer un dictado musical.	El alumno va a inventar un trozo musical improvisado en pentagrama y el subgrupo va a tocar todos los trozos de forma ordenada con acompañamiento armónico.

<b>07</b>	El profesor enseña tres trozos musicales y al dividir el gran grupo en tres, pide que ejecuten cada trozo como un coro. Al final todos lo hacen a la vez.	Ordenar una secuencia de 09 compás y ejecutarlos en el gran grupo. En seguida una de esta secuencia de tres compases será tocada por un grupo, el otro marcará el pulso de ritmo 3/4 y el tercero generará una secuencia nueva, diferente a la del primer grupo. Al final todos la hacen a la vez.
<b>08</b>	Charla para dudas en cuanto al contenido expuesto hasta el momento. En seguida el alumno, de modo individual, va a ejecutar un trozo sencillo musical que está escrito en una hoja como también pasará al pentagrama lo que escucha.	Charla para dudas en cuanto al contenido expuesto hasta el momento. En seguida los estudiantes forman parejas y se colocan enfrentados, de manera que se pide que uno de ellos ejecute un trozo sencillo musical que está escrito en una hoja, mientras que el otro va a pasar al pentagrama lo que escucha.
<b>09</b>	El estudiante va a reproducir un trozo sencillo musical (de la pieza musical Las Mañanitas, 2ª parte) por medio de imitación del profesor y lectura en un pentagrama	Los estudiantes forman parejas y se colocan enfrentados de manera que se pide que uno de ellos reproduzca un trozo sencillo musical (de la pieza musical Las Mañanitas, 2ª parte) que está escrito, mientras que el otro va a pasar por un pentagrama lo que escucha. Improvisar una estructura melódica a partir de elementos musicales presentes en la pieza musical Las Mañanitas.
<b>10</b>	Practicar la pieza musical Las Mañanitas, 2ª parte	Los estudiantes forman parejas y se colocan enfrentados, de manera que se pide que uno de ellos cree un pequeño trozo mientras que el compañero va a pasar a un pentagrama lo que escucha. Después se cambian de rol, el que antes improvisaba ahora pasa lo que escucha a un pentagrama. Después se procede a un intercambio entre parejas, de modo que la nueva pareja debe crear sobre la improvisación de la pareja anterior.
<b>11</b>	El estudiante va a reproducir un trozo sencillo musical (de la pieza musical Las Mañanitas, 3ª parte) por medio de imitación del profesor y lectura en un pentagrama.	Los estudiantes forman parejas y se colocan enfrentados de manera que se pide que uno de ellos reproduzca un trozo sencillo musical (de la pieza musical Las Mañanitas, 3ª parte) que está escrito, mientras que el otro va a pasar al pentagrama lo que escucha. Improvisan una estructura melódica a partir de elementos musicales presentes en la pieza musical Las Mañanitas.
<b>12</b>	Practicar la pieza musical Las Mañanitas, 3ª parte.	Los estudiantes forman parejas y se colocan enfrentados, de manera que se pide que uno de ellos cree un pequeño trozo mientras que el compañero va a pasar a un pentagrama lo que escucha. Después se cambian de rol, el que antes improvisaba ahora pasa lo que escucha a un pentagrama. Después se procede a un intercambio entre parejas, de modo que la nueva pareja debe crear sobre la improvisación de la pareja anterior.
<b>13</b>	El estudiante va a reproducir toda la pieza musical Las Mañanitas por medio de imitación del profesor y lectura en pentagrama.	Los estudiantes forman grupos de 04 y se pide que reproduzcan toda la pieza musical Las Mañanitas que está escrito en un pentagrama por intuición.
<b>14</b>	Introducir la lectura de los acordes de la canción Las Mañanitas.	Los estudiantes forman parejas y se colocan enfrentados, en seguida improvisan una estructura melódica a partir de elementos musicales presentes en la pieza musical Las Mañanitas y que uno improvise mediante rasgueo rítmico $\frac{3}{4}$ , por punteo y acordes.
<b>15</b>	El estudiante va a reproducir toda la pieza musical Feliz Navidad en la tonalidad Re por medio de imitación del profesor y lectura en pentagrama. El profesor va a enseñar de modo expositivo los acordes en esta tonalidad.	Los estudiantes forman parejas y se pide que reproduzcan la pieza musical Feliz Navidad en la tonalidad Re que está escrito en un pentagrama por intuición. Luego después hacen una improvisación con la pieza musical elegida mediante rasgueo rítmico, por punteo y acordes.

16	Practicar los cambios de acordes en el orden que aparecen en la canción elegida (Feliz Navidad) que incluye las notas aprendidas (Escala Re).	Practicar los cambios de acordes en el orden que aparecen en la canción elegida (Feliz Navidad) que incluye las notas aprendidas (Escala Re). En seguida promover una pequeña improvisación a modo de “diálogo”. Uno toca un pequeño fragmento de la canción elegida anteriormente en Escala Re (Flecha) y el otro continúa con otro fragmento de la canción.
17	Practicar los cambios de acordes en el orden que aparecen en la canción elegida Feliz Navidad.	Los estudiantes forman parejas y se pide que hagan una imagen mental sobre una secuencia de compás, la escriba y ejecute. En seguida presentan la secuencia musical racionalizada a sus compañeros.
18	Practicar los cambios de acordes en el orden que aparecen en la canción elegida Feliz Navidad.	Los estudiantes forman parejas y recogen la secuencia musical racionalizada de la clase anterior de otra pareja para improvisar sobre esta secuencia a modo de revisión de todo el contenido. En seguida presentan su improvisación a sus compañeros.
19	Repaso y estudio durante 15 minutos de la canción Feliz Navidad según lo aprendido en las clases, posteriormente grabar un vídeo de aproximadamente 3 o 4 minutos con el móvil tocando primero con acordes y posteriormente también punteando la pieza. Se ha de realizar la misma actividad anterior con la canción Las Mañanitas.	Buscar un pentagrama en Internet de otro villancico de libre elección y grabarlo en vídeo rasgueado o punteado, con una duración máxima de 3 o 4 minutos. Posteriormente se ha de realizar una composición personal, intentando que tenga algún sentido musical, de 9 compases de tres por cuatro. Se debe memorizar, escribir en pentagrama siguiendo el sistema aprendido en clase y posteriormente grabar.
20	Evaluación Final	Evaluación Final

**Tabla 1.** Contenido y actividades de aprendizaje distribuidas en sesiones para las dos metodologías.

Cada una de estas actividades se sometió a la valoración de expertos para verificar que estas se ajustaban a la adjudicación de procesos cognitivos que habíamos dispuesto para la metodología tradicional y para la de indagación. Para ello, construimos una plantilla de validación (ver tabla 2). Estaba integrada por todas las actividades que habíamos diseñado para adquirir los conocimientos musicales. Tanto las de la secuencia metodológica tradicional como las de la secuencia por indagación. Todas se presentaron desordenadas, para que los jueces nos indicaran qué proceso cognitivo estimulaba tal actividad (si recordar, comprender, aplicar, analizar, evaluar, crear). De tal manera que, en función del proceso estimulado, pertenecería a una metodología u otra, tal y como conformaba la literatura.

Actividades	Elige solo 1 proceso cognitivo que consideres como principalmente relacionado con la actividad que has leído						Puedes marcar otros procesos relacionados con la actividad					
	R E C U E R D O	C O M P R E N S I Ó N	A P L I C A C I Ó N	A N Á L I S I S	E V A L U A C I Ó N	C R E A T I V I D A D	R E C U E R D O	C O M P R E N S I Ó N	A P L I C A C I Ó N	A N Á L I S I S	E V A L U A C I Ó N	C R E A T I V I D A D
1...												

**Tabla 2.** Escala de validación para jueces expertos.

## Aplicación de las secuencias de aprendizaje

Al planear las clases para aprender los contenidos musicales de guitarra fueron definidos criterios diferenciales, como el tipo de agrupación, el estilo docente, el material aplicado y el tiempo de dedicación del profesor durante las sesiones, con actividades diarias; así como el monitoreo en términos de asiduidad, contenido y tiempo que cada sujeto empleaba en casa para asimilar lo que había aprendido.

El grupo con método tradicional se ajustó a determinados parámetros. Consistieron en proporcionar el material impreso a los estudiantes, la dedicación exclusiva fue de 50 minutos por parte del profesor, para explicar el contenido y quitar posibles dudas. Su actuación tuvo un estilo deductivo, expositivo y de modo individual. Cada alumno estudiaba por separado, bajo la supervisión del profesor. Estos criterios estaban de acuerdo con los presupuestos teóricos referentes a esta metodología.

En el grupo con método por indagación fue facilitado el material impreso, pero no se ofreció ninguna explicación del contenido por parte del profesor, que estaba allí como moderador, con dedicación mínima de tiempo (05 minutos); el estilo docente fue inductivo,

indagativo y grupal (Krüger & Ensslin, 2013). El grupo tenía que resolver las cuestiones presentadas, de modo que tenía que salir de su zona de confort para crear musicalmente, con ayuda de sus compañeros. La tabla siguiente (tabla 3) resume las condiciones didácticas de cada metodología.

TRADICIONAL	INDAGACIÓN
Exposición del contenido por el profesor	Planteamiento del problema guiado por el profesor
Práctica individual por medio de repetición y memorismo	Búsqueda de respuesta en grupos pequeños, con el uso de la improvisación y creatividad
El profesor interactúa 50 minutos con el alumno	El profesor interactúa 05 minutos con el alumnado
	Presentación de la respuesta para el gran grupo (normalmente una creación o improvisación musical)
Resumen: estilo docente de carácter deductivo, expositivo, de modo individual	Resumen: estilo docente de carácter inductivo, indagativo y grupal

**Tabla 3.** Condiciones de aplicación didáctica en la secuencia de actividades tradicional y por indagación.

Sobre los requisitos organizativos, la siguiente tabla (tabla 4) nos permite visualizar de forma gráfica las diferencias en cuanto a la disposición del mobiliario y el tipo de agrupamiento en el que los estudiantes y el profesor impartían las clases.



**Tabla 4.** Ejemplo de maquetación utilizado en las clases del grupo tradicional y grupo por indagación.



Para descartar la posibilidad de variables adversas producidas por el profesor, un solo docente enseñó a los dos grupos siguiendo las directrices de cada método. Tanto la asignación del método A o B a cada grupo y la distribución de los estudiantes entre los grupos fue aleatoria, siguiendo el orden de inscripción en cada grupo durante el proceso de admisión a la universidad. Además, para reducir la transferencia de información entre los grupos, las clases se impartían al final de la mañana, justo después de que terminaran sus clases habituales de las distintas asignaturas del Grado, de modo que un grupo se impartía entre las 12:30 y las 13:30 p.m y el otro, entre las 13:30 y las 14:30 p.m. Las clases se celebraban el jueves y el viernes, ya que estos eran los únicos días en que los estudiantes podían asistir a las clases, no impidiendo su transcurso normal en su carrera académica.

El profesor evaluó diariamente a todos los alumnos al final de cada una de las 20 clases que compusieron las secuencias de aprendizaje, utilizando una escala entre 1 y 5. En ella iba anotando el contenido que tocaba en esa sesión, su grado de ejecución, es decir, si mal, regular, aceptable, bien o muy bien; cómo había ido; y algún comentario cualitativo por su parte. Era de fácil aplicación y se pasaba al final de la sesión. Mostramos un ejemplo de un día (tabla 5). Por tanto, la evaluación del aprendizaje durante las clases se basó en el porcentaje de asistencia de cada estudiante, así como la diferencia entre su desempeño en las primeras 5 clases y su desempeño en las últimas 5. Esto permitió evaluar la mejora de cada estudiante evitando al mismo tiempo el posible sesgo asociado con el uso de mediciones de una sola sesión. Además, se practicó una prueba de nivel, antes y después del proceso de aprendizaje, que consistió en 4 preguntas: 2 sobre entonación, en las que se pide al alumno que repita juegos de notas y una canción con la letra; 1 pregunta sobre reconocimiento de intervalos, en la que han de distinguir los conceptos de alto y bajo (o agudo y grave) en un intervalo musical; y 1 pregunta sobre ritmo, que consiste en repetir algunos ejercicios musicales con las palmas.



Para comprobar el efecto del rendimiento académico, correlacionamos las puntuaciones con la metodología a la que pertenecían; y analizamos si había diferencias significativas en relación a los test neurocognitivos (memoria y creatividad) en relación a la metodología empleada.

## Resultados

Al ser comparadas las metodologías propuestas y las respuestas de los expertos en música, observamos un importante nivel y grado de coherencia, con el diseño originario inicial sometido a evaluación (tablas 6 y 7).

**Metodología inicialmente referida \* Proceso Agrupar (conjunto de respuestas más frecuentes de los expertos)  
Crosstabulation**

			Proceso Agrupar (conjunto de respuestas más frecuentes de los expertos)		Total
			Tradicional	Indagacion	
Metodología inicialmente referida	Tradicional	Count % within Metodología inicialmente referida	20 100,0%	0 0,0%	20 100,0%
	Indagacion	Count % within Metodología inicialmente referida	9 37,5%	15 62,5%	24 100,0%
Total		Count % within Metodología inicialmente referida	29 65,9%	15 34,1%	44 100,0%

**Tabla 6.** Distribución de las respuestas más frecuentes de los expertos musicales y la metodología propuesta.

### Chi-Square Tests

	Value	df	Asymp. Sig. (2-sided)	Exact Sig. (2-sided)	Exact Sig. (1-sided)
Pearson Chi-Square	18,966 <sup>a</sup>	1	,000		
Continuity Correction <sup>b</sup>	16,286	1	,000		
Likelihood Ratio	24,709	1	,000		
Fisher's Exact Test				,000	,000
Linear-by-Linear Association	18,534	1	,000		
N of Valid Cases	44				

a. 0 cells (0,0%) have expected count less than 5. The minimum expected count is 6,82.

b. Computed only for a 2x2 table

**Tabla 7.** Chi-cuadrado relativo a las respuestas de los expertos musicales y las secuencias de actividades propuestas.

De acuerdo con las tablas anteriores, comprobamos la asociación significativa entre las respuestas de los expertos musicales y la metodología inicialmente propuesta ( $p < 0.001$ ;  $N=44$ ), demostrando la validación metodológica didáctico-curricular de la secuencia de actividades diseñada.

Todas las tareas propuestas para el grupo tradicional, que en total sumaron 20, fueron identificadas como pertenecientes a este grupo. De las 24 actividades referentes al grupo de indagación, en su mayoría también coincidieron con la estructura inicial. Sin embargo, dos tareas estaban en discordancia, una fue categorizada como de “recuerdo” y otra de “comprensión” (tabla 8).

GRUPO TRADICIONAL	GRUPO DE INDAGACIÓN
Pedimos al alumno que identifique las partes de su instrumento, una vez que se las hemos explicado y que lo afinen de acuerdo con el contenido presentado.	**En la pizarra estará el nombre de las partes del instrumento sin identificarlas. Pedimos a cada grupo de estudiantes que identifiquen y clasifiquen, a su modo, las partes, así como que se cuestionen cómo es su uso correcto, cuidado y cómo se haría una afinación.
Los alumnos imitan un pequeño fragmento de una canción tocado por el profesor	Pedimos a los estudiantes que busquen la misma nota en otra cuerda y afinen solo una cuerda (por ejemplo Mi en la 6ª cuerda y, a partir de ahí, busquen la nota de la 5ª cuerda (La) usando la que ya tienen afinada y traten de afinar así las siguientes.
Los alumnos practican el rasgueo que han aprendido y ritmos distintos, por medio de la repetición.	El profesor pide a los estudiantes que creen un sistema mnemotécnico de un acorde (LA) mediante un esquema y la representación gráfica de este acorde para que les permita reproducirlo.
Los estudiantes hacen un dictado musical.	Los estudiantes hacen una pequeña improvisación a modo de “diálogo”: uno toca un pequeño fragmento (como si estuviera “diciendo algo”) y el otro le “contesta”. Después, ponen en común “la conversación musical” que han tenido.
Los estudiantes hacen un dictado musical tras enseñarles el concepto de armonía, acompañamiento armónico en guitarra y cambio de tres acordes aprendidos.	Los estudiantes escuchan la grabación de su improvisación rítmica de la clase anterior y la pasan al papel, a su modo.
El profesor enseña tres trozos musicales, hace tres grupos y les reparte un trozo a cada grupo para que lo toquen como un coro, todos a la vez.	Un alumno de un pequeño grupo inventa un trozo musical improvisado en pentagrama y el resto del subgrupo toca todos los trozos de forma ordenada con acompañamiento armónico.
Después de dejar un tiempo para dudas, pedimos a los estudiantes, de modo individual, que ejecuten un trozo sencillo musical que está escrito en una hoja, como también que pasen al pentagrama lo que escuchan.	Los estudiantes ordenarán la secuencia de nueve compases y la ejecutan.
El estudiante reproduce un trozo de la pieza musical “Las Mañanitas”, 2ª parte, por medio de imitación del profesor y lectura en un pentagrama.	Tres compases serán tocados por un grupo, el otro marcará el pulso de ritmo 3/4 y el tercer grupo generará una secuencia nueva diferente a la del primero, para al final, todos tocar a la vez.
Los estudiantes practican la pieza musical “Las Mañanitas”, 2ª parte.	Después de dejar un tiempo para dudas, pedimos a los estudiantes que se agrupen por parejas y se coloquen enfrentados, de manera que se pide que uno de ellos ejecute un trozo sencillo musical que está escrito en una hoja, mientras que el otro pasa al pentagrama lo que escucha.
El estudiante reproduce un trozo sencillo de la pieza musical “Las Mañanitas”, 3ª parte, por medio de la imitación del profesor y lectura en un pentagrama.	Los estudiantes forman parejas y se colocan enfrentados de manera que se pide que uno de ellos reproduzca un trozo sencillo musical (de la pieza musical “Las Mañanitas”, 2ª parte) que está escrito, mientras que el otro pasa a un pentagrama lo que escucha.

El estudiante practica la pieza musical “Las Mañanitas”, 3ª parte.	Los estudiantes improvisan una estructura melódica a partir de elementos musicales presentes en la pieza musical “Las Mañanitas”.
El estudiante reproduce toda la pieza musical “Las Mañanitas” por medio de imitación del profesor y lectura en pentagrama.	Los estudiantes forman parejas y se colocan enfrentados. Se pide que uno de ellos cree un pequeño trozo musical mientras que el compañero pasa a un pentagrama lo que escucha. Después se cambian de rol, el que antes improvisaba, ahora pasa lo que escucha a un pentagrama. Después se procede a un intercambio entre parejas, de modo que la nueva pareja debe crear sobre la improvisación de la pareja anterior.
Los estudiantes leen los acordes de la canción de “Las Mañanitas”.	Los estudiantes forman parejas y se colocan enfrentados. Se pide que uno de ellos reproduzca un trozo sencillo de la pieza musical “Las Mañanitas”, 3ª parte, que está escrito, mientras que el otro pasa a un pentagrama lo que escucha.
Los estudiantes practican los cambios de acordes en el orden que aparecen en la canción elegida, Feliz Navidad, que incluye las notas aprendidas (Escala RE).	Los estudiantes forman grupos de 04 y se les pide que reproduzcan toda la pieza musical Feliz Navidad que está escrita en un pentagrama, siguiendo su intuición.
El estudiante reproduce toda la pieza musical “Feliz Navidad” en la tonalidad RE imitando al profesor y leyendo el pentagrama.	Los estudiantes forman parejas y se colocan enfrentados. Improvisan una estructura melódica a partir de elementos musicales presentes en la pieza musical Feliz Navidad mediante rasgueo rítmico $\frac{3}{4}$ , por punteo o acordes.
Los estudiantes practican los cambios de acordes en el orden que aparecen en la canción elegida (Feliz Navidad) que incluye las notas aprendidas (Escala RE).	Los estudiantes forman parejas y se pide que reproduzcan la pieza musical “Feliz Navidad” en la tonalidad RE que está escrita en un pentagrama siguiendo su intuición.
Los estudiantes practican los cambios de acordes de la canción elegida Feliz Navidad.	Los estudiantes hacen una improvisación con la pieza musical elegida, mediante rasgueo rítmico, por punteo y acordes.
Los estudiantes practican los cambios de acordes, en el orden que aparecen, de la canción elegida Feliz Navidad.	Los estudiantes improvisan a modo de “diálogo”. Uno toca un pequeño fragmento de la canción elegida anteriormente en escala RE y el otro continúa con otro fragmento de la canción.
Los alumnos repasan y estudian, durante 15 minutos, la canción Feliz Navidad según lo aprendido en las clases.	Los estudiantes forman parejas y se les pide que hagan una imagen mental sobre una secuencia de compás, que la escriban, la ejecuten y la presentan a sus compañeros.
Los estudiantes graban un vídeo de aproximadamente 3 o 4 minutos, con el móvil, tocando primero con acordes y posteriormente también punteando la pieza.	Los estudiantes forman parejas. Recogen la secuencia musical trabajada en la clase anterior de otra pareja, para improvisar sobre esta secuencia y presentarla a sus compañeros.
	Los estudiantes buscan un pentagrama en internet de otro villancico de libre elección.
	Los alumnos graban el villancico buscado en vídeo, rasgueando o punteando, con una duración máxima de 3 o 4 minutos.

Los alumnos realizan una composición personal, intentando que tenga algún sentido musical, de 9 compases de 3/4.
--

***Los alumnos memorizan y escriben en pentagrama la composición personal, siguiendo el sistema aprendido en clase y posteriormente se graban.
--

**Tabla 8.** Secuencia de actividades validada por expertos. Nota: \*\* Tareas como “comprensión”; \*\*\* tareas como “recuerdo”

Por otro lado, al ser comparados los grupos en términos de rendimiento académico y asistencia en el curso se vio que en el grupo de indagación, el porcentaje de asistencia correlacionaba con el rendimiento ( $r=0.396$ ,  $p=0.009$ ). Cuánto más asistieron a clase, más mejoraron.

Por último, en relación a las pruebas neurocognitivas, no existieron diferencias significativas entre los dos grupos.

## Discusión

Este estudio tenía como objetivo evaluar una secuencia de actividades musicales basadas en el método de educación por indagación y en el método de educación tradicional comparando sus respuestas a nivel didáctico-curricular, neurocognitivo y de rendimiento académico.

Según se desprende de los resultados, podemos concluir que la secuencia metodológica didáctica y curricular, por indagación como tradicional, para la enseñanza de contenidos musicales, se ubican dentro de las expectativas planteadas según sus referentes teóricos. Es decir, las actividades encuadradas en la metodología tradicional responden a parámetros de recuerdo y comprensión; y las pensadas como estimuladoras de la

indagación, también son acordes a la filosofía de esta metodología, promoviendo la aplicación, el análisis, la evaluación y la creatividad.

Otra de las conclusiones es que el uso de una u otra secuencia de enseñanza no estimula más o menos la creatividad o la memoria. Estos datos nos han sorprendido y entran en contradicción con la literatura. La improvisación es un grado dentro de la creatividad y autores como Santi (2016) entienden que es una herramienta innovadora en educación, favorece la construcción de conocimiento interactivo (Biasutti, 2017), y estimula el pensamiento crítico y de habilidades para la resolución de problemas, auxiliando la práctica reflexiva musical (Biasutti, 2013). Una de las razones que creemos que ha llevado a estos resultados, es que no se haya entrenado en esta metodología lo suficiente al docente que llevó a cabo esta metodología de indagación, pues es un modo de aprender, creativo, que requiere cambios en la forma de enseñar (Luquet, 2015), ya que al practicar este modelo, se evidencia el aumento de las habilidades del alumno con respecto a la codificación sensorial y perceptiva, el almacenamiento y recuperación de la memoria, el control motor y la supervisión del rendimiento (Biasutti, 2017).

Una tercera conclusión que sí podemos narrar es que correlaciona el rendimiento académico con la asistencia, en la metodología por indagación. Coincide con los estudios de Furtak et al. (2012), Lazonder & Harmsen (2016) y de Minner et al. (2010) sobre la mejora en los resultados. El hecho de que asistan los estudiantes está relacionado con el interés y motivación que genera esta tipología de enseñanza, pues supone retos y producciones creativas (Bevins & Price, 2016), así como implicaciones afectivas (Borovay et al., 2019) que promueve que el estudiante se enganche a esta dinámica; como también el hecho de que se estimule la colaboración grupal como característica idiosincrática (Kaiser et al., 2018). Este resultado es coherente con nuestra investigación, puesto que dos de las características de identificación y singularidad didáctica es, por un lado, la agrupación de



los estudiantes en grupos de 4 personas, frente a la individualidad de la estrategia tradicional y por otro, la presentación al gran grupo de la creación musical.

Una primera consecuencia práctica del estudio es la evidencia y el reconocimiento de que hay procesos cognitivos que se asocian, más o menos, en función de la secuencia metodológica que se practique, si tradicional o por indagación; una segunda, es la importancia de la tipología de agrupamiento en la modalidad de aprendizaje por indagación; y una tercera, es el material de enseñanza diseñado para el aula universitaria, debido a su sencillez, practicidad y dinamismo a la hora de aplicar las tareas en clase.

Podemos afirmar que el material diseñado desde la metodología de indagación es válido como recurso educativo dentro de la esfera de la educación musical formal y que podría servir para repensar e incorporar algunas de sus actividades en recursos pedagógicos musicales más amplios en el ámbito docente universitario. Se sabe que la falta de materiales y propuestas didácticas fácilmente aplicables en la práctica curricular es una constante actual (Ariza et al, 2013; Abril et al, 2014; Agencia de la calidad de la educación del Chile, 2016). Es un modelo creativo en el que el alumno está controlado pero a la vez es libre de improvisar y donde el docente fomenta en sus alumnos el aprender a racionalizar, a cuestionar y a reinventarse ante los problemas propuestos (Grigg et al., 2013; Peeters & Meijer, 2014; Romero-Ariza, 2017). Aunque es necesaria una formación adecuada y conocimiento profundo de la temática por parte del docente.

La principal limitación de este estudio es la representatividad de la muestra. Como desafíos, todavía habría que repensar de modo constructivo y crítico la cultura académica institucional y sus reticencias a introducir en las aulas universitarias esta metodología; la evaluación de estas experiencias y recursos didácticos como realidades viables en los currículos oficiales es otro reto; o el estudio de la metodología por indagación en la esfera neuro- didáctica por los posibles cambios estructurales en el cerebro de los estudiantes,

articulando neurociencia y educación, como dos conceptos clave que están abocados a relacionarse (Bacaro & Sfori, 2016) y que es materia de vanguardia insuficientemente explorada.

*Agradecemos a Facultad de Ciencias de la Educación de la Universidad de Granada, al Centro de Investigación Mente, Cerebro y Comportamiento (CIMCYC) (Universidad de Granada), y Centro Universitario de João Pessoa – UNIPÊ por darnos apoyo a esta investigación científica.*

---

## 5.3 Artículo 03

### **Cambios estructurales en el cerebro en función de las metodologías docentes en clases de música**

*Structural changes in the brain based on musical teaching methodologies*

Marcella Pereira Barbosa de Aquino\*, Purificación Pérez-García\*, Miguel Pérez-García\*\*, Juan Verdejo-Román\*\*\*

\*Facultad de Ciencias de la Educación de la Universidad de Granada, España\*\* Facultad de Psicología de la Universidad de Granada, España \*\*\* Facultad de Psicología. Universidad Complutense de Madrid., España

#### **Resumen**

Nuestro objetivo fue evaluar los cambios en las estructuras cerebrales asociados con el aprendizaje de un instrumento musical de acuerdo con la metodología de enseñanza empleada. Comparamos dos experiencias metodológicas en educación musical, una que utilizaba el método tradicional y otra que utilizaba el aprendizaje por investigación. Planeamos dos cursos de guitarra con metodologías diferentes, y aplicamos estas metodologías en dos grupos de estudiantes universitarios que fueron asignados a A - el método de investigación de la educación, o B - la educación tradicional, asistiendo durante 4 meses (dos veces por semana) a sesiones de enseñanza de guitarra con una duración de 1 hora. Comparamos estas metodologías de educación musical en términos de estructura cerebral mediante el uso de imágenes por resonancia magnética en dos puntos temporales (antes y después del proceso de enseñanza). Los datos revelan que el grupo de investigación intentó "crear" una forma de reestructurar la información, mientras que el grupo tradicional promovió un esfuerzo más analítico.

#### **Abstract**

Our objective was to evaluate the changes in brain structures associated with the learning to play a musical instrument according to the teaching methodology employed. We compared two methodological experiences in musical education, one that used the traditional method and another that used learning by inquiry. We planned two guitar courses with different methodologies, and we applied these methodologies in 2 groups of university students that were assigned to either A – the inquiry method of education, or B - traditional education, attending for 4 months (twice per week) guitar teaching sessions with a duration of 1 hour. We compared these musical education methodologies in terms of brain structure by using magnetic resonance imaging at two time points (before and after the teaching process). The data reveal that the inquiry group tried to “create”; a way of restructuring the information, whilst the traditional group fostered a more analytical effort.

La sociedad del conocimiento, caracterizada por la disponibilidad de información y por un cambio de paradigma en la enseñanza y el aprendizaje (Biasutti, 2017), busca una nueva ciencia del aprendizaje basada en el conocimiento del funcionamiento cerebral, que permita al profesor desarrollar sus actividades (Simões et al., 2015). Se sabe que tanto el entrenamiento intenso como la experiencia individual están relacionados con cambios estructurales y funcionales en el cerebro (Groussard et al., 2014).

La metodología de enseñanza tradicional parte de la premisa de que todos los alumnos son iguales, convirtiéndolos en vasos receptivos pasivos de aprendizaje, con el tutor en el centro del proceso de enseñanza (Mezzari, 2011) y considerado como el "propietario" del conocimiento (Barros & Calero, 2018) que revisa la información con sus alumnos (Krüger & Ensslin, 2013). Esta metodología (tradicional) se encuentra en las clases de música de los conservatorios, donde los métodos utilizados consisten en aumentar las secuencias de ejercicios para lograr el dominio de la técnica musical. El método se construye a partir de principios que no son explicados o internalizados por sus autores o por quienes los adaptan a su práctica pedagógica (Krüger & Ensslin, 2013).

Otra metodología de crecimiento es el Aprendizaje Basado en la Investigación (IBL) (Romero-Ariza, 2017). Su propósito es la adquisición de habilidades a través del conocimiento directo, en primera persona, promoviendo tanto la habilidad de pensar como la capacidad de plantear preguntas, analizar, reflexionar, investigar y resolver problemas (Couso, 2014). El estudiante es el protagonista de su propio aprendizaje, teniendo mayor control sobre este proceso, fomentando la tendencia a convertirse en un agente activo en la investigación (Bevins & Price, 2016). El profesor promueve la actividad productiva y creativa, contribuyendo a resolver situaciones problemáticas y favoreciendo el trabajo autónomo que permitirá a los alumnos comprender el aprendizaje (Takeuchi et al., 2019).

En términos de formación musical en el contexto de la investigación, la improvisación es una técnica de enseñanza musical. En los métodos actuales se acepta como una herramienta innovadora para promover nuevos desafíos en la educación (Santi, 2016), el desarrollo de la creatividad, la construcción del conocimiento interactivo (Biasutti, 2017) y el pensamiento crítico y la capacidad de resolución de problemas (Biasutti, 2013).

Sin embargo, en el campo de las neurociencias en la educación, no está claro si las estructuras cerebrales responsables del aprendizaje difieren según se aplique un método de instrucción tradicional o basada en la investigación, que es el tema de estudio en este artículo.

A nuestro leal saber y entender, no existen estudios que comparen -a nivel de la estructura cerebral- los métodos de enseñanza aquí descritos, ni su papel en la educación musical. Los estudios comparativos de IBL y la metodología tradicional parecen enfatizar el desempeño en pruebas académicas o conductuales (Dierker et al., 2018), pruebas neurocognitivas (Valerio et al., 2016), pruebas cognitivas (Duman, 2010), y el cuestionario del estudiante (Akhavan & Kadkhodaie, 2016). Varias investigaciones han medido el desempeño académico diferencial (Barros & Calero, 2018; Hincapie et al., 2018) al incluir el pensamiento crítico en temas específicos como Bioquímica (Hincapie et al., 2018) o Enfermería (Llobet & Herrero, 2014); evaluar el diseño e implementación de un programa de asignaturas que implemente el aprendizaje basado en problemas (PBL) (Delgado et al., 2018); o mediante la comparación de metodologías tradicionales y PBL en la promoción del pensamiento crítico, la resolución de problemas y el aprendizaje autodirigido) (Choi et al., 2014).

Considerando la relevancia de las neurociencias en las prácticas educativas, los hallazgos demandan la necesidad de profundizar en el conocimiento de esta incipiente relación, justificando así nuestra investigación. Es evidente el vacío que existe de

producciones científicas que articulen neurociencia y educación (Bacaro & Sforini, 2016), y en especial, metodologías docentes. La comparación estructural cerebral entre métodos docentes desde el enfoque de las neurociencias es materia de vanguardia, insuficientemente explorada. De este modo, el objetivo de este estudio es evaluar el cambio en las estructuras cerebrales asociadas al aprendizaje de un instrumento musical en función de la metodología de aprendizaje. Nuestra hipótesis es que los dos métodos producirán cambios distintos en el cerebro, estando los de la metodología de indagación relacionados con áreas de la creatividad mientras que la metodología tradicional producirá cambios en las zonas de la memoria.

## **Método**

### **Muestra**

Para garantizar una potencia estadística de al menos 0,8, el tamaño de la muestra se calculó utilizando  $G * Potencia$  3.1.9.2, siguiendo la propuesta de Zandbelt et al. (2008) de potencia estadística en estudios de resonancia. En un estudio reciente sobre las diferencias cerebrales entre músicos y no músicos, utilizando un tipo similar de Zamorano et al. (2017) encontraron una Cohen's  $d$  mayor que 2. Debido a que nuestro estudio no es el al igual que este último, decidimos ser conservadores y plantear la hipótesis de un Cohen's  $d > 1$ . Por lo tanto, tomando teniendo en cuenta esta consideración, se calculó el tamaño de la muestra necesaria, decidiendo a priori ser conservador y aceptar un Cohen mayor que 1. Por lo tanto, para obtener una potencia estadística de 0,8, con un nivel alfa = 0,05, la muestra mínima requerida era de 18 participantes por grupo. Otro Se contrató a un 10% en caso de posible abandono.

Los participantes del presente estudio fueron 42 estudiantes universitarios sin experiencia musical previa. Todos los estudiantes siguieron un curso de aprendizaje de

guitarra pero fueron divididos al azar en dos grupos: 22 fueron asignados al grupo en el que se utilizó una metodología de enseñanza tradicional (grupo tradicional) y 20 a un grupo que recibió instrucción basada en la investigación (grupo de investigación).

El criterio de inclusión en el estudio fue no poseer ningún tipo de experiencia de formación musical más allá de la obligatoria en el sistema escolar. Los criterios de exclusión fueron la presencia de cualquier tipo de problema acústico o médico grave, haber sufrido golpes en la cabeza con pérdida de conciencia de más de 30 minutos o el consumo de drogas, todo ello registrado a partir de una entrevista personal; así como haber sufrido daño o disfunciones psicopatológicas, medido con el Symptom Checklist-90-R (Derogatis, 1975). También se consideró criterio de exclusión cualquier tipo de incompatibilidad con la sesión de resonancia magnética (p.ej: embarazo, tatuajes, claustrofobia o la presencia de implantes ferromagnéticos). Todos los participantes tenían una capacidad de audición normal que fue medida a través de una audiometría individual administrada por especialistas y visión normal o corregida con lentes.

El reclutamiento fue aleatorio y ocurrió partiendo de la divulgación entre los estudiantes de primer curso de la Facultad de Ciencias de la Educación de la Universidad de Granada. Este estudio fue aprobado por el Comité Ético para la investigación en humanos de esta Universidad y fue realizado de acuerdo con la declaración de Helsinki. Todos los participantes fueron debidamente informados de la investigación y firmaron un consentimiento informado certificando su participación voluntaria en el estudio.

De los 42 participantes originales, uno de ellos no asistió a la segunda sesión de resonancia (NM13) y otros dos (NM05, NM10) fueron descartados por la baja calidad de las imágenes cerebrales adquiridas (explicado en la sección Imaging data acquisition and processing). Por tanto, finalmente, se analizaron los datos de 21 universitarios del grupo de enseñanza tradicional, con media de edad de 20.95 años (SD = 6.31), siendo 17 mujeres

(80.95 %) y 4 hombres (19.05%) y 18 universitarios del grupo de enseñanza por indagación, con media de edad de 19.22 años (SD = 2.29), siendo 16 mujeres (88.89 %) y 2 hombres (11.11%). Los grupos no mostraron diferencias en sexo ( $p=0.493$ ), edad ( $p=0.253$ ), o nivel de educación ( $p=0.486$ ).

## **Diseño Experimental**

Para estudiar la estructura cerebral y su diferenciación entre los métodos de aprendizaje, comparamos dos experiencias metodológicas en educación musical, una tradicional y otra por indagación. Para esto: 1) Planeamos y validamos dos cursos de guitarra con metodologías distintas, teniendo como referente teórica la taxonomía de Bloom y la validación por expertos; 2) Aplicamos estas metodologías en 2 grupos de adultos universitarios (A - adscritos al método de educación por indagación y B - al de educación tradicional) que asistieron a lo largo de 4 meses, dos veces por semana, a sesiones de enseñanza de guitarra con una duración de 1 hora cada sesión; 3) Comparamos las metodologías de educación musical en el ámbito de estructura cerebral con resonancia magnética en dos momentos distintos (antes y después del proceso de enseñanza).

Para descartar la posibilidad de que los efectos fueran producidos por el profesor, un solo profesor impartió las clases de los dos grupos siguiendo las directrices de cada método. Tanto la asignación del Método A o B a cada grupo como la distribución de los estudiantes entre los grupos fue aleatoria, siguiendo el orden de inscripción en cada grupo durante el proceso de admisión a la universidad. Por último, para reducir la transferencia de información entre los grupos, las clases se impartían al final de la mañana, justo después de terminar las clases habituales del curso, de modo que un grupo se impartía entre las 12:30 y las 13:30 y el otro entre las 13:30 y las 14:30. Además, las clases se impartían el jueves y el viernes, ya que eran los únicos días en los que disponían de este espacio de tiempo libre. El



resto de los días, los alumnos estuvieron ocupados toda la mañana con clases sobre las asignaturas de la titulación que estaban estudiando.

### **Planificación metodológica de los cursos**

Antes de aplicar los cursos con metodologías de enseñanza distintas, se hizo necesario presentar la planificación a expertos profesores del área, con intención de que ellos valoraran si realmente existían criterios diferenciales metodológicos entre sí. Tales criterios fueron el tipo de agrupación, el material aplicado, el estilo docente y el tiempo de dedicación del profesor durante las sesiones con actividades diaria.

El método tradicional que se aplicó, consistía en que el profesor facilitaba a todo el grupo de estudiantes el material impreso, tenía dedicación exclusiva de 50 minutos para explicar el contenido y resolver posibles dudas, su estilo docente era de carácter deductivo y expositivo, y la agrupación de los estudiantes era inexistente, pues trabajaban de modo individual. Es decir, que en una clase grupal, cada alumno estudiaba por separado bajo la supervisión del profesor. Estos criterios respondían a la lógica de desarrollo de la lección magistral o metodología tradicional.

En el método por indagación, no se les daba el material impreso a los alumnos al principio de la clase ni tampoco explicación de la teoría por parte del profesor. Éste ejercía un papel de moderador, con una dedicación mínima de tiempo (05 minutos), el cual empleaba dirigiéndose al grupo clase general para enunciar los contenidos que tendrían que abordar los estudiantes de forma grupal en dicha sesión. Generalmente se conformaban equipos de entre 3 o 4 componentes. El grupo tenía que resolver las cuestiones presentadas brevemente por el profesor, lo cual obligaba a los estudiantes a seguir una estrategia inductiva y crear con ayuda de sus compañeros. La metodología era inductiva, indagativa y grupal (Krüger & Ensslin, 2013).

Para garantizar la coherencia de la aplicación del protocolo de investigación, se adoptaron las siguientes medidas: 1) para asegurar que el profesor siguiera las pautas de aplicación de los dos métodos, participó en el diseño de las sesiones de cada una de las metodologías, de modo que supiera cómo aplicar de forma fiable ambos métodos; 2) Cinco minutos antes de comenzar cada sesión, revisamos el guión de cómo desarrollar la sesión. Esto incluyó pautas sobre el contenido teórico, las actividades, el tiempo de intervención, el tiempo dado a los estudiantes, el material que se proporcionó y la disposición del aula; 3) durante el curso de la clase del profesor, siempre hubo un investigador para verificar que la sesión se llevó a cabo de acuerdo con el protocolo de investigación; y 4) mantuvimos un registro de asistencia de los estudiantes que recibieron las clases.

El currículo desarrollado fue el mismo en ambas metodologías: introducción a la guitarra (anatomía, cuerdas y afinación), "digitación", escalas de notas, ritmo, rasgueo, acordes, tiempos, pentagrama e interpretación de canciones populares. Finalmente, para descartar la influencia de otras asignaturas o profesores de la titulación, ambos grupos recibieron las mismas horas de asignaturas y fueron impartidos por los mismos profesores durante el semestre.

### **Adquisición y procesamiento de datos de Imágenes**

Todos los participantes llevaron a cabo dos sesiones de resonancia magnética, una antes de comenzar el curso de guitarra y otra tras terminarlo. Las imágenes de resonancia magnética fueron adquiridas en un escáner 3T Tesla Magnetom Tim Trio (Siemens Medical Solutions, Erlangen, Alemania) equipado con una bobina de cabeza de sólo recepción de 32 canales. En ambas sesiones se obtuvo una imagen sagital tridimensional ponderada T1 de alta resolución. Los parámetros de adquisición fueron los siguientes: Tiempo de repetición

(TR), 2300ms; tiempo de Ech (TE), 3.1ms; ángulo de giro, 9°; campo de visión (FOV), 256 x 256 mm; número de cortes, 208; tamaño del vóxel, 0.8 x 0.8 x 0.8 mm.

Los datos se procesaron con el software Freesurfer versión 6.0 (<http://surfer.nmr.mgh.harvard.edu>) de la Universidad de Granada, España. Las imágenes fueron procesadas siguiendo la tubería estándar "recon-all" que ha sido previamente validada para segmentar y medir los volúmenes de las subestructuras cerebrales, el espesor cortical y el área superficial (Dale et al., 1999; Fischl et al., 1999; Fisch y Dale, 2000). Antes del preprocesamiento, todas las imágenes se inspeccionaban visualmente en busca de artefactos de adquisición. Dos participantes fueron descartados debido a un artefacto de movimiento excesivo.

Brevemente, los pasos de procesamiento incluyeron (i) el registro automatizado de Talairach, (iii) la segmentación de la materia gris/blanca, (iv) la construcción de un modelo de límites de materia gris-blanca, y (v) la parcelación de la corteza cerebral en ROIs basados en estructuras giratorias y sulcales del atlas de Destrieux (Dale et al., 1999; Fischl et al., 1999; Fischl y Dale, 2000; Destrieux et al., 2010). Las salidas de FreeSurfer también fueron inspeccionadas visualmente para comprobar la correcta segmentación y parcelación. Se extrajeron volúmenes, superficies y grosores corticales de la parcelación cerebral basados en el atlas de Destrieux junto con los volúmenes subcorticales del cerebro.

### **Medidas de rendimiento durante el curso**

Todos los alumnos fueron evaluados por el profesor al final de cada una de las 20 clases de las que se componían los cursos con una escala entre el 1 el 5. Para evaluar el aprendizaje durante los cursos se tomaron como variables de interés, el porcentaje de asistencia de cada alumno, así como la diferencia entre su rendimiento en las 5 primeras

clases y su rendimiento en las 5 últimas. De este modo se podía evaluar la mejora de cada alumno sin contar con el sesgo de utilizar la medida de una única sesión.

## **Análisis estadísticos**

Los datos conductuales fueron analizados con el Paquete Estadístico para las Ciencias Sociales versión 20 (SPSS; Chicago, IL). Realizamos pruebas independientes de muestra (de dos colas) para comparar grupos en variables demográficas y de coeficiente intelectual antes del curso y también comparamos la asistencia y rendimiento musical durante el curso.

Se realizaron ANOVAS de medidas repetidas 2x2 para las distintas medidas cerebrales (Pre y Post) y para los dos grupos (Tradicional vs. Indagación). Como se comentó anteriormente, las medidas cerebrales utilizadas fueron los volúmenes, superficies y grosores corticales basados en el atlas de Destrieux. Adicionalmente se realizaron análisis de correlación entre las regiones donde se encontró interacción significativa en el análisis anterior y la mejora en el rendimiento durante el curso. Estos análisis se realizaron en SPSS v.20.

## **Resultados**

### **Resultados Conductuales**

No se encontraron diferencias significativas entre los grupos en sus niveles de CI antes del curso ( $p=0.102$ ), ni en su porcentaje de asistencia al curso ( $p=0.722$ ), ni en la mejora del rendimiento musical ( $p=0.357$ ).

## Resultados de Neuroimagen

Se encontraron interacciones significativas en cuanto al volumen en la circunvolución frontal inferior, tanto orbital como triangular y en el cíngulo posterior derecho. Con respecto a la superficie se encontraron interacciones significativas en la ínsula anterior derecha, en el cíngulo posterior derecho y en la circunvolución temporal superior izquierda. Finalmente se encontraron cambios en el grosor de corteza en ambas ínsulas y en la circunvolución temporal superior derecha (ver Tabla 1).

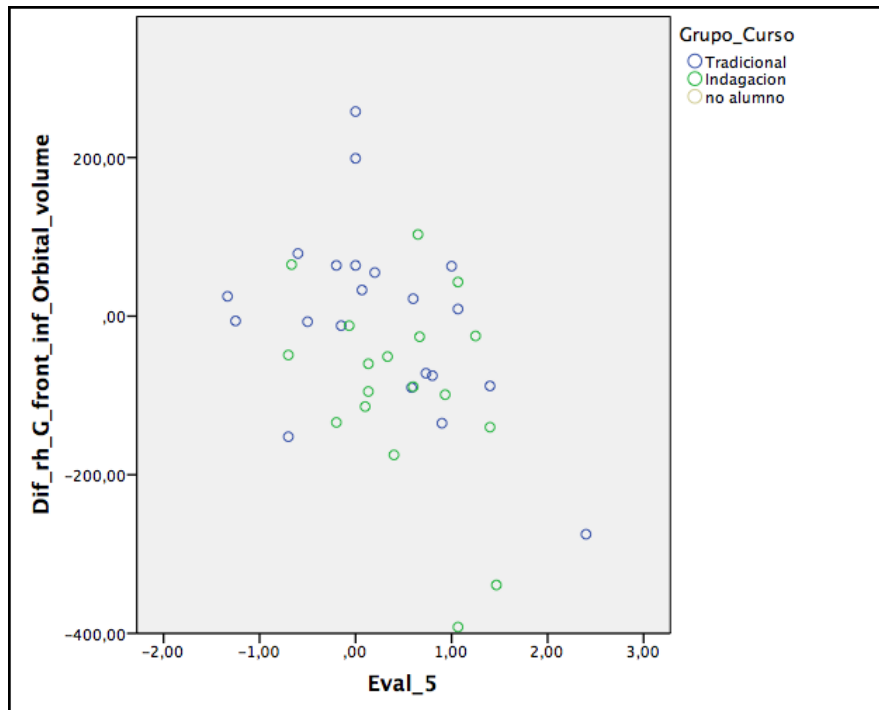
**Tabla 1:** Regiones cerebrales donde se encontraron interacciones significativas entre el grupo de aprendizaje y el momento de la resonancia.

Áreas cerebrales		Medida	Indagación		Tradicional		p-valor
			PRE	POST	PRE	POST	
Circunvolución frontal inferior (IFG)	IFG Orbital (BA47) derecha	Volumen	1213.33 (276.89)	1125.05 (262.89)	1180.67 (262.44)	1178.71 (212.68)	0.032
	IFG Triangular (BA45) izquierda	Volumen	2855.67 (633.26)	2903.94 (691.05)	2982.33 (544.54)	2921.38 (529.55)	0.012
Ínsula	Ínsula izquierda	Grosor corteza	3.040 (0.148)	3.086 (0.129)	3.095 (0.097)	3.034 (0.151)	0.011
	Ínsula derecha	Grosor corteza	3.070 (0.172)	3.158 (0.121)	3.141 (0.126)	3.100 (0.162)	0.003
	Ínsula anterior izquierda	Superficie	497.94 (81.51)	472.56 (70.39)	501.81 (61.69)	514.29 (59.38)	0.007
Corteza Cingulada Posterior (PCC)	PCC derecha	Volumen	1639.28 (260.39)	1574.72 (230.06)	1549.38 (241.92)	1575.05 (237.56)	0.007
	PCC derecha	Superficie	388.22 (60.63)	368.78 (53.86)	370.67 (70.05)	373.57 (60.34)	0.013
Circunvolución temporal superior (STG)	STG lateral izquierda	Superficie	1283.56 (133.30)	1248.89 (131.65)	1240.10 (110.88)	1262.10 (113.14)	0.002
	STG lateral derecha	Grosor corteza	3.209 (0.151)	3.230 (0.135)	3.296 (0.182)	3.250 (0.159)	0.016

Los valores numéricos representan media (desviación típica). El p-valor representa el nivel de significación del análisis de interacción.

Ninguna de las regiones que mostraron interacción significativa mostró diferencias entre grupos en la primera sesión de resonancia (todas  $p > 0.05$ ), comprobándose así que no existían diferencias previas entre grupos.

Al hacer correlaciones con la mejora de rendimiento se encuentra que la región del giro frontal inferior orbital derecha, cuanto más disminuye el volumen, mayor aprendizaje tienen en el curso de guitarra ( $r = -0.440$ ,  $p = 0.005$ ).



**Figura 1.** Región del giro frontal inferior orbital. Cuando más disminuye el volumen, mayor aprendizaje tienen en el curso de guitarra.

## Discusión

Los resultados indican que las dos metodologías producen diferentes cambios en el cerebro.

### Se detectó un cambio estructural en la parte triangular del IFG

Hubo una reducción en la región izquierda en el grupo tradicional en comparación con el grupo de investigación. Debido a la falta de estudios longitudinales sobre la dinámica del fenómeno dual de reducción y aumento de la estructura cerebral, no podemos sacar conclusiones firmes. Sólo podemos ofrecer una descripción del fenómeno, ya que no

hay acuerdo en la literatura con respecto a lo que ocurre durante el aprendizaje, ya que algunos autores sugieren que el aprendizaje aumenta el volumen cerebral mientras que otros informan que se reduce (Zatorre et al., 2012).

En el grupo por indagación, el volumen de IFG Orbital (47) derecha está reducida, mientras en el grupo tradicional se mantiene. Además, nuestro estudio ha demostrado que cuanto más aprenden, más se reduce esta área. La explicación puede deberse a las condiciones metodológicas particulares propuestas -aprendizaje grupal y resolución de problemas-, además de tener mayor eficiencia en algunas funciones cognitivas, como la atención, inhibición motora y de imágenes, expresión de lenguaje y programas motores del habla y sociales (Liu et al, 2016; Matchin & Hickok, 2016). Además puede tener desarrollado más eficiencia en el procesamiento estructural jerárquico en la música (Cheung et al, 2018), en el reordenamiento sintáctico del lenguaje (Údden et al, 2017), así como en el procesamiento semántico musical, codificación y representaciones fonológicas (Richlan, 2012). El grupo por indagación utiliza la creatividad como herramienta educativa, manifestada por el creciente aumento del volumen del área frontal inferior izquierda (45), que normalmente es más grande en personas más creativas verbalmente (Chen et al, 2014; Klimenko, 2017), así como la capacidad de componer ideas (Matchin & Hickok, 2016; Hartwigsen et al, 2018). En resumen, lo que se percibe es un intento de “crear”, por parte de los estudiantes, un modo de reestructurar y/o inhibir la información por sí mismos, con un soporte emocional y/o motivacional en el aprendizaje, asumiendo el proceso dinámico de evaluar y componer ideas y obteniendo, como producto final, la originalidad tan característica de este grupo de indagación.

## Inspección de la ínsula

En nuestro estudio, se ha visto reducción del grosor y aumento de la superficie en el área anterior izquierda en el grupo tradicional. Mientras que en el grupo por indagación, se verifica un aumento bilateral del grosor insular y la reducción de la superficie de la ínsula anterior izquierda. En concreto, en el método de indagación, al utilizar información multisensorial, accionando procesos afectivos y de orden ejecutiva (Uddin et al, 2014), tuvieron un papel crucial en el proceso de aprendizaje musical, observando un elevado grosor cerebral en la ínsula de modo bilateral, mientras que en el grupo tradicional ocurrió una reducción. Además, el grupo por indagación también puede estar más desarrollado en el sistema de información sensorial motriz (Kleber et al, 2013), como también mayor control corporal, mayor integración de información multisensorial en el contexto de la formación musical (Zamorano et al, 2017) y en habilidades auditivas, en relación al grupo tradicional. Sin embargo, en la superficie insular anterior izquierda, particularmente, se detectó una alteración para ambos grupos (reducción superficial para el grupo de indagación y aumento superficial para el grupo tradicional). Nos cuestionamos si esta área es más eficiente y especializada después de que la metodología por indagación fue accionada, ya que dicha área participa de la red cerebral de relevancia, favoreciendo el cambio del modo de pensar antes convencional y ahora más creativo. Lo que sería menos eficiente para el grupo tradicional, deduciendo una “posible” dificultad de hacer este traslado de pensamiento.

La ínsula juega un papel esencial en el procesamiento emocional, y está involucrada en el pensamiento creativo, facilitando la notación para la red ejecutiva y la red de modo por defecto (Default Mode Network, DMN) de los elementos en respuesta a la información emocionalmente relevante en el entorno y las asociaciones en la mente (Cauda et al., 2011).



La ínsula anterior -porque es central en la red relevante- cobra importancia cuando pasamos de una forma convencional de pensar a una nueva ruta (Heinonen et al., 2016).

### **La corteza cingular bajo observación**

Particularmente el área posterior derecha, la cual se redujo en volumen y superficie en el grupo de indagación, mientras en el grupo tradicional se mantuvo inalterado. En el estudio, cuestionamos si, debido a la reducción del volumen y superficie en el Cingulado Posterior derecho, se produjo una mayor funcionalidad y especialización en esta área, en el grupo por indagación en comparación con el grupo tradicional. Las condiciones en las que se daba la formación musical seguían una estrategia inductiva en ambiente grupal y esta proporciona la continua generación de pensamientos e imágenes internas -que son componentes de la innovación creativa-, en asociación también con cuestiones emotivas de representación y de familiarización, favoreciendo una mayor motivación y, como consecuencia, mayor rendimiento en el aprendizaje. Además, la metodología de indagación, promueve estímulos suficientes para que el alumnado desarrolle su creatividad mediante la generación de ideas o acciones que le hagan salir del problema direccionado.

La corteza cingular posterior, aunque todavía no hay consenso sobre su papel cognitivo (Leech & Sharp, 2014), esta estructura parece estar correlacionada con la generación de pensamientos e imágenes internas, que son componentes de la innovación creativa (Klimenko, 2017). Esta estructura participa en la formación y regulación de las emociones junto con el procesamiento de datos relacionados con el comportamiento, el aprendizaje y la memoria (Jung et al., 2010). La relación directa entre la corteza cingular posterior y la generación de un pensamiento o acción divergente tiende a estar vinculada a temas más creativos (Barack et al., 2017).

## Cambios detectados en el giro temporal

Se redujo la superficie en el grupo por indagación, concretamente en la zona superior lateral izquierda, y en el grupo tradicional disminución del grosor en la zona superior lateral derecha. Por más que las dos metodologías ofrezcan la oportunidad de desarrollar el procesamiento auditivo-motor del lenguaje y música en los alumnos, hay diferencias a nivel hemisférico cerebral, al detectar encogimiento de la superficie temporal superior lateral izquierda en el grupo por indagación y aumento en el grupo tradicional. Esta área promueve en el alumnado mayor desarrollo en el procesamiento de la comprensión y asociación de informaciones del lenguaje, así como también en la memoria semántica musical, haciendo referencia a la memoria de significados, entendimientos y otros conocimientos conceptuales, que no están relacionados con experiencias concretas. Además, esta área es la más utilizada para procesar tareas musicales en entrenamiento musical y en músicos expertos.

Sin embargo, dada la detección de contracción de la superficie temporal lateral derecha en el grupo tradicional y el hecho de que esta región permaneció sin cambios en el grupo de investigación, podría ser razonable suponer que esta región no es eficiente y especializada siguiendo un método de aprendizaje que se caracteriza por el academicismo teórico y basado en la memoria, aunque posiblemente podría facilitar el procesamiento rítmico (Williamon et al., 2014) y el tono musical, así como el análisis de los estímulos auditivos. Por experiencia didáctica sabemos que es más fácil recordar algo a lo que le hemos dado sentido que algo que hemos aprendido por mera repetición de palabras.

## **Conclusiones**

En conclusión, nuestro estudio ha mostrado que ambos grupos obtuvieron, después de la experiencia metodológica, modificación en su estructura cerebral. En el grupo por indagación, se observó reducción del volumen IFG Orbital (47) derecha, del volumen y superficie en el Cingulado Posterior Derecho y de la superficie de la Circunvolución temporal superior izquierda. Además, se observó aumento bilateral del grosor insular y reducción de la superficie de la ínsula anterior izquierda. En el caso del grupo tradicional, se ha encontrado reducción en el volumen de IFG Triangular (45) izquierda y grosor en la Circunvolución temporal superior derecha. La ínsula, de modo bilateral ha visto reducido su grosor, así como aumento de la superficie en el área anterior izquierda. Podemos concluir que el grupo de indagación intentó “crear” un modo de reestructurar y/o inhibir la información y generar pensamientos e imágenes internas; y el grupo tradicional promovió un esfuerzo mental más analítico, jerárquico y memorístico.

## **Limitaciones**

Los grupos de estudio son suficientes pero limitados en número. En investigaciones posteriores sería necesario replicar estos resultados en muestras mayores. Finalmente no se han ajustado los resultados por el número de comparaciones, pero esto se debe al carácter preliminar de este estudio. Trabajos futuros podrán utilizar las áreas encontradas como regiones de interés y aplicar métodos estadísticos más exigentes. En investigaciones futuras debemos profundizar en la temática, observando la manifestación cerebral a nivel funcional cuando se comparan las metodologías propuestas; replicar estos hallazgos en muestras más amplias en otras materias curriculares (como matemática, historia, etc.), así como también promover estudios longitudinales con el objetivo de entender la dinámica de reducción y aumento de la estructura cerebral en metodologías de aprendizaje.

## **Agradecimientos**

Este trabajo fue apoyado por la Universidad de Granada, España (subvención 3000 €); y el Centro Universitario João Pessoa, Brasil (subvención 27000€). Todos los participantes dieron su consentimiento informado por escrito y el protocolo fue aprobado por el comité de ética de la Universidad de Granada.

---

# CAPÍTULO 6

## *DISCUSIÓN GENERAL, CONCLUSIONES, LIMITACIONES, IMPLICACIONES Y PERSPECTIVAS FUTURAS*

---

Qué se va a tratar:

### **6. DISCUSIÓN GENERAL, CONCLUSIONES, LIMITACIONES, IMPLICACIONES Y PERSPECTIVAS FUTURAS**

#### **6.1 Discusión general**

#### **6.2 Implicaciones prácticas**

#### **6.3 Implicaciones teóricas**

#### **6.4 Conclusiones respecto a los objetivos**

#### **6.5 Limitaciones y perspectivas futuras**

## **6. DISCUSIÓN GENERAL, CONCLUSIONES, LIMITACIONES, IMPLICACIONES Y PERSPECTIVAS FUTURAS**

### **6.1 Discusión general**

Para que el aprendizaje sea significativo, desde una visión neurodidáctica, es necesario un estímulo suficientemente atractivo, agradable, que capte la atención produciendo en el cerebro una conexión neuronal, sináptica, integrada en una compleja red que le permitirá entender y reaccionar ante ese estímulo (García, 2017).

Situados en esta perspectiva y reflexionado sobre la relevancia para la ciencia educativa, intentamos atender nuestro objetivo general de comparar el método de educación musical tradicional frente a una metodología de indagación desde la perspectiva didáctica, neurocognitiva, de rendimiento académico y de estructura cerebral. Nuestros resultados muestran alteraciones significativas en la esfera estructural del cerebro, cambiándolo de modo distinto para cada metodología.

De modo específico, se buscó en la FASE 2 y 3 investigar los mecanismos cerebrales de la creatividad musical deliberada, desarrollando y aplicando tareas de memoria y creatividad en educación musical en músicos y no músicos en Resonancia Magnética Funcional (fMRI), así como su relación con el pensamiento creativo y la conducta musical creativa controlada. Tras los hallazgos, la primera información bastante evidente es la efectividad de las tareas diseñadas para el experimento. Las áreas fueron activadas en ambos los grupos durante las tareas de improvisación musical, lo que es visto como patrones de activación, encontrados en estudios previos sobre creatividad musical

(Beaty, 2015) y están comúnmente relacionadas con el proceso de creatividad (Klimenko, 2017; Mok, 2014). Siendo la activación más significativa en el grupo de músicos que en el de no músicos.

Un segundo punto a considerar es la observación de mayor desactivación de la red cerebral por defecto (DMN) en el grupo de músicos en comparación con los no músicos. Después de activar las áreas dedicadas al desempeño de la tarea - improvisación - y las áreas responsables de la atención, habilidades de razonamiento y memoria de trabajo, con el objetivo de solucionar el problema propuesto (Liu, 2018), ocurrió una desactivación del DMN en los músicos. Esta dinámica tiene sentido puesto que la red DMN redujo su actividad para activar otra área cerebral responsable de la tarea dirigida (Cerliani et al, 2015). En los músicos esta dinámica fue más acentuada, infiriendo que ellos mismos potenciaron más su actividad cerebral a la hora de improvisar, posiblemente debido su experiencia musical.

Hasta este punto, todo está acorde conforme a la literatura. Sin embargo, lo que es considerado novedoso y de vanguardia fueron los resultados de correlación entre las áreas cerebrales con el tiempo de improvisación. En este sentido, fue encontrada una diferenciación entre los grupos: en los músicos ocurrió una correlación entre tiempo de improvisación y la activación del área suplementaria motora, mientras que en los no músicos se asoció con la activación insular. Esto significa y podemos inferir en el grupo de músicos, que al poseer experiencia teórico/práctico musical, el área motora suplementaria construye la representación interna del rendimiento (Tanaka & Kirino, 2017) y procesamiento musical (Cona & Semenza, 2017), integrando la información multimodal requerida para su desempeño y planeando con propiedad los movimientos motores complejos solicitados (Tanaka & Kirino, 2017). Esto está reflejado en los datos del

Cociente de Inteligencia (IQ), que fueron significativamente más altos en músicos cuando se comparó con los no músicos. También se vio que los músicos improvisaban más tiempo y tocaban más notas durante ese tiempo y que interpretaban un ritmo que difería más del original en comparación con los no músicos.

Sin embargo, el grupo no musical, al no contar con dicha experiencia de improvisación, busca auxilio en la ínsula favoreciendo la composición de información multisensorial (He et al., 2018; Uddin et al., 2014) en el rendimiento musical (Zamorano et al., 2017). De este modo, al integrar los datos sensoriales de la información adquirida (la tarea) (He et al., 2018), percibida como novedosa y relevante desde su perspectiva, la red de relevancia y la ínsula son accionadas estimulando la conducta de improvisación en los no músicos (Heinonen et al., 2016). Además, nuestros resultados sugieren que los no músicos, por carecer de experiencia cognitiva musical, implican el proceso emocional a fin de que se construya un pensamiento creativo ante la tarea (Cauda et al., 2011), cambiando el modo de resolución de problema habitual por un nuevo modo de pensar (Heinonen et al., 2016).

Un último punto en nuestro primer estudio que queremos resaltar, fue la no existencia de diferencias a nivel conductual cuando comparamos los grupos, en cuanto al rendimiento en la condición de reproducción musical. Contrariando a nuestra hipótesis, hubo ausencia de correlación entre la puntuación de creatividad general PIC-A y la actividad cerebral durante desempeño de la tarea de resonancia magnética infiriendo que, a nivel cerebral como conductual, esta ausencia demuestra que la creatividad musical puede ser específica del ámbito musical, no teniendo relación con las capacidades de creatividad en otros dominios más generales. Futuras investigaciones deben explorar también si la



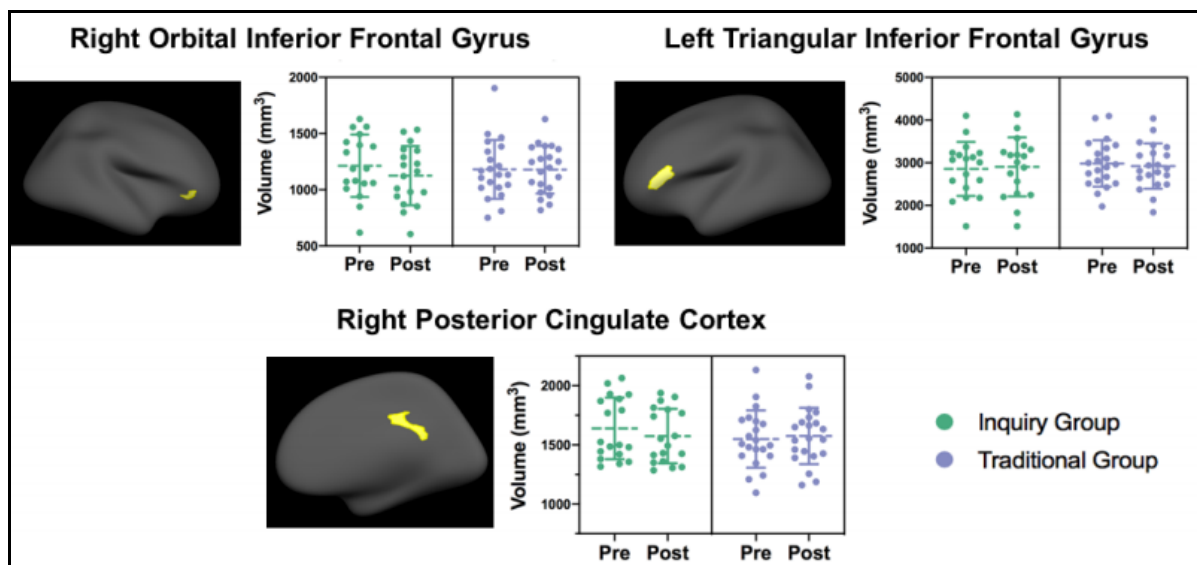
capacidad de creatividad musical se puede asociar con otros campos creativos más específicos.

Además, el instrumento metodológico elaborado para el grupo de indagación posee la característica de que estimula la improvisación, de forma sencilla, dinámica, práctica y constructiva, lo cual lo hace bastante interesante para el docente; así como para el rendimiento académico y la asistencia, pues ambos correlacionan, a más asistencia, más aprendizaje. Este concepto de aprender creativo promueve no solo cambios en los alumnos, ampliando habilidades de codificación sensorial y perceptiva, el almacenamiento y recuperación de la memoria o el control motor y la supervisión del rendimiento (Biasutti, 2017); sino también en el profesorado, cuando destacamos los cambios necesarios de conducta en la forma de enseñar (Luquet, 2015) además de arriesgarnos a decir cambios cerebrales - sobre los que habría que indagar-. La improvisación musical es una herramienta innovadora en educación (Santi, 2016), en el desarrollo de la creatividad, de la construcción de conocimiento interactivo (Biasutti, 2017), del pensamiento crítico y de habilidades para resolución de problemas, auxiliando la práctica reflexiva musical durante la improvisación (Biasutti, 2013).

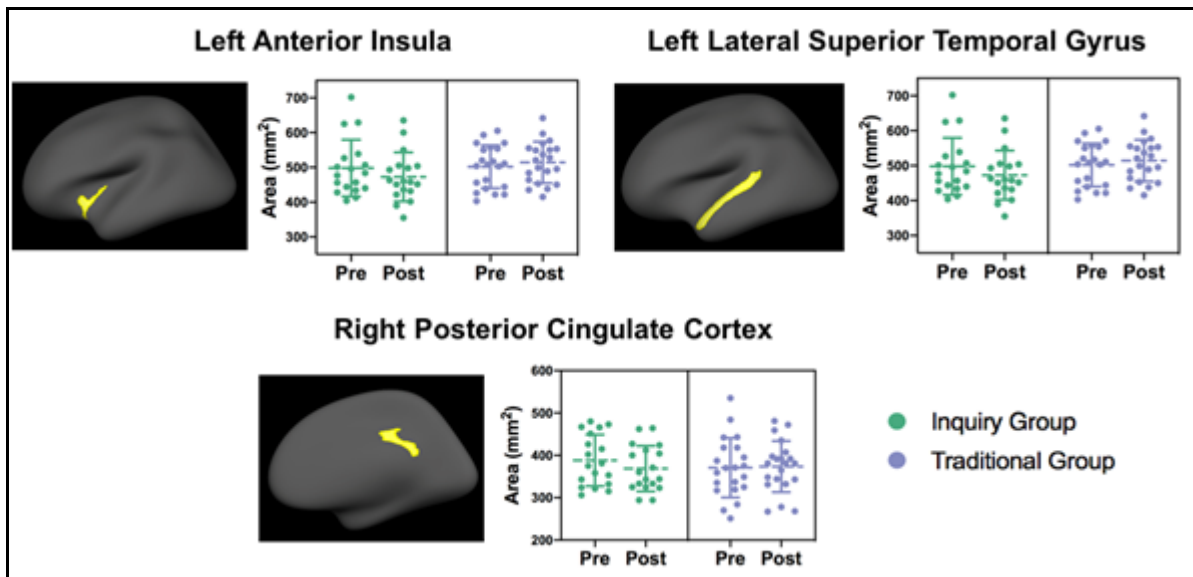
En el último estudio relativo a la FASE 6, finalmente comparamos, a nivel estructural, el cerebro de nuestros alumnos antes y después de aplicarles el método de enseñanza tradicional frente a una metodología de indagación. Hasta donde sabemos, esta es la primera investigación que explora los cambios en el cerebro, producidos por la aplicación de la metodología de enseñanza tradicional y los producidos por una metodología basada en la investigación. Estamos muy satisfechos y esperanzados con los resultados, pues nos indican que las dos metodologías cambian el cerebro pero que de modo distinto.

Antes de discutirlos es interesante afirmar que debido a la falta de estudios longitudinales sobre la dinámica del fenómeno dual de reducción y aumento de la estructura cerebral, no existiendo consenso en la literatura sobre lo que sucede durante el aprendizaje - algunos autores sugieren que el aprendizaje aumenta el volumen cerebral mientras que otros afirman que se reduce (Zatorre, 2012) - no podemos sacar conclusiones consistentes que nos induzcan a pensar que una metodología es mejor que otra. Nos limitamos a describir el fenómeno infiriendo la información.

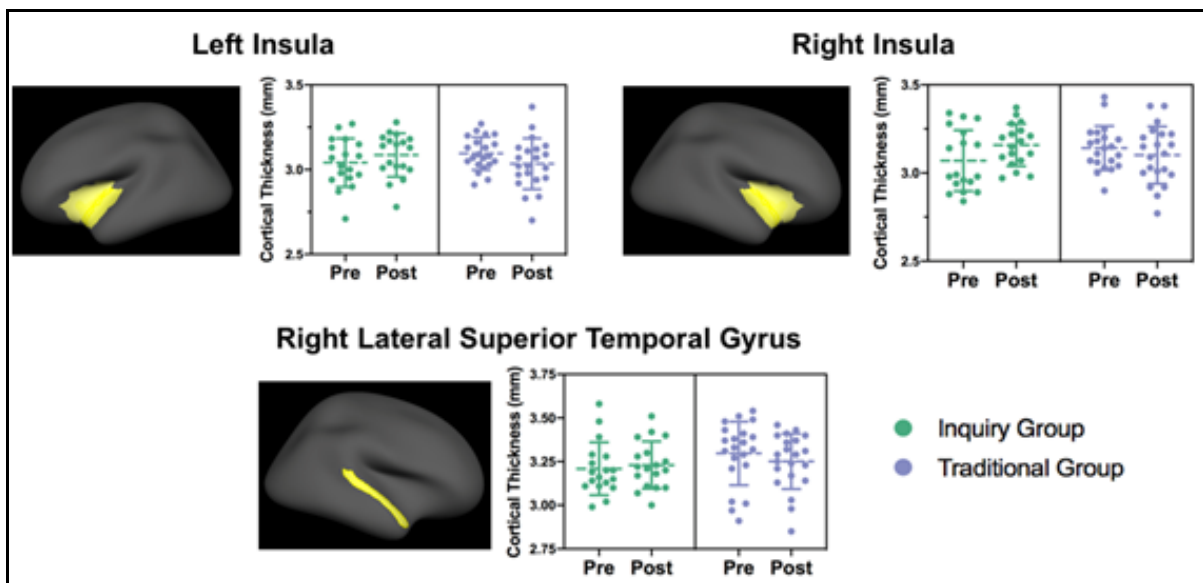
Los resultados de neuroimagen mostraron interacciones significativas de estructura cerebral en ambos grupos, en términos de volumen en la circunvolución frontal inferior - orbital y triangular- como también en el cíngulo posterior derecho. En la superficie se encontraron interacciones significativas en la ínsula anterior derecha, en el cíngulo posterior derecho y en la circunvolución temporal superior izquierda. Además, se detectaron cambios en el grosor de corteza en ambas ínsulas y en la circunvolución temporal superior derecha.



**Figura 24:** Las regiones cerebrales muestran una interacción significativa en volumen cerebral. Las regiones se destacan en amarillo sobre un cerebro estándar inflado. Las barras del gráfico representan las desviaciones medias y estándar.



**Figura 25:** Las regiones cerebrales muestran una interacción significativa en superficie cerebral. Las regiones se destacan en amarillo sobre un cerebro estándar inflado. Las barras del gráfico representan las desviaciones medias y estándar.



**Figura 26:** Las regiones cerebrales muestran una interacción significativa en el grosor cortical. Las regiones se destacan en amarillo sobre un cerebro estándar inflado. Las barras del gráfico representan las desviaciones medias y estándar.

Ante los resultados expuestos, se ha demostrado que en el GRUPO TRADICIONAL se produce una reducción tanto en el volumen de IFG Triangular izquierda (Figura 24) como en el grosor cortical y un aumento de la superficie en la región anterior izquierda de la ínsula (Figuras 25, 26). Se observó una disminución en el grosor cortical del giro temporal superior lateral derecho (Figura 26).

En alumnos sometidos a la metodología por INDAGACIÓN aparece una reducción del volumen IFG Orbital derecha (Figura 24); en la corteza cingular posterior derecha se rebajó tanto en volumen como en superficie (Figuras 24, 25); ocurre también reducción en la superficie de la Circunvolución temporal superior lateral izquierda (Figura 25), creciente volumen de la región frontal inferior izquierda (Figura 24); aumento bilateral del grosor cortical insular y reducción de la superficie de la ínsula anterior izquierda (Figuras 25, 26).

Estas modificaciones en la superficie, grosor y volumen del cerebro, tienen su reflejo en que al utilizar información multisensorial (He et al., 2018; Uddin et al., 2014) con apoyo emocional, motivacional y de orden ejecutiva (Uddin et al., 2014), los alumnos sujetos a la enseñanza por indagación intentan "crear" un modo de reestructurar y/o inhibir la información por sí mismos, asumiendo un proceso dinámico de evaluación y composición de ideas y logrando, como producto final, la originalidad característica. Al comparar con el grupo tradicional, el grupo por indagación parece desarrollar más el sistema de información sensorial motriz (Kleber et al., 2013), control corporal, integración de información multisensorial en el contexto de la formación musical (Zamorano et al., 2017) y en habilidades auditivas. Con relación al grupo tradicional lo que se ve es la dificultad de traslado de pensamiento - de convencional para más creativo - aunque se percibe más facilidad en el procesamiento rítmico, de tono musical y análisis de los estímulos auditivos.

## 6.2 Implicaciones prácticas

Nuestros datos muestran que la perspectiva neurocientífica es necesaria en el contexto académico contribuyendo significativamente al *conocimiento del proceso de*

*enseñanza y aprendizaje* y esclareciendo cómo este proceso se escenifica en metodologías habituales como la tradicional y por indagación.

Asimismo, dado que nuestros resultados proyectan *información* sobre la conducta de un *cerebro plástico y social* ante las dos metodologías, ello nos motiva a intervenir de un modo específico en el alumnado, observando cada función neurocognitiva y su reflejo en el aprendizaje en grupo, sin quitar el foco en cada alumno de modo individualizado y contextual. Esta aportación se podría aplicar en la educación formal, con auxilio de otras esferas educacionales, para crear y/o perfeccionar técnicas y estrategias de enseñanza-aprendizaje, asumiendo un proceso constante y dinámico de evaluación y composición de ideas y logrando, como producto final, el aprendizaje significativo.

Además de adquirir mayor rendimiento académico, nuestra investigación nos informa sobre la *adquisición de competencias básicas*, como la creatividad y pensamiento crítico para resolución de problemas, así como el *adecuado* desarrollo académico y personal ante el *aprendizaje en grupo*. Ha quedado manifiesto que una seña de identidad del aprendizaje por indagación ha sido la agrupación de los estudiantes, frente a la individualidad del tradicional.

Una buena aplicación estratégica es la utilización de nuestra *herramienta didáctica* aquí diseñada, desarrollada y evaluada por expertos, como un esbozo para la creación de su propia planificación curricular. Un cuaderno de trabajo para enseñar contenidos musicales desde dos perspectivas de aprendizaje: tradicional y por indagación. La creatividad es protagonista y sirve como mecanismo potenciador de aprendizaje abierto y reflexivo, fomentándola en el alumno en cualquier etapa educativa (Freeman, et al. 2014).

Otra vertiente práctica sería la imprescindible *cooperación del profesorado e instituciones educativas* al permitir tanto la apertura al conocimiento sobre la actividad

cerebral en metodologías de enseñanza, como la versatilidad de aplicarlas en sus aulas. Este conocimiento y aplicabilidad se traduce en actitudes concretas como su inclusión en estrategias de planificación curricular, en la conducta en clase, análisis y mejora de prácticas educativas y evaluativas del aprendizaje, favoreciendo el rendimiento académico del alumnado (Donohoo, 2017). Creemos que gracias a la perspectiva neuro-educacional y los resultados derivados de esta tesis doctoral, se podría incluir en la *formación de los futuros docentes* un contenido específico destinado a trabajar la neurociencia en el contexto metodológico de enseñanza y aprendizaje, en asignaturas tales como Psicología de la Educación o en la de Teoría y Práctica de la Enseñanza.

### 6.3 Implicaciones teóricas

Las implicaciones teóricas relativas a los resultados doctorales aquí explicitados, nos asegura *nuevos caminos* y líneas de investigación antes no explotadas. De este modo, posibilita y motiva a los investigadores y profesionales del área a ser precursores, buscando nuevos cuestionamientos, creencias y evaluaciones de ideas y conceptos.

Este trabajo de investigación conforma un incentivo para el enriquecimiento de la comunidad académica debido a su *tema inédito*. Conjuntamente con las nuevas técnicas de imagen cerebral, ofrece a los investigadores la posibilidad de observar de *modo holístico* el proceso de enseñanza-aprendizaje en diversos contextos educacionales y metodológicos, desde perspectivas distintas (alumnos, profesores, gestores educacionales, padres, etc.), destacando sus factores psicológicos, conductuales, sociales y sus aportaciones, cuando se asocian a factores didácticos, neurobiológicos y fisiológicos que influyen en la conducta y rendimiento académico, emoción y aprendizaje significativo.

Otra implicación teórica que asume nuestra tesis es que ha abierto el *abanico de opciones* sobre nuevas indagaciones en cuanto a la utilización de la neurociencia aplicada al contexto educacional y su impacto e influencia en la vida académica: observar el efecto de su aplicabilidad en el proceso metodológico así como en otros campos de la enseñanza-aprendizaje; desarrollando teorías y conceptos neurocognitivos y su debida validez en nuevas y/o habituales metodologías; enriqueciendo el currículo escolar no perdiendo de vista aspectos relativos a las competencias básicas y el desarrollo académico y personal; concentrar la atención teórica en una perspectiva intervencionista en neuroeducación; y conjuntamente, observar la efectividad y reciclaje de los programas neuro didácticos.

Finalmente, hemos de resaltar que se han generado y *creado instrumentos* (o pruebas) de recogida y análisis de datos neurocognitivos, buscando nuevos parámetros y auxiliando al profesorado a detectar, con más propiedad, las áreas o funciones cognitivas comprometidas para cada alumno de modo individual en el aula, repercutiendo en un mejor desarrollo académico. Instrumentos tales como: tareas de improvisación y memoria (cuyos análisis estadísticos confirman que discriminan memoria y creatividad); cuaderno de trabajo que recoge la secuencia metodológica de actividades desde la perspectiva tradicional y por indagación; registro diario evaluativo de la aplicación de las metodologías; plantilla de evaluación de expertos (de la que los jueces expertos han confirmado su validez de constructo).

#### 6.4 Conclusiones respecto al objetivo general

Tras los resultados obtenidos en los diferentes estudios de esta tesis, se derivan una serie de conclusiones.

Recordemos que nuestro objetivo general era comparar el método de educación musical tradicional frente a una metodología de indagación desde la perspectiva didáctica, neurocognitiva, de rendimiento académico y de estructura cerebral.

Podemos concluir que al comparar ambos métodos, sí hemos encontrado que se comportan de manera distinta a nivel didáctico, de rendimiento académico y de estructura cerebral.

En cuanto a los objetivos específicos eran:

- Desarrollar y aplicar tareas de memoria y creatividad en educación musical con músicos en Resonancia Magnética Funcional (fMRI).
- Evaluar desde la esfera didáctica, neurocognitiva y de rendimiento, una secuencia de actividades musicales basadas en el método de educación por indagación y en el método de educación tradicional.
- Comparar el método de enseñanza tradicional frente a una metodología de indagación en relación a la estructura cerebral, antes y después de la enseñanza musical.

Podemos concluir para el objetivo 1 que:

1. Está comprobada la validez de la tarea diseñada específicamente para el experimento en resonancia magnética funcional (fMRI). Los voluntarios efectivamente estaban improvisando.
2. Debido a su experiencia musical, se produjo mayor desactivación del DMN en el grupo de músicos, favoreciendo mayor activación cerebral responsable de la ejecución de la tarea dirigida a la hora de improvisar, en comparación con los no músicos.
3. Los músicos improvisaban más tiempo, con mayor número de notas tocadas e interpretaban un ritmo que difería más del original, en comparación con los no músicos.



4. En el grupo de músicos correlacionó el tiempo de improvisación y la activación del área suplementaria motora, favoreciendo la integración de la información multimodal requerida para su desempeño y del procesamiento musical debido a su experiencia teórico/práctico musical; y construyendo una representación interna del rendimiento y planeando los movimientos motores solicitados.
5. En el grupo de no músicos correlacionó el tiempo de improvisación y la activación insular. Por no tener experiencia musical, nuestros voluntarios no músicos recurrieron al proceso emocional, desarrollando un pensamiento creativo ante la tarea y cambiando el modo de resolución de problema habitual por un nuevo modo de pensar.

Para el objetivo 2, podemos concluir que:

6. Desde la perspectiva didáctico-curricular, está comprobado que la secuencia de actividades propuestas para la metodología tradicional como para la de indagación, es coherente con el juicio de los expertos en música, demostrando la validez metodológica del instrumento.
7. Desde la visión neurocognitiva, se ha visto ausencia de correlación entre la puntuación de creatividad general PIC-A y la actividad cerebral durante desempeño en la tarea de resonancia magnética.
8. Desde el ámbito del rendimiento académico, en el grupo por indagación cuánto más asistieron a clase, más mejoraron su rendimiento.

Para el objetivo 3, concluimos que:

9. La metodología basada en indagación y tradicional *produce cambios estructurales en el cerebro*. Hay alteraciones significativas en la esfera estructural del cerebro, *cambiando de modo distinto para cada metodología* (tradicional y indagación). Los

resultados de neuroimagen mostraron interacciones significativas en ambos grupos, en términos de *volumen, superficie y grosor cerebral*. El volumen cerebral concierne a la modificación o incremento de la materia gris; la superficie está relacionada con el área que ocupan los pliegues del cerebro, pues a más pliegues, más conexiones; y el grosor se refiere a la distancia entre la materia blanca y la materia gris, es decir, a más grosor más materia gris.

10. La parte triangular del IFG, la ínsula, la corteza cingulada y el giro temporal cambian con la aplicación de la metodología tradicional y por indagación.
11. En el grupo sometido a metodología por indagación aparecieron interacciones significativas en la estructura cerebral, infiriendo que los alumnos intentaron "crear" un modo de reestructurar y/o inhibir la información, asumiendo un proceso dinámico de evaluación y composición de ideas y logrando, como producto final, la originalidad característica. Desarrollando más el sistema de información sensorial motriz, control corporal, integración de información multisensorial en el contexto de la formación musical y en habilidades auditivas.
12. El grupo de indagación intenta “crear” una manera de reestructurar la información.
13. Los resultados de neuroimagen mostraron, para el grupo tradicional, interacciones significativas de estructura cerebral, evidenciando la facilidad en el procesamiento rítmico, de tono musical y análisis de los estímulos auditivos y la dificultad de traslado de pensamiento - de convencional para más creativo -.
14. El grupo tradicional estimula más el esfuerzo mental analítico, jerárquico y basado en la memoria.

## 6.5 Limitaciones y perspectivas futuras

Los resultados y conclusiones derivadas de esta tesis doctoral nos permite indagar en las limitaciones, nuevas cuestiones y planteamientos de investigación que creemos serán relevantes en estudios futuros.

Sobre *las limitaciones* de este trabajo, los presentamos siguiendo las fases de la investigación, pues en cada una de ellas, reconocemos ciertos contrapuntos. Destacamos que en la FASE 2 y 3 los grupos investigados son suficientemente grandes, sin embargo debido la importancia de los hallazgos, al configurarse como de vanguardia, se hace necesario en estudios futuros replicar estos resultados en muestras mayores, con más variedad de instrumentos musicales, profundizando en las áreas cerebrales encontradas y en su relación con los distintos parámetros de la conducta musical. Además, existían diferencias en el cociente intelectual entre los dos grupos músicos y no músicos, si bien se ha tenido en cuenta controlando su efecto en todos los análisis estadísticos, introduciéndolo como covariable.

En la FASE 4 y 5, uno de los limitantes fue la representatividad al validar el instrumento metodológico, pero ante los resultados, lo sugerimos como un recurso pedagógico valioso, repensando e incorporando algunas de sus actividades en recursos pedagógicos musicales más vastos.

En la FASE 6, los resultados no fueron ajustados por el número de comparaciones, debido a la naturaleza preliminar de este trabajo. Los estudios futuros podrían utilizar las regiones cerebrales de interés estudiadas aquí y aplicar métodos estadísticos más exigentes. Otro limitante es la no observación, a nivel funcional del cerebro, en el contexto

metodológico de enseñanza tradicional y por indagación. A pesar de ello, este trabajo de investigación es pionero como estudio comparativo a nivel estructural.

En cuanto a *las fortalezas* de esta tesis doctoral, los resultados en la esfera estructural son bastante significativos y de gran sorpresa, ya que no se esperaba que hubiese cambios en tan poco tiempo tras estar sujetos a los métodos de enseñanza.

Por otro lado, la elección de la muestra (tanto de los alumnos universitarios como los músicos y no músicos); del profesor responsable de la aplicación de las dos secuencias de actividades (siendo el mismo docente para los dos grupos, minimizando así la interferencias por estilo docente); así como la aprobación de las metodologías propuestas por parte de los jueces expertos docentes, tenían características concretas, que han hecho que existan menos variables conflictivas que puedan estar influyendo negativamente en los resultados.

Por último, el asunto abordado en esta investigación es pionero en el ámbito educativo. No se ha encontrado artículos de referencia ni de comparación sobre el cerebro y metodologías de enseñanza.

Aparte de las limitaciones, las fortalezas y la observación continua de los resultados y conclusiones de esta tesis doctoral, nos motiva a seguir en esta línea, marcando nuevos cuestionamientos y *planteamientos de investigación futuros*. Podemos destacar:

1. Profundizar en el tema metodológico de enseñanza y su efecto cerebral a nivel funcional en materia musical con los alumnos sujetos a metodologías por indagación y tradicional.
2. Replicar los hallazgos aquí evidenciados en muestras más grandes y en otras asignaturas curriculares (como matemáticas e historia).

3. Replicar la secuencia de procesos cognitivos diseñados en la herramienta metodológica de actividades desarrolladas en esta tesis doctoral, en otros contextos y materias científicas.
4. Profundizar en el estudio de procesos relativos a la creatividad y a la metodología de enseñanza en el contexto neurocientífico, observando de modo específico la actividad de cada área cerebral aquí evidenciada en un contexto metodológico de enseñanza y creatividad.
5. Realizar estudios longitudinales con el objetivo de comprender la dinámica de la reducción y el aumento de las estructuras cerebrales asociadas a las diversas metodologías de aprendizaje.
6. Observar a nivel educacional, pedagógico y curricular la necesidad de un programa de formación docente enfocando la temática cerebral en las metodologías de enseñanza, como punto clave.
7. Verificar el efecto cerebral y neurocognitivo de un programa de formación docente sobre la conducta del profesorado en la práctica del aula, con temas neuro-didácticos (creatividad, memoria y metodología de enseñanza).
8. Reflexionar y repensar la conducta académica ante las metodologías y el conocimiento neuro didáctico.
9. Explorar, con el uso de la neuroimagen, aspectos de la neurodidáctica poco explorados, evaluando cambios estructurales y funcionales de los docentes al aplicar las metodologías por indagación y tradicional.
10. Desarrollar y validar recursos didácticos que sean viables en los currículos oficiales, por parte del docente y en todos los niveles académicos.
11. Con el uso de la neuroimagen, profundizar en el potencial creativo en clase, de la metodología por indagación.

Pretendemos con esta tesis doctoral ser un punto de partida, el inicio de una línea de investigación a desarrollar. Una herramienta de vanguardia, de apertura, de discusión y reflexión sobre el concepto metodológico de clase tradicional y por indagación, en el campo de las neurociencias y neuroeducación, de innovación en el aula y de reciclaje docente, ofreciendo a la clase científica y académica ser un referente. Además de contribuir a consolidar un hueco de producciones científicas que articulen neurociencia y educación (Bacaro & Sforzi, 2016), la comparación estructural cerebral entre métodos de enseñanza desde el enfoque de las neurociencias es materia de vanguardia insuficientemente explorado.

## **II. REFERENCIAS**

---

## **BIBLIOGRÁFICAS**

# A

Abril, A.M., Ariza, M.R., Quesada, A. & García, F. J. (2014). Creencias del profesorado en ejercicio y en formación sobre el aprendizaje por investigación. *Revista Eureka sobre enseñanza y divulgación de las Ciencias*, 11, 22-33. <http://dx.doi.org/doi:10498/15710>.

Adrover-Roig, D., Marrón, E.M., Sánchez-Cubillo, I. & Miranda-García, R. (2013). Neurobiología de los sistemas de aprendizaje y memoria. In Redolar Ripoll, D. (Ed), *Neurociencia cognitiva* (pp. 411-438).

Agencia de la calidad de la educación del Chile (2016). *Metodología de indagación en el aula*. Retrieved from [http://archivos.agenciaeducacion.cl/talleres/Taller\\_Metodologia\\_indagacion\\_en\\_aula.pdf](http://archivos.agenciaeducacion.cl/talleres/Taller_Metodologia_indagacion_en_aula.pdf)

Aguilera, D., Martín-Páez, T., Valdivia-Rodríguez, V., Ruiz-Delgado, A., Williams-Pinto, L., Vílchez-González, J. M. & Perales-Palacios, F. J. (2018). La enseñanza de las ciencias basada en indagación. Una revisión sistemática de la producción española. *Revista de Educación*, 381. pp. 259-284.

Aimara, E. (2015). *La música como estrategia en el proceso de enseñanza y aprendizaje de los y las estudiantes de 6to grado de educación básica de la Unidad Educativa “Clorinda Azcunes”, en San Siego - estado Carabobo*. (Bachelor's thesis). Universidad de Carabobo. Venezuela.

Akhavan, M., & Kadkhodaie, M. S. (2016). The Effects of Brain-Based Training on Learning and Retention of Life Skills in Adolescents. *International Journal of Behavioral Sciences*, 10(3), 140–144.

Albusac-Jorge, M., & Giménez-Rodríguez, F. J. (2015). Citation index and scientific production on the neuroscience of music: A bibliometric study. *Psychomusicology: Music, Mind, and Brain*, 25(4), 416–422. <http://doi.org/10.1037/pmu0000128>.



Altenmüller, E. (2008). Neurology of musical performance. *Clinical medicine*, 8 (4), 410-413.

Alfieri, L., Brooks, P.J., Aldrich N.J., & Tenenbaum H.R. (2011). Does discovery-based instruction enhance learning? *Journal of Educational Psychology*, 103, 1–18.

Alossa, N., & Castelli, L. (2009). Amusia and musical functioning. *European Neurology*, 61(5), 269-277.

Alsina, P. (2007). Métodos de enseñanza musical: algunos puntos de contacto. In M. Díaz & A. Giráldez (eds.), *Aportaciones teóricas y metodológicas a la educación musical: una selección de autores relevantes*. Barcelona: Graó.

Amador, J. A. (2013). Escala de inteligencia de Wechsler para adultos-IV (WAIS-IV). *ac. Psicol Univ. Barcelona*, pp. 1-21, 2013.

Anderson, R.D. (1996). *Study of Curriculum Reform. [Volume I: Findings and Conclusions.] Studies of Education Reform*. US Government Printing Office, Superintendent of Documents; Mail Stop: SSOP, Washington, DC 20402-9328..

Anderson R.D. (2002). Reforming science teaching: What research says about inquiry? *Journal of Science Teacher Education* 13(1), 1-2.

Anderson, L.W., Krathwohl, D.R. (Eds.) (2001). *A taxonomy for Learning, teaching, and assessing: A revision of Bloom's taxonomy of educational objectives*. New York: Addison Wesley Longman.

Andrade, P. E. (2004). Uma abordagem evolucionária e neurocientífica da música. *Neurociência*, 1 (1).

Anjur, S.S. (2011). Student-centered physiology in high schools. *Adv Physiol Educ* 35, 161–167. Doi:10.1152/advan.00076.2010.

ANSI (Am. Nat. Stand. Inst.) (2013). American National Standard: acoustical terminology. Am. Nat. Stand. Inst./Accredit. Stand. Comm. Acoust., Acoust. Soc. Am; Washington, DC/Melville, NY.Rep. S1.1-2013.

Aquino, M.P.B. (2011). *Dimensão do efeito musical em crianças normo-ouvintes em estado de luto*. (Master's thesis). Universidade de Lisboa. Portugal.

Areepattamannil, S. (2012). Effects of inquiry-based science instruction on science achievement and interest in science: Evidence from Qatar. *The Journal of Educational Research*, 105(2), 134–146.

Arieti, S. (1976). *Creativity: the Magic Synthesis*. Nueva York: Basic.

Ariza, M. R., Aguirre, D., Quesada, A., Abril, A. M., & García, F. J. (2013). Keep it cold!. In K. Maaß, K. Reitz-Koncebovski (Eds.), *Inquiry-based learning in maths and science classes* (pp. 67-70). Freiburg.

Ariza, M.R., Aguirre, D., Quesada, A., Abril, A.M., & García. F.J. (2016). ¿Lana o metal? Una propuesta de aprendizaje por indagación para el estudio de las propiedades térmicas de materiales comunes. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias* 15(2), 297-311.

Artola, T., Mosteiro, P., Poveda, B., Barraca, J., Ancillo, I., & Sánchez, N. (2012). *Prueba de Imaginación Creativa para Adultos*. Madrid: TEA Ediciones.

Atkinson, R. C., & Shiffrin, R. M. (2016). Human Memory: A Proposed System and Its Control Processes. In R. Sternberg, S. Fiske, & D. Foss (Eds.), *Scientists Making a Difference: One Hundred Eminent Behavioral and Brain Scientists Talk about their Most Important Contributions* (pp. 115-118). Cambridge: Cambridge University Press. Doi:10.1017/CBO9781316422250.025

Azevedo, I., Morais, M.F., & Martins, F. (2017). Educação para a criatividade em adolescentes: Uma experiência com future problem solving program international. REICE. *Revista Iberoamericana sobre Calidad, Eficacia y Cambio en Educación*, 15(2), 75-87. <https://doi.org/10.15366/reice2017.15.2.004>.

# B

Bacaro, B. L., & Sforzi, M. S. F. (2016). *Educação e neurociência: as contribuições da literatura científica para o ensino*. Paper presented at the XXII Semana de Pedagogia - X Encontro de Pesquisa em Educação. Maringá: Anais da Semana de Pedagogia da UEM.

Backes, D. S., Marinho, M., Costenaro, R. S., Nunes, S., & Rupolo, I. (2010). Repensando o ser enfermeiro docente na perspectiva do pensamento complexo. *Revista Brasileira de Enfermagem*. Brasília, v. 63, n. 3, p. 421-426.

Baer, J. (2017). Content matters: Why nurturing creativity is so different in different domains. En R. A. Beghetto, B. Sriraman (Eds.), *Creative contradictions in education: Cross disciplinary paradoxes and perspectives* (pp. 129-140). Zúrich: Springer

Bailey, J. A., Zatorre, R. J., & Penhune, V. B. (2014). Early musical training is linked to gray matter structure in the ventral premotor cortex and auditory-motor rhythm synchronization performance. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 26(4), 755-767.

Balaj, A. (2015). *¿Cómo desarrollar la creatividad infantil?* Madrid: Kolima.

Balbag, M.A., Pedersen, N.L., & Gatz, M. (2014). Playing a musical instrument as a protective factor against dementia and cognitive impairment: A population - based twin study. *International Journal of Alzheimer's Disease*. 2014;2014:836748. Doi: 10.1155/2014/836748.

Bangert, M., Peschel T., Schlaug G., Rotte M., Drescher D., Hinrichs H., Heinze H.J., & Altenmüller E. (2006). Shared networks for auditory and motor processing in professional pianists: Evidence from fMRI conjunction. *NeuroImage* 30, 917–926.

Barack, D. L., Chang, S. W. C., & Platt, M. L. (2017). Posterior Cingulate Neurons Dynamically Signal Decisions to Disengage during Foraging. *Neuron*, 96(2), 339–347. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2017.09.048>.

Barbosa, E.F., & Moura, D.G (2013). Metodologias ativas de aprendizagem na educação profissional e tecnológica. *Boletim Técnico do Senac*, 39(2), 48-67.

Barros, V., & Calero, M. (2018). Aula invertida en la enseñanza de Álgebra en la educación superior. *Espirales: Revista Multidisciplinaria de Investigación*, 2 (13). <https://doi.org/10.31876/re.v2i13.150>.

Barrow, L. H. (2006). A brief history of inquiry: from Dewey to Standards. *Journal of Science Teacher Education*, 17, 265-278.

Bashwiler, D. (2018). The neuroscience of music creativity. In *the Cambridge Handbook of the Neuroscience of Creativity*. Cambridge University Press. ISBN 9781108340809.

Bashwiler, D. M., Wertz, C. J., Flores, R. A., & Jung, R. E. (2016). Musical creativity “revealed” in brain structure: interplay between motor, default mode, and limbic networks. *Scientific reports*, 6, 20482.

Battro, A. M., & Cardinali, D. P. (1996). *Más cerebro en la educación*. Buenos Aires: La Nación.

Bear, M., Connors, B., & Paradiso, M. (2008). *Neurociencias: la exploración del cerebro*. Barcelona: Walters Kluwer.

Beaty, R. E. (2015). The neuroscience of musical improvisation. *Neurosci Biobehav Rev* 51, 108–117.

Beaty, R. E., Benedek, M., Wilkins, R. W., Jauk, E., Fink, A., Silvia, P. J., ... & Neubauer, A. C. (2014). Creativity and the default network: A functional connectivity analysis of the creative brain at rest. *Neuropsychologia*, 64, 92–98. <http://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2014.09.019>.

Beaty, R. E., Benedek, M., Silvia, P. J., & Schacter, D. L. (2016). Creative cognition and brain network dynamics. *Trends in cognitive sciences*, 20(2), 87-95.

Beaty, R. E., Kenett, Y. N., Christensen, A. P., Rosenberg, M. D., Benedek, M., Chen, Q., ... & Silvia, P. J. (2018). Robust prediction of individual creative ability from brain functional connectivity. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *115*(5), 1087-1092.

Bendor, D., & Wang, X. (2006). Cortical representations of pitch in monkeys and humans. *Curr Opin Neurobiol.* *16*(4):391- 9.

Benfenati F. (2007). Synaptic Plasticity and the neurobiology of learning and memory. *Acta Biomed*, *78* (1): 58-66.

Bengtsson S.L., Nagy Z., Skare S., Forsman L., Forssberg H., & Ullén F. (2005). Extensive piano practicing has regionally specific effects on white matter development. *Nat Neurosci.* *8*(9): 1148–1150. 10.1038/nn1516.

Bengtsson, S. L., Csíkszentmihályi, M., & Ullén, F. (2007). Cortical Regions Involved in the Generation of Musical Structures during Improvisation in Pianists. *J Cogn Neurosci* *19*, 830–842.

Bermudez, P., Lerch, J. P., Evans, A. C., & Zatorre, R. J. (2009). Neuroanatomical correlates of musicianship as revealed by cortical thickness and voxel-based morphometry. *Cerebral Cortex*, *19*, 1583-1596.

Benedek, M., Franz, F., Heene, M., & Neubauer, A. C. (2012). Differential effects of cognitive inhibition and intelligence on creativity. *Personality and individual differences*, *53*(4), 480-485.

Berkowitz, A. L., & Ansari, D. (2010). Expertise-related deactivation of the right temporoparietal junction during musical improvisation. *NeuroImage* *49*, 712–719.

Berkowitz, A. L., & Ansari, D. (2008). Generation of novel motor sequences: The neural correlates of musical improvisation. *NeuroImage* *41*, 535–543.

Bevins, S., & Price, G. (2016). Reconceptualising inquiry in science education. *International Journal of Science Education*, 38(1), 17-29.

Biasutti, M. (2013). Improvisation in dance education: teachers views. *Res. Dance Educ.* 14, 120–140. doi: 10.1080/14647893.2012.761193.

Biasutti, M. (2017). Teaching Improvisation through Processes. Applications in Music Education and Implications for General Education. *Frontiers in psychology*. 8, 911.

Bidelman G.M., Weiss M.W., Moreno S., & Alain C. (2014). Coordinated plasticity in brainstem and auditory cortex contributes to enhanced categorical speech perception in musicians. *Eur J Neurosci*. 40(4): 2662–2673. 10.1111/ejn.12627

Bigand, E., & Poulin-Charronnat, B. (2006). Are we all experienced listeners. *Cognition*, 100, 100-130.

Bigand, E. (2014). Música: uma atividade promissora para a estimulação cognitiva. *Revista do Programa de Pós-Graduação em Música da Universidade de Brasília*, 1, 140-16.

Bissonnette, J., Dube, F., Provencher, M. D., & Moreno, M. T. (2011). The effect of virtual training on music performance anxiety. In A. Williamon, D., Edwards, and L. Bartel (Eds). *Proceedings of the International Symposium on Performance Science* (p.585–590). Utrecht: European Association of Conservatoires.

Bisquerra, R. (2016). *Metodología de la investigación educativa* (5ta ed.). Madrid: La Muralla.

Boccia M., Piccardi. L, Palermo, L., Nori, R. & Palmiero, M. (2015). Where do bright ideas occur in our brain? Meta-analytic evidence from neuroimaging studies of domain-specific creativity. *Front. Psychol*, 6, 1195. doi: 10.3389/fpsyg.2015.01195

Boh, B., Herholz, S.C., & Pantev, C. L. C. (2011). Processing of complex auditory patterns in musicians and nonmusicians. *Plos One*, 6, 1-10.

Bonwell, C. C., & Eison, J. A. (1991). *Active Learning: Creating Excitement in the Classroom. 1991 ASHE-ERIC Higher Education Reports*. ERIC Clearinghouse on Higher Education, The George Washington University, One Dupont Circle, Suite 630, Washington, DC 20036-1183.

Borovay L., Shore B., Caccese C., Yang E., & Hua O. (2019). Flow, Achievement Level, and Inquiry-Based Learning. *Journal of Advanced Academics*, 30 (1) pp: 74-106. doi:10.1177/1932202X18809659

Bosch, A. M. (2014). *Aproximació a les competències digitals musicals i la seva didàctica als estudis de grau de mestre en educació primària: Estudi de casos múltiple en la menció d'educació musical de les universitats catalanes*. (Doctoral dissertation). Universitat Ramon Llull, Barcelona, España.

Boso M., Politia P., Baralea F., & Emanuele E. (2006). Neurobiological and clinical aspects of music. *Functional Neurology*, 21(4): 187-191.

Bowden, E.M., Jung-Beeman, M., Fleck, J. y Kounios J. (2005). New approaches to demystifying insight. *Trends in cognitive sciences*, 9 (7), 322-328.

Blakemore, S., Frith, U., & Marina, J. A. (2007). *Cómo aprende el cerebro, las claves para la educación*. Barcelona: Ariel.

Bloom, B., & Krathwohl, D. (1956). Taxonomy of educational objectives: Vol. 1: cognitive domain. *New York: McKay*, 20-24.

Blood, A. J., & Zatorre, R. J. (2001). Intensely pleasurable responses to music correlate with activity in brain regions implicated in reward and emotion. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 98(20), 11818-11823

Bonilla, T. (2016). *La Música*. Retrieved from <http://foro.inu.edu.sv/index.php?topic=1424.0>

Bransford, J.D., Brown, A.L., & Cocking, R.R. (2000). *How People Learn: Brain, Mind, Experience, and School. Expanded edition*. National Academy Press.

Bravo, J. (2017). *Audiometría: Los valores normales*. Retrieved from <http://blog.beltone.es/audiometria-los-valores-normales-una/>.

Brighenti, J., Biavatti, V.T., & Souza, T.R. (2015). Methods of Teaching-learning approach in the perception of students. *Revista GUAL*, 8(3), p. 281-304. Doi: <http://dx.doi.org/10.5007/1983-4535.2015v8n3p281>.

Britos, G. (2013). Método científico para la enseñanza de la música. *Copyright Creative Commons Atribución 2.0*. Retrieved from <http://gustavo-britos-zunin.webnode.es/metodo-cientifico-para-la-ensenanza-de-la-musica/>

Brochard R., Dufour A., & Després O. (2004). Effect of musical expertise on visuospatial abilities: Evidence from reaction times and mental imagery. *Brain Cogn.*, 54(2): 103–109. 10.1016/S0278-2626(03)00264-1

Brown, S., Martinez, M.J., Parsons, L.M. (2004). Passive music listening spontaneously engages limbic and paralimbic systems. *Neuroreport*, 15(13), 2033–2037.

Brown, R.M., Chen, J.L. Hollinger, A., Penhune, V.B., Palmer, C., & Zatorre, R.J. (2013). Repetition suppression in auditory-motor regions to pitch and temporal structure in music. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 25, 313-328.

Bru, M. (2009). *Métodos de pedagogia*. São Paulo: Ática, 2008. ISBN: 9788508117062.

Bruce D. (2001). Fifty years since Lashley's. In search of the engram: refutations and conjectures. *J Hist Neurosci.*, 10, 308-18.

Bruffee, K. A (1999). *Collaborative learning: Higher education, interdependence, and the authority of knowledge*. 2on Edition, Johns Hopkins University Press: Baltimore.



Brunner, J. J. (2002). Globalización, educación, revolución tecnológica. *Educación Superior*, 2(2), 111-136.

Buffalo, E. A., Bellgowan, P. S., & Martin, A. (2006). Distinct roles for medial temporal lobe structures in memory for objects and their locations. *Learning & Memory*, 13(5), 638-643.

## C

Cauda F., D'Agata F., Sacco K., Duca S., Geminiani G., Vercelli A. (2011). Functional connectivity of the insula in the resting brain. *Neuroimage*. 55: 8–23.

Cancino, G. C. (2018). Percepciones del alumnado sobre la relevancia de la creatividad en el proceso de enseñanza-aprendizaje. *ReiDoCrea: Revista electrónica de investigación y docencia creativa*, (7), 1-6.

Cañal, P. (2006). La alfabetización científica en la infancia. *Aula de infantil*, 33, 5-9.

Carter, R. (2009). *The human brain book*. DK: United States: New York. ISBN: 978-0-7566-5441-2.

Castillo G.D., & de Jorge, J.L.V. (2015). *Anatomía y fisiología del sistema nervioso central*. CEU ediciones. ISBN: 9788415949893.

Ceccato, J. C., Bourien, J., Venail, F., & Puel, J. L. (2017). Adaptación audioprotésica convencional. *EMC-Otorrinolaringología*, 46(4), 1-15.

Cerliani, L., Mennes, M., Thomas, R.M., Di Martino, A., Thioux, M., & Keyzers, C. (2015). Increased functional connectivity between subcortical and cortical resting-state networks in autism spectrum disorder. *JAMA psychiatry*, *72*, 767–777.

Chávez, R.A., Graff-Guerrero, A., García-Reyna, J. C., Vaugier, V., & Cruz-Fuentes, C. (2004). Neurobiología de la creatividad: resultados preliminares de un estudio de activación cerebral. *Salud Mental*, *27* (3), 38-46.

Chen, J. L., Penhune, V. B. & Zatorre, R. J. (2007). Moving on Time: Brain Network for Auditory-Motor Synchronization is Modulated by Rhythm Complexity and Musical Training. *J Cogn Neurosci*, *20*, 226–239.

Chen, Q., Yang, W., Li, W., Wei, D., Li, H., Lei, Q., Zhang, Q., & Qiu, J. (2014). Association of creative achievement with cognitive flexibility by a combined voxel-based morphometry and resting-state functional connectivity study. *Neuroimage*, *102*(2), 474 – 483.

Cheung, V.K.M., Meyer, L., Friederici, A.D., & Koelsch, S. (2018). The right inferior frontal gyrus processes nested non-local dependencies in music. *Scientific reports*, *8*(1), 3822.

Choi, E., Lindquist, R., & Song, Y. (2014). Effects of problem-based learning vs. traditional lecture on Korean nursing students' critical thinking, problem-solving, and self-directed learning. *Nurse Education Today*, *34*(1), 52-56.

Chong, J. S. X., Ng, G. J. P., Lee, S. C., & Zhou, J. (2017). Salience network connectivity in the insula is associated with individual differences in interoceptive accuracy. *Brain Struct Funct* *222*, 1635–1644.

Churches, A. (2009). *Bloom's Digital Taxonomy*. Retrieved from <http://edorigami.wikispaces.com>.

Clem, R. L., & Schiller, D. (2016). New learning and unlearning: Strangers or accomplices in threat memory attenuation? *Trends in Neurosciences*, *39*(5), 340-351.

Cobo, P. (2019). A multidisplinary approach to tinnitus. *Loquens*, 5(2), 051.

Collins, A. (2013). Neuroscience meets music education: Exploring the implications of neural processing models on music education practice. *International Journal of Music Education* 31(2) 217–231.

Cona, G., & Semenza, C. (2017). Supplementary motor area as key structure for domain-general sequence processing: a unified account. *Neurosci. Biobehav.*72, 28–42. doi: 10.1016/j.neubiorev.2016.10.033.

Correia, C. M. F., Muszkat, M., Vicenzo, N. S. D., & Campos, C. J. R. D. (1998). Lateralização das funções musicais na epilepsia parcial. *Arquivos de Neuro-Psiquiatria*.

Couso, D. (2014). *De la moda de «aprender indagando» a la indagación para modelizar: una reflexión crítica*. Conferencia Inaugural. XXVI Encuentro de Didáctica de las Ciencias Experimentales. Huelva: Universidad de Huelva.

Cowan, N. (2010). Multiple concurrent thoughts: The meaning and developmental neuropsychology of working memory. *Developmental neuropsychology*, 35 (5), 447-474.

Cruz, O. L., Grapain, S. S., & García-García, F. (2013). El cerebro y la música. *Revista Médica de la Universidad Veracruzana*, 13(1), 17-22.

Cuevas, P., Lee, O., Hart, J. Deakort, R. (2005). Improving science inquiry with elementary students of diverse backgrounds. *Journal of Research in Science Teaching*, 42, 337-357.

Cuevas, J. C., & de la Herrán Gascón, A. (2015). Creatividad, complejidad y formación: un enfoque transdisciplinar/Creativity, complexity and training: A transdisciplinary approach. *Revista Complutense de Educación*, 26(3), 505.

Custodio N., & Cano-Campos, M. (2017). Efectos de la música sobre las funciones cognitivas. *Rev. Neuropsiquiatr.* 80(1), 60-69

# D

Dale, A.M., Fischl, B., & Sereno, M.I. (1999). Cortical surface-based analysis. Segmentation and surface reconstruction. *NeuroImage*, 9(2), 179-94.

De Castro Martínez, N. (2014). El uso de la Música para la enseñanza del inglés. El Lipdub. Valladolid.

De La Herrán, A. (2010). Contribución al concepto de creatividad: Un enfoque paquidérmico. (2ª parte). *Educación y Futuro: Revista de Investigación Aplicada y Experiencias Educativas*, (22), 151-176.

De Oliveira, G. G. (2013). Neurociências e os processos educativos: um saber necessário na formação de professores. *Educação Unisinos*, 18(1), 13-24.

De Pinho, ST, Alves, DM, Greco, PJ & Schild, JFG (2010). Método situacional e sua influência no conhecimento tático processual de escolares. *Motriz Revista de Educação Física. UNESP*, 580-590.

De Pro, A.(2012). Hacia la Competencia Científica. *Alambique Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 70, 5-8.

De Manzano, Ö., & Ullén, F. (2012). Goal-independent mechanisms for free response generation: Creative and pseudo-random performance share neural substrates. *NeuroImage*, 59, 772–780. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2011.07.016>.

Delgado, A., & De Justo, E. (2018). Evaluación del diseño, proceso y resultados de una asignatura técnica con aprendizaje basado en problemas. *Educación XXI*, 21(2).

Derogatis, L. R. (1975). *The symptom checklist-90-R (scl-90-R)*. Baltimore: MD: Clinical Psychometric Research.

Destrieux, C., Fischl, B., Dale, A., & Halgren, E. (2010). Automatic parcellation of human cortical gyri and sulci using standard anatomical nomenclature. *NeuroImage*, 53(1), 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2010.06.010>.

Díaz, J.I.P., González, D.B., Jordán, J.S., & Marín, P.J.B. (2019). Perioperative music therapy: state of the art and applicability in anesthesia. *Repert Mer Cir.*; 28(1):19-28. DOI: 10.31260/RepertMedCir.v28.n1.2019.873.

Dibarboure, M., & Rodríguez, D. (2013). La ciencia escolar y la pregunta investigable. In M. Dibarboure, D. Rodríguez, *Pensando en la Enseñanza de las Ciencias Naturales. La pregunta investigable*. (págs. 15 - 42). Montevideo: Camus.

Dierker, L., Flaming, K., Cooper, J. L., Singer-Freeman, K., Germano, K., & Rose, J. (2018). Evaluating Impact: A Comparison of Learning Experiences and Outcomes of Students Completing A Traditional Versus Multidisciplinary, Project-Based Introductory Statistics Course. *International Journal of Education, Training and Learning*, 2(1), 16–28.

Dietrich, A. (2004). The cognitive neuroscience of creativity. *Psychonomic Bulletin & Review*, 11(6), 1011–26.

Dietrich, A., & Kanso, R. (2010). A review of EEG, ERP, and neuroimaging studies of creativity and insight. *Psychological bulletin*, 136 (5), 822-848.

Diedrich, J., Benedek, M., Jauk, E., & Neubauer, A. C. (2015). Are creative ideas novel and useful? *Psychol Aesthet Creat Arts* 9, 35–40.

Donohoo J. (2017). *Collective efficacy: how educators' beliefs impact student learning*. Thousand Oaks: Corwin. ISBN-13: 978-1506356495

Drubach, D., Benarroch, E.E., & Mateen, F.J. (2007). Imaginación: definición, utilidad y neurobiología. *Revista de Neurología*, 6, 353-358.

Duit, R., & Treagust, D. (2003). Conceptual change: a powerful framework for improving science teaching and learning. *International Journal of Science Education*, 25(6), 671–688.

Duman, B. (2010). The Effects of Brain-Based Learning on the Academic Achievement of Students with Different Learning Styles. *Educational Sciences: Theory and Practice*, 10(4), 2077–2103.

Dunlap, N., & Martin, L. J. (2012). Discovery-Based Labs for Organic Chemistry: Overview and Effectiveness. In *Advances in Teaching Organic Chemistry*. (pp. 1-11). American Chemical Society.

## E

Eichenbaum, H. (2001). The Hippocampus and Declarative Memory: Cognitive Mechanisms and Neural Codes. *Behavioural Brain Research*. 127 (1-2): 199-207.

Eldaief, M. C., Deckersbach, T., Carlson, L. E., Beucke, J. C., & Dougherty, D. D. (2012). Emotional and cognitive stimuli differentially engage the default network during inductive reasoning. *Soc Cogn Affect Neurosci* 7, 380–392.

Elhilali M., Ma L., Micheyl C., Oxenham A.J., & Shamma A.S. (2009). Temporal coherence in the perceptual organization and cortical representation of auditory scenes. *Neuron*. 61(2):317-29.

Elmer, S., Hänggi, J., Meyer, M., & Jäncke, L. (2013). Increased cortical surface area of the left planum temporale in musicians facilitates the categorization of phonetic 184 and temporal speech sounds. *Cortex*, 49, 2812-21.

Engeln, K., Euler, M., & Maaß, K. (2013). Inquiry-based learning in mathematics and science: a comparative baseline study of teachers' beliefs and practices across 12 European countries. *ZDM Mathematics Education*, 45(6), 823- 836.

Erickson, A.R. (2019). Human Learning, Memory, and Student Development. *Contemporary Issues in Educational Leadership* 4:1. ISSN 2472-9744.

Escalante, P. (2016). Aprendizaje por indagación. Colombia. Retrieved from <https://educrea.cl/aprendizaje-por-indagacion/>

Escobar, A., & Gómez-González, B. (2006). Creatividad y función cerebral. *Rev Mex Neuroci* 7, 391–399.

European Commission. High Level Group on Science Education, European Commission. Science, & Economy. (2007). *Science education now: A renewed pedagogy for the future of Europe* (Vol. 22845). Office for Official Publications of the European Communities.

## F

Fauvel, B., Groussard, M., Mutlu, J., Arenaza-Urquijo, E., Eustache, F., Desgranges, B., & Platel, H. (2014). Musical practice and cognitive aging: two cross-sectional studies point to phonemic fluency as a potential candidate for a use-dependent adaptation. *Frontiers in aging neuroscience*, 6.

Fell, J., Fernández, G., Klaver, P., Axmacher, N., Mormann, F., Haupt, S., & Elger, C. E. (2006). Rhinal–hippocampal coupling during declarative memory formation: Dependence on item characteristics. *Neuroscience letters*, 407(1), 37-41.

Filipin, G., Vargas L. S., Nunes, T. & Mello-Carpes, P. (2016). Formação continuada em neuroeducação: percepção de docentes da rede básica de educação sobre a importância da neurociência nos processos educacionais. *Cataventos*, 1(8), 90-102.

Fink, A., Koschutnig, K., Hutterer, L., Steiner, E., Benedek, M., Weber, B., ... & Weiss, E. M. (2014). Gray matter density in relation to different facets of verbal creativity. *Brain Structure and Function*, 219(4), 1263-1269.

Fischl, B., Sereno M.I., & Dale, A.M. (1999). Cortical surface-based analysis. Inflation, flattening, and a surface-based coordinate system. *NeuroImage*, 9(2), 195-207.

Fischl, B., & Dale, A. M. (2000). Measuring the thickness of the human cerebral cortex from magnetic resonance images. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 97(20), 11050-11055.

Fiszer, J. (2007). *Aprender a pensar. Métodos para ser mejor*. Artes Grafica Ronor. ISBN 987-3525-0-1.

Fonseca-Mora M.C., Jara-Jiménez P., & Gómez-Domínguez M. (2015). Musical plus phonological input for young foreign language readers. *Front. Psychol.* 6:286.

Forbes, C. T., & Davis, E. A. (2010). Curriculum design for inquiry. Preservice elementary teachers' mobilization and adaptation of science curriculum materials. *Journal of Research in Science Teaching*, 47, 820-839.

Fornaziero, C. C., Gordan, P. A., Carvalho, M. A. V. D., Araujo, J. C., & Aquino, J. C. B. D. (2010). O ensino da anatomia: integração do corpo humano e meio ambiente. *Rev bras educ med*, 34(2), 290-7.

França, A. I., Lemle, M., Pederneira, I. L., & Gomes, J. N. (2005). Conexões conceptuais: Um estudo psicolinguístico de priming encoberto. *Revista Linguística*, 1(2).

François C., Grau-Sánchez J., Duarte E., Rodriguez-Fornells A. (2015). Musical training as an alternative and effective method for neuro-education and neuro-rehabilitation. *Front. Psychol.* 6:475.

Freeman, S., Eddy, S. L., McDonough, M., Smith, M. K., Okoroafor, N., Jordt, H., & Wenderoth, M. P. (2014). Active learning increases student performance in science, engineering, and mathematics. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(23), 8410-8415.



Friedrichsen, P., van Driel, J. H., & Abell, S. K. (2011). Taking a Closer Look at Science Teaching Orientations. *Science Education*, 95(2), 358-376.

Frith, C. D. (2000). The role of dorsolateral prefrontal cortex in the selection of action as revealed by functional imaging. *Control of cognitive processes: Attention and performance XVIII*, 549-565.

Furtak, E.M., Seidel, T., Iverson, H., & Briggs, D.C. (2012). Experimental and Quasi-Experimental Studies of Inquiry-Based Science Teaching. *Review of Educational Research*, 82(3), 300-329.

## G

Gaab, N., Gaser, C., & Schlaug, G. (2006). Improvement-related functional plasticity following pitch memory training. *Neuroimage*, 31, 255-263.

Gainza, V.H.de (1988). *Estudios de Psicopedagogia Musical*. 3. ed. São Paulo: Summus.

García, I. (2017). Cómo aprende el cerebro: Factores que favorecen el aprendizaje. Retrieved from <https://blog.cognifit.com/es/como-aprende-el-cerebro-neuroeducacion/>

García-Casares, N., Bertier, M., Froudin, S., & González, P. (2011). Modelo de cognición musical y amusia. *Neurología*, 28(3), 179-186.

García-García, F. J.; Quesada-Armenteros, A.; Ariza, M. R.; & Gallego, A. M. A. (2019). Promoting inquiry in Mathematics and Science: professional development of Primary and Secondary school teachers. *Educación XXI*, 22(2), 335-359.

Garriz, A. (2010). Indagación: las habilidades para desarrollar y promover el aprendizaje. *Educación Química*, 21(2), pp. 106-110.

Gaser, C., & Schlaug, G. (2003). Brain structures differ between musicians and non-musicians. *Journal of Neuroscience*, 23(27), 9240-9245.

Georgiou, H., & Sharma, M. D. (2012). University students' understanding of thermal physics in everyday contexts. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 10(5), 119 - 1142.

Gil, D (1993). *Enseñanza de las Ciencias*, 11, 197. Retrieved from <http://www.raco.cat/index.php/Ensenanza/articulo/view/21204/93254>.

Glaserfeld, E.V. (2001). El constructivismo radical y la enseñanza. *Perspectivas: Revista trimestral de educación comparada*, (2), 171-184.

Godoy, A.V., Segarra, C.I., Di Mauro, M.F. (2014). Una experiencia de formación docente en el área de Ciencias Naturales basada en la indagación escolar. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 11(3), 381-397.

Gómez, M. A. (2007). Música y neurología. *Neurología*, 22(1), 39-45.

Gomez, M.D., & Galán, M.E.R. (2015). Creatividad en educación musical. In *Creatividad en educación musical*, (ed. Gomez, M. D.) 1–168. Universidad de Cantabria.

Gómez, A. (2018). *Influencia de la música como medio didáctico para el aprendizaje del idioma alemán* (Bachelor's thesis) Universidad de Carabobo, Venezuela.

Gonen-Yaacovi, G., de Souza, L. C., Levy, R., Urbanski, M., Josse, G., & Volle, E. (2013). Rostral and caudal prefrontal contribution to creativity: a meta-analysis of functional imaging data. *Frontiers in Human Neuroscience*, 7, 465.

González, T. A., Mairal, J.B., Pintor, P.M., Gómez, I.A., García-Nobleja, B.P., & Sánchez, N.S. (2012). *PIC-A. Prueba de Imaginación Creativa – Adultos*. TEA Ediciones, S. A. Madrid, España.

González M.C.G. (2012). *Espacio escuchado: investigación sobre prácticas artísticas contemporáneas que utilizan el sonido como medio para definir espacios* (doctoral dissertation). Universidad Complutense de Madrid, España.

González Barroso, M. M. (2015). Calidad interdisciplinar de la Música en Educación Primaria: una propuesta metodológica. *Dedica. Revista de Educação e Humanidades*, 7, 65-83.

González, N. J. L. (2018). *Estudio semiótico de los métodos de enseñanza musical que utilizan los docentes y su recepción en los estudiantes de música del centro intercultural cacique tumbalá de playas* (Master's thesis). Universidad de Guayaquil, Ecuador.

González, M.P.R. (2019). *Flipped Classroom y Choromebook em la asignatura de educación musical de sexto de primaria* (Bachelor's thesis). Universidad internacional de la Rioja, España.

Goodin, A.D. (2013). La evolución del aprendizaje: más allá de las redes neuronales. *Revista Chilena de Neuropsicología*, 8 (1), 20 – 25.

Gold, B. P., Frank, M. J., Bogert, B., & Brattico, E. (2013). Pleasurable music affects reinforcement learning according to the listener. *Frontiers in Psychology*, 4, 541.

Granger, E.M., Bevis, T.H.; Saka, Y., Southerland, S.A., Sampson, V., & Tate, R. L. (2012). The Efficacy of Student-Centered Instruction in Supporting Science Learning. *Science*, 338(6103), 105-108.

Grassi M., Meneghetti C., Toffalini E., & Borella E. (2017). Auditory and cognitive performance in elderly musicians and nonmusicians. *PLoS One*. 12(11), 1–21.

Green, C. S., & Bavelier, D. (2008). Exercising your brain: A review of human brain plasticity and training-induced learning. *Psychology and Aging*, 23(4), 692-701

Grigg J., Kelly K.A., Gamoran A., & Borman, G.D. (2013). Effects of two scientific inquiry professional development interventions on teaching practice. *Educational Evaluation and Policy Analysis* 35(1), 38 – 56.

Groussard, M., Viader, F., Landeau, B., Desgranges, B., Eustache, F., & Platel, H. (2014). The effects of musical practice on structural plasticity: the dynamics of grey matter changes. *Brain and cognition*, 90, 174-180.

Guida, H. L., Feniman, M. R., Zanchetta, S., Ferrari, C., Giacheti, C. M., & Zorzetto, N. L. (2007). Revisão anatômica e fisiológica do processamento auditivo. *Acta Orl*, 25(3), 177-81.

Guo, X., Ohsawa, C., Suzuki, A., & Sekiyama, K. (2018). Improved digital span in children after a six-week intervention of playing a musical instrument: an exploratory randomized controlled trial. *Frontiers of psychology*, 8, 2303.

Guillén, J.C. (2012). *La memoria: un recurso fundamental*. Retrieved from <https://escuelaconcerebro.wordpress.com/2012/07/13/la-memoria-un-recurso-fundamental-2/>

Guyton A.C. (2001). *Tratado de Fisiología Médica*. Editorial Mc Graw Hill Interamericana S.A., 10º edición; España, p. 799-814.

# H

Habib M., Lardy C., Desiles T., Commeiras C., Chobert J., & Besson M. (2016). Music and Dyslexia: A New Musical Training Method to Improve Reading and Related Disorders. *Front. Psychol.*, 7, 26.

Haertel, E. H. (2006). Reliability. In Brennan, R. L. (editor). *Educational Measurement*. (pp. 65- 110). Westport (CT): American Council on Education and Praeger Publishers.

Halwani, G. F., Loui, P., Rüber, T., & Schlaug, G. (2011). Effects of practice and experience on the arcuate fasciculus: Comparing singers, instrumentalists, and non-musicians. *Frontiers in Psychology*, 2, 1-9.

Han, Y., Yang, H., Lv, Y.-T., Zhu, C.-Z., He, Y., Tang, H.-H., ...Dong, Q. (2009). Gray matter density and white matter integrity in pianists' brain: A combined structural and diffusion tensor MRI study. *Neuroscience Letters*, 459(1), 3–6.

Han, S.J., Lim, D.H., & Jung, E. (2018). A collaborative active learning model: As a vehicle for online team learning in higher education. In: *Blended Learning Pedagogies and Professional Development in Higher Education*. Hershey, IGI Global, pp.40-59.

Hanco Mayta, L.J., & Huamani Huayna, L. (2018). *Los procesos cognitivos y la creatividad en los estudiantes del sexto grado de educación primaria de la Institución Educativa N° 41065 de Culypampa Provincia La Unión-2017* (Bachelor's thesis).Universidad Nacional de San Agustín De Arequipa, Peru.

Hannon, E.E., & Trainor, L. J. (2007). Music acquisition: effects of enculturation and formal training on development. *Trends Cogn Sci*, 11, 466-472.

Harris R., & de Jong B.M. (2015). Differential parietal and temporal contributions to music perception in improvising and score-dependent musicians, an fMRI study. *Brain Res*. 1624, 253-264.

Hartwigsen, G., Neef, N. Camilleri, J. Margulies, D., & Eickhoff, S (2019). Functional segregation of the right inferior frontal gyrus: Evidence from coactivation-based parcellation. *Cerebral Cortex*, 29(4), 1532-1546.

He, H., Yang, M., Duan, M., Chen, X., Lai, Y., Xia, Y., ... & Yao, D. (2018). Music intervention leads to increased insular connectivity and improved clinical symptoms in schizophrenia. *Frontiers in neuroscience*, 11, 744.

Heinonen J., Numminen J., Hlushchuk Y., Antell H., Taatila V., & Suomala J. (2016). Default Mode and Executive Networks Areas: Association with the Serial Order in Divergent Thinking. *PLoS ONE*, *11*(9), e0162234.

Herdoíza, J.P.M., & Moreira-Vera, D.V. (2016). El Cerebro y la Música. *Revista Ecuatoriana de Neurología*, *25*, 1-3.

Herholz S.C., & Zatorre R.J. (2012). Musical training as a framework for brain plasticity: Behavior, function, and structure. *Neuron*. *76*(3): 486–502.

Hernández, E. (2016). *La música y el desarrollo cerebral infantil*. Medellín.

Herholz, S. C., Coffey, E. B. J., Pantev, C., & Zatorre, R. J. (2016). Dissociation of Neural Networks for Predisposition and for Training-Related Plasticity in Auditory-Motor Learning. *Cereb Cortex*, *26*, 3125–3134.

Herrán, A. de la (2011). Técnicas didácticas para una enseñanza más formativa. En N. Álvarez Aguilar y R. Cardoso Pérez (Ed.), *Estrategias y metodologías para la Formación del estudiante en la actualidad*. Camaguey (Cuba): Universidad de Camaguey

Herrera, L., Lorenzo, O., Defior, S., Fernández- Smith, G., & Costa-Giomi, E. (2011). Effects of phonological and musical training on the reading readiness of native and foreign Spanish-speaking children. *Psychology of Music*, *39*(1), 68-82.

Hertrich, I., Dietrich, S., & Ackermann, H. (2016). The role of the supplementary motor area for speech and language processing. *Neurosci Biobehav Rev* *68*, 602–610.

Hewitt, M. (2008). *Music theory for computer musicians*. Boston, MA: Course Technology, Cengage Learning.

Higuchi, T., Yuizono, T., Miyata, K., Sakurai, K. & Kawaji, T. (2016). Creativity effects of ideamarathon system: Torrance tests of creative thinking. In A. M. J. Skulimowski y J. Kacprzyk (Eds.), *Knowledge, information and creativity support systems: Recent trends, advances and solutions* (pp. 185-200). Zúrich: Springer.

Hijar, R.A.P. (2017). *Estrategias de aprendizaje por indagación en el rendimiento académico de matemática y comunicación de los estudiantes de tercero de primaria Callao* (doctoral dissertation). Universidad César Vallejo, Perú.

Hincapie, D. A., Ramos, A., Chirino, V. (2018). Aprendizaje Basado en Problemas como estrategia de Aprendizaje Activo y su incidencia en el rendimiento académico y Pensamiento Crítico de estudiantes de Medicina. *Revista Complutense de Educación*, 29(3), 665–681.

Hmelo-Silver C. E., Duncan R. G., & Chinn C. A. (2007). Scaffolding and achievement in problem-based and inquiry learning. A response to kirschner, sweller, and clark (2006). *Educ. Psychol.* 42, 99–107.

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.

Hong, E., Part, R., & Rowell, L. (2017). Children's and teachers' conceptions of creativity. In R. A. Beghetto y B. Sriraman (Eds.), *Creative contradictions in education: Cross disciplinary paradoxes and perspectives* (pp. 303-331). Zürich: Springer.

Hotermans C., Peigneux P., Maertens de Noordhout A., Moonen G., & Maquet P. (2006). boost and slow consolidation in motor skill learning. *Learn Mem.*, 13 (5): 580-3.

Huerta, F. J., Estrada, J.G., Zúñiga, R.R., & de Anda, S.L. (2013). Mecanismos celulares y moleculares de la plasticidad cerebral y la cognición. In Redolar Ripoll, D. (Ed), *Neurociencia cognitiva* (pp.163-183). Editorial Médica Panamericana.

Huss, M., Verney, J. P., Fosker, T., Mead, N., & Goswami, U. (2011). Music, rhythm, rise time perception and developmental dyslexia: Perception of musical meter predicts reading and phonology. *Cortex*, 47(6), 674–689.

Hutchinson, S., Lee, L., Gaab, N., & Schlaug, G. (2003). Cerebelar volume of musicians. *Cerebral Cortex*, *13*, 943-949.

Hyde, K. L., Lerch, J., Norton, A., Forgeard, M., Winner, E., Evans, A. C., & Schlaug, G. (2009). Musical training shapes structural brain development. *Journal of Neuroscience*, *29*(10), 3019-3025.

# I

Illeris, K. (2018). A comprehensive understanding of human learning. In *Contemporary Theories of Learning*. pp. 7-20. Routledge.

Imfeld, A., Oechslin, M. S., Meyer, M., Loenneker, T., Jancke, L. (2009). White matter plasticity in the corticospinal tract of musicians: A diffusion tensor imaging study. *NeuroImage*, *46*(3), 600–607.

Iotova, A. I. (2009). *La educación musical en la educación infantil de España y Bulgaria: análisis comparado entre centros de Bulgaria y centros de la Comunidad Autónoma de Madrid* (Doctoral dissertation), Universidad Complutense de Madrid, España.

Izquierdo, A., Maricel, S., & Baque Burgos, A. G. (2019). *La música en el desarrollo del lenguaje en los niños de 3 a 4 años de edad* (Bachelor's thesis), Universidad de Guayaquil Facultad de Filosofía, Letras y Ciencias de la Educación.



# J

Jahanshahi, M. (1998). Willed action and its impairments. *Cognitive Neuropsychology*, 15 (6-8), 483-533.

James, C.E., Oechslin, M.S., Van De Ville, D., Hauert, C-A., Descloux, C., & Lazeyras, F. (2014). Musical training intensity yields opposite effects on grey matter density in cognitive versus sensorimotor networks. *Brain Struct Funct.* 219(1), 353–366.

Janata, P. (2009). The neural architecture of music-evoked autobiographical memories. *Cerebral Cortex*, 19(11), 2579-2594.

Jauset-Berrocal, J., Cantero, I.M., Carrasco, E.A. (2017). Music learning and education: contributions from neuroscience / Aprendizaje musical y educación: aportaciones desde la neurociencia. *Cultura y Educación.* 29(4), 833-847.

Jentzsch I, Mkrtchian A, Kansal N (2014). Improved effectiveness of performance monitoring in amateur instrumental musicians. *Neuropsychologia.* 52, 117–124.

Jiménez-Tenorio, N., & Oliva, J.M. (2016). Aproximación al estudio de las estrategias didácticas en ciencias experimentales en formación inicial del profesorado de Educación Secundaria: descripción de una experiencia. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 13 (1), 121-136.

Johnson, D.W., Johnson, R.T., & Smith, K. A. (1998) *Active Learning: Cooperation in the College Classroom, Interaction.* Edina, MN.

Jolij J., & Meurs M. (2011). Music Alters Visual Perception. *PLOS ONE* 6(4): e18861.

Jung, R.E., Segall, J.M., Jeremy Bockholt, H., Flores, R.A., Smith, S.M., Chavez, R.S., Haier, R.J. (2010). Neuroanatomy of creativity. *Hum. Brain Mapp.* 31, 398–409.

Jung, R. E., Mead, B. S., Carrasco, J., & Flores, R. A. (2013). The structure of creative cognition in the human brain. *Frontiers in human neuroscience*, 7, 330.

Jung-Beeman, M., Bowden, E. M., Haberman, J., Frymiare, J. L., Arambel-Liu, S., Greenblatt, R., ... y Kounios, J. (2004). Neural activity when people solve verbal problems with insight. *PLoS Biol*, 2(4), e97.

Jurado, M. A. F. (2019). *La memorización a largo plazo en la enseñanza de la biología de los estudiantes de la Carrera de Pedagogía de las Ciencias Experimentales Química y Biología, periodo 2018-2019* (Bachelor's thesis), Quito: UCE.

## K

Kaiser I., Mayer J., & Malai D. (2018). Self-Generation in the Context of Inquiry-Based Learning. *Front. Psychol.* 9, 2440.

Kandel E.R., & Siegelbaum S.A. (2000). Overview of synaptic transmission. In Kandel ER, Schwartz JH, Jessell TM, eds. *Principles of neural science*. New York: McGraw-Hill, Health Professions Division. p. 175-86.

Kandel,E.R.(2001). Principios de Neurociencias. Editorial Mc Garw Hill Interamericana. 4 edición. p. 1227-1277.

Kandel, E. R (2007). *En busca de la memoria: nacimiento de una nueva ciencia de la mente*. 1a ed. Buenos Aires: Katz.

Kaufman, A. S., & Kaufman, N. L. (2004). *Kaufman Brief Intelligence Test*. 2ª Ed. Bloomington, MN: Pearson, Inc.

Kaufman, A.B., Kornilov, S.A., Bristol, A.S., Tan, M., & Grigorenko, E.L. (2010). The neurobiological foundations of creative cognition. In J.C Kaufman y R.J. Sternberg (eds). *The Cambridge handbook of creativity*. (216-232). New York: Cambridge University Press.

Kawalkar, A., & Vijapurkar, J. (2013). Scaffolding Science Talk: The role of teachers' questions in the inquiry classroom. *International Journal of Science Education*, 35(12), 2004-2027.

Kempermann, G. (2006) Neurogénesis. *Mente y cerebro*, 19, 10-13.

Kibiuk, L. V., Stuart, D., & Miller, M. (2008). *Brain Facts: A Primer on the Brain and Nervous System*. The Society For Neuroscience.

Kirschner P. A., Sweller J., & Clark R. E. (2006). Why minimal guidance during instruction does not work. an analysis of the failure of constructivist, discovery, problem-based, experiential, and inquiry-based teaching. *Educ. Psychol.*, 41, 75–86.

Kleber, B., Zeitouni, A. G., Friberg, A., & Zatorre, R.J (2013). Experience-Dependent Modulation of Feedback Integration during Singing: Role of the Right Anterior Insula. *The Journal of Neuroscience*, 33(14), 6070-6080.

Kleinmintz, OM, Abecasis, D., Tauber, A., Geva, A., Chistyakov, AV, Kreinin, I., ... & Shamay-Tsoory, SG (2018). Participación del giro frontal inferior izquierdo en la originalidad humana. *Estructura y función del cerebro* , 223 (1), 329-341.

Klimenko, O. (2017). Bases neuroanatómicas de la creatividad. *Katharsis: Revista de Ciencias Sociales*, (24), 207-238.

Koelsch, S., Fritz, T., Cramon, DY., Müller, K., & Friederici, A. D. (2006). Investigating emotion with music: an fMRI study. *Human Brain Mapping*, 27, 239–250.

Koelsch, S. (2010). Towards a neural basis of music-evoked emotions. *Trends in Cognitive Sciences*, 14(2), 131-137.

Koelsch, S. (2011). Toward a neural basis of music perception - a review and updated model. *Frontiers in Psychology, 2*, 169–188.

Koelsch, S. (2014). Brain correlates of music-evoked emotions. *Nature Reviews Neuroscience, 15*(3), 170–180.

Koelsch, S. (2019). Music and the Brain. In: *Foundations in Music Psychology: Theory and Research*, 407. Cambridge, MA: The Mit Press.

Kossowski, M. (2017). Traumatismos sonoros agudos. *EMC-Otorrinolaringología, 46*(1), 1-11.

Krüger, L.M., & Ensslin, S.R. (2013). Método Tradicional e Método Construtivista de Ensino no Processo de Aprendizagem: uma investigação com os acadêmicos da disciplina Contabilidade III do curso de Ciências Contábeis da Universidade Federal de Santa Catarina. *Revista Organizações em Contexto, 9*(18), 219-270.

Kuri, N. P., Rodrigues da Silva, A. N., & Pereira, M. A. (2006). Estilos de aprendizagem e recursos da hipermídia aplicados no ensino de planejamento de transportes. *Revista Portuguesa de Educação, 19*(2), 111-137.

## L

Lallite, P., & Bigand, E. (2006). Music in the moment: revisiting the effect of large scale structure. *Percept. Motor Skill, 103*, 811–828.

Lalitte, P., Bigand, E., Kantor, J., & Delbé, C. (2009). On listening to atonal variants of two Piano Sonatas by Beethoven, *Music Perception, 26*(3), 223-234.

Lamont, A., & Eerola, T. (2011). Music and emotion: Themes and development. *Musicae Scientiae*, 15(2), 139–145.

Lazonder, A.W., & Harmsen, R. (2016). Meta-Analysis of Inquiry-Based Learning Effects of Guidance. *Review of Educational Research*, 20(10), 1-38.

Leber, A. B., Turk-Browne, N. B., & Chun, M. (2008). Neural predictors of moment - to - momento fluctuations in cognitive flexibility. *Proc Natl Acad Sci USA*, 105(36), 1 3592-7.

Lederman, N. G., Lederman, J. S., & Antink, A. (2013). Nature of science and scientific inquiry as contexts for the learning of science and achievement of scientific literacy. *International Journal of Education in Mathematics, Science and Technology*, 1(3), 138-147.

Lee, D.J., Chen, Y.I., & Schlaug, G. (2003). Corpus callosum: musician and gender effects. *NeuroReports*. 14(2), 205-209.

Leech, R., & Sharp, D. J. (2014). The role of the posterior cingulate cortex in cognition and disease. *Brain*, 137(1), 12–32.

Levitin, D. J. (2006). *This is your brain on music: the science of a human obsession*. Dutton.

Levitin, D. (2009). *El cerebro musical*. Neurocase.

Limb, C. J., & Braun, A. R. (2008). Neural Substrates of Spontaneous Musical Performance: An fMRI Study of Jazz Improvisation. *PLoS ONE*, 3(2).

Liu, S., Chow, H. M., Xu, Y., Erkinen, M. G., Swett, K. E., Eagle, M. W., ... & Braun, A. R. (2012). Neural correlates of lyrical improvisation: an fMRI study of freestyle rap. *Scientific reports*, 2, 834.

Liu, T., Saito, H., & Oi, M. (2016). Obstruction increases activation in the right inferior frontal gyrus. *Social Neuroscience*, 11, 344-352.

Liu, Z., Zhang, J., Xie, X., Rolls, ET, Sun, J., Zhang, K., ... y Feng, J. (2018). Neural and genetic determinants of creativity. *NeuroImage* 174, 164–176.

Llobet, J.R., & Herrero, P.P. (2014). Teaching Methodologies for the Development of “Problem Solving” Competence Among Nursing Students. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 139, 358-365.

Logroño, E.R.B. (2016). *Análisis de herramientas de software libre orientadas al aprendizaje del lenguaje musical para mejorar el rendimiento académico en los estudiantes del primer año de bachillerato de la Unidad Educativa Juan de Velasco* (Doctoral dissertation). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba.

López, R.H.S. (2013). *Vista general del modelado del sistema auditivo* (Bachelor's thesis). Universidad politécnica de Madrid, España.

López, A.C., Munhoz, G.S., & Bozza, A. (2015). Audiometria tonal liminar e de Altas Frequências. In: Boéchat EM, Menezes. PD, Couto. CM, Frizzo. ACM, Scharlah. RC, Anastasio. ART, organizadores. *Tratado de audiologia*. São Paulo: Santos. 2ª ed.: p. 57-67.

López, M.I. (2015). *Enseñanza-aprendizaje musical: una visión de los docentes de instrumento en los conservatorios profesionales* (doctorado dissertation). Universidad del País Vasco, España.

López-Barroso, D., Catani, M., Ripollés, P., Dell’Acqua, F., Rodríguez-Fornells, A., & de Diego-Balaguer, R. (2013). Word learning is mediated by the left arcuate fasciculus. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(32), 13168-73.

López-Fernández, V., & Llamas-Salguero, F. (2018). Neuropsicología del proceso creativo. Un enfoque educativo. *Revista Complutense de Educación*, 29 (1), 113-127.

Loubon, C. O., & Franco, J. C. (2010). Neurofisiología del aprendizaje y la memoria. Plasticidad Neuronal. *Archivos de medicina*, 6(1), 2.

Loui, P. (2015). A dual-stream neuroanatomy of singing. *Music. Percept.* 32, 232–241.

Loui, P., Zamm, A., & Schlaug, G. (2012). Enhanced functional networks in absolute pitch. *Neuroimage*, 63(2), 632-640.

Loui, P., Demorest, S. M., Pfordresher, P. Q., & Iyer, J. (2015). Neurological and developmental approaches to poor pitch perception and production. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1337(1), 263.

Loui, P. (2018). Rapid and flexible creativity in musical improvisation: review and a model. *Ann N Y Acad Sci*, 1423, 138–145.

Lu K., Xu Y., Yin P., Oxenham A.J., Fritz J.B., & Shamma S.A. (2017). Temporal coherence structure rapidly shapes neuronal interactions. *Nat Commun.*, 8, 13900.

Lucero, M., Valcke, M., & Schellens, T. (2013). Teachers' beliefs and self-reported use of inquiry in Science Education in Public Primary Schools. *International Journal of Science Education*, 35 (8), 1407-1423.

Luo, C., Tu, S., Peng, Y., Gao, S., Li, J., Dong, L., ... & Yao, D. (2014). Long-term effects of musical training and functional plasticity in salience system. *Neural plasticity*, 2014.

Luquet, W. (2015). Everything I know about teaching I learned from jazz. *J. Effect. Teach.* 15, 60–68.

# M

Machado, S., Portella, C. E., Silva, J. G., Velasques, B., Bastos, V. H., Cunha, M., ... & Ribeiro, P. (2008). Aprendizaje y memoria implícita: mecanismos y neuroplasticidad. *Rev Neurol*, 46(9), 543-549.

Maes, P.J., Leman, M., Palmer, C., & Wanderley, M. M. (2014). Action-based effects on music perception. *Frontiers in Psychology, 4*, 10008.

Maia, H., Molter, A. T. P., Delou, C. M. C., Campagna, G. F. C., Vargas, G. M. B., & Maia, L. H. C. L. (2011). Neuroeducação e ações pedagógicas. *Rio de Janeiro: Wak, 4*.

Magaña, M., & Ruiz-Lázaro, P. (2015). *Trastornos específicos del aprendizaje*. Retrieved from [http://www.faroshsjd.net/adjuntos/415.1-Ps\\_inf\\_trastornos\\_especificos\\_aprendizaje.pdf](http://www.faroshsjd.net/adjuntos/415.1-Ps_inf_trastornos_especificos_aprendizaje.pdf).

Mallgrave, H.F. (2010). *The Architect's Brain: Neuroscience, Creativity, and Architecture*. John Wiley & Sons.

Mansouri, F., Acevedo, N., Illipparampil, R., Fehring, D., Fitzgerald, P., & Jaberzadeh, S (2017). Interactive effects of music and prefrontal cortex stimulation in modulating response inhibition. *Scientific reports, 7*(1), 18096.

Marina, J.A. (2011). Memoria y aprendizaje. *Pediatr Integral; 15*(10): 978-980.

Marrón, E.M., Adrover-Roig, D., Sánchez-Cubillo, I., Miranda-García, R., & Periañez, J. (2013). Bases neuroanatómicas del aprendizaje y la memoria. In book: *Fundamentos del aprendizaje y del lenguaje*, 1 Ed., Chapter: Bases neuroanatómicas del aprendizaje y la memoria, Editors: UOC, pp.63-94.

Martinello M.L., & Cook, G.E. (2000). *Indagación interdisciplinaria en la enseñanza y el aprendizaje*, Gedisa.

Martínez, P. A. (2003). La terapia musical como intervención enfermera. *Enfermería Global, 2*(1).

Martínez, J.E., Restrepo, M.O.M., Quiroz, L.H.P., & Valencia, M.M. (2015). La Educación musical: alternativa pedagógica de transformación social. *Revista Plumilla Educativa 15*(1). 45-66.



Martínez, A. L. C., & Casas, A. S. (2018). Química de la memoria y aprendizaje. *Con-Ciencia Boletín Científico de la Escuela Preparatoria No. 3*, 5(9).

Martínez-Chico, M. (2013). *Formación inicial de maestros para la enseñanza de las ciencias. Diseño, implementación y evaluación de una propuesta de enseñanza* (doctoral dissertation). Universidad de Almería, España.

Martínez-González, A. E., Piqueras, J. A., Delgado, B., & García-Fernández, L. M. (2018). Neuroeducación: aportaciones de la neurociencia a las competencias curriculares. *Publicaciones*, 48(2), 23–34.

Marx, R.W., Blumenfeld, P.C., Krajcik, J. S., Fishman, B., Soloway, E., Geier, R., & Tal, R.T.(2004). *Journal of Research in Science Teaching*, 41, 1063.

Matchin, W., & Hickok, G. (2016). Syntactic Perturbation During Production Activates the Right IFG, but not Broca's Area or the ATL. *Frontiers in Psychology*, 7, 241.

Matos, S.L. (2011). *Educación musical: un problema emergente de intervención educativa. Indicadores pedagógicos para el desarrollo de competencias en educación musical* (doctoral dissertation), Universidad Católica de Compostela, España.

Mayer, R.E. (2004). Should There Be a Three-Strikes Rule against Pure Discovery Learning? *American Psychologist*, 59(1), 14-19.

McConney A., Oliver M.C., Woods-McConney A., Schibeci R., & Maor D. (2014). Inquiry, Engagement, and Literacy in Science: A Retrospective, Cross-National Analysis Using PISA 2006. *Science Education* 98(6), 963-980.

McDermott J.H., & Oxenham A.J. (2008). Music perception, pitch, and the auditory system. *Curr Opin Neurobiol.*, 18(4),452-63.

McDonald, S., & Butler Songer, N. (2008). Enacting classroom inquiry: Theorizing teachers' conceptions on science teaching. *Science Education*, 27, 45-60.

Medina, N., Velázquez, M. E., Alhuay, J., & Aguirre, F. (2017). La creatividad en los niños de preescolar: Un reto de la educación contemporánea. REICE. *Revista Iberoamericana sobre Calidad, Eficacia y Cambio en Educación*, 15(2), 153-181.

Mehta A.H., Yasin I., Oxenham A.J., & Shamma S. (2016). Neural correlates of attention and streaming in a perceptually multistable auditory illusion. *J Acoust Soc Am*. 140(4):2225.

Méndez-Coca, D. (2015). Estudio de las motivaciones de los estudiantes de secundaria de física y química y la influencia de las metodologías de enseñanza en su interés [Study of the motivations of secondary students of physics and chemistry and the influence of the methodologies of education in their interest]. *Educación XXI*, 18(2), 215-235.

Menon, V., & Levitin, D. J. (2005). The rewards of music listening: response and physiological connectivity of the mesolimbic system. *Neuroimage*, 28(1), 175-184.

Menon, V. (2015). Saliency Network. In: Arthur W. Toga, editor. *Brain Mapping: An encyclopedic Reference*, 2, 597-611. Academic Press: Elsevier.

Merino, J.M., & Muñoz-Repiso, L. (2013). La percepción acústica: Física de la audición. *Revista de Ciencias*, 2, 19-26.

Mezzari, A (2011). O uso da Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP) como reforço ao ensino presencial utilizando o ambiente de aprendizagem Moodle. *Revista Brasileira de Educação Médica*, 35 (1), 114-121.

Milner, B., Squire, L.R., & Kandel, E. R. (1998). Cognitive neuroscience and the study of memory. *Neuron*, 20, 445-468.

Minner, D.D., Levy, A.J., & Century, J. (2010). Inquiry-Based Science Instruction—What Is It and Does It Matter? Results from a Research Synthesis Years 1984 to 2002. *Journal of Research in Science Teaching*, 47(4), 474–496.

Mitterschithaler, M. T., Fu, C. H., Dalton, J. A., Andrew, C. M., & Williams, S. C. (2007). A functional MRI study of happy and sad affective states induced by classical music. *Hum Brain Mapp*, 28(11), 1150-1162.

Mora, F. (2012). Neuroeducação para ensinar e aprender melhor. *Revista Pedagógica Pátio. Porto Alegre: Artmed, ano XVI*, (61).

Morales Zúñiga, L. C. (2014). El pensamiento crítico en la teoría educativa contemporánea. *Actualidades investigativas en educación*, 14(2), 591-615.

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.

Moreno, S., Friesen, D., & Bialystok, E. (2011b). Effect of musical training on promoting preliteracy skills: preliminary causal evidence. *Music Percept*, 29, 165–172.

Morgado I (2005). Psicobiología del aprendizaje y la memoria. *Rev Neurol*, 40, 289-97.

Mok, L. W. (2014). The interplay between spontaneous and controlled processing in creative cognition. *Front. Hum. Neurosci.*, 8, 663.

Mogollón, E. (2010). Aportes de las neurociencias para el desarrollo de estrategias de enseñanza y aprendizaje de las Matemáticas. *Revista Electrónica Educare*, 14(2), 113-124.

Muñoz, E. (2013). El desarrollo de las competencias intrapersonales a través del aprendizaje de un instrumento musical. *Fòrum de recerca*. 423-440.

Muszkat, M., Correia, C. M., & Campos, S. M. (2000). Música e neurociências. *Rev Neurociências*, 8(2), 70-75.

Mynbayeva, A., Vishnevskaya, A. & Sadvakassova, Z. (2016). Experimental study of developing creativity of university students. *Future Academy Multidisciplinary Journal*, 217, 407-413.

## N

Nathaniel-James, D. A., & Frith, C. D. (2002). The Role of the Dorsolateral Prefrontal Cortex: Evidence from the Effects of Contextual Constraint in a Sentence Completion Task. *NeuroImage* 16, 1094–1102.

National Research Council (2000). *Inquiry and the National Science Education Standards. A Guide for Teaching and Learning*. National Academy Press.

National Research Council (2012). *A Framework for K-12 science education: Practices crosscutting concepts, and core ideas*. National Academy Press.

Navarro, J. L. (2017). Pautas para la aplicación de métodos de enseñanza musical desde un enfoque constructivista. *Revista Electrónica de Investigación Educativa*, 19(3), 143-160.

Nérice, I. G. (1987). *Didática geral dinâmica*. 10 ed., São Paulo: Atlas.

Newman, W.J., Abell, S.K., Hubbard, P.D., McDonald, J., Otaala, J., & Martini, M. (2004). Dilemmas of Teaching Inquiry in Elementary Science Methods. *Journal of Science Teacher Education* 15(4), 257-279.

Nishida, S. M. (2007). *Ciclo de neurofisiologia*. Botucatu: Curso de Fisiologia, Departamento de Fisiologia, IB UNESP.

Nissim, Y., Weissblueth, E., Scott-Webber, L., & Amar, S. (2016). The effect of a stimulating learning environment on pre-service teachers' motivation and 21st century skills. *Journal of Education and Learning*, 5(3), 29-44.

Nijstad, B. A., Dreu, C. K. W. D., Rietzschel, E. F., & Baas, M. (2010). The dual pathway to creativity model: Creative ideation as a function of flexibility and persistence. *Eur Rev Soc Psychol* 21, 34–77.

Nóvoa, A. (2002). *Formação de professores e trabalho pedagógico*. Lisboa: Educa. ISBN: 972-8036-48-5.

## O

OCDE (2016). *PISA 2015 Assessment and Analytical Framework: Science, Reading, Mathematic and Financial Literacy*. OECD Publishing.

Ofen N., Kao Y.C., Sokol-Hessner P., Kim H., Whitfield-Gabrieli S., & Gabrieli J.D. (2007). Development of the Declarative Memory System in the Human Brain. *Nature Neuroscience* 10 (9), 1198-1205.

Ogawa, T., Aihara, T., Shimokawa, T., & Yamashita, O. (2018). Large-scale brain network associated with creative insight: combined voxel-based morphometry and resting-state functional connectivity analyses. *Sci Rep*, 8, 6477.

Oliveira, A. P., Carvalho, E. S., Lage-Marques, J. L., Cavalli, V., Habitante, S. M., & Raldi, D.P. (2012). Evaluation of a strategic practice demonstration method applied to endodontic laboratory classes. *Revista Odonto Ciência*, 27(2), 127-131.

Oliveira, A. M., & Rossi, M. S. (2017). Neuroeducação: um novo conceito de aprendizagem? *Revista Uniplac*, 5(1).

Oliverio, A. (2008). Brain and creativity. *Progress of Theoretical Physics Supplement*, 173, 66-78.

Orradóttir, Ó. A. M. (2015). *El uso de la música como herramienta didáctica en el aula de español en Islandia: Estudio sobre la inclusión de la música y canciones en la enseñanza de ELE en centros de educación secundaria* (Doctoral dissertation). Háskóli Íslands (Universidad de Islandia). Islandia.

Oxenham A.J (2018). How We Hear: The Perception and Neural Coding of Sound. *Annu Rev Psychol.* 69, 27-50.

## P

Parbery-Clark A., Skoe E., Lam C., & Kraus N. (2009). Musician enhancement for Speech-In-Noise. *Ear Hear.* 30(6), 653–661.

Parbery-Clark A., Skoe E., & Kraus N. (2009b). Musical experience limits the degradative effects of background noise on the neural processing of sound. *J Neurosci*, 29, 14100–14107.

Palacios, S. (2012). *La musicoterapia para el tratamiento educativo de la diversidad*. Editorial UNED.

Palomar-García, M.-Á., Zatorre, R. J., Ventura-Campos, N., Bueichekú, E., & Ávila, C. (2017). Modulation of Functional Connectivity in Auditory–Motor Networks in Musicians Compared with Nonmusicians. *Cerebral Cortex*, 27, 2768–2778.

Pampori, Z. A., & Malla, W.A. (2016). Mechanics of memory – a review. *International journal for innovative research in multidisciplinary field.* 2,(9). ISSN – 2455-0620

Pantev, C., Oostenveld R., Engelien A., Ross B., Roberts L.E., & Hoke M. (1998). Increased auditory cortical representations in musicians. *Nature*, 392 (6678), 811.

Patel, A. D., & Iversen, J. R. (2007). The linguistic benefits of musical abilities. *Trends in Cognitive Sciences*, 11(9), 369-372.

Patel, A. D. (2010). Music, biological evolution, and the brain. *Emerging disciplines*, 91-144.

Patterson, R. D., Gaudrain, E., & Walters, T. C. (2010). The perception of family and register in musical tones. In *Music perception* (pp. 13-50). Springer, New York, NY.

Parra, D.A.H., Monobe, A.R., & Barceló, V.C. (2018). Aprendizaje Basado en Problemas como estrategia de Aprendizaje Activo y su incidencia en el rendimiento académico y Pensamiento Crítico de estudiantes de Medicina. *Revista complutense de educación*, 29(3), 665-681.

Pedaste M., Mäeots M., Siiman L.A., De Jong T., Van Riesen S.A., Kamp E.T., & Tsourlidaki E. (2015). Phases of inquiry-based learning: Definitions and the inquiry cycle. *Educational research review* 14, 47-61.

Peeters, M., & Meijer, W. (2014). Onderzoekend leren. Hoe stel je een onderzoeksvraag op? [Inquiry-based learning. How do you formulate a research question?]. *Jeugd in School en Wereld*, 9, 6-9.

Peretz, I., & Coltheart, M. (2003). Modularity of music processing. *Nature neuroscience*, 6(7), 688.

Pérez, B. C., & Mauriz, B. P. (2014). Trabajar la naturaleza de la ciencia en la formación inicial del profesorado planificando una investigación. *Educació química*, 55-61.

Peyró, C.F., Oñate, C. G., & Peña, M.A (2018). Creatividad y eficacia en la Comunidad Valenciana: la figura del planner en el proceso creativo. *Revista Latina de Comunicación Social*, 73, 401-424.

Pfeiffer, C. F., & Sabe, L. R. (2015). Music Therapy and Cognitive Rehabilitation: Screening of Music Cognition in Adult Patients With Right Hemisphere Stroke. *Psychomusicology: Music, Mind, and Brain*, 25(4), 392–403.

Pickels, J.O. (1988). *An Introduction to the Physiology of Hearing*, 2nd, Ed. Academic Press.

Pinho, A. L., de Manzano, Ö., Fransson, P., Eriksson, H., & Ullén, F. (2014). Connecting to create: expertise in musical improvisation is associated with increased functional connectivity between premotor and prefrontal areas. *The Journal of Neuroscience*: The Official Journal of the Society for Neuroscience, 34(18), 6156–63.

Pinho, A. L., Ullén, F., Castelo-Branco, M., Fransson, P., & de Manzano, Ö. (2016). Addressing a Paradox: Dual Strategies for Creative Performance in Introspective and Extrospective Networks. *Cereb Cortex*, 26, 3052–3063.

Pinho, A. L. (2018). The Neuropsychological Aspects of Musical Creativity. In *Exploring Transdisciplinarity in Art and Sciences* (pp. 77-103). Springer, Cham.

Piñeros, L.G., Botero-Rosas, D., Herrera, M. & Fernández-Cruz, M. (2016). Influencia de la música en procesos de enseñanza-aprendizaje en estudiantes de medicina. *Journal for Educators, Teachers and Trainers*, 7(1). 61 – 77.

Poolton J.M., Masters R.S., & Maxwell J.P. (2005). The relationship between initial errorless learning conditions and subsequent performance. *Hum Mov Sci*, 24, 362-78.

Puerto, S. (2018). *Secuencia didáctica para desarrollar los procesos de razonamiento y argumentación de los estudiantes del ciclo III en el componente numérico* (Doctoral dissertation), Universidad Nacional Sede Bogotá.



Pujol, R., Blatrix, S., Le Merre, S., Pujol, T., & Chaix, B. (2009). *Voyage au centre de l'Audition*. Retrieved from <http://www.cochlea.org/>.

## R

Raichel, M. (2010). Two views of brain function. *Trends in cognitive sciences*, 14(4), 180-190.

Ramachandran, V. S. (2004). *A brief tour of human consciousness: From impostor poodles to purple numbers*. Pi Press, an imprint of Pearson Technology Group.

Rampersad, G., & Patel, F. (2014). Creativity as a desirable graduate attribute: Implications for curriculum design and employability. *Asia-Pacific Journal of Cooperative Education*, 15(1), 111.

Raso, F., & Aranda D.S. (2019). Perceptions of the Future Pedagogues on the Teaching Methodology of Creativity. REICE. *Revista Iberoamericana sobre Calidad, Eficacia y Cambio en Educación*, 17(1), 73-89.

Regadera, A., & Sánchez, J. L. (2015). *Creatividad: Cómo evaluarla y cómo potenciarla*. Brief Ediciones.

Rendón, M.A. (2009). Creatividad y cerebro: bases neurológicas de la creatividad. *Aula*, 15, 117-135.

Richlan, F. (2012). Developmental dyslexia: dysfunction of a left hemisphere reading network. *Frontiers in Human Neuroscience*, 6, 120.

Ritter, S. M., & Mostert, N. (2017). Enhancement of Creative Thinking Skills Using a Cognitive-Based Creativity Training. *J Cogn Enhanc*, 1, 243–253.

Rivera-Urbina, G.N., Mendez Joya, M.F., Nitsche, M.A., & Molero-Chamizo, A. (2019). Anodal tDCS over Wernicke's area improves verbal memory and prevents the interference effect during words learning. *Neuropsychology*, 33(2), 263-274.

Roberts, D. (Ed.). (2002). *Signals and perception: the fundamentals of human sensation*. Palgrave.

Robinson, k (2015). *Creative Schools: Revolutionizing Education from the Ground Up*. New York: Penguin Books. ISBN: 9780141978581.

Rocanglia-Denissen, M.P., Bouwer, F., & Honing, H. (2018). Decision making strategy and the simultaneous processing of syntactic dependencies in language and music. *Frontiers in Psychology*, 9, 38.

Rodrigues, H. W. (2010). Popper e o processo de ensino-aprendizagem pela resolução de problemas. *Revista Direito GV*, 6(1), 039-057.

Rodrigues A.C., Loureiro M.A., Caramelli P. (2013). Long-term musical training may improve different forms of visual attention ability. *Brain Cogn.* 82(3), 229–235.

Rodrigues, A., Catarino, P., Aires, A. P., & Campos, H. (2018). Conceções de alunos sobre criatividade: Um estudo de caso no 3º ciclo do ensino básico. REICE. *Revista Iberoamericana sobre Calidad, Eficacia y Cambio en Educación*, 16(2), 99-115.

Romero-Ariza, M. (2017). El aprendizaje por indagación, ¿existen suficientes evidencias sobre sus beneficios en la enseñanza de las ciencias? *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 14 (2), 286-299.

Romo, M. (2006). Cognición y creatividad. In S. De la Torre y V. Violant. (Ed.). *Comprender y evaluar la creatividad: 1*. (pp.23-30). Málaga: Aljibe.

Rüber, T., Lindenberg, R., & Schlaug, G. (2015). Differential Adaptation of Descending Motor Tracts in Musicians. *Cereb Cortex*, *25*, 1490–1498.

Runco, M. A., Plucker, J.A., & Lim, W. (2001). Development and psychometric integrity of a measure of ideational behavior. *Creativity Research Journal*, *13* (3-4), 393-400.

## S

Sachs, M., Kaplan, J., Der Sarkissian, A. & Habibi, A. (2017). Increased engagement of the cognitive control network associated with music training in children during an fMRI Stroop task. *PLoS ONE* *12*, e0187254.

Salanova, E. M. (2003). El valor del cine para aprender y enseñar. *Comunicar*, (20), 45-52.

Salimpoor, V. N., Benovoy, M., Larcher, K., Dagher, A., & Zatorre, R. J. (2011). Anatomically distinct dopamine release during anticipation and experience of peak emotion to music. *Nature Neuroscience*, *14*(2), 257-355.

Salinas, J. (2013). Enseñanza flexible y aprendizaje abierto. Fundamentos clave de los PLEs. In L. Castañeda y J Adell (Eds.), *Entornos Personales de Aprendizaje: Claves para el ecosistema educativo en red*. Alcoy: Marfil. pp. 53 – 70.

Sánchez, V.S. (2017). *Música y cerebro: Influencia del arte musical en la biología humana* (Bachelor's thesis). Universidad de Salamanca, España.

Santi, M. (2016). Education as jazz: a framework to escape the monologue of teaching and learning. In M. Santi & E. Zorzi (Eds), *Education As Jazz Interdisciplinary Sketches on a New Metaphor* (pp. 3-27). Cambridge: Cambridge Scholar Publishing.

Santos, T., & Russo, I. (2005). *A prática da audiologia clínica*. 5 ed., São Paulo: Cortez.

Santos, W.S. (2011). Organização Curricular Baseada em Competência na Educação Médica. *Revista Brasileira de Educação Médica*, 35(1), 86-92.

Sanz, A.A. (2018). *Metodología preliminar para el diseño de auditorios*. UPM.

Sastre-Riba, S., & Pascual-Sufrate, M.T. (2013). Alta capacidad intelectual, resolución de problemas y creatividad. *Revista de Neurología*, 56 (1), 67-76.

Sawyer, K. (2011). The cognitive neuroscience of creativity: a critical review. *Creativity Research Journal*, 23(2), 137-154.

Schellenberg, E.G., & Peretz, I. (2008). Music, language and cognition: unresolved issues. *Trends Cogn Sci*, 12, 45–46.

Scherer, K. R., & Coutinho, E. (2013). How music creates emotion: a multifactorial process approach. In T. Cochrane, B. Fantini, K. R. Scherer (Eds.), *The emotional power of music* (pp. 121–145). Oxford: Oxford University Press.

Schlaug G., Jäncke L., Huang Y., Staiger J.F., & Steinmetz H. (1995). Increased corpus callosum size in musicians. *Neuropsychologia*, 33(8), 1047–1055.

Schlaug, G., Marchina, S., & Norton, A. (2009). Evidence for plasticity in white-matter tracts of patients with chronic Broca's Aphasia undergoing intense intonation-based speech therapy. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1169, 385-394.

Schmidt, R. A., & Lee, T. D. (2011). *Augmented feedback. Motor Control and Learning: A Behavioral Emphasis*. 5th ed. Champaign, IL: Human Kinetics, 393-405.

Schneider, P., Scherg, M., Dosch, G., Specht, H., & Gutschalk, A. (2002). Morphology of Heschl's gyrus reflects enhanced activation in the auditory cortex of musicians. *Nature Neuroscience*. 5, 688-94.

Seguel, C. E., & Viveros, E. A. (2016). El proceso de enseñanza-aprendizaje de los métodos de investigación social en un contexto de vulnerabilidad económica, social y cultural. Un estudio desde las carreras de la facultad de Ciencias Sociales de la Uc Temuco. *Prisma Social*, (16), 278-321.

Sempere, G. O. (2018). *Brain changes due to maturational effects and musical training* (Doctoral dissertation). Universitat Jaume I de Castellón de la Plana, España.

Sheridan-Rabideau, M. (2010). Creativity repositioned. *Arts Education Policy Review*, 111(2), 54-58.

Sigman M., Peña M., Goldin A. & Ribeiro S., (2014). Neuroscience and education: prime time to build the bridge. *Nature neuroscience*, 17(4), 497-502.

Simões, E. M. S., Nogaro, A., & Ecco, I. (2015). Saberes Da neurociência cognitive na formação de educadores. *Proceedings of the XII Congresso Nacional de Educação-Educere*. Curitiba, Brazil.

Sistema de Conselhos Federal e Regionais de Fonoaudiologia (2013). *Manual de Procedimentos em Audiometria Tonal Limiar, Logaudiometria e Medidas de Imitância Acústica*. Retrieved from <https://www.fonoaudiologia.org.br>.

Slater, M., Lotto, B., Arnold, M. M., & Sánchez-Vives, M. V. (2014). How we experience immersive virtual environments: the concept of presence and its measurement. *Annu.Psicol.* 40,193–210.

Sliverberry Genomix (2018). *DNA Wellness Reports*. Retrieved from <https://silverberrygenomix.com/docs/DNA-Health-Wellness-Report-Personalized-Nutrition-Diet-Exercise-Fitness-SAMPLE.pdf>.

Sluming V., Brooks J., Howard M., Downes J. J., & Roberts N. (2007). Broca's area supports enhanced visuospatial cognition in orchestral musicians. *J Neurosci.* 27(14), 3799–3806.

Smeekens, B. A., & Kane, M. J. (2016). Working Memory Capacity, Mind Wandering, and Creative Cognition: An Individual-Differences Investigation into the Benefits of Controlled Versus Spontaneous Thought. *Psychol Aesthet Creat Arts, 10*, 389–415.

Solaz-Portolés, J. J., Del Campo, Ó. J., & Sanjosé, V. (2016). An exploratory study on secondary education students' preferences regarding science teaching methods: The case of a high school. *Periodico Tche Química, 13*(26), 33-45.

Solís, H., & López-Hernández, E. (2009). Neuroanatomía funcional de la memoria. *Archivos de Neurociencias, 14*(3), 176-187.

Soria-Urios, G., Duque, P., García-Moreno, J. (2011a). Música y cerebro: fundamentos neurocientíficos y trastornos musicales. *Neurología, 52*, 45-55.

Soria-Urios, G., Duque, P., García-Moreno, J. (2011b). Música y cerebro: evidencias cerebrales del entrenamiento musical. *Neurología, 53*, 739-746.

Sowden, P. T., Pringle, A., & Gabora, L. (2015). The shifting sands of creative thinking: Connections to dual-process theory. *Thinking & Reasoning, 21*(1), 40–60.

Sriraman, B., & Leikin, R. (2017). Commentary on interdisciplinary perspectives to creativity and giftedness. In R. Leikin, y B. Sriraman (Eds.). *Creativity and giftedness: Interdisciplinary perspectives from mathematics and beyond* (pp. 259-264). Zürich: Springer.

Steele, C. J., Bailey, J. A., Zatorre, R. J., & Penhune, V. B. (2013). Early Musical Training and White-Matter Plasticity in the Corpus Callosum: Evidence for a Sensitive Period. *Journal of Neuroscience, 33*(3), 1282–1290.

Steinbeis, N., Koelsch, S., & Sloboda, J. A. (2006). The role of Harmonic expectancy violations in musical emotions: Evidence from subjective, physiological, and neural responses. *Journal of Cognitive Neuroscience, 18*(8), 1380-1393.

Stender, A.; Schwichow, M.; Zimmerman, C.; & Härtig, H. (2018). Making inquiry-based science learning visible: the influence of CVS and cognitive skills on content knowledge learning in guided inquiry. *International Journal of Science Education*, 40(15), 1812-1831.

Stevenson, C. E., Kleibeuker, S. W., de Dreu, C. K. W. & Crone, E. A. (2014). Training creative cognition: adolescence as a flexible period for improving creativity. *Front Hum Neurosci.*, 8, 827.

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. *Hear Res.*, 261(1–2), 22–29.

Strait, D. L., & Kraus, N. (2014). Biological impact of auditory expertise across the life span: Musicians as a model of auditory learning. *Hearing Research*, 308, 109-121.

Stickgold, R. (2005). Sleep-dependent memory consolidation. *Nature*, 437(7063), 1272.

## T

Taha, V. A., Tej, J., & Sirkova, M. (2015). Creative management techniques and methods as a part of the management education: Analytical study on students' perceptions. *Procedia: Social and Behavioral Sciences*, 197(3), 1918-1925.

Takeuchi, H., Taki, Y., Hashizume, H., Sassa, Y., Nagase, T., Nouchi, R. & Kawashima, R. (2011). Failing to deactivate: The association between brain activity during a working memory task and creativity. *NeuroImage* 55, 681–687.

Takeuchi, N., Mori, T., Suzukamo, Y., & Izumi, S.I. (2019). Activity of Prefrontal Cortex in Teachers and Students during Teaching of an Insight Problem. *Mind, Brain, and Education*, 13(3), 167-175.

- Talamini F, Altoè G, Carretti B, & Grassi M (2017). Musicians have better memory than nonmusicians: A meta-analysis. *PLoS One*. 12(10), 1–21.
- Tanaka, S., & Kirino, E. (2017). Dynamic Reconfiguration of the Supplementary Motor Area Network during Imagined Music Performance. *Front. Hum. Neurosci.* 11, 606.
- Tella, A. (2007). The impact of motivation on student's academic achievement and learning outcomes in mathematics among secondary school students in Nigeria. *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education*, 3(2), 149-156.
- Tillmann, B., Janata, P., & Bharucha, J. J. (2003). Activation of the inferior frontal cortex in musical priming. *Cognitive Brain Research. Science*, 16(2), 145-161.
- Tillmann, B., Koelsch, S., Escóer, N., Bigand, E., Lalitte, P., Friederici, A. D., & Von Cramon, D. Y. (2006). Cognitive priming in sung and instrumental music: Activation of inferior frontal cortex, *NeuroImage*, 31, 1771-1792.
- Thorne, K. (2008). *Motivación y creatividad en clase*. Barcelona: Grao.
- Thompson, N. C., Cranford, J. L., & Hoyer, E. (1999). Brief-tone frequency discrimination by children. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 42, 1061–1068.
- Tonegawa, S., Pignatelli, M., Roy, D. S., & Ryan, T. J. (2015). Memory engram storage and retrieval. *Current Opinion in Neurobiology*, 35, 101-109.
- Travis, F., Harung, H.S., & Lagrosen, Y. (2011). Moral development, executive functioning, peak experiences and brain patterns in professional and amateur classical musicians: Interpreted in light of a Unified Theory of Performance. *Conscious Cogn.* 20(4), 1256–1264.
- Trainor, L. B., Shahin, A. J., & Roberts, L. E. (2009). Understanding the benefits of musical training: Effects on oscillatory brain activity. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1169, 133-142.



Trujillo, A. D., & Moscardó, E. J. (2018). Evaluación del diseño, proceso y resultados de una asignatura técnica con aprendizaje basado en problemas. *Educación XXI*, 21(2), 179-203.

Tsai, K. C. (2013). A review of the effectiveness of creative training on adult learners. *Journal of Social Science Studies*, 1(1), 17-39.

## W

Wang, T. (2015). A hypothesis on the biological origins and social evolution of music and dance. *Frontiers in Neuroscience*, 9, 30.

Watts, M., & Jofili, Z. (1998): Towards critical constructivist teaching. *International Journal of Science Education*, 20(2), 173-185.

Webster (2002). Creative thinking and music education: encouraging Students to make aesthetic Decisions. In *Proceedings of the 10<sup>o</sup> Anniversary ESCOM Conference "musical creativity"* Liege, University de Liege.

Weimer, M. (2013). *Learner-Centered Teaching: Five Key Changes to Practice*. 2nd ed.. Jossey-Bass Publishers: San Francisco. ISBN-10: 1118119282

Weintraub, M., Hawlitschek, P., & Amado-João, S.M. (2011). Jogo educacional sobre avaliação em fisioterapia: uma nova abordagem acadêmica. *Fisioterapia e Pesquisa*, 18(3), 280-286.

Williamon, A, Aufegger, L., & Eiholzer, H. (2014). Simulating and stimulating performance: introducing distributed simulation to enhance musical learning and performance. *Frontiers*, 4,5-25.

# U

Údden, J., Ingvar, M., Hagoort, P., & Petersson, K. M. (2017). Broca's region: A causal role in implicit processing of grammars with crossed non-adjacent dependencies. *Cognition*, 164, 188-198.

Uddin, L. Q., Kinnison, J., Pessoa, L., & Anderson, M. L. (2014). Beyond the tripartite cognition-emotion-interoception model of the human insular cortex. *J. Cogn. Neurosci.* 26, 16–27.

Uddin, L. Q. (2015). Salience processing and insular cortical function and dysfunction. *Nature Reviews Neuroscience*, 16(1), 55.

Unesco. (2006). Hoja de ruta para la educación artística. In *Conferencia mundial sobre la educación artística: Construir capacidades creativas para el siglo XXI*. Lisboa: Autor.

Uzcátegui Y., & Betancourt C. (2013). Inquiry methodology in the teaching of the sciences: a review of its growing implementation to basic and secondary education level. *Revista de Investigación*, 37, 78. Caracas.

# V

Vaillant, D., & Marcelo García, C. (2012). *Ensinando a ensinar: as quatro etapas de uma aprendizagem*. Curitiba: UTFPR.

Valerio, G., Jaramillo, J., Caraza, R., & Rodríguez, R. (2016). Principles of Neuroscience applied to University Education. *Formación universitaria*, 9(4), 75–82.

Vergara, F., & Behrens, M. I. (2013). Red neural por defecto y enfermedad de Alzheimer. *Revista médica de Chile*, 141(3), 375-380.

Villagomez-Oviedo, C.P. (2019). The Creation Process in Digital Art. *ArDin. Arte, diseño e ingeniería*, 8, 16-30.

## W

Wallas, G. (2014). *The Art of Thought*. England: Solis Press.

Wei, D., Yang, J., Li, W., Wang, K., Zhang, Q., & Qiu, J. (2014). Increased resting functional connectivity of the medial prefrontal cortex in creativity by means of cognitive stimulation. *Cortex* 51, 92–102.

Weisberg, R.W. (1999). Creativity and Knowledge: A Challenge to Theories. In R.J. Sternberg (editor). *Handbook of creativity*. Cambridge: Cambridge University Press.

Weinberger, A. B., Green, A. E., & Chrysikou, E. G. (2017). Using Transcranial Direct Current Stimulation to Enhance Creative Cognition: Interactions between Task, Polarity, and Stimulation Site. *Front. Hum. Neurosci.* 11, 246.

Williamon, A., Aufegger, L., & Eiholzer, H. (2014). Simulating and stimulating performance: Introducing distributed simulation to enhance musical learning and performance. *Frontiers in Psychology*, 5, 25.

Wilson, G. B., & MacDonald, R. A. R. (2017). The construction of meaning within free improvising groups: a qualitative psychological investigation. *Psychol. Aesthetics Creat. Arts.*, 11, 136–146.

Windschitl, M. (2003). Inquiry projects in science teacher education: What can investigative experiences reveal about teacher thinking and eventual classroom practice? *Science Education*, 87(1), 112-143.

Wu, J., Zhang, J., Liu, C., Liu, D., Ding, X., & Zhou, C. (2012). Graph theoretical analysis of EEG functional connectivity during music perception. *Brain Research*, 1483, 71–81.

## Y

Yeh, Y., Tsai, J. L., Hsu, W. C. & Lin, C. F. (2014). A model of how working memory capacity influences insight problem solving in situations with multiple visual representations: An eye tracking analysis. *Thinking Skills and Creativity*, 13, 153-167.

Yoon, H.-G., Joung, Y. J., & Kim, M. (2012). The challenges of science inquiry teaching for pre-service teachers in elementary classrooms: Difficulties on and under the scene. *Research in Science Education*, 42(3), 589–608.

Ylinen, S., & Kujala, T. (2015). Neuroscience illuminating the influence of auditory or phonological intervention on language-related deficits. *Front. Psychol.* 6, 137.

## Z

Zamorano, A.M., Cifre, I., Montoya, P., Riquelme, I., & Boris, K (2017). Insula-based networks in professional musicians: Evidence for increased functional connectivity during resting state fMRI. *Hum Brain Mapp* 38, 4834–4849.

Zandbelt, B. B., Gladwin, T. E., Raemaekers, M., van Buuren, M., Neggers, S. F., Kahn, R. S., ... & Vink, M. (2008). Within-subject variation in BOLD-fMRI signal changes across repeated measurements: Quantification and implications for sample size. *NeuroImage* 42, 196–206.

Zatorre, R. (2012). Formación musical como marco para la plasticidad cerebral: Comportamiento, función y estructura. *Neuron*, 76 (1), 486-502.

Zatorre, R. J., & Salimpoor, V. N. (2013). From perception to pleasure: music and its neural substrates. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 110, (Supplement 2), 10430–10437.

Zhu, X., Wang, F., Hu, H., Sun, X., Kilgard, M. P., Merzenich, M. M., & Zhou, X. (2014). Environmental acoustic enrichment promotes recovery from developmentally degraded auditory cortical processing. *Journal of Neuroscience*, 34, 5406–5415.

Zhu, W., Chen, Q., Tang, C., Cao, G., Hou, Y., & Qiu, J. (2016). Brain structure links everyday creativity to creative achievement. *Brain and Cognition*, 103, 70–76. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2015.09.008>.

## III. ANEXOS

---

Qué se aporta:

Anexo 01: Consentimiento información al participante

Anexo 02: Criterio de inclusión: Cuestionario socio-demográfico, SCL-90-R

Anexo 03: Instrucciones de las tareas en resonancia magnética

Anexo 04: Partitura de las melodías utilizadas en resonancia magnética

Anexo 05: Partitura rítmicas utilizadas en resonancia magnética

Anexo 06: Examen de conocimiento musical

Anexo 07 Article 01 - Different role of the supplementary motor area and the insula between musicians and non-musicians in a controlled musical creativity task

Anexo 08: Article 02 - Diseño de un método de enseñanza musical a través de la investigación

Anexo 09: Article 03 – Structural changes in the brain based on musical teaching methodologies

Anexo 10: Cuaderno de trabajo de las metodologías de enseñanza tradicional

Anexo 11: Cuaderno de trabajo de las metodologías de enseñanza por indagación

Anexo 12: Hojas de registro de las sesiones de aplicación de la Metodología Tradicional

Anexo 13: Hojas de registro de las sesiones de aplicación de la metodología por Indagación.

## Anexo 01



ugr | Universidad  
de Granada



### DOCUMENTO DE INFORMACIÓN AL PARTICIPANTE

*Facultad de Ciencias de la Educación, Centro de Investigación Mente, Cerebro y Comportamiento (CIMCYC) (Universidad de Granada), y Centro Universitario de João Pessoa – UNIPÊ.*

#### **Investigadora responsable del proyecto:**

- Marcella Pereira Barbosa de Aquino, doctoranda. Facultad de Ciencias de la Educación, Universidad de Granada
- D.N.I.:
- Teléfono de contacto:
- Correo electrónico: [marcellaphd@correo.ugr.es](mailto:marcellaphd@correo.ugr.es)

#### **Supervisora:**

- Dra. María Purificación Pérez García, Profesora Titular. Facultad de Ciencias de la Educación

**Título de la investigación general:** Actividad cerebral y métodos de enseñanza: estudio comparativo entre el método de educación musical tradicional y metodología de indagación

#### **Financiación del proyecto:**

- Programa de Formación del Profesorado Universitario. Centro Universitário de João Pessoa - UNIPÊ

Le invitamos a participar en un proyecto de investigación que se está llevando a cabo en la Universidad de Granada, en tanto es usted mayor de 18 años de edad y presenta una capacidad intelectual normal para realizar las diferentes pruebas. Este documento le ofrece información sobre el estudio y recoge sus derechos, así como los beneficios que obtendrá a través de su participación. Lea detenidamente el texto que

sigue y pregunte a la persona responsable cualquier duda que pueda surgirle, antes de proceder a la firma del consentimiento de participación.

## **1. OBJETIVOS DEL ESTUDIO.**

El objetivo a gran escala de esta investigación es comparar el método de educación musical tradicional frente a una metodología de indagación en la esfera de la activación neurocognitiva y fisiológica cerebral. En el caso de este experimento concreto, se pretende analizar los niveles de rendimiento de sujetos músicos con 10 años de experiencia y no músicos en tareas de creatividad e inteligencia.

## **2. PROCEDIMIENTO.**

Si acepta participar en esta investigación, necesitaremos que complete las pruebas que se relacionan a continuación. Todas sus respuestas serán totalmente confidenciales, se analizarán de forma global junto con las obtenidas por el resto de participantes, y nunca serán examinadas por separado.

- Auto informe. En la que se le preguntará sobre su edad, problemas de salud general, consumo de alcohol u otras drogas, nivel de formación académica, experiencia musical, ocupación actual, uso de medicación controlada, dominancia manual (diestro o zurdo) y otras cuestiones afines.
- Symptom Checklist-90-R. Se ha sufrido daño o disfunciones psicopatológicos.
- Pruebas neurocognitiva de inteligencia y creatividad.

El estudio constará de una sesión cuya duración aproximada será de una hora.

## **3. VOLUNTARIEDAD EN LA PARTICIPACIÓN.**

Su autorización para participar en esta experiencia es optativa y totalmente voluntaria. Si decide no participar, usted tiene derecho a no otorgar su consentimiento para el estudio, o a revocarlo en cualquier momento una vez iniciado éste, acciones que no tendrán repercusión alguna sobre usted. Sus datos serán destruidos y no se incluirán en la investigación.

Sin embargo, si usted acepta participar, se compromete a aportar información verídica en relación a las pruebas y a su estado físico y de salud.

## **4. CONTRAINDICACIONES Y RIESGOS.**

No existen riesgos asociados a la participación en este estudio.

## **5. BENEFICIOS.**

La información obtenida nos ayudará a comprender ciertos mecanismos del cerebro humano.



## **6. COMPROMISO DE CONFIDENCIALIDAD.**

Toda información o datos que usted nos facilite serán confidenciales, anónimos, y su uso se registrará por lo recogido en la legislación vigente en relación a la Protección de Datos de Carácter Personal. Para cualquier publicación de datos asociados a su nombre, se precisará su autorización previa.

Sus datos personales serán tratados conforme a los términos establecidos en la Ley Orgánica 15/1999, de 13 de diciembre, de Protección de Datos de Carácter Personal. Usted puede ejecutar en cualquier momento los derechos de acceso, rectificación, cancelación u oposición, poniéndose en contacto con el investigador principal según los datos incluidos en este documento de información.

Le reiteramos que su participación es completamente voluntaria y que tiene derecho a abstenerse de participar, no contestar alguna pregunta o retirarse del estudio en cualquier momento, sin perjuicio alguno. Igualmente tiene derecho a recibir una copia de este documento, y derecho tanto a conocer como a no conocer, según sus preferencias, los resultados de este estudio.

## **7. INFORMACIÓN ADICIONAL.**

Si desea más información sobre esta investigación, por favor diríjase a la siguiente dirección de correo electrónico: [marcellaphd@correo.ugr.es](mailto:marcellaphd@correo.ugr.es)

Marcella Pereira Barbosa de Aquino  
Facultad de Ciencias de la Educación  
Universidad de Granada

## CONSENTIMIENTO INFORMADO

1. He leído y entendido el documento de información al participante del proyecto “Actividad cerebral y métodos de enseñanza: estudio comparativo entre el método de educación musical tradicional y metodología de indagación”, Llevado a cabo por investigadores de la Facultad de la ciencias de la educación, Cerebro y Comportamiento (CIMCYC), ambas instituciones pertenecientes a la Universidad de Granada y Centro Universitario de João Pessoa – UNIPÊ.

2. He comprendido en qué consiste mi participación en el estudio, en el que decido colaborar de forma voluntaria, y sobre el que he tenido la oportunidad de resolver cualquier duda.

3. Asimismo, se me ha informado de que:

- Me comprometo a aportar información verídica y real en mis respuestas.
- Tengo derecho a no otorgar mi consentimiento de participación y a revocarlo en cualquier momento del estudio, acciones que no supondrán perjuicio o discriminación alguna.
- Seré informado, si así lo deseo, de los datos que se obtengan durante la investigación.
- Los datos derivados de mi participación son anónimos, y será precisa mi expresa autorización para cualquier publicación asociada a mi nombre. Asimismo, en cualquier momento podré ejecutar los derechos de acceso, rectificación, cancelación u oposición.

Atendiendo a todas las consideraciones anteriores:

Yo **D/Dña.** \_\_\_\_\_, **con DNI** \_\_\_\_\_ **y mayor de edad, acepto participar de forma voluntaria en el mencionado estudio y comprendo que puedo retirarme cuando quiera sin que ello suponga perjuicio alguno para mí.**

**Fecha de la aceptación:** \_\_\_\_\_

**Firma del participante**

**Firma del investigador**

-----  
Debido a un cambio en mis circunstancias personales, decido revocar el anterior consentimiento y dejar de participar en este estudio, sin que esta acción tenga ningún tipo de consecuencias negativas para mí.

Firma del participante

Fecha de la revocación



Univer  
sidad  
de Granada



## DOCUMENTO DE INFORMACIÓN AL PARTICIPANTE

*Facultad de Ciencias de la Educación, Centro de Investigación Mente, Cerebro y Comportamiento (CIMCYC) (Universidad de Granada), y Centro Universitario de João Pessoa – UNIPÊ*

### **Investigadora responsable del proyecto:**

- Marcella Pereira Barbosa de Aquino, doutoranda. Facultad de Ciencias de la Educación, Universidad de Granada
- D.N.I:
- Teléfono de contacto:
- Correo electrónico: [marcellaphd@correo.ugr.es](mailto:marcellaphd@correo.ugr.es)

### **1. OBJETIVOS DEL ESTUDIO.**

El objetivo a gran escala de esta investigación es comparar el método de educación musical tradicional frente a una metodología de indagación en la esfera de la activación neurocognitiva y fisiológica cerebral. En el caso de este experimento concreto, se pretende validar tareas de creatividad y memoria musical; Identificar y analizar el cambio de conectividad cerebral de sujetos músicos con 10 años de experiencia y no músicos en tareas de memoria, creatividad y aprendizaje mediante resonancia magnética funcional.

### **2. PROCEDIMIENTO.**

Si acepta participar en esta investigación, usted entrará en el escáner y realizará algunas tareas. Antes de comenzar, deberá cumplimentar un cuestionario sobre contradicciones para el uso del equipo de resonancia magnética funcional.

Antes del experimento, usted será familiarizado de las tareas y va a practicar cada condición fuera de la sala del scanner. Una vez dentro y durante la primera parte de proceso de escaneado, usted deberá permanecer quieto y relajado. Será pedido para realizar tres acciones: Improvisar, reproducir y descansar. Será proyectado en la tela la acción propuesta y logo después una partitura rítmica en un marco rojo. Este marco será entonces eliminado, señalando al participante que empecé la acción correspondiente. Esto ocurrirá 08 veces.

En un momento posterior del proceso de escaneado, se le pedirá la realización de una tarea de aprendizaje musical: Escuchará melodías sencillas conteniendo 5 notas cada y su tarea consistirá en reproducirlo mediante mando de respuesta. Cada botón corresponde a un sonido de una nota referida. Es importante que pulse JUSTO

DESPUÉS DE QUE TERMINE DE ESCUCHAR EL ESTÍMULO, y nunca antes de que éste finalice.

Igualmente es importante que **NO SE MUEVA** durante **TODA SU PERMANENCIA** en el escáner, puesto que ello puede invalidar los datos. Tan sólo un pequeño movimiento dentro puede anular el estudio.

Todas sus respuestas serán totalmente confidenciales, se analizarán de forma global junto con las obtenidas por el resto de participantes, y nunca serán examinadas por separado. El estudio tendrá una sesión, con duración aproximada de una hora.

### **3. VOLUNTARIEDAD EN LA PARTICIPACIÓN.**

Su autorización para participar en esta experiencia es optativa y totalmente voluntaria. Si decide no participar, usted tiene derecho a no otorgar su consentimiento para el estudio, o a revocarlo en cualquier momento una vez iniciado éste, acciones que no tendrán repercusión alguna sobre usted. Sus datos serán destruidos y no se incluirán en la investigación.

Sin embargo, si usted acepta participar, se compromete a aportar información verídica en relación a las pruebas y a su estado físico y de salud.

### **4. CONTRAINDICACIONES Y RIESGOS.**

No existen riesgos asociados a la participación en este estudio, a excepción de las contraindicaciones propias del uso de Resonancia Magnética Funcional.

### **5. BENEFICIOS.**

La información obtenida nos ayudará a comprender ciertos mecanismos del cerebro humano.

### **6. COMPROMISO DE CONFIDENCIALIDAD.**

Toda información o datos que usted nos facilite serán confidenciales, anónimos, y su uso se registrará por lo recogido en la legislación vigente en relación a la Protección de Datos de Carácter Personal. Para cualquier publicación de datos asociados a su nombre, será precisa su autorización previa.

Sus datos personales serán tratados conforme a los términos establecidos en la Ley Orgánica 15/1999, de 13 de diciembre, de Protección de Datos de Carácter Personal. Usted puede ejecutar en cualquier momento los derechos de acceso, rectificación, cancelación u oposición, poniéndose en contacto con el investigador principal según los datos incluidos en este documento de información.

Le reiteramos que su participación es completamente voluntaria y que tiene derecho a abstenerse de participar, no contestar alguna pregunta o retirarse del estudio en cualquier momento, sin perjuicio alguno. Igualmente tiene derecho a recibir una copia de este documento, y derecho tanto a conocer como a no conocer, según sus preferencias, los resultados de este estudio.

### **7. INFORMACIÓN ADICIONAL.**

Si desea más información sobre esta investigación, por favor diríjase a la siguiente dirección de correo electrónico: [marcellaphd@correo.ugr.es](mailto:marcellaphd@correo.ugr.es)

Marcella Pereira Barbosa de Aquino  
Facultad de Ciencias de la Educación  
Universidad de Granada

## CONSENTIMIENTO INFORMADO

1. He leído y entendido el documento de información al paciente del proyecto ““Actividad cerebral y métodos de enseñanza: estudio comparativo entre el método de educación musical tradicional y metodología de indagación”, Llevado a cabo por investigadores de la Facultad de la ciencias de la educación, Cerebro y Comportamiento (CIMCYC), ambas instituciones pertenecientes a la Universidad de Granada y Centro Universitario de João Pessoa – UNIPÊ.

2. He comprendido en qué consiste mi participación en el estudio, en el que decido colaborar de forma voluntaria, y sobre el que he tenido la oportunidad de resolver cualquier duda.

3. Asimismo, se me ha informado de que:

- Me comprometo a aportar información verídica y real en mis respuestas.
- Tengo derecho a no otorgar mi consentimiento de participación y a revocarlo en cualquier momento del estudio, acciones que no supondrán perjuicio o discriminación alguna.
- Seré informado, si así lo deseo, de los datos que se obtengan durante la investigación.
- Los datos derivados de mi participación son anónimos, y será precisa mi expresa autorización para cualquier publicación asociada a mi nombre. Asimismo, en cualquier momento podré ejecutar los derechos de acceso, rectificación, cancelación u oposición.

Atendiendo a todas las consideraciones anteriores:

Yo **D/Dña.** \_\_\_\_\_, **con DNI** \_\_\_\_\_ **y mayor de edad, acepto participar de forma voluntaria en el mencionado estudio y comprendo que puedo retirarme cuando quiera sin que ello suponga perjuicio alguno para mí.**

**Fecha de la aceptación:** \_\_\_\_\_

**Firma del participante**

**Firma del investigador/a**

Debido a un cambio en mis circunstancias personales, decido revocar el anterior consentimiento y dejar de participar en este estudio, sin que esta acción tenga ningún tipo de consecuencias negativas para mí.

Firma del participante

Fecha de la revocación

## HOJA DE INFORMACIÓN ESTUDIO fMRI

CENTRO DE INSTRUMENTACIÓN CIENTÍFICA

---

NOMBRE DEL PROYECTO:

FINANCIACIÓN:

INVESTIGADOR PRINCIPAL:

NOMBRE DEL EXPERIMENTO:

---

### Información sobre el experimento (objetivos, procedimiento)

#### Información fMRI:

Hasta la fecha, más de 150 millones de estudios de resonancia magnética se han realizado en todo el mundo. La fMRI ha demostrado ser extremadamente segura mientras se toman precauciones de seguridad adecuadas. La fMRI utiliza campos magnéticos y ondas de radio para obtener imágenes del cerebro. En este estudio se utilizará un escáner de resonancia magnética 3.0 Tesla. No hay exposición a los rayos X o radioactividad durante una resonancia magnética. Todas las explotaciones que se realizan no representan más que un riesgo mínimo ya que los niveles de energía instantánea y acumulada están dentro de los límites de seguridad establecidos.

Se le pedirá que deje objetos metálicos y objetos personales en los casilleros proporcionados. También se le pedirá que se quite las prendas de vestir con insertos metálicos o broches antes de entrar en la sala de resonancia magnética. Se le solicitará información sobre prótesis, implantes, tatuajes, etc. Por favor, pregunte al experimentador si no está seguro acerca de cualquier artículo. Se le pedirá que se acueste en una cama que se desliza en el tubo largo del escáner. Se le dará auriculares y o/ tapones para los oídos para la protección auditiva. El escáner de resonancia magnética hace ruidos fuertes durante el funcionamiento normal. Se le pedirá que permanezca muy quieto en esos momentos. En las exploraciones de la cabeza, podemos poner cojines alrededor de la cabeza. Usted será capaz de hablar con el técnico de fMRI un intercomunicador, y él / ella será capaz de ver y escuchar en todo momento. También se le dará un dispositivo de señalización. Si en algún momento desea interrumpir el estudio, puede llamar a los investigadores a través del intercomunicador o presionar el dispositivo de señalización y se le retirará inmediatamente del escáner.

Molestias y riesgos de la fMRI: El riesgo de lesiones es muy bajo durante una resonancia magnética. Sin embargo, la fMRI no es segura para todos. Puede que no sea segura, si tiene cualquier metal que contenga hierro en o sobre el cuerpo. Esto es porque el hierro puede representar un riesgo de seguridad cuando está en presencia de campos magnéticos fuertes. Las ondas de radio también pueden calentar el cuerpo y los objetos metálicos dentro o sobre el cuerpo, con resultado de posibles quemaduras. Antes de entrar en la sala del escáner, se le harán una serie de preguntas para determinar si es seguro que usted haga una resonancia magnética en este momento. Por ejemplo, puede no ser seguro hacer una resonancia magnética si tiene un marcapasos cardíaco, clips de aneurisma, un dispositivo intrauterino (DIU), etc.

Para su seguridad, es muy importante que conteste todas las preguntas con la verdad. Es posible que usted pueda sentirse incómodo o confinado una vez dentro del escáner. Este sentimiento

suele pasar en pocos minutos ya que los experimentadores hablarán con usted y comenzará el estudio. Puede experimentar mareos, náusea leve, o pequeños destellos de luz en su campo de visión. Estas sensaciones son principalmente debido al movimiento y se detendrá poco después de salir del imán.

No hay riesgos conocidos aparte de los descritos anteriormente. Sin embargo, siempre existe la posibilidad de que existan riesgos desconocidos asociados con este procedimiento. Debido a que la RM no ha demostrado ser segura durante el embarazo, es importante que un feto en el útero no se exponga a riesgos innecesarios. Por lo tanto, con el fin de participar en este estudio, no debe estar embarazada en el momento de la exploración.

Hallazgos adicionales: Los investigadores de este proyecto no están capacitados para realizar el diagnóstico médico y los análisis que deben realizarse en el estudio no se han optimizado para encontrar anomalías. Sin embargo el protocolo de ética incluye la revisión por parte de un neurólogo de todas las resonancias. En caso de que el neurólogo detecte algún hallazgo que sea de relevancia, el investigador se comunicará con usted y le pondrá en contacto con el neurólogo para que le facilite información si así lo desea.

Por favor, proporcione la información de contacto para que se le pueda localizar en caso de un hallazgo incidental y/o resultados de relevancia de las pruebas.

Correo electrónico:.....

Dirección  
postal:.....

Teléfono:.....

Es importante que sepa que su participación es voluntaria y en cualquier caso y en cualquier momento puedes abandonar el experimento sin que por ello se penalice. Si quiere abandonar el estudio, notifíquese al experimentador.

Aseguramos la total confidencialidad de los datos que nos suministra y que registraremos utilizando las tareas experimentales.

---

Si tiene alguna duda sobre las tareas experimentales o sobre el proyecto pregunte al experimentador o al investigador principal.



## HOJA DE INFORMACIÓN ESTUDIO fMRI

CENTRO DE INSTRUMENTACIÓN CIENTÍFICA

---

NOMBRE DEL PROYECTO:  
FINANCIACIÓN:  
INVESTIGADOR PRINCIPAL:  
NOMBRE DEL EXPERIMENTO:

---

Acepto participar en el estudio que se lleva a cabo bajo la supervisión del CENTRO DE INVESTIGACIÓN MENTE CEREBRO Y COMPORTAMIENTO de la Universidad de Granada.

- He tomado una decisión basándome en la información que se me ha proporcionado por escrito y he tenido la oportunidad de recibir información adicional que he solicitado
- Manifiesto decir la verdad en mis respuestas para garantizar los datos reales que solicito
- Entiendo que puedo retirar este consentimiento en cualquier momento sin recibir una penalización por ello.

Nombre: .....

Nombre del Testigo: .....

DNI: .....

DNI del Testigo: .....

Firma: .....

Firma del Testigo: .....

Fecha: .....

Si quieres acceder a los resultados de la investigación deja tu correo electrónico y te enviaremos los artículos científicos que se publicarán gracias a ese estudio.

Correo electrónico: .....

Firma del responsable del proyecto: .....

## Anexo 02

### Criterio de inclusión

Estimado(a) participante:

En primer lugar, queremos agradecer tu colaboración como voluntario de esta investigación de Doctorado en Educación intitulado *Estudio comparativo entre el método de educación musical tradicional y metodología de indagación*. Abajo encontrase algunas preguntas que queremos que respondáis con el objetivo de conocerte más y saber se es posible su efectiva participación en esta investigación. Pedimos que lea todas las categorías despacio y las respondáis con sinceridad. No hay respuestas correctas o incorrectas. También, queremos garantizarte que los datos recogidos son completamente confidenciales, y que solamente utilizaremos la información de identificación, si nos autorizas, para ponernos en contacto contigo. Además, es importante que sepas que tu participación es voluntaria y que puedes dejar la tarea, si así lo deseas, sin que se te penalice por ello. Esta actividad la realizarás aproximadamente en 20 minutos.

Si quieres contactar con algún miembro del equipo de investigación, por favor, utiliza el siguiente correo electrónico: marcellaphd@correo.ugr.es

Por favor, compruebe que en TODAS las preguntas ha marcado una respuesta.

<b>CUESTIONARIO SOCIODEMOGRÁFICO</b>	
Nombre:	
Sexo:	
¿Cuántos años tiene?	
¿Cuál es su estado civil?	
¿Cuál es el nivel de estudios más alto que ha completado o aprobado?	
¿Tiene experiencia musical por más de 10 años?	
¿Tienes oído absoluto?	
¿En qué país nació?	
Teléfono:	
Correo electrónico:	

## CUESTIONARIO

En general, usted diría que su salud es...

- )Muy Buena
- )Buena
- )Regular
- )Mala
- )Muy Mala

¿Usa medicamentos controlados? (  )Sí (  )No

¿Cuál?

¿Tiene algún problema auditivo diagnosticado? (  )Sí (  )No

¿Es diestro? (  )Sí (  )No

¿Usa braquetes? (  )Sí (  )No

¿Ha tomado usted, ALGUNA VEZ, aunque fuera sólo una vez, tabaco? (  ) Sí (  ) No

¿Con qué frecuencia fuma tabaco?

- ) Nunca
- ) Una vez al mes
- ) 2 a 4 veces al mes
- ) 2 ó 3 veces a la semana
- ) Diariamente

¿Ha tomado usted, ALGUNA VEZ, aunque fuera sólo una vez, cualquier clase de bebida alcohólica?  
(  ) Sí (  ) No

¿Con qué frecuencia consume bebidas alcohólicas?

- ) Nunca
- ) Una o menos veces al mes
- ) 2 a 4 veces al mes
- ) 2 ó 3 veces a la semana
- ) 4 o más veces a la semana

¿Ha consumido, aunque sólo fuera UNA VEZ EN SU VIDA, alguna droga ilícita? (  ) Sí (  ) No

¿Cuál?

¿Con qué frecuencia consume drogas ilícitas?

- ) Nunca
- ) Una o menos veces al mes
- ) 2 a 4 veces al mes
- ) 2 ó 3 veces a la semana
- ) 4 o más veces a la semana

## SCL-90-R

### L. R. Derogatis. Adaptación U.B.A. 1999.

A continuación le presentamos una lista de problemas que tiene la gente. Lea cada uno de ellos y marque su respuesta con una cruz en la casilla correspondiente, pensando en cómo se sintió, en qué medida ese problema le ha preocupado o molestado durante la última semana (7 días). Tiene cinco (5) posibilidades de respuesta:

NADA - MUY POCO - POCO – BASTANTE – MUCHO.

No hay respuestas buenas o malas: todas sirven. No deje frases sin responder.

	Nada	Muy Poco	Poco	Bastante	Mucho
1. Dolores de cabeza.					
2. Nerviosismo.					
3. Pensamientos desagradables que no se iban de mi cabeza.					
4. Sensación de mareo o desmayo.					
5. Falta de interés en relaciones sexuales.					
6. Criticar a los demás.					
7. Sentir que otro puede controlar mis pensamientos.					
8. Sentir que otros son culpables de lo que me pasa.					
9. Tener dificultad para memorizar cosas.					
10. Estar preocupado/a por mi falta de ganas para hacer algo.					
11. Sentirme enojado/a, malhumorado/a.					
12. Dolores en el pecho.					
13. Miedo a los espacios abiertos o las calles.					
14. Sentirme con muy pocas energías.					
15. Pensar en quitarme la vida.					
16. Escuchar voces que otras personas no oyen.					
17. Temblores en mi cuerpo.					
18. Perder la confianza en la mayoría de las personas.					
19. No tener ganas de comer.					
20. Llorar por cualquier cosa.					
21. Sentirme incómodo/a con personas del otro sexo.					
22. Sentirme atrapada/o o encerrado/a.					
23. Asustarme de repente sin razón alguna.					
24. Explotar y no poder controlarme.					
25. Tener miedo a salir solo/a de mi casa.					
26. Sentirme culpable por cosas que ocurren.					
27. Dolores en la espalda.					
28. No poder terminar las cosas que empecé a hacer.					
29. Sentirme solo/a.					
30. Sentirme triste.					
31. Preocuparme demasiado por todo lo que pasa.					
32. No tener interés por nada.					
33. Tener miedos.					
34. Sentirme herido en mis sentimientos.					
35. Creer que la gente sabe qué estoy pensando.					

	Nada	Muy Poco	Poco	Bastante	Mucho
36. Sentir que no me comprenden.					
37. Sentir que no caigo bien a la gente, que no les gusto.					
38. Tener que hacer las cosas muy despacio para estar seguro/a de que están bien hechas.					
39. Mi corazón late muy fuerte, se acelera.					
40. Náuseas o dolor de estómago.					
41. Sentirme inferior a los demás.					
42. Calambres en manos, brazos o piernas.					
43. Sentir que me vigilan o que hablan de mí.					
44. Tener problemas para dormir.					
45. Tener que controlar una o más veces lo que hago.					
46. Tener dificultades para tomar decisiones.					
47. Tener miedo de viajar en tren, ómnibus o subterráneos.					
48. Tener dificultades para respirar bien.					
49. Ataques de frío o de calor.					
50. Tener que evitar acercarme a algunos lugares o actividades porque me dan miedo.					
51. Sentir que mi mente queda en blanco.					
52. Hormigueos en alguna parte del cuerpo.					
53. Tener un nudo en la garganta.					
54. Perder las esperanzas en el futuro.					
55. Dificultades para concentrarme en lo que estoy haciendo.					
56. Sentir flojedad, debilidad, en partes de mi cuerpo.					
57. Sentirme muy nervioso/a, agitado/a					
58. Sentir mis brazos y piernas muy pesados					
59. Pensar que me estoy por morir.					
60. Comer demasiado.					
61. Sentirme incómodo/a cuando me miran o hablan de mí.					
62. Tener ideas, pensamientos que no son los míos.					
63. Necesitar golpear o lastimar a alguien.					
64. Despertarme muy temprano por la mañana sin necesidad.					
65. Repetir muchas veces algo que hago: contar, lavarme, tocar cosas.					
66. Dormir con problemas, muy inquieto/a.					
67. Necesitar romper o destrozarse cosas.					
68. Tener ideas, pensamientos que los demás no entienden.					
69. Estar muy pendiente de lo que los demás puedan pensar de mí.					
70. Sentirme incómodo/a en lugares donde hay mucha gente.					
71. Sentir que todo me cuesta mucho esfuerzo					
72. Tener ataques de mucho miedo o de pánico.					
73. Sentirme mal si estoy comiendo o bebiendo en público.					

	Nada	Muy Poco	Poco	Bastante	Mucho
74. Meterme muy seguido en discusiones.					
75. Ponerme nervioso/a cuando estoy solo/a.					
76. Sentir que los demás no me valoran como merezco.					
77. Sentirme solo/a aún estando con gente.					
78. Estar inquieto/a; no poder estar sentado/a sin moverme.					
79. Sentirme un/a inútil.					
80. Sentir que algo malo me va a pasar.					
81. Gritar o tirar cosas.					
82. Miedo a desmayarme en medio de la gente.					
83. Sentir que se aprovechan de mí si los dejo					
84. Pensar cosas sobre el sexo que me molestan.					
85. Sentir que debo ser castigado/a por mis pecados.					
86. Tener imágenes y pensamientos que me dan miedo.					
87. Sentir que algo anda mal en mi cuerpo.					
88. Sentirme alejado/a de las demás personas.					
89. Sentirme culpable.					
90. Pensar que en mi cabeza hay algo que no funciona bien.					

HA TERMINADO LAS PREGUNTAS. GRACIAS.

## Anexo 03

### INSTRUCCIONES DE LAS TAREAS EN RESONANCIA MAGNÉTICA

#### **Instrucciones antes de la resonancia**

Hola XXX. Te voy a explicar todo el procedimiento que vas a llevar a cabo dentro de la resonancia. Si tienes cualquier duda, no tengas problema en decírmelo ahora. Es muy importante que entiendas bien todas las tareas, porque una vez que comience cada una no podemos parar para comenzar de nuevo.

Vas a estar dentro del escáner algo más de una hora. Durante ese tiempo vas a realizar diferentes pruebas. Vamos a recoger datos de la estructura de tu cerebro y de su funcionamiento durante todo el tiempo. Es muy importante que no muevas la cabeza, porque sino las imágenes saldrán movidas y no servirán para el estudio.

En primer lugar se producirá la calibración de la máquina que durará unos 3 minutos. Durante ese tiempo no tienes que hacer nada.

Tras la calibración, llevaremos a cabo una primera tarea en la que tu objetivo es cerrar los ojos, intentar no pensar en nada y quedarte lo más quieto posible. Durante todo el tiempo que dura esta tarea oirás un ruido fuerte, pero no te preocupes, es el funcionamiento normal de la resonancia. Esta prueba durará unos minutos.

A continuación, haremos la primera tarea en la que tendrás que usar el mando. Voy a explicarte en qué consiste y a continuación haremos una pequeña prueba para que te familiarices con ella.

El objetivo de esta tarea es que cumplas con las instrucciones que aparecerán en la pantalla. Las instrucciones que irás viendo son: “Improvisa”, “Reproduce” o “Descansa”. En primer lugar aparecerá siempre la instrucción a realizar e inmediatamente después, verás en la pantalla una partitura rítmica. Esta partitura tendrá un rectángulo rojo a su alrededor y en ese instante empezará a escuchar el ritmo representado en la partitura.

Una vez transcurran unos segundos, el rectángulo rojo desaparecerá y tendrás que realizar la instrucción que habías visto previamente. Si la instrucción que apareció en la pantalla era “Improvisa” tu tarea consistirá en improvisar un ritmo a partir del que has escuchado. En el caso de que la instrucción fuera “Reproduce”, deberás repetir el ritmo que acabas de escuchar. Para improvisar y repetir los ritmos tendrás que usar un mando como éste a modo de percusión. (Se le enseña el mando y se le coloca para que se familiarice con él).

Como te había dicho, en otras ocasiones aparecerá la instrucción “Descansa”. En ese caso simplemente deberás relajarte y esperar hasta que una nueva instrucción salga en la pantalla. ¿Tienes alguna duda? Vamos a hacer un ensayo para que veas cómo será la prueba más tarde. (Con el mando colocado en la mano se realiza Demo1).

La siguiente tarea consistirá en escuchar unos fragmentos musicales. Para que puedas escucharlos bien, vamos a detener la resonancia durante unos segundos y después iremos tomando imágenes de tu cabeza. Así que aunque no escuches funcionar a la resonancia, debes mantenerte lo más quieto posible. ¿Todo claro? Vamos a hacer una prueba. (Hacemos Demo2)

Para las siguientes pruebas vas a utilizar otro mando como el que has usado antes. En este caso vamos a imaginarnos que los mandos son el teclado de un piano, donde cada botón representa una nota musical. Para ello coloca tus dos manos sobre los mandos y pulsa desde el meñique de la mano izquierda, hasta el meñique de la mano derecha. En este caso no vamos a utilizar los pulgares, así que tienes un teclado imaginario de 8 teclas.

La primera prueba que vas a realizar con este teclado imaginario consiste en acertar qué botón se corresponde con cada nota musical. Mientras que estás dentro de la resonancia irás escuchando distintas notas, e inmediatamente después de que escuches cada una debes pulsar uno de los botones. Pero para que no sea tan fácil, no vas a escuchar el sonido correspondiente al botón que pulsas. No te preocupes si fallas, lo importante es que vayas pulsando el botón que tú creas que se corresponde con ese sonido. ¿Me he explicado bien? Vamos a hacer una pequeña prueba. (Hacemos Demo3)

La siguiente tarea es la más larga de todas, así que debes tomarla con calma, cumpliendo las instrucciones que te vamos a dar e intentando mover la cabeza lo menos posible. El objetivo de esta prueba consiste en que repitas con el teclado imaginario de piano las melodías que vas a escuchar. En este caso, vas a escuchar un pequeño fragmento musical de cinco notas durante el cual la resonancia estará parada. A continuación escucharás el ruido de la resonancia y cuando termine será cuando debes pulsar los botones e intentar repetir lo que has escuchado. Cuando pasen unos segundos escucharás de nuevo la resonancia funcionar y otro fragmento musical que deberás intentar repetir. En este caso sí te vamos a dejar que escuches lo que vas pulsando, así que te será más fácil la labor. Este proceso de escuchar una melodía e intentar reproducirla se repetirá varias veces. Para que no te canses demasiado, vamos a dejar algunos periodos de silencio durante los cuales no debes hacer nada. En el momento en que vuelvas a escuchar melodías, debes volver a intentar repetirlas. ¿Alguna duda? Vamos a hacer un ejemplo para que veas como será esta tarea. (Hacemos Demo4)

Cuando acabemos esta parte, vamos a volver a hacer la prueba de escuchar las notas una a una e intentar adivinarlas. Igual que antes, no podrás escuchar lo que pulsas pero las notas seguirán estando en el mismo sitio.

La última tarea en la que debes estar concentrado consistirá en escuchar de nuevo unos fragmentos musicales. En este caso, no tendrás que reproducirlos con los mandos, así que simplemente debes relajarte y prestar atención a lo que escuches.

Para finalizar, se tomarán imágenes estructurales de tu cabeza. Esto son simples fotos, por lo que ya podrás pensar en lo que quieras, pero con mucho cuidado de no mover la cabeza, porque sino tendremos que repetir alguna de estas últimas imágenes. Esta parte dura unos diez minutos. ¿Alguna duda?



## Instrucciones durante la resonancia

¿Cómo estás XXXX? Vamos a comenzar con la prueba en la cual tienes que cerrar los ojos y tratar de no pensar en nada. ¿Estás preparado?

#####

Muy bien XXXX ¿Cómo estás? ¿Te has quedado dormido? Vamos a empezar ya con las tareas en las que tienes que usar el mando. La primera es la de los ritmos. Recuerda que tu objetivo en esta tarea es realizar la instrucción que aparezca en pantalla. Si la instrucción es “Improvisa” debes improvisar un ritmo a partir de el que escuches, y si la instrucción es “Reproduce” simplemente tendrás que repetirlo. Acuérdate que debes hacerlo cuando desaparezca el rectángulo rojo de la pantalla. ¿Estás preparado?

#####

¿Cómo estás XXXX? Lo has hecho bien. Ahora vamos a hacer la tarea en la que debes escuchar los fragmentos musicales. Recuerda que en este caso no tienes que usar el mando, pero sí debes estar muy atento a las distintas melodías que escuches. ¿Estás preparado?

#####

¿Cómo estás XXXX? A continuación vamos a realizar la primera tarea en la que vas a utilizar los dos mandos como un teclado de piano imaginario. Recuerda que en esta primera prueba simplemente vas a escuchar las notas una a una, y debes pulsar el botón que creas que se corresponde con ese sonido. Te recuerdo que no vas a escuchar nada cada vez que pulses. Para comprobar que tienes todos los dedos sobre los botones, prueba a pulsar desde el dedo meñique de la mano izquierda, hasta el meñique de la derecha. [Comprobamos] Muy bien, pues empezamos, ¿de acuerdo?

#####

¿Cómo estás XXXX? Ahora vamos a hacer la tarea más larga de todas. Recuerda que en este caso tu labor consiste en repetir las melodías que vas a ir escuchando. Acuérdate que debes intentar repetirlo después de que se escuche el sonido de la resonancia. Aprovecha los periodos de silencio para descansar, pero sin mover la cabeza. ¿Estás preparado?

#####

Muy bien, XXX, ya va quedando menos. ¿Cómo te encuentras? Como te expliqué antes, vamos a volver a hacer la tarea de pulsar un botón cada vez que escuches una nota. Recuerda que ahora no escucharás nada después de cada pulsación. ¿Estás listo?

#####




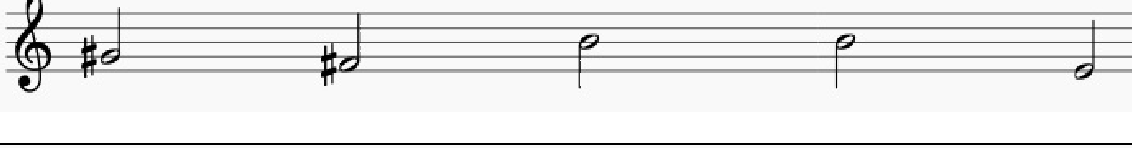
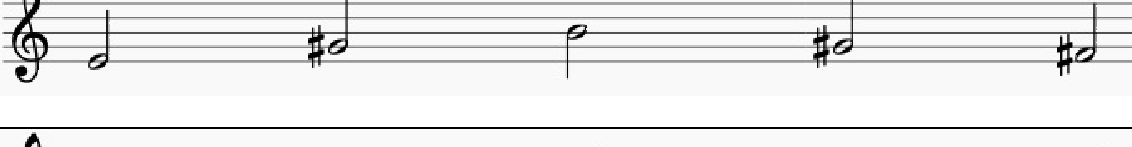
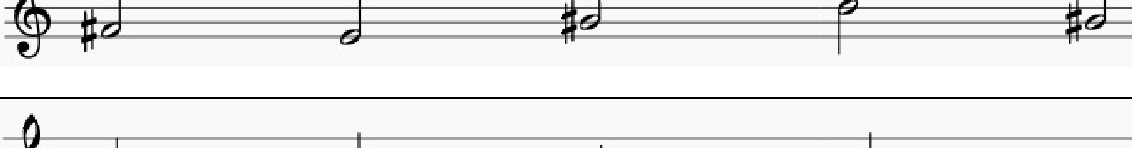
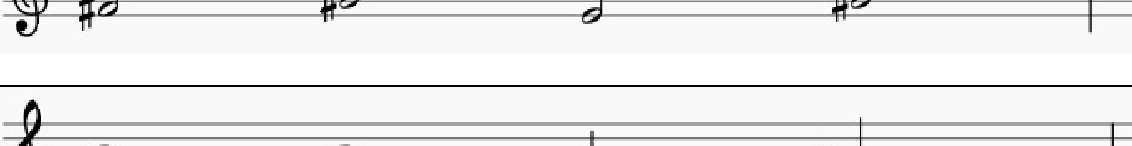


¿Cómo estás XXXX? Lo has hecho bien. Ya no vas a utilizar más los mandos, así que puedes soltarlos y ponerte más cómodo si quieres, pero sin mover la cabeza. Ya vamos a hacer la última prueba en la que tienes que estar concentrado. Recuerda que simplemente debes estar atento para escuchar las distintas melodías. ¿Preparado?

#####



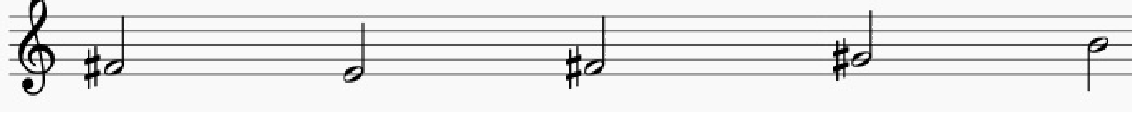
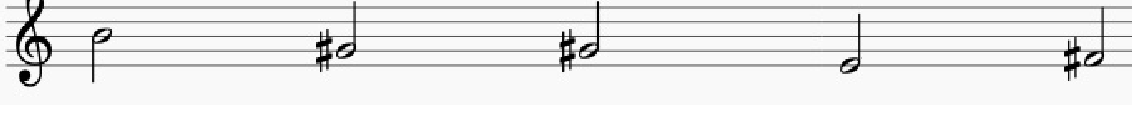
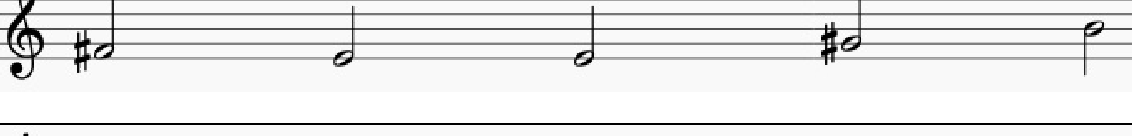
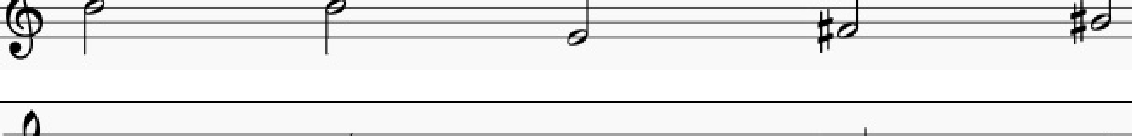
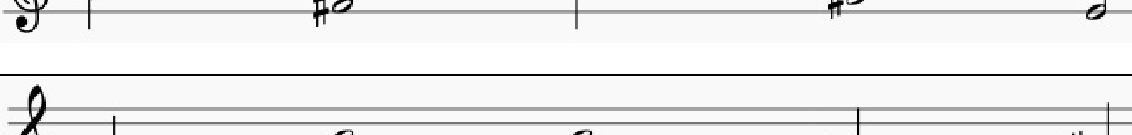
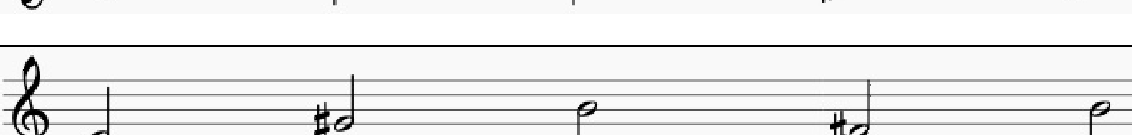

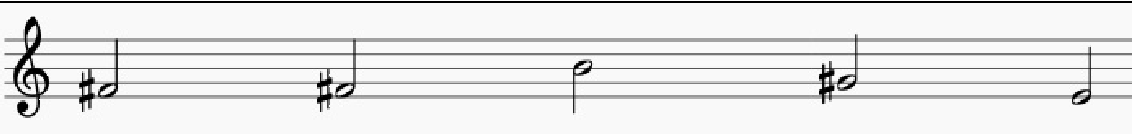
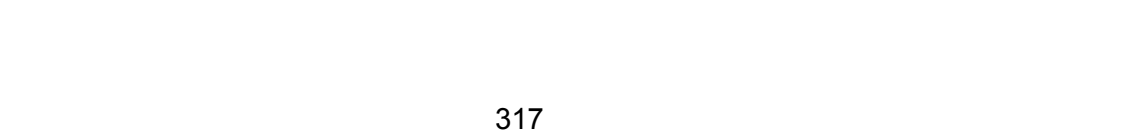
¿Cómo estás XXXX? Ya hemos terminado las tareas. Ahora quedan los últimos minutos donde como te comenté vamos a hacerte algunas fotos de tu cabeza. Ya puedes relajarte y pensar en lo que quieras, simplemente te pedimos que no muevas la cabeza. Durante la última parte es posible que se mueva un poco la camilla. No te preocupes, es algo normal. ¿Estás preparado?

## Anexo 04

### PARTITURA DE LAS MELODÍAS UTILIZADAS EN RESONANCIA MAGNÉTICA

Melodía 01	
Melodía 02	
Melodía 03	
Melodía 04	
Melodía 05	
Melodía 06	
Melodía 07	
Melodía 08	
Melodía 09	



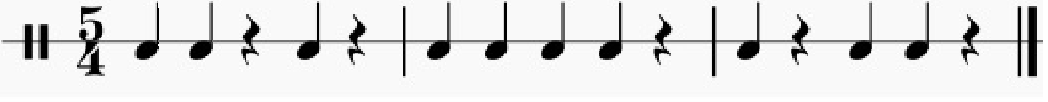




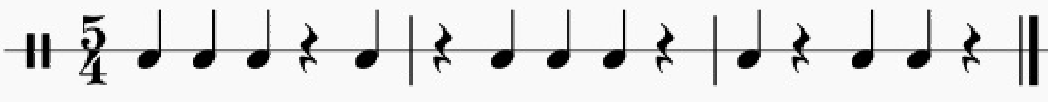

Melodía 10	
Melodía 11	
Melodía 12	
Melodía 13	
Melodía 14	
Melodía 15	
Melodía 16	
Melodía 17	
Melodía 18	
Melodía 19	
Melodía 20	

Melodía 21	
Melodía 22	
Melodía 23	
Melodía 24	
Melodía 25	
Melodía 26	
Melodía 27	
Melodía 28	
Melodía 29	
Melodía 30	
Melodía 31	

Melodía 32	
DEMO 1	
DEMO 2	
DEMO 3	
DEMO 4	

## Anexo 05

### PARTITURA RÍTMICAS UTILIZADAS EN RESONANCIA MAGNÉTICA

RÍTMO 01	
RITMO 02	
RITMO 03	
RITMO 04	
RITMO 05	
RITMO 06	
RITMO 07	
RITMO 08	
RITMO Demo 1 (practice before the experiment)	





## Anexo 06

### EXAMEN DE CONOCIMIENTO MUSICAL

1. Ejercicio de entonación. Se le enseña al alumno esta canción con la letra para que sea capaz de repetirla.

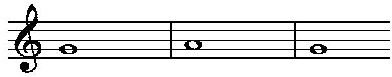
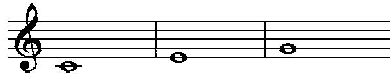
#### El perro, el gato...

Félix Sierra

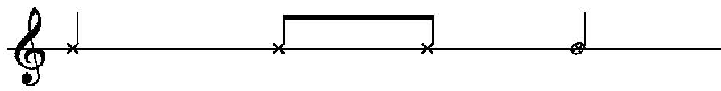
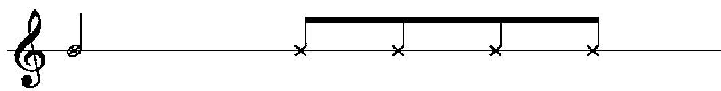
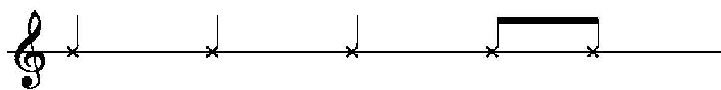
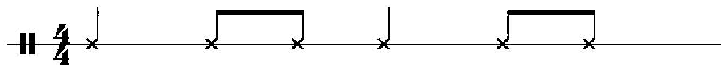
El pe rro el ga to, la pun ta del za pa  
to; el ga to, el pe rro, que teha to ca doa ti

2. Ejercicio de reconocimiento de intervalos. Después de la explicación al alumno de los conceptos de alto y bajo (o agudo y grave), se le realizan estos ejercicios para que distinga si sube o baja el intervalo.

3. Ejercicio de entonación. Se le cantará a los alumnos estos juegos de notas para que repita.



4. Ejercicio de ritmo. Se le hacen los siguientes ejercicios sencillos para que el alumno sea capaz de repetirlo con las palmas.



**OPEN** **Different role of the supplementary motor area and the insula between musicians and non-musicians in a controlled musical creativity task**

Received: 1 February 2019  
Accepted: 19 August 2019  
Published online: 10 September 2019

Marcella Pereira Barbosa de Aquino<sup>1</sup>, Juan Verdejo-Román<sup>2,3</sup>, Miguel Pérez-García<sup>2</sup> & Purificación Pérez-García<sup>1</sup>

The ability to compose creative musical ideas depends on the cooperation of brain mechanisms involved in multiple processes, including controlled creative cognition, which is a type of creativity that has so far been poorly researched. Therefore, the objective of this study was to examine the brain evoked activations by using fMRI, in both musicians and non-musicians, during a general task of controlled musical creativity and its relationship with general creativity. Results revealed that during a rhythmic improvisation task, musicians show greater activation of the motor supplementary area, the anterior cingulate cortex, the dorsolateral prefrontal cortex, and the insula, along with greater deactivation of the default mode network in comparison with non-musicians. For the group of musicians, we also found a positive correlation between the time improvising and the activation of the supplementary motor area, whilst in the non-musicians group improvisation time correlated with the activation of the insula. The results found for the musicians support the notion that the supplementary motor area plays a role in the representation and execution of musical behaviour, while the results in non-musicians reveal the role of the insula in the processing of novel musical information.

Creativity is a unique feature of human behaviour, and is regarded as a fundamental activity in information processing<sup>1</sup>. Nonetheless, its neuronal substrates have received relatively little attention. The literature proposes that creativity or creative cognition results from a set of mental processes that associate, analyse, and interpret acquired knowledge to generate or develop a new, original, and useful product or idea<sup>2–6</sup>. This requires flexibility and cognitive persistence<sup>7,8</sup> with the help of cognitive or emotional search processes<sup>9</sup> or significant information<sup>10</sup>. In order for creativity to occur, it is necessary to use acquired knowledge<sup>11,12</sup>, memory<sup>10</sup>, normal reasoning and language<sup>13</sup>, as well as a cyclical process of the generation and evaluation of ideas<sup>14</sup>. In addition, the involvement of other cognitive processes has been proposed<sup>15</sup> including the ability to allocate attentional resources for action<sup>16,18</sup>, the generation of new responses<sup>17,18</sup> and the inhibition of repetitive responses<sup>19</sup>. The combination of these processes generates two types of creativity: one that appears spontaneously and unconsciously, and another that is a deliberate or controlled type of creativity, which is set in motion by a conscious effort based on prior knowledge or experiences along with the centralization of feelings and/or emotions as a tool for solving problems<sup>20–22</sup>. It therefore appears that creativity is a complex human process involving multiple functions.

From a cerebral point of view, the ability to compose creative ideas depends on the cooperation of brain mechanisms involved in the neurocognitive processes described above. Studies in creative people, using functional magnetic resonance imaging (fMRI), have systematically found a higher activation of the inferior frontal gyrus, with greater functional connectivity between this zone and regions of the default mode network (DMN), as well as stronger connections with the bilateral inferior parietal cortex and the left dorsolateral prefrontal cortex<sup>23</sup>. Moreover, more recent studies have focused on investigating functional connectivity as a way to understand what occurs within the dynamic interactions of the brain networks (e.g., default and executive control) when the brain creates and improvises<sup>24</sup>. In the case of spontaneous or unconscious creativity, a decrease in the influence of the

<sup>1</sup>Faculty of Education Sciences at the University of Granada, Granada, Spain. <sup>2</sup>Mind, Brain, and Behavior Research Center (CIMCYC), University of Granada, Granada, Spain. <sup>3</sup>Laboratory of Cognitive and Computational Neuroscience (UCM-UPM), Center for Biomedical Technology (CTB), Pozuelo de Alarcón, Spain. Correspondence and requests for materials should be addressed to J.V.-R. (email: [juanverdejo@ugr.es](mailto:juanverdejo@ugr.es))

dorsal prefrontal cortex (dIPFC) on the creative process is observed<sup>27</sup>. Due to the relationship between creativity and self-referential thinking, some studies have suggested a role for the DMN (the medial and posterior parietal area) in the process of spontaneous creative cognition<sup>28–29</sup>. The parietal cortex, like the angular gyrus, has also been linked to spontaneous creativity<sup>30</sup>. In the case of deliberate or controlled creativity, the predominantly active cerebral structure is the prefrontal cortex<sup>28,36</sup>, with special attention being given to the dIPFC<sup>29</sup>, with the inferior parietal cortex being part of the control network that requires externally directed attention<sup>13</sup> along with the dorsal anterior cingulate cortex (dACC)<sup>27</sup>. The dIPFC and the dACC are the structures responsible for the displacement of the mental set oriented towards the search for relevant information, the combination of elements in the semantic networks<sup>35</sup>, inhibitory control and updating of working memory, and action planning<sup>13</sup>. This network contributes to the evaluative mode of creative thinking, and plays a role in the analytical and deliberate processing of information, and consideration of the value of novel ideas<sup>29</sup>.

Music is a type of human activity that is characterized by high creativity. Webster<sup>30</sup> defined creativity in music as: "the engagement of the mind in the active, structured process of thinking in sound for the purpose of producing some product that is new for the creator". Therefore, the two main examples of musical creativity are the process of composing music, and musical improvisation. Other researchers have also considered musical improvisation as an expression of musical creativity because the fundamental element of improvisation is the creation of new music<sup>31</sup>. Furthermore, recent works in the neuroscience of creativity conceptualize musical improvisation as a real-time musical creative process in the brain<sup>3</sup>. When we observe the brain activity evoked by musical creativity, a set of prefrontal brain regions appear to be systematically activated, including the supplementary motor area (SMA), the medial prefrontal cortex, the left inferior frontal gyrus, the dIPFC and the dorsal premotor cortex<sup>32</sup>. More recently, musical creativity has been linked to structural changes in the brain, where people scoring higher on a musical creativity test showed a greater volume in the dorsomedial prefrontal cortex, the temporal cortex, the orbitofrontal cortex, and the amygdala<sup>33</sup> all of which are associated with higher scores on a test of musical creativity. Further, in creative people there is an increase in grey matter in the left precuneus and cuneus<sup>34</sup>, whilst a positive correlation has been found between the composite creativity index scores and the cortical volume in the posterior cingulate cortex, an area that is involved in the formation and regulation of emotions and data processing related to behaviour, learning, and memory<sup>34</sup>. Thus, musically creative people show greater activation and cortical surface area or volume in motor-associative regions of higher cognitive order and domain-specific sound processing (dorsal premotor cortex, supplementary and pre-supplementary motor areas and the planum temporale), in regions related to the DMN (dorsomedial prefrontal cortex, middle temporal gyrus, and temporal pole) and in emotion-related regions i.e. the orbitofrontal cortex, temporal pole, and amygdala<sup>3</sup>.

In relation to the types of creativity described above, studies examining the neural correlates of musical activity have also used tasks of spontaneous creativity and controlled creativity. In the case of spontaneous creativity, the tasks require the participants to improvise without attending to a model, using only the help of spontaneous and implicit recombinations of their experience, their representations, and established routines<sup>35</sup>. One such example can be found in a study of improvisation in jazz pianists<sup>36</sup>, which found a dissociative pattern of activation of the prefrontal cortex, deactivating areas such as the dorsolateral prefrontal and lateral orbital cortex whilst activating the medial prefrontal cortex (polar frontal), accompanied by activation of the neocortical sensorimotor areas, as well as a deactivation of limbic structures<sup>36</sup>. Another study examining improvisation in rap musicians<sup>34</sup> found, after spontaneous improvisation, dissociated activity in the medial and dorsolateral prefrontal cortices. Other investigations have explored changes in functional and structural connectivity during the learning and acquisition of new musical skills by means of training from an early age, finding changes in the motor network, including the corticospinal tracts<sup>37</sup>, pyramidal tracts<sup>38</sup>, the corpus callosum<sup>39</sup>, the internal capsule<sup>40,41</sup> and the auditory-motor circuit<sup>42</sup>.

In the case of studies of deliberate or controlled creativity in musicians, various paradigms have been used, including improvising from a rhythmic structure<sup>17,43,44</sup> or a melodic structure<sup>45,46</sup>; or both<sup>47</sup>; listening to a melody<sup>47,48</sup>; making tonal adjustments using keys and a set of tones<sup>26</sup>; or performing a specific musical creativity task based on the particular characteristics of the instrument of expertise of the participants, such as the piano<sup>4,49</sup>. The results of these studies have shown greater activity in the dorsolateral and inferior frontal cortex, the superior temporal gyrus, the supramarginal gyrus and the supplementary motor and premotor areas that are co-activated during any type of task, indicating the areas involved in auditory-sensorimotor integration<sup>50</sup>. In deliberate rhythm tasks comparing musicians and non-musicians, the prefrontal cortex is activated to a greater extent in musicians than non-musicians, while secondary motor regions were recruited to the same extent<sup>51</sup>. Another investigation of melodic improvisation and pulsation of pseudo-random keys in pianists has found greater activity of the bilateral inferior frontal gyrus, insula, anterior cingulate cortex, motor area (pre-SMA) and bilateral cerebellum<sup>52</sup>.

However, the few existing works that have employed deliberate musical creativity tasks appear to present a number of limitations. Firstly, most of the investigations on musical creativity using controlled tasks studied musicians who were performers of a specific musical style and instrument, usually piano and jazz. In general, they have found common findings about the role of the frontal lobe and the executive functions in the creative process<sup>26</sup>. And whilst such studies allowed for identifying the neural correlates of musical creativity associated with that instrument or style, they offer relatively little information on the cerebral regions involved in deliberate musical creativity in general. In our opinion, it is extremely important to study a range of different musical specialties in order to identify the specific areas that play an effective role in the deliberate musical creative process. Another significant weakness of studies in the current literature is that they have not explored the link between brain neuroimaging results and behavioural tests of creativity, intelligence, and musical improvisation in musicians and non-musicians. Studies considering these three dimensions could confirm whether these brain areas are related to deliberate musical creativity in neurocognitive terms.

On the basis of the above considerations, the main objective of this study was to investigate the brain activity, using fMRI, associated with a general task of deliberate musical improvisation -specifically rhythmic

	Musicians	Non-musicians	p-value
<b>Creativity Test</b>			
General Creativity	133.32 (39.56)	124.86 (29.44)	0.445
Narrative Creativity	119.42 (38.22)	110.71 (29.24)	0.421
Fantasy	23.26 (9.97)	23.30 (10.03)	0.958
Narrative Fluency	53.68 (18.49)	48.76 (12.98)	0.332
Flexibility of thinking	37.63 (7.44)	36.62 (6.35)	0.645
Narrative Originality	28.63 (14.38)	25.33 (12.27)	0.437
Graphic Creativity	13.89 (4.60)	14.34 (4.68)	0.867
Graphic Originality	6.42 (3.50)	5.43 (2.86)	0.330
Elaboration of the response	1.89 (1.35)	2.29 (1.93)	0.447
Creative details	1.21 (1.03)	1.52 (0.93)	0.318
Title	4.37 (2.31)	4.90 (1.97)	0.434
<b>K-Bit intelligence test</b>			
Intelligence Quotient (IQ)	114.79 (4.45)	109.43 (5.90)	<b>0.003</b>

**Table 1.** Behavioral data on creativity and IQ tests (means and standard deviations [SD]).

	Musicians	Non-musicians	p-value
Repetition accuracy (%)	97.81 (3.49)	96.12 (3.94)	0.150
Time spent improvising (sec)	7.88 (2.39)	6.26 (1.60)	<b>0.026</b>
Notes played while improvising	17.47 (6.51)	10.64 (2.64)	<b>&lt;0.001</b>
Levenshtein edit distance between Repeat and Improvisation performance	8.94 (5.42)	3.89 (2.09)	<b>0.001</b>

**Table 2.** Behavioral performance during fMRI task (means and standard deviations [SD]).

improvisation- in musicians with more than 10 years of musical training in different musical specialties/instruments, and in people without musical training, and to determine if these activations are linked to musical improvisation ability as well as scores on a general creativity test. On the basis of previous results reported in the literature<sup>15</sup>, we hypothesized that there would be greater cerebral activation in musicians compared with non-musicians, specifically in the prefrontal cortex and motor regions, as well as a greater deactivation of the temporoparietal junction. These results will extend the generality of previous findings in musicians playing their instrument of expertise to a more general situation with musicians trained in different instruments, performing a controlled musical creativity task such as a rhythm improvisation task. In addition, we hypothesized that in both groups brain activation during the task will correlate with performance on the musical improvisation task and the scores obtained on the creativity tests<sup>16</sup>.

## Results

**Behavioural results.** The groups did not differ on any of the subscales of the creativity test (all  $p > 0.3$ ). The musicians showed a significantly higher Intelligence Quotient (IQ) score than the non-musicians ( $p = 0.003$ ) (see Table 1). The two groups did not differ in terms of precision when repeating the sequences in the repeat condition ( $p = 0.150$ ). The musicians improvised for a longer time ( $p = 0.026$ ) and played more notes during that time ( $p < 0.001$ ) than the non-musicians. Finally, we calculated the Levenshtein edit distance between the Repeat and the Improvisation performance to estimate the extent to which the improvisation differed from the original rhythm. We found that musicians performed a rhythm that differed more from the original when compared with non-musicians ( $p < 0.001$ ) (see Table 2).

The time spent improvising and the number of notes did not correlate with any of the scales of the creativity test.

**Neuroimaging results.** In order to study the neural substrates of musical creativity, participants were first asked to repeat a rhythm previously heard, and then improvise a new one, including any modifications from the one they had just heard and repeated.

During the improvising condition, in comparison with reproducing, both groups activated the right dorso-lateral prefrontal cortex and the supplementary motor area, extending activation to the anterior dorsal cingulate cortex. In particular, the musicians also bilaterally activated the superior frontal gyrus, the frontal operculum, the inferior parietal cortex, the anterior part of the insula and the cerebellum, as well as the left dorsolateral prefrontal cortex and the motor cortex (see Table 3).

During the reproducing condition, in comparison with the improvising condition, both groups activated the occipital cortex, the parahippocampal and fusiform gyrus, and the bilateral hippocampus. Additionally, the musicians activated regions of the midline of the brain such as the precuneus, the medial prefrontal cortex, the

	BA	Side	MNI Coordinates			Cluster Size	Cluster p-value	t-value	Voxel p-value
			X	Y	Z				
<b>Musicians</b>									
Supplementary Motor Area	6, 8	R/L	4	14	62	7879*	<0.0001	9.28	<0.0001
Dorsal ACC	32	R/L	-4	24	42	7879*		8.50	<0.0001
Dorsolateral Prefrontal Cortex	9, 46	L	-42	36	24	7879*		7.67	<0.0001
Dorsolateral Prefrontal Cortex	9, 46	R	42	42	24	1006	<0.0001	6.38	<0.0001
Superior Frontal Gyrus		R	20	12	58	7879*		6.60	<0.0001
Superior Frontal Gyrus		L	-12	10	56	7879*		5.45	<0.0001
Frontal Operculum		L	-46	20	-2	7879*		6.51	<0.0001
Inferior Frontal Gyrus		L	-48	10	20	7879*		5.91	<0.0001
Anterior Insula	13	L	-32	22	6	7879*		6.22	<0.0001
Motor Cortex	6	L	-36	2	24	7879*		5.40	<0.0001
Inferior Parietal Cortex	40	R	46	-34	44	841	<0.0001	7.37	<0.0001
Inferior Parietal Cortex	40	L	-52	-40	48	899	<0.0001	7.00	<0.0001
Cerebellum		L	-34	-62	-28	879	<0.0001	6.41	<0.0001
Cerebellum		R	36	-52	-32	494	0.0004	6.01	<0.0001
Frontal Operculum		R	50	16	0	784*	<0.0001	5.37	<0.0001
Inferior Frontal Gyrus		R	50	14	14	784*		4.52	<0.0001
Anterior Insula	13	R	34	26	-2	784*		4.66	<0.0001
<b>Non-Musicians</b>									
Supplementary Motor Area	6, 8	R/L	10	26	62	752	<0.0001	5.52	<0.0001
Dorsolateral Prefrontal Cortex	9, 46	R	28	48	32	226	0.0098	4.80	<0.0001

**Table 3.** Brain regions showing significant within-group activations in the "Improvise > Repeat" contrast. ACC, Anterior Cingulate Cortex; BA, Brodmann Area; R, Right; L, Left; \* indicates part of the same cluster. ACC, Anterior Cingulate Cortex; BA, Brodmann Area; R, Right; L, Left; a,b indicates part of the same cluster. All results survived the AlphaSim correction for multiple comparisons.

subgenual anterior and posterior cingulate cortices as well as bilaterally the temporal cortices and the left angular gyrus (see Table 4).

The comparison between the two groups revealed that during the improvising condition, the musicians showed higher activation of the motor cortex and the supplementary motor area, the dorsal portion of the anterior cingulate cortex, and specifically in the left hemisphere, the dorsolateral prefrontal cortex, the inferior frontal gyrus, the frontal operculum, the anterior insula, and the inferior parietal cortex in comparison with the non-musicians (see Table 5, and Fig. 1). In contrast, during the improvising condition the musicians, in comparison with the non-musicians, showed greater deactivation of three regions of the DMN: the precuneus, the angular gyrus, and the left middle temporal cortex.

**Correlations.** *Neuroimaging task.* In the group of musicians, the time spent improvising and the number of notes played correlated with the activation of the supplementary motor area ( $r = 0.657$ ,  $p = 0.003$  and  $r = 0.678$ ,  $p = 0.002$ , respectively), while in the group of non-musicians this correlation was not significant ( $r = 0.117$ ,  $p = 0.624$  and  $r = 0.283$ ,  $p = 0.227$ ) (see Fig. 2).

In contrast, in the group of non-musicians it was found that the time spent improvising and the number of notes played correlated with the activity of the anterior insula ( $r = 0.603$ ,  $p = 0.005$  and  $r = 0.478$ ,  $p = 0.033$ ), whereas in the group of musicians no such correlations were found ( $r = -0.069$ ,  $p = 0.787$  and  $r = -0.204$ ,  $p = 0.416$ ) (see Fig. 2).

*Creativity task.* No significant correlations were found between brain activations during the fMRI task and the total score on the creativity test for either the whole sample or each of the groups.

## Discussion

The aim of the present study was to investigate and compare the cerebral mechanisms underpinning deliberate musical creativity in musicians and non-musicians, as well as to explore the links between brain activity and creative thinking and (controlled) musical behaviour. The results lend support to our hypothesis that musicians—in comparison with non-musicians—show greater activation of different motor regions (e.g. the supplementary

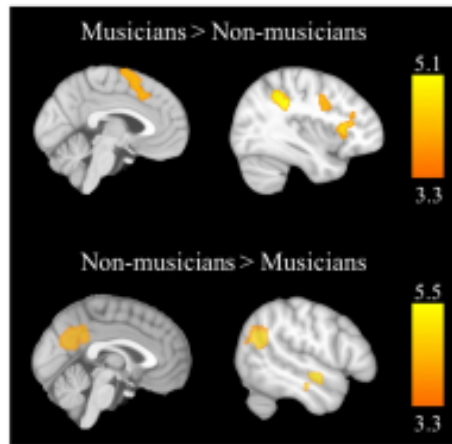
	BA	Side	MNI Coordinates			Cluster Size	Cluster p-value	t-value	Voxel p-value
			X	Y	Z				
<b>Musicians</b>									
Precuneus	31	R/L	-6	-62	22	20569 <sup>a</sup>	<0.0001	9.58	<0.0001
Hippocampus		L	-32	-28	-12	20569 <sup>a</sup>		9.71	<0.0001
Hippocampus		R	30	-18	-20	20569 <sup>a</sup>		6.21	<0.0001
Fusiform Gyrus	37	L	-30	-36	-16	20569 <sup>a</sup>		9.28	<0.0001
Fusiform Gyrus	37	R	34	-50	-10	20569 <sup>a</sup>		6.84	<0.0001
Parahippocampal Gyrus		L	-24	-38	-10	20569 <sup>a</sup>		8.85	<0.0001
Parahippocampal Gyrus		R	36	-34	-12	20569 <sup>a</sup>		8.63	<0.0001
Occipital Cortex	19	R	44	-72	0	20569 <sup>a</sup>		9.89	<0.0001
Occipital Cortex	19	L	-42	-76	6	20569 <sup>a</sup>		7.13	<0.0001
Middle Temporal Cortex	21	L	-64	-8	-14	20569 <sup>a</sup>		8.43	<0.0001
Angular Gyrus	39	L	-42	-54	24	20569 <sup>a</sup>		7.97	<0.0001
Posterior Cingulate Cortex	31	R/L	-2	-48	34	20569 <sup>a</sup>		7.39	<0.0001
Medial Prefrontal Cortex	10, 11	R/L	6	40	-12	1577 <sup>b</sup>	<0.0001	7.04	<0.0001
Subgenual ACC		R/L	6	30	-10	1577 <sup>b</sup>		5.39	<0.0001
Middle Temporal Cortex	21	R	56	-4	-16	757	<0.0001	6.79	<0.0001
<b>Non-Musicians</b>									
Occipital Cortex	19	R	44	-76	0	3915 <sup>c</sup>	<0.0001	6.42	<0.0001
Occipital Cortex	19	L	-26	-80	16	4524 <sup>d</sup>	<0.0001	6.14	<0.0001
Parahippocampal Gyrus		R	34	-36	-12	3915 <sup>c</sup>		6.17	<0.0001
Parahippocampal Gyrus		L	-26	-40	-12	4524 <sup>d</sup>		4.40	<0.0001
Fusiform Gyrus	37	R	34	-44	-12	3915 <sup>c</sup>		6.15	<0.0001
Fusiform Gyrus	37	L	-40	-38	-14	4524 <sup>d</sup>		5.55	<0.0001
Hippocampus		R	32	-22	-12	3915 <sup>c</sup>		5.54	<0.0001
Hippocampus		L	-32	-26	-12	4524 <sup>d</sup>		4.02	0.0001

**Table 4.** Brain regions showing significant within-group activations in the "Repeat > Improvise" contrast. ACC, Anterior Cingulate Cortex; BA, Brodmann Area; R, Right; L, Left; <sup>a,b,c,d</sup> indicates part of the same cluster. All results survived the AlphaSim correction for multiple comparisons.

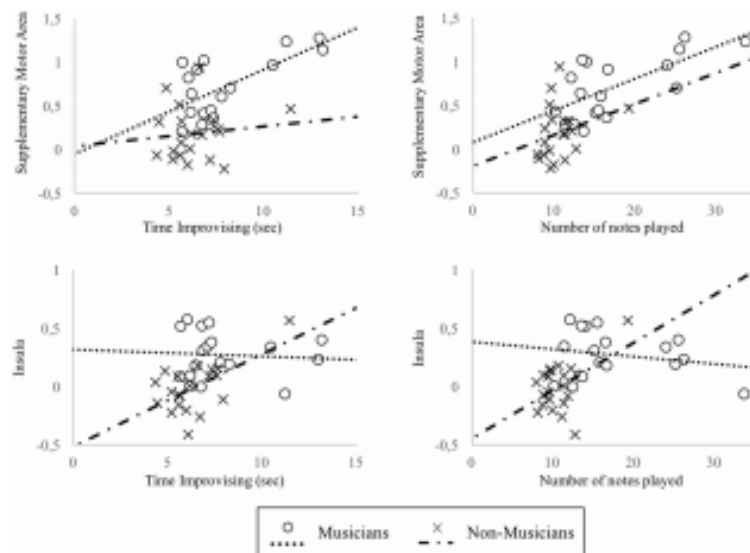
	BA	Side	MNI Coordinates			Cluster Size	Cluster p-value	t-value	Voxel p-value
			X	Y	Z				
<b>Musicians &gt; Non-Musicians</b>									
Supplementary Motor Area	6, 8	R/L	6	12	62	1300 <sup>a</sup>	<0.0001	5.08	<0.0001
Motor Cortex		L	-38	2	34	1300 <sup>a</sup>		4.47	<0.0001
Dorsal ACC	32	R/L	-8	22	38	1300 <sup>a</sup>		3.64	0.0004
Inferior Frontal Gyrus	44	L	-50	10	18	1300 <sup>a</sup>		4.22	<0.0001
Frontal Operculum	47	L	-48	18	0	344 <sup>b</sup>	0.0022	4.27	<0.0001
Anterior Insula	13	L	-30	22	10	344 <sup>b</sup>		4.66	<0.0001
Dorsolateral Prefrontal Cortex		L	-42	32	24	344 <sup>b</sup>		3.90	0.0002
Inferior Parietal Cortex	40	L	-52	-40	46	386	0.0013	4.76	<0.0001
<b>Non-Musicians &gt; Musicians</b>									
Precuneus/Posterior Cingulate	31	R/L	-4	-66	24	984	<0.0001	5.42	<0.0001
Middle Temporal Cortex	21	L	-64	-8	-14	297	0.0039	5.39	<0.0001
Angular Gyrus	39	L	-42	-54	24	640	<0.0001	5.13	<0.0001

**Table 5.** Brain regions showing significant between-group differences in the "Improvise > Reproduce" contrast. ACC, Anterior Cingulate Cortex; BA, Brodmann Area; R, Right; L, Left; <sup>a,b</sup> indicates part of the same cluster. All results survived the AlphaSim correction for multiple comparisons.

area and the motor cortex), left prefrontal areas (inferior frontal and dorsolateral cortices), as well as the insula and the inferior parietal cortex. Further, in musicians we found a greater deactivation of the default brain network, in line with the expected deactivation of the temporoparietal junction. In the case of the musicians a correlation was found between the amount of time spent improvising and the activation of the supplementary motor



**Figure 1.** Brain regions showing significant between-group differences in the "Improvise > Reproduce" contrast. The colour bars and clusters indicate t-values.



**Figure 2.** Correlations between SMA and Insula activation and the time and the number of notes played during improvising. Dots and dots line represent musicians, crosses and dash dotted line represent non-musicians.

area; however, in the non-musicians, improvisation time was associated with activation of the insula. Contrary to our expectations, no significant correlations were found between brain activation and scores on the general creativity test.



Our results for both groups regarding brain activation during the musical improvisation tasks replicate the activation patterns found in previous studies on musical creativity<sup>12</sup>. The fact that areas previously linked to musical creativity were activated indicates the effectiveness of the methodology employed in the present study, since in both groups the deliberate control creativity task activates brain structures commonly seen in the process of creativity<sup>28,29</sup>. Most of the brain regions involved in musical creativity also interact in other processes, which indicates that creative thinking is based on distributed networks<sup>40</sup>. In this way, the areas activated in the brain of our volunteers while improvising (i.e. the dorsolateral prefrontal cortex<sup>20,30</sup> and the anterior dorsal cingulate cortex<sup>27</sup>) are the areas typically activated during creativity<sup>1,13</sup>. These involve mental displacement for the planning of action by means of the search for information and selection of novel ideas of relevance; combining elements in semantic networks<sup>31,32</sup>; inhibitory control and updating of working memory<sup>28</sup>; and collaboration in the analytical and deliberate processing of information, assigning value to novel ideas<sup>29</sup>. The other areas most activated in musicians (and commonly associated with motor behaviour and sound processing) are the supplementary motor cortex<sup>3</sup>, as well as the dorsolateral prefrontal cortex<sup>20</sup>. In creative terms, the supplementary motor area is also involved in the creative process of improvisation<sup>3,43</sup>. In addition, some studies have reported greater activation of these same auditory-sensory-motor areas in musicians in comparison with non-musicians<sup>44</sup>.

Other areas found to be more active in musicians than in non-musicians in our study — such as the left inferior frontal gyrus or the inferior parietal cortex — have also been linked to both rhythmic and melodic creative processes<sup>45</sup>. Finally, we also observed greater activation of the anterior insula in the group of musicians. This region is associated with the dorsal anterior cingulate cortex for monitoring and detecting relevant behavioural stimuli, and is also involved in the alternating dynamics between the previously mentioned networks<sup>7,19,24,30</sup>.

With regard to the greater deactivation of the Default Mode Network (DMN) in musicians, it is known that the completion of a cognitive task requires the activation of regions dedicated to attentional focus, reasoning skills, and working memory, all of which are directed towards the task, solving the problem by allocating cognitive resources to meet specific objectives<sup>46</sup>. It is also known that when activation occurs in order to solve the task, there is simultaneous deactivation of the DMN. It is therefore unsurprising that the greater activation of all the aforementioned regions dedicated to the performance of the task is accompanied by a greater deactivation of the DMN in our group of musicians.

When conducting the comparisons between groups, we observed that there were no significant behavioural differences in terms of performance in the musical reproduction condition. However, differences were observed when improvising, with the finding that musicians spent more time improvising, played a higher number of notes and created new rhythms that differed more from the original, which is unsurprising, given their greater experience in the field of music. However, to our surprise, in our sample of musicians a correlation was found between improvisation time and activation of the supplementary motor area, whilst in non-musicians, improvisation time was found to correlate with activation of the insula. According to the literature, the insular zone is related to the unification of multisensory information<sup>33,38</sup>, integrating and maintaining the balance of internal and external information<sup>39</sup> and, in addition, it coordinates brain networks involved in affective processes and executive order<sup>36</sup>, as well as musical performance<sup>37</sup>. This zone is related to guiding external attention, self-related cognition<sup>39</sup>, interoceptive awareness<sup>38</sup> and the activation of motor sensory information<sup>39</sup>. In addition, the insular cortex plays an essential role in emotional processing, and is involved in creative thinking, allowing the executive network and DMN to notice emotionally promising counterfactual elements in the environment and associations in the mind<sup>38</sup>. Since the anterior insula plays a central role in the relevant network, this becomes important when we switch from a conventional way of thinking to a new perspective<sup>41</sup>.

In contrast, for our group of musicians, activation of the supplementary motor area (SMA) correlated with improvisation time. This area is activated in tasks that require motor programming and execution<sup>42</sup>, participating in cognitive control<sup>40</sup>, in the planning of complex motor movements, as well as during listening and musical performance<sup>47</sup>. However, the SMA is also involved in sensorimotor representation<sup>48</sup> and in the processing of sequences in several cognitive domains, such as action sequences, time processing, spatial processing, numerical cognition, perception of language, and music and production<sup>48,49</sup>. The fact that this region plays a crucial role in general domain sequential processes — contributing to the integration of sequential elements in higher order representations regardless of the nature of those elements — and is essential to musical performance, is compatible with the results of previous studies suggesting that this region plays a central role in music processing<sup>48</sup>. We can therefore suppose that in the group of musicians — who have a presumed theoretical/practical background in music and are consequently gifted in the subject — the supplementary motor area constructs the internal representation of musical performance and processing, integrating the multimodal information required for performance<sup>45</sup>, adequately planning the required range of complex motions. However, for the non-musicians — who have not had such experience — their improvisational behaviour is guided by the insula, favouring the composition of multisensory information in musical performance. Thus, for non-musicians, by integrating the sensory data of the acquired information (the task), which is perceived as novel and relevant from their perspective, the relevance network and the insula are activated by the stimulation of improvisational behaviour. In addition, our results suggest that non-musicians, since they do not have cognitive musical experience, engage emotional processes in order to construct creative thoughts about the task, switching from the habitual problem-solving mode to a new way of thinking.

Another important finding in our study was the absence of correlations between the PIC-A general creativity score and both brain activity and performance on the magnetic resonance task. The absence of significant correlations seems to indicate that musical creativity — both from a cerebral and behavioural point of view — is specific to the musical field, and is not related to creativity capacities in other more general domains. Future research should explore whether the capacity for musical creativity can be associated with other more specific creative fields.

Musicians				Non-musicians		
Code	Sex	Age	Musical specialty	Code	Sex	Age
M01	Male	21	Guitar	NM01	Male	18
M03	Male	24	Tuba	NM02	Female	22
M04	Female	21	Clarinet	NM03	Female	23
M05	Male	23	Piano & guitar	NM04	Female	20
M06	Male	19	Piano	NM05	Male	18
M07	Female	19	Guitar	NM06	Female	18
M08	Male	20	Guitar	NM07	Female	19
M09	Female	18	Singing	NM08	Female	21
M10	Female	19	Piano	NM09	Female	22
M11	Male	22	Clarinet	NM10	Female	26
M12	Male	19	Piano	NM11	Female	19
M14	Female	20	Bassoon	NM12	Female	18
M15	Male	18	Guitar	NM13	Female	20
M16	Female	18	Piano	NM14	Male	24
M17	Female	17	Piano	NM15	Male	18
M18	Female	20	Guitar	NM16	Female	21
M19	Female	21	Clarinet	NM17	Male	19
M20	Female	22	Piano & Singing	NM18	Female	18
M21	Male	24	Guitar	NM19	Female	18
				NM20	Female	19
				NM21	Female	23

**Table 6.** Demographic data & musical specialty of the participants.

This study has several strengths. Firstly, from a neuroimaging point of view the methodology employed here is robust, adopting a previously validated task and using statistical thresholds corrected by multiple comparisons. Moreover, our sample of musicians has an extensive background of training and musical experience, allowing us to study a population that is expert in a task specifically designed to measure musical creativity. Further, to the best of our knowledge, this is the first study to explore the relationship between creativity associated with a specific field (in this case, music) and general creativity using a widely used instrument such as the PIC-A. Additionally we confirmed that all participants performed the task properly. We checked their performance both during practice and the scanning session and verified that they repeated the original rhythm with a high level of accuracy and made substantial changes during the improvisation. Finally, the presence of musicians with various specialties and the use of a rhythmic task allows for generalization of the results that was not possible in previous studies since all the participants were from the same specialty and performed a task specific to that instrument.

However, there are also a series of limitations that must be taken into account. First, whilst our study groups are of sufficient size, they are still limited in number. Future studies should replicate these results with larger samples. In addition, there were differences between the two groups in terms of IQ scores, although we took steps to control for the effects of this variable by including it as a covariate in all statistical analyses.

In summary, our study has revealed that musicians, in comparison with non-musicians, showed higher activation of different motor regions, left pre-frontal areas, the insular cortex, and the inferior parietal region whilst at the same time showed greater deactivation of the DMN areas. In addition, the brain areas related to musical improvisation time appeared to differ according to musical experience. In the case of musicians, a correlation was found between the improvisation time and activation of the supplementary motor area. However, in the non-musicians, improvisation time was associated with activation of the insula. Future studies should aim to replicate these findings in larger samples with a wider variety of instruments and investigate in more depth the relationships between the brain areas found and the various parameters of musical behaviour.

## Methods

**Participants.** Sample size was estimated based on a recent study on brain differences between musicians and non-musicians, which reported a Cohen's  $d$  of  $2^{17}$ . Therefore, to obtain a statistical power of 0.8, with an alpha level = 0.05, the minimum sample required was 13 participants per group, according to the recommendations of Zandbelt<sup>46</sup> for voxel-based analyses. We included an additional 50% of participants to avoid the potential effects of dropout.

Our sample of participants was composed of 21 musicians (11 women and 10 men) with at least 10 years of musical experience (see Table 6) and 21 non-musicians (5 men and 16 women) aged between 17 and 26 years. The inclusion criterion for the group of musicians was to have more than 10 years of formal training in music (mean = 14.19 years, SD = 2.58), while participants in the control group were required to have no experience in musical training beyond compulsory studies in school. Exclusion criteria were the presence of any type of serious acoustic or medical problem, having suffered head injuries with loss of consciousness for more than 30 minutes, or the consumption of drugs, all recorded by means of a personal interview. In addition, participants must not

have suffered damage or psychopathological dysfunctions, as measured using the Symptom Checklist-90-R. Any incompatibility issues with the magnetic resonance session (e.g., pregnancy, claustrophobia, or the presence of ferromagnetic implants) were also considered exclusion criteria. All participants had normal hearing ability and normal or corrected vision.

Two participants from the group of musicians were excluded due to excessive movement (>2 mm) during the fMRI procedure (explained in the section titled 'acquisition and preprocessing of imaging data'). Therefore, the final sample consisted of a group of 19 musicians with an average age of 20.26 years (SD = 2.05), 10 of which were women (52.6%) and 9 men (47.4%), as well as a group of 21 non-musicians with a mean age of 20.19 years (SD = 2.36), 16 of which were women (76.2%) and 5 (23.8%) of which were men (see Table 6). The groups did not differ significantly in terms of sex ( $p = 0.119$ ), age ( $p = 0.918$ ), or education level ( $p = 0.199$ ).

The recruitment process was carried out randomly at the University of Granada. This study was approved by the ethical committee for human research at the University of Granada and was conducted in accordance with the Helsinki declaration. All participants were duly informed of the investigation and gave their signed informed consent, confirming their voluntary participation in the study.

**Procedure.** The research was carried out in two one-hour sessions. First, we assessed the performance of the participants on neurocognitive tests of creativity and intelligence. Subsequently the task of musical creativity was carried out inside a magnetic resonance imaging scanner. Both sessions took place at the Mind, Brain, and Behavior Research Center (CIMCYC) of the University of Granada.

**Instruments.** The performance of the participants on neurocognitive tests of imagination and creativity was assessed using the Creativity Imagination Test (PIC-A)<sup>47</sup> and the Kaufman Brief Intelligence Test (K-BIT)<sup>48</sup>.

**Creativity Imagination Test (PIC-A).** The creativity test used in this research was the Creativity Imagination Test (PIC-A) which measures creativity through the use of imagination. The PIC-A considers several variables that have been shown to be relevant for the study of creativity: Fantasy, Fluency of ideas, Flexibility of thinking, Originality of the responses, Elaboration of the responses, use of Creative Details such as color, shadow and expansiveness and Title. It consists of four tests, the first three evaluate verbal or narrative creativity and the last one evaluates graphic creativity.

The first test involves observing a drawing, and then imagining and writing everything that could be happening in that scene. This allows for triggering the imagination and fantasy processes and exploring the ability to formulate hypotheses and think in terms of what is possible. The second test is an adaptation of the Guilford Test 'Uses of a Brick'. It consists of making a list of all the things for which a certain object could be useful. This part evaluates the ability to "redefine" problems: that is, the ability to find uses, functions and applications different from the usual ones, to speed up the mind and to offer new interpretations or meanings to familiar objects to give them a new use or meaning. The third test presents an improbable situation to the participants, after which they are required to say what they think would happen if it were true (e.g., "Imagine what would happen if we never stopped growing"). It evaluates the capacity to fantasize and the ability to handle unconventional ideas that the participant would probably not dare to express in more serious situations, as well as assessing openness and receptivity when faced with novel situations. Finally, the fourth test of graphic imagination is inspired by items from the Torrance test. It consists of completing drawings from some given strokes, and giving each one a title in a creative way. This test discriminates subjects who have few ideas but who work a lot, with great imagination, from those subjects who have very original ideas but have difficulty elaborating them.

The scoring system is relatively easy and well explained in the manual. The ratings for Fantasy, Flexibility of thinking, Narrative Fluency and Narrative Originality were obtained from the first three tests, along with a global score of Narrative creativity. From the fourth test we obtained the ratings of Graphic Originality, Elaboration of the responses, Creative Details, Title, and a global score of Graphic creativity. At the end, a final score of General Creativity was calculated as the sum of the narrative and graphic global ratings. The psychometric evaluation of the PIC-A showed internal consistency with a Cronbach's Alpha of 0.85, whilst construct validity was in accordance with the theory<sup>47</sup>.

**The Kaufman Brief Intelligence Test (K-BIT).** The Kaufman Brief Intelligence Test (K-BIT) was used to assess the intelligence of the participants. The K-BIT measures cognitive functions through two tests: verbal (vocabulary, composed of two tests), and nonverbal (matrix), which evaluates crystallized and fluid intelligence, and obtains a compound Intelligence quotient (IQ). This test could be used in people from 4 to 90 years.

The verbal test evaluates the knowledge of words and verbal concept formation, whilst the nonverbal part measures fluid intelligence and the participants' ability to solve new problems by perceiving relationships and completing analogies. The raw scores from each test were converted into typical scores with a mean of 100 and standard deviation of 15. The Spanish version of the K-BIT presented a test-retest reliability coefficient resulting from the correlations found for vocabulary (0.94) and for matrices (0.86), whilst internal consistency for the compound score was evidenced by a value of 0.90<sup>48</sup>.

**fMRI task.** To evaluate the brain response associated with musical creativity, a musical improvisation task was used during a functional magnetic resonance session. We used a modified version of the musical creativity task developed by Bengtsson *et al.*<sup>17</sup>. In that study they examined the neural substrates of improvisation in pianists, so they instructed their participants to perform and memorize an improvisation (experimental condition), and repeat it afterwards (control condition). Conversely, given that we were interested in comparing the improvisation processes in musicians and non-musicians, that task would be difficult for people not trained in playing music, and they would probably fail to memorize and repeat the improvisation. Accordingly, we changed the



**Acquisition and preprocessing of imaging data.** Magnetic resonance images were acquired on a 3 Tesla Magnetom Tim Trio scanner (Siemens Medical Solutions, Erlangen, Germany) equipped with a 32-channel receive-only head coil. During task performance, a T2\*-weighted echo-planar imaging (EPI) sequence was acquired with the following parameters: Repetition time (TR): 2000 ms; echo time (TE): 25 ms; flip angle: 80°; field of view (FOV): 238 mm; number of slices: 35; voxel size: 3.5 × 3.5 × 3.5 mm; gap: 0.7 mm; number of volumes: 276. Images were collected axially and parallel to the AC-PC plane. In the same session, a sagittal three-dimensional T1-weighted image was also obtained for anatomical reference and to discard gross anatomical abnormalities. The parameters were as follows: TR: 2300 ms; TE: 3.1 ms; flip angle: 9°; FOV: 256 mm; number of slices: 208; voxel size: 0.8 × 0.8 × 0.8 mm.

Functional images were preprocessed using the Statistical Parametric Mapping (SPM12) software (Wellcome Department of Cognitive Neurology, Institute of Neurology, Queen Square, London) running under Matlab R2017 (MathWorks, Natick, MA, USA). Preprocessing included re-slicing to the first image of the time series, unwarping, coregistration with the structural image of each participant, normalization to an EPI template in the Montreal Neurological Institute (MNI) space, and spatial smoothing by convolution with a 3D Gaussian kernel [full width at half maximum (FWHM) = 8 mm]. Data from two musicians (M02 & M13) were discarded due to excessive movement (> 2 mm) during the fMRI task.

**Statistical analyses.** *Behavioural analyses.* Behavioural data were analysed with the Statistical Package for the Social Sciences version 20 (SPSS; Chicago, IL). We conducted independent sample t-tests (two-tailed) to compare groups in demographic, creativity, IQ, and fMRI task-related variables. All behavioural data followed a normal distribution as assessed with Kolmogorov-Smirnov tests (all  $p > 0.05$ ).

*Neuroimaging analyses.* Three task regressors (Improvise, Repeat, and Rest) were modelled for the 14 seconds that participants had to follow the instructions and convolved with the SPM12 canonical hemodynamic response function. To prevent motion artefacts, six head motion parameters were entered as regressors of no interest in all first-level analyses. According to the aims of the study, we defined two contrasts of interest (i) Improvise > Repeat and (ii) Repeat > Improvise. Data were high-pass filtered to remove low frequency noise (1/128 Hz) and corrected for temporal autocorrelation using an autoregressive AR model.

One-sample t-tests were conducted on the resulting first-level contrast images to assess across-group activations in each contrast. Next, we conducted a two-sample t-test to assess between-group differences using the same first-level contrast images. To exclude potential confounds linked to IQ, this variable was included as a covariate in all analyses. In order to focus on the brain substrates of musical creativity we also included the General Creativity scores as a covariate in all analyses. Both covariates were orthogonalized before being included in the models.

The statistical significance threshold was corrected for multiple comparisons using a combination of voxel intensity and cluster-extent thresholds. The spatial extent threshold was determined by 1,000 Monte Carlo simulations, using the AlphaSim algorithm as implemented in the SPM REST toolbox. Input parameters included a brain mask of 176 588 voxels, an individual voxel threshold probability of 0.001 and a cluster connection radius of 5 mm, considering the actual smoothness of data after model estimation. A cluster-extent threshold of 201 voxels was estimated.

To examine the association between brain activations and task performance in musicians and non-musicians, we conducted Pearson correlation analyses in SPSS. The beta eigenvalues from each peak of significant between-group differences in the Improvise > Repeat contrasts were extracted using a sphere of 5 mm and correlated with the behavioural task measures (i.e. total number of keys played and total time improvising) and the total score of the creativity test. To explore whether these relations are specific to each group, we conducted these analyses within each group.

#### Data Availability

The datasets generated during and/or analysed during the current study are available from the corresponding author on reasonable request.

#### References

1. Badwiner, D. M., Wertz, C. J., Flores, R. A. & Jung, R. E. Musical Creativity “Revealed” in Brain Structure: Interplay between Motor, Default Mode, and Limbic Networks. *Sci Rep* **6**, 20482 (2016).
2. Diederich, J., Benedek, M., Jaak, E. & Neubauer, A. C. Are creative ideas novel and useful? *Psychol Aesthet Creat Arts* **9**, 35–40 (2015).
3. Loui, P. Rapid and flexible creativity in musical improvisation: review and a model. *Ann NY Acad Sci* **1423**, 138–145 (2018).
4. Pinha, A. L., Manzano, O., de, Franssen, P., Eriksson, H. & Ullén, F. Connecting to Create: Expertise in Musical Improvisation Is Associated with Increased Functional Connectivity between Premotor and Prefrontal Areas. *J. Neurosci.* **34**, 6156–6163 (2014).
5. Stevenson, C. E., Kleibauer, S. W., de Dreu, C. K. W. & Croone, E. A. Training creative cognition: adolescence as a flexible period for improving creativity. *Front Hum Neurosci* **8** (2014).
6. Weisberger, A. B., Gwon, A. E. & Chryliska, E. G. Using Transcranial Direct Current Stimulation to Enhance Creative Cognition: Interactions between Task, Polarity, and Stimulation Site. *Front. Hum. Neurosci.* **11** (2017).
7. Jung, R. E., Mead, B. S., Carrasco, J. & Flores, R. A. The structure of creative cognition in the human brain. *Front. Hum. Neurosci.* **7** (2013).
8. Nijstad, B. A., Dreu, C. K. W. D., Rietzschel, E. F. & Baas, M. The dual pathway to creativity model: Creative ideation as a function of flexibility and persistence. *Eur Rev Soc Psychol* **21**, 34–77 (2010).
9. Haidt, M. C., Deckardbach, T., Carlson, L. E., Beucke, J. C. & Dosagberry, D. D. Emotional and cognitive stimuli differentially engage the default network during inductive reasoning. *Soc Cogn Affect Neurosci* **7**, 380–392 (2012).
10. Smeekens, B. A. & Kane, M. J. Working Memory Capacity, Mind Wandering, and Creative Cognition: An Individual-Differences Investigation into the Benefits of Controlled Versus Spontaneous Thought. *Psychol Aesthet Creat Arts* **10**, 389–415 (2016).
11. Dietrich, A. The cognitive neuroscience of creativity. *Psychon Bull Rev* **11**, 1011–1026 (2004).
12. Ogawa, T., Aihara, T., Shimokawa, T. & Yamashita, O. Large-scale brain network associated with creative insight: combined voxel-based morphometry and resting-state functional connectivity analysis. *Sci Rep* **8**, 6477 (2018).

13. Escobar, A. & Gómez-González, B. Creatividad y función cerebral. *Rev Mex Neuroci* **7**, 391–399 (2006).
14. Klimesch, O. M. *et al.* Participation of the left inferior frontal gyrus in human originality. *Brain Struct Funct* **223**, 329–341 (2018).
15. Beary, R. E., Benedek, M., Silvia, P. J. & Schacter, D. L. Creative Cognition and Brain Network Dynamics. *Trends Cogn Sci* **20**, 87–95 (2016).
16. Takachi, H. *et al.* Failing to deactivate: The association between brain activity during a working memory task and creativity. *NeuroImage* **55**, 683–687 (2011).
17. Bengtsson, S. L., Csikszentmihalyi, M. & Ullén, F. Cortical Regions Involved in the Generation of Musical Structures during Impromptu in Pianists. *J Cogn Neurosci* **19**, 830–842 (2007).
18. Nathaniel-James, D. A. & Frith, C. D. The Role of the Dorsolateral Prefrontal Cortex: Evidence from the Effects of Contextual Constraint in a Sentence Completion Task. *NeuroImage* **16**, 1094–1102 (2002).
19. Frith, C. D. The role of dorsolateral prefrontal cortex in the selection of action in *Control of cognitive processes: attention and performance*. (eds Monsell, S. & Driver, J.) 429–565 (Cambridge: MIT, 2000).
20. Klimesch, O. Bases neuroanatómicas de la creatividad. *Katharsis* **24**, 207–238 (2017).
21. Pinho, A. L. The Neuropsychological Aspects of Musical Creativity in Exploring Transdisciplinarity in Art and Sciences. (eds Kpoula, Z., Volle, E., Bessich, J. & Andrietta, M.) 77–103. (Springer, Cham, 2018).
22. Ritar, S. M. & Mostert, N. Enhancement of Creative Thinking Skills Using a Cognitive-Based Creativity Training. *J Cogn Enhanc* **1**, 243–253 (2017).
23. Beary, R. E. *et al.* Creativity and the default network: A functional connectivity analysis of the creative brain at rest. *Neuropsychologia* **64**, 92–98 (2014).
24. Beary, R. E. *et al.* Robust prediction of individual creative ability from brain functional connectivity. *PNAS* **115**, 1087–1092 (2018).
25. Wei, D. *et al.* Increased resting functional connectivity of the medial prefrontal cortex in creativity by means of cognitive stimulation. *Cortex* **51**, 92–102 (2014).
26. Mok, L. W. The interplay between spontaneous and controlled processing in creative cognition. *Front. Hum. Neurosci.* **8** (2014).
27. Luo, C. *et al.* Long-term effects of musical training and functional plasticity in salience system. *Neural Plast.* **2014**, 180138 (2014).
28. Pinho, A. L., Ullén, F., Castelo-Branco, M., Franzen, P. & Manzano, Ó. Addressing a Paradox: Dual Strategies for Creative Performance in Introspective and Extrospective Networks. *Cereb Cortex* **26**, 3052–3063 (2016).
29. Swadlow, P. T., Priggo, A. & Gabora, L. The shifting sands of creative thinking: Connections to dual-process theory. *Thinking & Reasoning* **21**, 40–60 (2015).
30. Webster, F. R. Creative Thinking and Music Education: Encouraging Students to Make Aesthetic Decisions in 10<sup>th</sup> Anniversary ESCOM Conference “musical creativity”, Liège (2002).
31. Gomez, M. D., Galán, M. E. R. Creatividad en educación musical in *Creatividad en educación musical*, (ed. Gomez, M. D.) 1–168 (Universitat de Cantabria, 2015).
32. Beary, R. E. The neuroscience of musical improvisation. *Neurosci Biobehav Rev* **51**, 108–117 (2015).
33. Pink, A. *et al.* Gray matter density in relation to different facets of verbal creativity. *Brain Struct Funct* **219**, 1263–1269 (2014).
34. Jung, R. E. *et al.* Neuroanatomy of creativity. *Humans Brain Mapping* **31**, 398–409 (2010).
35. Limb, C. J. & Braun, A. R. Neural Substrates of Spontaneous Musical Performance: An fMRI Study of Jazz Improvisation. *PLoS ONE* **3**, e1879 (2008).
36. Liu, S. *et al.* Neural Correlates of Lyrical Improvisation: An fMRI Study of Freestyle Rap. *Sci Rep* **2**, 834 (2012).
37. Imfeld, A., Oechslin, M. S., Meyer, M., Loewenke, T. & Jancke, L. White matter plasticity in the corticospinal tract of musicians: A diffusion tensor imaging study. *NeuroImage* **46**, 600–607 (2009).
38. Rüber, T., Lindenberg, R. & Schlaug, G. Differential Adaptation of Descending Motor Tracts in Musicians. *Cereb Cortex* **25**, 1490–1498 (2015).
39. Steele, C. J., Bailey, J. A., Zatorre, R. J. & Penhune, V. B. Early Musical Training and White-Matter Plasticity in the Corpus Callosum: Evidence for a Sensitive Period. *J. Neurosci.* **33**, 1282–1290 (2013).
40. Bengtsson, S. L. *et al.* Extensive piano practicing has regionally specific effects on white matter development. *Nature Neurosci* **8**, 1148–1150 (2005).
41. Han, Y. *et al.* Gray matter density and white matter integrity in pianists’ brain: A combined structural and diffusion tensor MRI study. *Neurosci Lett* **459**, 3–6 (2009).
42. Palomar-García, M.-A., Zatorre, R. J., Ventura-Campos, N., Basichukó, E. & Ávila, C. Modulation of Functional Connectivity in Auditory-Motor Networks in Musicians Compared with Nonmusicians. *Cereb Cortex* **27**, 2768–2778 (2017).
43. Berkowitz, A. L. & Ansari, D. Expertise-related deactivation of the right temporo-parietal junction during musical improvisation. *NeuroImage* **49**, 712–719 (2010).
44. Chan, J. L., Penhune, V. B. & Zatorre, R. J. Moving on Time: Brain Network for Auditory-Motor Synchronization is Modulated by Rhythm Complexity and Musical Training. *J Cogn Neurosci* **20**, 226–239 (2007).
45. Bangert, M. *et al.* Shared networks for auditory and motor processing in professional pianists: Evidence from fMRI conjunction. *NeuroImage* **30**, 917–926 (2006).
46. de Manzano, Ó. & Ullén, F. Goal-independent mechanisms for free response generation: Creative and pseudo-random performance share neural substrates. *NeuroImage* **59**, 772–780 (2012).
47. Harris, K. & de Jong, B. M. Differential posterior and temporal contributions to music perception in improvising and score-dependent musicians, an fMRI study. *Brain Res* **1624**, 253–264 (2015).
48. Herholz, S. C., Coffey, E. B. J., Pantev, C. & Zatorre, R. J. Dissociation of Neural Networks for Predisposition and for Training-Related Plasticity in Auditory-Motor Learning. *Cereb Cortex* **26**, 3125–3134 (2016).
49. Bassari, M. Teaching Improvisation through Processes. Applications in Music Education and Implications for General Education. *Front. Psychol* **8** (2017).
50. Chan, Q. *et al.* Association of creative achievement with cognitive flexibility by a combined voxel-based morphometry and resting-state functional connectivity study. *NeuroImage* **102**, 474–483 (2014).
51. Benedek, M., Franz, F., Hoern, M. & Neubauer, A. C. Differential effects of cognitive inhibition and intelligence on creativity. *Per Individ Dif* **53–54**, 480–485 (2012).
52. Berkowitz, A. L. & Ansari, D. Generation of novel motor sequences: The neural correlates of musical improvisation. *NeuroImage* **41**, 535–545 (2008).
53. Uddin, L. Q. Salience processing and insular cortical function and dysfunction. *Nat Rev Neurosci* **16**, 55–61 (2015).
54. Liu, Z. *et al.* Neural and genetic determinants of creativity. *NeuroImage* **174**, 164–176 (2018).
55. He, H. *et al.* Music Intervention Leads to Increased Insular Connectivity and Improved Clinical Symptoms in Schizophrenia. *Front. Neurosci.* **11** (2018).
56. Uddin, L. Q., Kinnison, J., Pessoa, L. & Anderson, M. L. Beyond the tripartite cognition-emotion-interoception model of the human insular cortex. *J Cogn Neurosci* **26**, 16–27 (2014).
57. Zamorano, A. M., Cifre, L., Montoya, P., Ripollés, I. & Kleber, B. Insula-based networks in professional musicians: Evidence for increased functional connectivity during resting state fMRI. *Hum Brain Mapp* **38**, 4834–4849 (2017).
58. Chang, J. S. X., Ng, G. J. P., Lee, S. C. & Zhou, J. Salience network connectivity in the insula is associated with individual differences in interoceptive accuracy. *Brain Struct Funct* **222**, 1635–1644 (2017).

59. Kleber, B., Zekoni, A. G., Friberg, A. & Zatorre, R. J. Experience-dependent modulation of feedback integration during singing: role of the right anterior insula. *J. Neurosci.* **33**, 6070–6080 (2013).
60. Gaada, F. *et al.* Functional connectivity of the insula in the resting brain. *NeuroImage* **55**, 8–23 (2011).
61. Heinson, J. *et al.* Default Mode and Executive Networks Areas: Association with the Serial Order in Divergent Thinking. *PLoS ONE* **11**, e0162254 (2016).
62. Tanaka, S. & Kirino, E. Dynamic Reconfiguration of the Supplementary Motor Area Network during Imagined Music Performance. *Front. Hum. Neurosci.* **11** (2017).
63. Sachs, M., Kaplan, J., Der Sarkislian, A. & Habibi, A. Increased engagement of the cognitive control network associated with music training in children during an fMRI Stroop task. *PLoS ONE* **12**, e0167254 (2017).
64. Cona, G. & Semenza, C. Supplementary motor area as key structure for domain-general sequence processing: A unified account. *Neurosci Biobehav Rev* **72**, 28–42 (2017).
65. Herrlich, L., Dietrich, S. & Ackermann, H. The role of the supplementary motor area for speech and language processing. *Neurosci Biobehav Rev* **68**, 602–610 (2016).
66. Zandbelt, B. B. *et al.* Within-subject variation in BOLD-fMRI signal changes across repeated measurements: Quantification and implications for sample size. *NeuroImage* **42**, 196–206 (2008).
67. Artola, T. *et al.* Prueba de Imaginación Creativa para Adultos. Madrid: TEA Ediciones (2012).
68. Kaufman, A. S. & Kaufman, N. L. Kaufman Brief Intelligence Test, Second Edition. Bloomington, MN: Pearson, Inc. (2004).

### Acknowledgements

The authors are grateful to the School of Education Sciences and the Vice-Rector's Office for Scientific Policy and Research of the University of Granada, the Mind, Brain and Behavior Research Center (CIMCYC) (University of Granada), and the João Pessoa University Center - UNIPÊ for supporting this scientific research. J.V.R. is supported by a grant from the Spanish Ministry of Science, Innovation and Universities (FJCI-2017-33396).


### Author Contributions

All authors conceived and designed the study; M.P.B.A. and J.V.R. conducted the assessments; J.V.R. conducted imaging analyses; M.P.B.A. wrote the first draft and all authors provided input to the final version of the manuscript.

### Additional Information

**Competing Interest:** The authors declare no competing interests.

**Publisher's note:** Springer Nature remains neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.

 **Open Access** This article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License, which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons license, and indicate if changes were made. The images or other third party material in this article are included in the article's Creative Commons license, unless indicated otherwise in a credit line to the material. If material is not included in the article's Creative Commons license and your intended use is not permitted by statutory regulation or exceeds the permitted use, you will need to obtain permission directly from the copyright holder. To view a copy of this license, visit <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>.

© The Author(s) 2019

## **Anexo 08**

# **Diseño de un método de enseñanza musical a través de la investigación**

## *Design of a musical teaching method by inquiry*

Marcella Pereira Barbosa de Aquino\*, Purificación Pérez-García\*, Miguel Pérez-García\*\*, Juan Verdejo-Román\*\*\*

\*Facultad de Ciencias de la Educación de la Universidad de Granada, España\*\* Facultad de Psicología de la Universidad de Granada, España \*\*\* Facultad de Psicología. Universidad Complutense de Madrid., España

### **Resumen**

Percibimos la necesidad de evaluar una propuesta educativa basada en la metodología por indagación para la enseñanza de la música. Observando aspectos didácticos y curriculares, neurocognitivos y de rendimiento académico. Para ello diseñamos y aplicamos dicha propuesta. Este estudio tiene como objetivo evaluar una secuencia de actividades musicales basadas en el método de educación por indagación y en el método de educación tradicional comparando sus respuestas a nivel didáctico-curricular, neurocognitivo y de rendimiento académico. El diseño de la investigación se concretó en: 1) aplicar pruebas pre-post neurocognitivas de aprendizaje (creatividad y memoria de trabajo para cada grupo); 2) pasar pruebas pre-post de rendimiento musical académico; 3) diseñar una secuencia de actividades con contenido musical, siguiendo los preceptos de las metodologías de enseñanza tradicional y por indagación, como también la base referencial teórica de la taxonomía de Bloom; 4) someter a juicio de expertos dicha secuencia antes de su aplicación; 5) poner en práctica estas metodologías en 02 grupos de adultos universitarios (A - adscritos al método de educación por indagación y B - en educación tradicional) a lo largo de 04 meses (dos veces por semana, jueves y viernes, con una duración de 1 hora, que se daba al final de su jornada lectiva, a última hora de 12:30 a 13:30 y de 13:30 a 14:30).

Para el experimento, se buscó la homogeneidad en ambos grupos quienes estaban a cargo del mismo profesor, recibían clases en la misma aula y estudiaban el mismo currículum (todo el contenido necesario para aprender a tocar la guitarra). Participaron en este estudio 42 estudiantes universitarios sin experiencia música; y para la validación del método de enseñanza por indagación fueron invitados 34 expertos que eran profesores de conservatorio Profesional y Superior, de Enseñanza Secundaria y profesores de universidad, del área de Didáctica de la Expresión Musical.

Para evaluar la secuencia de actividades musicales basadas en los métodos de enseñanza comparando sus respuestas a nivel didáctico-curricular, según el criterio de jueces expertos, recurrimos a la Chi-cuadrado de Pearson. Para comprobar el efecto del rendimiento académico, correlacionamos las puntuaciones con la metodología a la que pertenecían; y analizamos si había diferencias significativas en relación a los test neurocognitivos (memoria y creatividad) en relación a la metodología empleada.

Según se desprende de los resultados, podemos concluir que la secuencia metodológica didáctica y curricular, por indagación como tradicional, para la enseñanza de contenidos musicales, se ubican dentro de las expectativas planteadas según sus referentes teóricos. Es decir, las actividades encuadradas en la



metodología tradicional responden a parámetros de recuerdo y comprensión; y las pensadas como estimuladoras de la indagación, también son acordes a la filosofía de esta metodología, promoviendo la aplicación, el análisis, la evaluación y la creatividad. Desde la perspectiva neurocognitiva, el uso de una u otra secuencia de enseñanza no estimula más o menos la creatividad o la memoria. Y según el rendimiento, correlaciona con la asistencia en la metodología por indagación.

## Abstract

We perceive the need to evaluate an educational proposal based on inquiry-based methodology for teaching music. Observing didactic and curricular aspects, neurocognitive and academic performance. In order to do so, we design and apply this proposal. The objective of this study is to evaluate a sequence of musical activities based on the method of education by inquiry and on the method of traditional education by comparing their responses at the didactic-curricular, neurocognitive and academic performance levels. The design of the research was concretized in: 1) to apply pre-post neurocognitive learning tests (creativity and working memory for each group); 2) to pass pre-post tests of academic musical performance; 3) to design a sequence of activities with musical content, following the precepts of traditional teaching methodologies and by inquiry, as well as the theoretical referential base of Bloom's taxonomy; 4) to submit this sequence to expert judgement before its application; 5) to put into practice these methodologies in 02 groups of university adults (A - assigned to the education method by inquiry and B - in traditional education) throughout 04 months (twice a week, Thursday and Friday, with a duration of 1 hour, which was given at the end of their teaching day, at the last hour of 12:30 to 13:30 and 13:30 to 14:30).

For the experiment, homogeneity was sought in both groups who were in charge of the same teacher, received classes in the same classroom and studied the same curriculum (all the necessary content to learn to play the guitar). Forty-two university students without music experience participated in this study; and for the validation of the method of teaching by inquiry 34 experts were invited who were professors of Professional and Superior Conservatory, of Secondary Education and university professors, of the area of Didactics of Musical Expression.

To evaluate the sequence of musical activities based on teaching methods by comparing their didactic-curricular responses, according to the criteria of expert judges, we resorted to Pearson's Chi-square. To check the effect of academic performance, we correlated the scores with the methodology to which they belonged; and we analyzed if there were significant differences in relation to the neurocognitive tests (memory and creativity) in relation to the methodology used.

According to the results, we can conclude that the didactic and curricular methodological sequence, by inquiry as traditional, for the teaching of musical contents, are located within the expectations raised according to their theoretical referents. That is to say, the activities framed in the traditional methodology respond to parameters of remembrance and comprehension; and those thought to stimulate inquiry are also in accordance with the philosophy of this methodology, promoting application, analysis, evaluation and creativity. From the neurocognitive perspective, the use of one or another teaching sequence does not more or less stimulate creativity or memory. And according to performance, it correlates with assistance in methodology by inquiry.

En nuestra literatura emergente se ha demostrado la inquietud en cuanto a la búsqueda de métodos de enseñanza y aprendizaje y la necesidad de construir nuestro propio conocimiento (Luquet, 2015; Biasutti, 2017). Por ejemplo, los estándares del currículum de ciencias evidencian la necesidad de que los estudiantes asimilen tanto el conocimiento propio de las ciencias como las habilidades asociativas en la construcción de este conocimiento (Stender et al, 2018). Incorporar nuevas metodologías frente a modelos tradicionales refleja el entendimiento de que los docentes pasan a ser concedores del medio haciendo que el alumno sea el agente de su proceso de aprendizaje, desarrollando nuevas habilidades como buscar, evaluar, organizar, seleccionar y utilizar (Puerto, 2018). Bajo esta premisa, intentamos profundizar en la temática, elaborando una propuesta de evaluación de un método de enseñanza musical por indagación frente a un método tradicional.

Comúnmente conocido como aprendizaje por investigación, Inquiry-Based Learning (IBL) o Inquiry-Based Science Education (IBSE) (Romero-Ariza, 2017), es un método con características constructivistas de enseñanza (Savery, 2006), que se define como un proceso de construcción de modelos conceptuales y de significación posibilitando que el discente cuestione, investigue, comprenda y construya nuevos conocimientos, compartiendo su aprendizaje con otros, aplicando el conocimiento de forma productiva a situaciones no familiares (Romero-Ariza, 2017). Presenta como particularidad, lograr la interiorización del conocimiento que está orientado por el planteamiento de la búsqueda de respuestas a situaciones problemas previamente formuladas (Bevins & Price, 2016; Cañal, 2006; Gil, 1993); mediante aprendizaje colaborativo centrado en el alumno, involucrándose activamente en la construcción del conocimiento con el método hipotético-deductivo (Hmelo-Silver et al., 2007; Kaiser et al, 2018).

Las diferencias metodológicas de enseñanza indagativa frente a tradicional estriban en la conducta del alumno y profesor frente al aprendizaje. En el modelo tradicional, el maestro es “propietario” del conocimiento (Barros & Calero, 2018); es quien planifica la enseñanza buscando la construcción de contenidos, motivando al alumno a través de preguntas que promuevan conceptos y metodologías (Dibarboure & Rodríguez, 2013). Repasa la información sin trabajar con la capacidad intrínseca o particular del conocimiento previo, suscitando el memorismo; favorece la repetición de lo que le han enseñado sin acercarse a cuestionar la temática propuesta; la pasividad y el academicismo teórico son propios (Agencia de la calidad de la educación del Chile, 2016; Slater et al, 2014, López, 2015, Krüger & Ensslin, 2013). El alumno es receptor del contenido del que no se ha apropiado y del cual cree son verdades casi incuestionables (Wilson & MacDonald, 2017).

Sin embargo, en el modelo por indagación, la conducta del alumno es bien distinta. Es protagonista de su propio aprendizaje, fomentando su carácter activo e investigativo (Bevins & Price, 2016) debido a la acción directa que ejerce sobre los objetos investigados (Couso, 2014, Wilson & MacDonald, 2017), respetando su ritmo, formas de trabajo y motivación (Couso, 2014). Es considerado experto buscador de información y lector crítico que observa la pertinencia, veracidad y relevancia de esta (Wilson & MacDonald, 2017).

Mientras que el profesor es considerado agente facilitador del proceso, que establece como estrategia educativa la instrucción en etapas o fases, instituyendo ciclos formativos (Couso, 2014), de modo progresivo (Martinello & Cook, 2000). Además, es agente emocional y de colaboración, que lleva al alumno a la toma de decisiones, no limitándolo y le proporciona fuentes de información (Wilson & MacDonald, 2017).

Al profundizar sobre la metodología por indagación, se percibe diferencias tanto de modelos de indagación como de destrezas del alumno en función del grado de su autonomía. Windschitl (2003) nos muestra dicha variabilidad que pasa desde la confirmación de experiencias previamente discutidas en el aula, hasta aquellas que se plantean como indagación abierta en donde el alumno es autónomo sobre qué investigar y cómo hacerlo. Además, se perciben estrategias de indagación estructuradas en las que el profesor proporciona tanto la pregunta como el procedimiento para resolverla, o aquellas de indagación guiada en la que el docente ofrece la pregunta y los alumnos deciden cómo enfrentarla, incidiendo en mayor o menor medida en distintas destrezas científicas del alumnado (Bevins & Price, 2016). Para este artículo, la metodología por indagación evidenciada es la guiada, habiendo evidencias de mejores resultados en el aprendizaje (Furtak et al. 2012; Lazonder & Harmsen, 2016; Minner et al. 2010).

Una característica de esta metodología es que propicia la participación activa intensa y la colaboración (Kaiser et al, 2018). El uso de trabajos colectivos, en pequeños grupos, está evidenciado (Wilson & MacDonald, 2017), más aún si nos valemos de situaciones vivenciadas anteriormente. Los alumnos investigan, comparan, deducen, revisan juntos, debaten entre sí, responden a preguntas que encuentran en guías de auto-aprendizaje y escriben las conclusiones de las discusiones, interactúan con la información adquirida y al observar sus errores se auto-corrijen, como una evaluación formativa continua, posibilitando un aprendizaje más significativo (Wilson & MacDonald, 2017). Sin embargo, algunos docentes critican el poco tiempo para enseñar a los alumnos las habilidades necesarias para trabajar en equipo de modo efectivo (Han et al, 2018).

Otra peculiaridad es el interés que genera en el propio alumno. Preguntas aparentemente sin respuestas que motivan al alumno a investigar de modo científico, fomentando hipótesis, planificando, haciendo experimentos y análisis de datos (Kaiser et al, 2018). De manera activa, productiva y creativa (Bevins & Price, 2016) el alumno observa, argumenta, busca evidencias, analiza, interpreta, saca conclusiones, además intercambia con expertos los conocimientos, asiste a debates, evalúa soluciones alternativas y desarrolla modelos, prototipos y analogías (Harlen, 2013; National Research Council, 2012). Amplía su comprensión, motivación y actitud frente a la práctica científica, contribuyendo a su autoestima y capacidad de manejo de nuevos datos, con mayor control de su propio aprendizaje (Bevins & Price, 2016). Moviliza la disposición del alumno tanto a reaccionar y descubrir, con estructura docente dirigida y facilitadora, como a manejar didácticamente la respuesta hacia necesidades internas de solucionar problemas, propuestos en la actividad práctica. Así como esta tipología posibilita elevar su trabajo autónomo y realzar la

comprensión de temas, contenidos y aprendizajes (Bevins & Price, 2016). En realidad, el aprendizaje por indagación es una herramienta, no acabando en sí mismo.

En término de rendimiento académico, se centra la atención en el nivel de conocimiento que el alumno manifiesta tener en el área y qué demuestra saber en las áreas, materias y asignaturas, en relación a los objetos de aprendizaje (Hijar, 2017). En este sentido, en algunos estudios se ha visto que el predominio de actividades de indagación en clases resultó ser un predictor negativo del rendimiento en las pruebas PISA (Areepattamannil, 2012; McConney et al. 2014), aunque se encontró correlación positiva entre el uso de esta metodología y el interés y motivación por las ciencias. Sin embargo, los autores de estos estudios discuten limitaciones del trabajo señalando que, el alumnado pudo haber adquirido un conocimiento más profundo sobre los tópicos trabajados en clase, aunque no un dominio amplio de todos los contenidos evaluables (Harlen, 2010; McConney et al., 2014). Se sabe que las pruebas PISA miden amplitud de contenidos (OCDE, 2016) y no la profundidad de la comprensión del alumnado sobre un determinado tema (Romero-Ariza, 2017). Además se han encontrado beneficios positivos (relativamente modestos) del uso del aprendizaje basado en la indagación (Furtak et al., 2012), las teorías que subyacen a la efectividad de esta metodología son todavía bastante controvertidas (Kirschner et al., 2006; Hmelo-Silver et al., 2007).

En la literatura se encuentran estudios a favor y en contra de la utilización del aprendizaje basado en la investigación (Kirschner et al., 2006). Puede parecer que las tareas de aprendizaje en este método exige demasiado de los alumnos, cuando se requiere que los mismos procesen nueva información mientras buscan una solución a una tarea propuesta, si tenemos en cuenta el estudio de Cowan (2001) quien demostró que la mente humana sólo puede procesar conscientemente cuatro nuevos objetos a la vez. De este modo, los alumnos pueden terminar sin haber aprendido después de mucho tiempo resolviendo una determinada tarea de aprendizaje (Kirschner et al., 2006). En contraposición, otro estudio ha demostrado que los maestros que emplean esta metodología de enseñanza tienen más éxito cuando dan instrucciones que permiten a los alumnos mayor grado de libertad cognoscitiva en lugar de libertad de comportamiento, orientación instructiva en lugar de puro descubrimiento, y enfoque curricular en lugar de exploración no estructurada (Mayer, 2004). Algunos estudios enseñan que los alumnos están más involucrados y aprenden más en ambientes de laboratorio con base en la indagación, sin embargo también aluden a que son más frustrantes y difíciles (Dunlap & Martin, 2012).

Lo que son vistos como aspectos positivos en esta metodología son la utilización de métodos activos y técnicas grupales, vinculando la enseñanza con la práctica. El énfasis en los aspectos motivacionales de la enseñanza, la variedad en la utilización de estilos de enseñanza y la estimulación de intereses propios, influye positivamente en los logros (Tella, 2007); también es beneficioso el modo en cómo el aprendizaje afecta al alumnado en términos de planificación, articulación y orientación por parte del profesor (Couso, 2014; Kawalkar & Vijapurkar, 2013). Aparte de los resultados cognitivos, el aprendizaje por indagación presenta resultados afectivos generales y diferenciados positivos (Borovay et al,

2019). Sin embargo, las implicaciones de esta metodología son diversas. Uno de los problemas más relevantes es la falta de consenso sobre qué implica enseñar ciencias por indagación, siendo esto un obstáculo en las conclusiones acerca de la influencia de esta metodología en el aprendizaje de las ciencias (Bevins & Price, 2016). Otro punto negativo es que a pesar de las distintas reformas educativas y numerosos esfuerzos formativos, gran parte del docente sigue valiéndose de modelos basados en la transmisión-recepción, siendo minoritario el que se sitúa en modelos de indagación o de investigación dirigida (Anderson, 2002). La razón es que encuentra problemas con la orientación y control de las acciones; predomina la espontaneidad ante la ausencia de la maestría-pedagógica; y le faltan materiales y propuestas didácticas fácilmente aplicables en la práctica curricular (Ariza et al, 2013; Abril et al, 2014; Agencia de la calidad de la educación del Chile, 2016). El papel docente es desafiante, pues ha de fomentar en los estudiantes el razonamiento y justificación de argumentos (Grigg et al., 2013), de implementar un proceso de cuestionamientos de calidad en clase (Romero-Ariza, 2017, Peeters & Meijer, 2014) y en el diseño de investigación (Yoon, et al., 2012), lo cual exige la necesidad de un personal altamente cualificado y actitudinalmente predispuesto.

Después de lo expuesto, percibimos la necesidad de evaluar una propuesta educativa basada en la metodología por indagación para la enseñanza de la música. Observando aspectos didácticos y curriculares, neurocognitivos y de rendimiento académico. Para ello diseñamos y aplicamos dicha propuesta. Este estudio tiene como objetivo evaluar una secuencia de actividades musicales basadas en el método de educación por indagación y en el método de educación tradicional comparando sus respuestas a nivel didáctico-curricular, neurocognitivo y de rendimiento académico.

## **Método**

### **Muestra**

Para esto se diseñaron y desarrollaron dos metodologías de educación musical en dos grupos de adultos universitarios a lo largo de 4 meses (dos veces por semana, jueves y viernes, con una duración de 1 hora, que se daba al final de su jornada lectiva, a última hora de 12:30 a 13:30 y de 13:30 a 14:30). Se aplicaron tareas muy sencillas de memoria y creatividad para cada grupo metodológico (tradicional y por indagación) antes y después de la aplicación del método de enseñanza musical. Para esto fueron subdivididos dos grupos: A (adscritos al método de educación por indagación) y B (en educación tradicional). El criterio de inclusión fue considerado a través de un auto informe en el que se les preguntó sobre su edad, problemas de salud general, consumo de alcohol u otras drogas, nivel de formación académica, experiencia musical, ocupación actual, uso de medicación controlada y dominancia manual (diestro o zurdo), aplicación del Symptom Checklist-90-R cuyo objetivo era verificar si había sufrido daño o disfunciones psicopatológicas, para optimizar la imagen cerebral del sujeto y una audiometría. El reclutamiento ocurrió partiendo de la divulgación en la facultad de Ciencias de la Educación de la Universidad de Granada.

Para el experimento, se buscó la homogeneidad en ambos grupos (el de control y el experimental). Ambos grupos estaban a cargo del mismo profesor, recibían clases en la misma aula y estudiaban el mismo currículum (todo el contenido necesario para aprender a tocar la guitarra). Participaron en este estudio 42 estudiantes universitarios sin experiencia musical previa. Fueron divididos aleatoriamente en dos grupos: 22 fueron asignados al grupo en el que se utilizaba una metodología de enseñanza tradicional con media de 21.27 años ( $SD = 6.341$ ), siendo 18 mujeres y 4 hombres y 20 a un grupo de aprendizaje por indagación con media de 19.15 años ( $SD = 2.183$ ), siendo 17 mujeres y 3 hombres. Los grupos no mostraron diferencias en sexo ( $p = 0.782$ ), edad ( $p = 0.152$ ), o años de educación ( $p = 0.315$ ).

Fue preciso pensar en el docente encargado de poner en práctica los métodos de enseñanza. Los criterios para su selección fueron: a) saber tocar la guitarra; b) tener experiencia en ello; c) haber dado clases de guitarra a aprendices de diferentes edades; y d) tener disponibilidad horaria los jueves y viernes por la mañana. El muestreo empleado fue el incidental o por conveniencia. La persona elegida fue un hombre de entre 45 y 50 años. Doctor y licenciado en Historia del Arte (Musicología) y maestro de E. G. B. por la Universidad de Granada. Su actividad profesional se bifurcaba en lutier y maestro en un centro concertado.

Para la validación método de enseñanza por indagación fueron invitados 34 expertos con media de 18,87 años de experiencia ( $SD = 8.46$ ) siendo 16 mujeres y 18 hombres. De los expertos, 17 eran profesores de conservatorio Profesional y Superior, 6 profesores de Enseñanza Secundaria del departamento de Música y 11 profesores de universidad, del área de Didáctica de la Expresión Musical. El muestreo fue incidental y partió tanto de la divulgación en la facultad de Ciencias de la Educación de la Universidad de Granada, como del efecto bola de nieve (Bisquerra, 2016), por el cual unos usuarios reclutaban a otros.

## **Instrumentos**

Fue elaborado un instrumento que consistía en un listado de actividades para ponerlas en práctica con metodología tradicional y otras con metodología por indagación (tabla 1). La planificación de las actividades se desarrolló en base en las características peculiares de cada metodología, así como a la taxonomía digital cognitiva de Bloom. Un grupo de expertos tuvo que dirimir cuáles se ajustaban a los parámetros de la condición tradicional y cuáles a los de indagación (tabla 2).

Previo a la aplicación de los métodos de enseñanza, fueron analizados los niveles de rendimiento académico sobre contenido musical de los sujetos, aplicando la prueba de acceso a conservatorio en la etapa Elemental; un otorrino controló el nivel de audición a través de una audiometría; y se pasaron pruebas neurocognitivas de imaginación y creatividad como el PIC-A (González et. al, 2012) y el Test Breve de Inteligencia de

Kaufman K-BIT (Kaufman & Kaufman, 2004) y la prueba de las letras y números de la batería de Wais-IV que se destina a investigar la memoria auditiva de trabajo. Todos los test contaban con los cálculos psicométricos y ajustados al contexto cultural donde se aplicaron.

## **Diseño experimental**

Los pasos seguidos para la investigación fueron: 1) aplicar pruebas pre-post neurocognitivas de aprendizaje (creatividad y memoria de trabajo para cada grupo); 2) pasar pruebas pres-post de rendimiento musical académico; 3) diseñar una secuencia de actividades con contenido musical, siguiendo los preceptos de las metodologías de enseñanza tradicional y por indagación, como también la base referencial teórica de la taxonomía de Bloom; 4) someter a juicio de expertos dicha secuencia; 5) poner en práctica estas metodologías en 02 grupos de adultos universitarios (A - adscritos al método de educación por indagación y B - en educación tradicional) a lo largo de 04 meses.

## **Diseño y validación de la secuencia de actividades**

Independiente de la metodología operada, un modo de establecer las competencias relativas al aprendizaje, de modo secuencial y creciente en nivel de habilidades de pensamiento, es la taxonomía digital cognitiva de Bloom. Este sistema permite clasificar habilidades de aprendizaje, categorizadas, que fomentan diferentes niveles de cognición, mediante la abstracción de preguntas en torno al conocimiento y comprensión que se producen en contextos educativos. Esta taxonomía, además de atender las prácticas tradicionales de clase, incorpora las relacionadas con las TIC y los procesos y acciones asociados (Bosch, 2014).

De esto modo, al planificar nuestra secuencia de aprendizaje, tuvimos en cuenta tanto los verbos y las palabras-claves referenciales para la generación de preguntas en distintos niveles de dificultad, como los niveles de habilidades cognitivas que el alumno debe superar para que ocasione un verdadero proceso de aprendizaje, que son: recordar, comprender, aplicar, analizar, evaluar y crear (Bosch, 2014). Las acciones o verbos de orden superior, en la taxonomía digital de Bloom (como crear, colaborar, producir, etc.), adquieren más valor, sirviendo como herramienta ideal para el análisis, no sólo de la competencia digital, sino también de la competencia musical. Puesto que, la educación musical está comúnmente dividida entre los que son capaces de leer una partitura y ejecutarla y los que pueden hacerla sin partitura de modo improvisatorio. Por tanto, crear, improvisar y compartir son verbos superiores en la taxonomía musical, previstos en la educación musical al abordar el conocimiento del código musical (partitura) con la expresión que lo simboliza (Bosch, 2014).

Teniendo en cuenta estos preceptos teóricos, en este artículo, adjudicamos para el grupo tradicional las palabras-claves recordar y comprender; mientras que aplicar, analizar, evaluar y crear fue para el grupo por indagación. Las actividades que diseñamos fueron pensadas para que se ajustaran a la estimulación de estos procesos cognitivos. En esta tabla mostramos la propuesta de actividades para cada metodología de enseñanza (tabla 1).

SESIÓN	ACTIVIDADES GRUPO TRADICIONAL	ACTIVIDADES GRUPO POR INDAGACIÓN
01	Evaluación inicial de conocimiento musical básico del alumno.	Evaluación inicial de conocimiento musical básico del alumno.
02	<p>Enseñar mediante exposición teórica las partes del instrumento, su uso correcto, cuidado y afinación.</p> <p>Pedir al alumno que identifique las partes de su instrumento e intentar afinarlo de acuerdo con el contenido presentado.</p>	<p>En la pizarra estará el nombre de las partes del instrumento sin identificarlo. Se pedirá a cada grupo que los mismos identifiquen y clasifiquen a su modo las partes con un papelito bien como cuestionarse cómo es su uso correcto, cuidado y cómo podría ser hecha una afinación. Después van a comparar el resultado con los otros grupos.</p> <p>Buscar la misma nota en otra cuerda y afinar. Plantearles que afinen solo una cuerda, por ejemplo Mi en la 6ª cuerda y, a partir de ahí, busquen la nota de la 5ª cuerda (La) usando la que ya tienen afinada y traten de afinar así las siguientes.</p>
03	<p>El profesor va a tocar un pequeño fragmento de una canción y los alumnos intentan imitarlo.</p> <p>El alumno va a practicar el rasgueo aprendido y ritmo distintos por medio de repetición.</p> <p>Enseñar mediante exposición teórica los acordes mayores (Do mayor, Mi mayor, Sol mayor...), pentagrama y pedir para practicar por repetición.</p>	<p>Entrega el profesor los acordes en una hoja y el grupo debe intuir cómo aplicarlo en la guitarra, cómo se lleva a cabo.</p> <p>El alumno va a identificar el rasgueo utilizado en la canción que el profesor va a tocar y va a pensar cómo podrían hacer el rasgueo de modo distinto para el pequeño fragmento musical.</p> <p>El profesor pide que materialice en un papel cómo serían los elementos musicales de duración y altura, así como los acordes mayores en pentagrama.</p>
04	El profesor tocará un pequeño fragmento de una canción y los alumnos intentan imitarlo.	<p>Promover una pequeña improvisación a modo de “diálogo”. Uno toca un pequeño fragmento (como si estuviera “diciendo” algo, y el otro le “contesta”). Después, ponen en común “la conversación musical” que han tenido.</p> <p>El mini grupo va a improvisar un ritmo basado en la marcha (con notas y silencio). El profesor va a grabar con el móvil.</p>
05	Enseñar mediante exposición teórica cómo hacer una lectura formal de compás, ritmo. Después hacer un dictado musical.	El profesor pone distintos ritmos e intentan saber en qué compás están hechas (con compases simples, no usaría más del 2/4; 3/4). En seguida el mini grupo va a escuchar su grabación de improvisación rítmica de la clase anterior e intentará pasar al papel este ritmo a su modo. Después de esto, el profesor va a presentar el pentagrama.
06	Enseñar lo que es armonía, acompañamiento armónico en guitarra y cambio de tres acordes aprendidos. En seguida hacer un dictado musical.	El alumno va a inventar un trozo musical improvisado en pentagrama y el subgrupo va a tocar todos los trozos de forma ordenada con acompañamiento armónico.



<b>07</b>	El profesor enseña tres trozos musicales y al dividir el gran grupo en tres, pide que ejecuten cada trozo como un coro. Al final todos lo hacen a la vez.	Ordenar una secuencia de 09 compás y ejecutarlos en el gran grupo. En seguida una de esta secuencia de tres compases será tocada por un grupo, el otro marcará el pulso de ritmo 3/4 y el tercero generará una secuencia nueva, diferente a la del primer grupo. Al final todos la hacen a la vez.
<b>08</b>	Charla para dudas en cuanto al contenido expuesto hasta el momento. En seguida el alumno, de modo individual, va a ejecutar un trozo sencillo musical que está escrito en una hoja como también pasará al pentagrama lo que escucha.	Charla para dudas en cuanto al contenido expuesto hasta el momento. En seguida los estudiantes forman parejas y se colocan enfrentados, de manera que se pide que uno de ellos ejecute un trozo sencillo musical que está escrito en una hoja, mientras que el otro va a pasar al pentagrama lo que escucha.
<b>09</b>	El estudiante va a reproducir un trozo sencillo musical (de la pieza musical Las Mañanitas, 2ª parte) por medio de imitación del profesor y lectura en un pentagrama	Los estudiantes forman parejas y se colocan enfrentados de manera que se pide que uno de ellos reproduzca un trozo sencillo musical (de la pieza musical Las Mañanitas, 2ª parte) que está escrito, mientras que el otro va a pasar para un pentagrama lo que escucha. Improvisar una estructura melódica a partir de elementos musicales presentes en la pieza musical Las Mañanitas.
<b>10</b>	Practicar la pieza musical Las Mañanitas, 2ª parte	Los estudiantes forman parejas y se colocan enfrentados, de manera que se pide que uno de ellos cree un pequeño trozo mientras que el compañero va a pasar a un pentagrama lo que escucha. Después se cambian de rol, el que antes improvisaba ahora pasa lo que escucha a un pentagrama. Después se procede a un intercambio entre parejas, de modo que la nueva pareja debe crear sobre la improvisación de la pareja anterior.
<b>11</b>	El estudiante va a reproducir un trozo sencillo musical (de la pieza musical Las Mañanitas, 3ª parte) por medio de imitación del profesor y lectura en un pentagrama.	Los estudiantes forman parejas y se colocan enfrentados de manera que se pide que uno de ellos reproduzca un trozo sencillo musical (de la pieza musical Las Mañanitas, 3ª parte) que está escrito, mientras que el otro va a pasar al pentagrama lo que escucha. Improvisan una estructura melódica a partir de elementos musicales presentes en la pieza musical Las Mañanitas.
<b>12</b>	Practicar la pieza musical Las Mañanitas, 3ª parte.	Los estudiantes forman parejas y se colocan enfrentados, de manera que se pide que uno de ellos cree un pequeño trozo mientras que el compañero va a pasar a un pentagrama lo que escucha. Después se cambian de rol, el que antes improvisaba ahora pasa lo que escucha a un pentagrama. Después se procede a un intercambio entre parejas, de modo que la nueva pareja debe crear sobre la improvisación de la pareja anterior.
<b>13</b>	El estudiante va a reproducir toda la pieza musical Las Mañanitas por medio de imitación del profesor y lectura en pentagrama.	Los estudiantes forman grupos de 04 y se pide que reproduzcan toda la pieza musical Las Mañanitas que está escrito en un pentagrama por intuición.
<b>14</b>	Introducir la lectura de los acordes de la canción Las Mañanitas.	Los estudiantes forman parejas y se colocan enfrentados, en seguida improvisan una estructura melódica a partir de elementos musicales presentes en la pieza musical Las Mañanitas y que uno improvise mediante rasgueo rítmico $\frac{3}{4}$ , por punteo y acordes.
<b>15</b>	El estudiante va a reproducir toda la pieza musical Feliz Navidad en la tonalidad Re por medio de imitación del profesor y lectura en pentagrama. El profesor va a enseñar de modo expositivo los acordes en esta tonalidad.	Los estudiantes forman parejas y se pide que reproduzcan la pieza musical Feliz Navidad en la tonalidad Re que está escrito en un pentagrama por intuición. Luego después hacen una improvisación con la pieza musical elegida mediante rasgueo rítmico, por punteo y acordes.

16	Practicar los cambios de acordes en el orden que aparecen en la canción elegida (Feliz Navidad) que incluye las notas aprendidas (Escala Re).	Practicar los cambios de acordes en el orden que aparecen en la canción elegida (Feliz Navidad) que incluye las notas aprendidas (Escala Re). En seguida promover una pequeña improvisación a modo de “diálogo”. Uno toca un pequeño fragmento de la canción elegida anteriormente en Escala Re (Flecha) y el otro continúa con otro fragmento de la canción.
17	Practicar los cambios de acordes en el orden que aparecen en la canción elegida Feliz Navidad.	Los estudiantes forman parejas y se pide que hagan una imagen mental sobre una secuencia de compás, la escriba y ejecute. En seguida presentan la secuencia musical racionalizada a sus compañeros.
18	Practicar los cambios de acordes en el orden que aparecen en la canción elegida Feliz Navidad.	Los estudiantes forman parejas y recogen la secuencia musical racionalizada de la clase anterior de otra pareja para improvisar sobre esta secuencia a modo de revisión de todo el contenido. En seguida presentan su improvisación a sus compañeros.
19	Repaso y estudio durante 15 minutos de la canción Feliz Navidad según lo aprendido en las clases, posteriormente grabar un vídeo de aproximadamente 3 o 4 minutos con el móvil tocando primero con acordes y posteriormente también punteando la pieza. Se ha de realizar la misma actividad anterior con la canción Las Mañanitas.	Buscar un pentagrama en Internet de otro villancico de libre elección y grabarlo en vídeo rasgueado o punteado, con una duración máxima de 3 o 4 minutos. Posteriormente se ha de realizar una composición personal, intentando que tenga algún sentido musical, de 9 compases de tres por cuatro. Se debe memorizar, escribir en pentagrama siguiendo el sistema aprendido en clase y posteriormente grabar.
20	Evaluación Final	Evaluación Final

**Tabla 1.** Contenido y actividades de aprendizaje distribuidas en sesiones para las dos metodologías.

Cada una de estas actividades se sometió a la valoración de expertos para verificar que estas se ajustaban a la adjudicación de procesos cognitivos que habíamos dispuesto para la metodología tradicional y para la de indagación. Para ello, construimos una plantilla de validación (ver tabla 2). Estaba integrada por todas las actividades que habíamos diseñado para adquirir los conocimientos musicales. Tanto las de la secuencia metodológica tradicional como las de la secuencia por indagación. Todas se presentaron desordenadas, para que los jueces nos indicaran qué proceso cognitivo estimulaba tal actividad (si recordar, comprender, aplicar, analizar, evaluar, crear). De tal manera que, en función del proceso estimulado, pertenecería a una metodología u otra, tal y como conformaba la literatura.

Actividades	Elige solo 1 proceso cognitivo que consideres como principalmente relacionado con la actividad que has leído						Puedes marcar otros procesos relacionados con la actividad					
	R E C U E R D O	C O M P R E N S I Ó N	A P L I C A C I Ó N	A N Á L I S I S	E V A L U A C I Ó N	C R E A T I V I D A D	R E C U E R D O	C O M P R E N S I Ó N	A P L I C A C I Ó N	A N Á L I S I S	E V A L U A C I Ó N	C R E A T I V I D A D
1...												

**Tabla 2.** Escala de validación para jueces expertos.

## Aplicación de las secuencias de aprendizaje

Al planear las clases para aprender los contenidos musicales de guitarra fueron definidos criterios diferenciales, como el tipo de agrupación, el estilo docente, el material aplicado y el tiempo de dedicación del profesor durante las sesiones, con actividades diarias; así como el monitoreo en términos de asiduidad, contenido y tiempo que cada sujeto empleaba en casa para asimilar lo que había aprendido.

El grupo con método tradicional se ajustó a determinados parámetros. Consistieron en proporcionar el material impreso a los estudiantes, la dedicación exclusiva fue de 50 minutos por parte del profesor, para explicar el contenido y quitar posibles dudas. Su actuación tuvo un estilo deductivo, expositivo y de modo individual. Cada alumno estudiaba por separado, bajo la supervisión del profesor. Estos criterios estaban de acuerdo con los presupuestos teóricos referentes a esta metodología.

En el grupo con método por indagación fue facilitado el material impreso, pero no se ofreció ninguna explicación del contenido por parte del profesor, que estaba allí como moderador, con dedicación mínima de tiempo (05 minutos); el estilo docente fue inductivo, indagativo y grupal (Krüger & Ensslin., 2013). El grupo tenía que resolver las cuestiones presentadas, de modo que tenía que salir de su zona de confort para crear musicalmente, con ayuda de sus compañeros. La tabla siguiente (tabla 3) resume las condiciones didácticas de cada metodología.

TRADICIONAL	INDAGACIÓN
Exposición del contenido por el profesor	Planteamiento del problema guiado por el profesor
Práctica individual por medio de repetición y memorismo	Búsqueda de respuesta en grupos pequeños, con el uso de la improvisación y creatividad
El profesor interactúa 50 minutos con el alumno	El profesor interactúa 05 minutos con el alumnado
	Presentación de la respuesta para el gran grupo (normalmente una creación o improvisación musical)
Resumen: estilo docente de carácter deductivo, expositivo, de modo individual	Resumen: estilo docente de carácter inductivo, indagativo y grupal

**Tabla 3.** Condiciones de aplicación didáctica en la secuencia de actividades tradicional y por indagación.

Sobre los requisitos organizativos, la siguiente tabla (tabla 4) nos permite visualizar de forma gráfica las diferencias en cuanto a la disposición del mobiliario y el tipo de agrupamiento en el que los estudiantes y el profesor impartían las clases.



**Tabla 4.** Ejemplo de maquetación utilizado en las clases del grupo tradicional y grupo por indagación.

Para descartar la posibilidad de variables adversas producidas por el profesor, un solo docente enseñó a los dos grupos siguiendo las directrices de cada método. Tanto la asignación del método A o B a cada grupo y la distribución de los estudiantes entre los grupos fue aleatoria, siguiendo el orden de inscripción en cada grupo durante el proceso de admisión a la universidad. Además, para reducir la transferencia de información entre los grupos, las clases se impartían al final de la mañana, justo después de que terminaran sus clases habituales de las distintas asignaturas del Grado, de modo que un grupo se impartía entre las 12:30 y las 13:30 p.m y el otro, entre las 13:30 y las 14:30 p.m. Las clases se



## Análisis estadísticos

Para evaluar la secuencia de actividades musicales basadas en el método de educación por indagación y en el método de educación tradicional comparando sus respuestas a nivel didáctico-curricular, recurrimos a la Chi-cuadrado de Pearson, empleando el software SPSS (v. 17; SPSS Inc; Chicago, IL). Así pudimos comprobar la asociación entre las respuestas frecuentes de los jueces expertos musicales y la secuencia de actividades en función de la metodología de enseñanza propuesta.

Para comprobar el efecto del rendimiento académico, correlacionamos las puntuaciones con la metodología a la que pertenecían; y analizamos si había diferencias significativas en relación a los test neurocognitivos (memoria y creatividad) en relación a la metodología empleada.

## Resultados

Al ser comparadas las metodologías propuestas y las respuestas de los expertos en música, observamos un importante nivel y grado de coherencia, con el diseño originario inicial sometido a evaluación (tablas 6 y 7).

**Metodologia inicialmente referida \* Processo Agrupar (conjunto de respuestas mas frecuentes de los expertos)  
Crosstabulation**

			Processo Agrupar (conjunto de respuestas mas frequentess de los expertos)		Total
			Tradicional	Indagacion	
Metodologia inicialmente referida	Tradicional	Count	20	0	20
		% within Metodologia inicialmente referida	100,0%	0,0%	100,0%
	Indagacion	Count	9	15	24
		% within Metodologia inicialmente referida	37,5%	62,5%	100,0%
Total		Count	29	15	44
		% within Metodologia inicialmente referida	65,9%	34,1%	100,0%

**Tabla 6.** Distribución de las respuestas más frecuentes de los expertos musicales y la metodología propuesta.

### Chi-Square Tests

	Value	df	Asymp. Sig. (2-sided)	Exact Sig. (2-sided)	Exact Sig. (1-sided)
Pearson Chi-Square	18,966 <sup>a</sup>	1	,000		
Continuity Correction <sup>b</sup>	16,286	1	,000		
Likelihood Ratio	24,709	1	,000		
Fisher's Exact Test				,000	,000
Linear-by-Linear Association	18,534	1	,000		
N of Valid Cases	44				

a. 0 cells (0,0%) have expected count less than 5. The minimum expected count is 6,82.

b. Computed only for a 2x2 table

**Tabla 7.** Chi-cuadrado relativo a las respuestas de los expertos musicales y las secuencias de actividades propuestas.

De acuerdo con las tablas anteriores, comprobamos la asociación significativa entre las respuestas de los expertos musicales y la metodología inicialmente propuesta ( $p < 0.001$ ;  $N=44$ ), demostrando la validación metodológica didáctico-curricular de la secuencia de actividades diseñada.

Todas las tareas propuestas para el grupo tradicional, que en total sumaron 20, fueron identificadas como pertenecientes a este grupo. De las 24 actividades referentes al grupo de indagación, en su mayoría también coincidieron con la estructura inicial. Sin embargo, dos tareas estaban en discordancia, una fue categorizada como de “recuerdo” y otra de “comprensión” (tabla 8).

GRUPO TRADICIONAL	GRUPO DE INDAGACIÓN
Pedimos al alumno que identifique las partes de su instrumento, una vez que se las hemos explicado y que lo afinen de acuerdo con el contenido presentado.	**En la pizarra estará el nombre de las partes del instrumento sin identificarlas. Pedimos a cada grupo de estudiantes que identifiquen y clasifiquen, a su modo, las partes, así como que se cuestionen cómo es su uso correcto, cuidado y cómo se haría una afinación.
Los alumnos imitan un pequeño fragmento de una canción tocado por el profesor	Pedimos a los estudiantes que busquen la misma nota en otra cuerda y afinen solo una cuerda (por ejemplo Mi en la 6ª cuerda y, a partir de ahí, busquen la nota de la 5ª cuerda (La) usando la que ya tienen afinada y traten de afinar así las siguientes.

Los alumnos practican el rasgueo que han aprendido y ritmos distintos, por medio de la repetición.	El profesor pide a los estudiantes que creen un sistema mnemotécnico de un acorde (LA) mediante un esquema y la representación gráfica de este acorde para que les permita reproducirlo.
Los estudiantes hacen un dictado musical.	Los estudiantes hacen una pequeña improvisación a modo de “diálogo”: uno toca un pequeño fragmento (como si estuviera “diciendo algo”) y el otro le “contesta”. Después, ponen en común “la conversación musical” que han tenido.
Los estudiantes hacen un dictado musical tras enseñarles el concepto de armonía, acompañamiento armónico en guitarra y cambio de tres acordes aprendidos.	Los estudiantes escuchan la grabación de su improvisación rítmica de la clase anterior y la pasan al papel, a su modo.
El profesor enseña tres trozos musicales, hace tres grupos y les reparte un trozo a cada grupo para que lo toquen como un coro, todos a la vez.	Un alumno de un pequeño grupo inventa un trozo musical improvisado en pentagrama y el resto del subgrupo toca todos los trozos de forma ordenada con acompañamiento armónico.
Después de dejar un tiempo para dudas, pedimos a los estudiantes, de modo individual, que ejecuten un trozo sencillo musical que está escrito en una hoja, como también que pasen al pentagrama lo que escuchan.	Los estudiantes ordenarán la secuencia de nueve compases y la ejecutan.
El estudiante reproduce un trozo de la pieza musical “Las Mañanitas”, 2ª parte, por medio de imitación del profesor y lectura en un pentagrama.	Tres compases serán tocados por un grupo, el otro marcará el pulso de ritmo 3/4 y el tercer grupo generará una secuencia nueva diferente a la del primero, para al final, todos tocar a la vez.
Los estudiantes practican la pieza musical “Las Mañanitas”, 2ª parte.	Después de dejar un tiempo para dudas, pedimos a los estudiantes que se agrupen por parejas y se coloquen enfrentados, de manera que se pide que uno de ellos ejecute un trozo sencillo musical que está escrito en una hoja, mientras que el otro pasa al pentagrama lo que escucha.
El estudiante reproduce un trozo sencillo de la pieza musical “Las Mañanitas”, 3ª parte, por medio de la imitación del profesor y lectura en un pentagrama.	Los estudiantes forman parejas y se colocan enfrentados de manera que se pide que uno de ellos reproduzca un trozo sencillo musical (de la pieza musical “Las Mañanitas”, 2ª parte) que está escrito, mientras que el otro pasa a un pentagrama lo que escucha.
El estudiante practica la pieza musical “Las Mañanitas”, 3ª parte.	Los estudiantes improvisan una estructura melódica a partir de elementos musicales presentes en la pieza musical “Las Mañanitas”.
El estudiante reproduce toda la pieza musical “Las Mañanitas” por medio de imitación del profesor y lectura en pentagrama.	Los estudiantes forman parejas y se colocan enfrentados. Se pide que uno de ellos cree un pequeño trozo musical mientras que el compañero pasa a un pentagrama lo que escucha. Después se cambian de rol, el que antes improvisaba, ahora pasa lo que escucha a un pentagrama. Después se procede a un intercambio entre parejas, de modo que la nueva pareja debe crear sobre la improvisación de la pareja anterior.



Los estudiantes leen los acordes de la canción de “Las Mañanitas”.	Los estudiantes forman parejas y se colocan enfrentados. Se pide que uno de ellos reproduzca un trozo sencillo de la pieza musical “Las Mañanitas”, 3ª parte, que está escrito, mientras que el otro pasa a un pentagrama lo que escucha.
Los estudiantes practican los cambios de acordes en el orden que aparecen en la canción elegida, Feliz Navidad, que incluye las notas aprendidas (Escala RE).	Los estudiantes forman grupos de 04 y se les pide que reproduzcan toda la pieza musical Feliz Navidad que está escrita en un pentagrama, siguiendo su intuición.
El estudiante reproduce toda la pieza musical “Feliz Navidad” en la tonalidad RE imitando al profesor y leyendo el pentagrama.	Los estudiantes forman parejas y se colocan enfrentados. Improvisan una estructura melódica a partir de elementos musicales presentes en la pieza musical Feliz Navidad mediante rasgueo rítmico $\frac{3}{4}$ , por punteo o acordes.
Los estudiantes practican los cambios de acordes en el orden que aparecen en la canción elegida (Feliz Navidad) que incluye las notas aprendidas (Escala RE).	Los estudiantes forman parejas y se pide que reproduzcan la pieza musical “Feliz Navidad” en la tonalidad RE que está escrita en un pentagrama siguiendo su intuición.
Los estudiantes practican los cambios de acordes de la canción elegida Feliz Navidad.	Los estudiantes hacen una improvisación con la pieza musical elegida, mediante rasgueo rítmico, por punteo y acordes.
Los estudiantes practican los cambios de acordes, en el orden que aparecen, de la canción elegida Feliz Navidad.	Los estudiantes improvisan a modo de “diálogo”. Uno toca un pequeño fragmento de la canción elegida anteriormente en escala RE y el otro continúa con otro fragmento de la canción.
Los alumnos repasan y estudian, durante 15 minutos, la canción Feliz Navidad según lo aprendido en las clases.	Los estudiantes forman parejas y se les pide que hagan una imagen mental sobre una secuencia de compás, que la escriban, la ejecuten y la presentan a sus compañeros.
Los estudiantes graban un vídeo de aproximadamente 3 o 4 minutos, con el móvil, tocando primero con acordes y posteriormente también punteando la pieza.	Los estudiantes forman parejas. Recogen la secuencia musical trabajada en la clase anterior de otra pareja, para improvisar sobre esta secuencia y presentarla a sus compañeros.
	Los estudiantes buscan un pentagrama en internet de otro villancico de libre elección.
	Los alumnos graban el villancico buscado en vídeo, rasgueando o punteando, con una duración máxima de 3 o 4 minutos.
	Los alumnos realizan una composición personal, intentando que tenga algún sentido musical, de 9 compases de $\frac{3}{4}$ .
	***Los alumnos memorizan y escriben en pentagrama la composición personal, siguiendo el sistema aprendido en clase y posteriormente se graban.

**Tabla 8.** Secuencia de actividades validada por expertos. Nota: \*\* Tareas como “comprensión”; \*\*\* tareas como “recuerdo”

Por otro lado, al ser comparados los grupos en términos de rendimiento académico y asistencia en el curso se vio que en el grupo de indagación, el porcentaje de asistencia correlacionaba con el rendimiento ( $r=0.396$ ,  $p=0.009$ ). Cuánto más asistieron a clase, más mejoraron.

Por último, en relación a las pruebas neurocognitivas, no existieron diferencias significativas entre los dos grupos.

## **Discusión**

Este estudio tenía como objetivo evaluar una secuencia de actividades musicales basadas en el método de educación por indagación y en el método de educación tradicional comparando sus respuestas a nivel didáctico-curricular, neurocognitivo y de rendimiento académico.

Según se desprende de los resultados, podemos concluir que la secuencia metodológica didáctica y curricular, por indagación como tradicional, para la enseñanza de contenidos musicales, se ubican dentro de las expectativas planteadas según sus referentes teóricos. Es decir, las actividades encuadradas en la metodología tradicional responden a parámetros de recuerdo y comprensión; y las pensadas como estimuladoras de la indagación, también son acordes a la filosofía de esta metodología, promoviendo la aplicación, el análisis, la evaluación y la creatividad.

Otra de las conclusiones es que el uso de una u otra secuencia de enseñanza no estimula más o menos la creatividad o la memoria. Estos datos nos han sorprendido y entran en contradicción con la literatura. La improvisación es un grado dentro de la creatividad y autores como Santi (2016) entienden que es una herramienta innovadora en educación, favorece la construcción de conocimiento interactivo (Biasutti, 2017), y estimula el pensamiento crítico y de habilidades para la resolución de problemas, auxiliando la práctica reflexiva musical (Biasutti, 2013). Una de las razones que creemos que ha llevado a estos resultados, es que no se haya entrenado en esta metodología lo suficiente al docente que llevó a cabo esta metodología de indagación, pues es un modo de aprender, creativo, que requiere cambios en la forma de enseñar (Luquet, 2015), ya que al practicar este modelo, se evidencia el aumento de las habilidades del alumno con respecto a la codificación sensorial y perceptiva, el almacenamiento y recuperación de la memoria, el control motor y la supervisión del rendimiento (Biasutti, 2017).

Una tercera conclusión que sí podemos narrar es que correlaciona el rendimiento académico con la asistencia, en la metodología por indagación. Coincide con los estudios de Furtak et al. (2012), Lazonder & Harmsen (2016) y de Minner et al. (2010) sobre la mejora en los resultados. El hecho de que asistan los estudiantes está relacionado con el interés y motivación que genera esta tipología de enseñanza, pues supone retos y

producciones creativas (Bevins & Price, 2016), así como implicaciones afectivas (Borovay et al., 2019) que promueve que el estudiante se enganche a esta dinámica; como también el hecho de que se estimule la colaboración grupal como característica idiosincrática (Kaiser et al., 2018). Este resultado es coherente con nuestra investigación, puesto que dos de las características de identificación y singularidad didáctica es, por un lado, la agrupación de los estudiantes en grupos de 4 personas, frente a la individualidad de la estrategia tradicional y por otro, la presentación al gran grupo de la creación musical.

Una primera consecuencia práctica del estudio es la evidencia y el reconocimiento de que hay procesos cognitivos que se asocian, más o menos, en función de la secuencia metodológica que se practique, si tradicional o por indagación; una segunda, es la importancia de la tipología de agrupamiento en la modalidad de aprendizaje por indagación; y una tercera, es el material de enseñanza diseñado para el aula universitaria, debido a su sencillez, practicidad y dinamismo a la hora de aplicar las tareas en clase.

Podemos afirmar que el material diseñado desde la metodología de indagación es válido como recurso educativo dentro de la esfera de la educación musical formal y que podría servir para repensar e incorporar algunas de sus actividades en recursos pedagógicos musicales más amplios en el ámbito docente universitario. Se sabe que la falta de materiales y propuestas didácticas fácilmente aplicables en la práctica curricular es una constante actual (Ariza et al, 2013; Abril et al, 2014; Agencia de la calidad de la educación del Chile, 2016). Es un modelo creativo en el que el alumno está controlado pero a la vez es libre de improvisar y donde el docente fomenta en sus alumnos el aprender a racionalizar, a cuestionar y a reinventarse ante los problemas propuestos (Grigg et al., 2013; Peeters & Meijer, 2014; Romero-Ariza, 2017). Aunque es necesaria una formación adecuada y conocimiento profundo de la temática por parte del docente.

La principal limitación de este estudio es la representatividad de la muestra. Como desafíos, todavía habría que repensar de modo constructivo y crítico la cultura académica institucional y sus reticencias a introducir en las aulas universitarias esta metodología; la evaluación de estas experiencias y recursos didácticos como realidades viables en los currículos oficiales es otro reto; o el estudio de la metodología por indagación en la esfera neuro- didáctica por los posibles cambios estructurales en el cerebro de los estudiantes, articulando neurociencia y educación, como dos conceptos clave que están abocados a relacionarse (Bacaro & Sforini, 2016) y que es materia de vanguardia insuficientemente explorada.

## Referencias

- Abril, A. M., Ariza, M. R., Quesada, A., & García, F. J. (2014). Creencias del profesorado en ejercicio y en formación sobre el aprendizaje por investigación. *Revista Eureka sobre enseñanza y divulgación de las Ciencias*, 11, 22-33.
- Anderson R.D. (2002). Reforming science teaching: What research says about inquiry? *Journal of Science Teacher Education* 13(1), 1-2.
- Areepattamannil S. (2012). Effects of inquiry-based science instruction on science achievement and interest in science: Evidence from Qatar. *The Journal of Educational Research* 105(2), 134–146.
- Agencia de la calidad de la educación del Chile (2016). *Metodología de indagación en el aula*. Retrieved from <http://www.agenciaeducacion.cl/destacado/talleres-de-orientacion/>
- Ariza, M. R., Aguirre, D., Quesada, A., Abril, A. M., & García, F. J. (2013). Keep it cold!. In K. Maaß, K. Reitz-Koncebovski (Eds.), *Inquiry-based learning in maths and science classes* (pp. 67-70). Freiburg
- Bacaro, B.L., & Sforini, M.S.F. (2016). Educação e Neurociência: as contribuições da literatura científica para o ensino. *X Encontro de Pesquisa em Educação*.
- Barros, V., & Calero, M. (2018). Aula Invertida en la enseñanza de álgebra en la educación superior. *Espiraes Revista Multidisciplinaria de investigación*, 2(13).
- Bevins, S., & Price, G. (2016). Reconceptualising inquiry in science education. *International Journal of Science Education* 38(1), 17-29.
- Biasutti, M. (2013). Improvisation in dance education: teachers views. *Res. Dance Educ.* 14, 120–140.
- Biasutti M. (2017). Teaching Improvisation through Processes. Applications in Music Education and Implications for General Education. *Front. Psychol.* 8, 911.
- Bisquerra, R. (2016). *Metodología de la investigación educativa* (5ta ed.). Madrid: La Muralla.
- Borovay L., Shore B., Caccese C., Yang E., & Hua O. (2019). Flow, Achievement Level, and Inquiry-Based Learning. *Journal of Advanced Academics.*, 30 (1), 74-106.
- Bosch, A. M. (2014). *Aproximació a les competències digitals musicals i la seva didàctica als estudis de grau de mestre en educació primària: Estudi de casos múltiple en*

*la menció d'educació musical de les universitats catalanes* (doctoral dissertation) Universitat Ramon Llull, España.

Cañal, P. (2006). La alfabetización científica en la infancia. *Aula de infantil*, 33, 5-9.

Couso (2014). De la moda de “aprender indagando” a la indagación para modelizar: una reflexión crítica. In M.A. Heras, A. Lorca, B. Vázquez, A. Wamba, R. Jiménez. *Investigación y transferencia para una educación en ciencias: Un reto emocionante* (pp. 1-28). Huelva: Servicio de Publicaciones Universidad de Huelva.

Cowan, N. (2001). The magical number 4 in short-term memory: A reconsideration of mental storage capacity. *Behavioral and Brain Sciences*, 24(1), 87-114.

Dibarboure, M., & Rodríguez, D. (2013). La ciencia escolar y la pregunta investigable. In M. Dibarboure, D. Rodríguez, *Pensando en la Enseñanza de las Ciencias Naturales. La pregunta investigable*. (págs. 15 - 42). Montevideo: Camus.

Dunlap, N., & Martin, L. J. (2012). Discovery-based labs for organic chemistry: Overview and effectiveness. In *Advances in teaching organic chemistry* (pp. 1-11). American Chemical Society.

Furtak E. M., Seidel T., Iverson H., & Briggs D. C. (2012). Experimental and quasi-experimental studies of inquiry-based science teaching. A meta-analysis. *Rev. Educ. Res.* 82, 300–329.

Gil, D. (1993). Psicología Educativa y Didáctica de las Ciencias: los procesos de enseñanza/aprendizaje de las ciencias como lugar de encuentro. *Infancia y aprendizaje*, 16(62-63), 171-186.

González, T. A., Mairal, J.B., Pintor, P.M., Gómez, I.A., García-Nobleja, B.P., & Sánchez, N.S. (2012). *PIC-A. Prueba de Imaginación Creativa – Adultos*. TEA Ediciones, S. A. Madrid, España.

Grigg J., Kelly K.A., Gamoran A., & Borman, G.D. (2013) Effects of two scientific inquiry professional development interventions on teaching practice. *Educational Evaluation and Policy Analysis*, 35(1), 38 – 56.

Han, S.J., Lim, D.H., & Jung, E. (2018). A collaborative active learning model: As a vehicle for online team learning in higher education. In: *Blended Learning Pedagogies and Professional Development in Higher Education*. Hershey, IGI Global, 40-59.

Harlen W. (Ed.) (2010). *Principles and big ideas of science education*. Hatfield, UK: Association for Science Education.

Hmelo-Silver C. E., Duncan R. G., & Chinn C. A. (2007). Scaffolding and achievement in problem-based and inquiry learning: a response to kirschner, sweller, and clark (2006). *Educ. Psychol.* 42(2), 99–107.

Hijar, R.A.P. (2017). *Estrategias de aprendizaje por indagación en el rendimiento académico de matemática y comunicación de los estudiantes de tercero de primaria Callao* (doctoral dissertation). Universidad César Vallejo, Perú

Kaiser I., Mayer J., & Malai D. (2018). Self-Generation in the Context of Inquiry-Based Learning. *Front. Psychol.* 9, 2440.

Kawalkar, A., & Vijapurkar, J. (2013) Scaffolding Science Talk: The role of teachers' questions in the inquiry classroom. *International Journal of Science Education* 35(12), 2004-2027.

Kaufman, A. S., & Kaufman, N. L. (2004). *Kaufman Brief Intelligence Test*. Second Edition. Bloomington, MN: Pearson, Inc.

Kirschner P. A., Sweller J., & Clark R. E. (2006). Why minimal guidance during instruction does not work. an analysis of the failure of constructivist, discovery, problem-based, experiential, and inquiry-based teaching. *Educ. Psychol.* 41, 75–86.

Krüger, L. M., & Ensslin, S. R. (2013). Método Tradicional e Método Construtivista de Ensino no Processo de Aprendizagem: Uma Investigação com os Acadêmicos da Disciplina Contabilidade III do Curso de Ciências Contábeis da Universidade Federal de Santa Catarina. *Revista Organizações em Contexto*, 9(18), 219–270.

Lazonder, A.W., & Harmsen, R. (2016). Meta-Analysis of Inquiry-Based Learning Effects of Guidance. *Review of Educational Research*, 20(10), 1-38.

López, M.I. (2015). *Enseñanza-aprendizaje musical: una visión de los docentes de instrumento en los conservatorios profesionales* (doctorado dissertation). Universidad del País Vasco, España.

Luquet, W. (2015). Everything I Know About Teaching I Learned From Jazz. *The Journal of Effective Teaching*, 15(2), 60-68.

Martinello, M. L., & Cook, G. E. (2000). *Indagación interdisciplinaria en la enseñanza y el aprendizaje*. Gedisa.

Mayer, R.E. (2004). Should There Be a Three-Strikes Rule against Pure Discovery Learning? *American Psychologist*, 59(1), 14-19.

McConney A., Oliver M.C., Woods-McConney A., Schibeci R., & Maor D. (2014). Inquiry, Engagement, and Literacy in Science: A Retrospective, Cross-National Analysis Using PISA 2006. *Science Education* 98(6), 963-980.

Minner, D.D., Levy, A.J., & Century, J. (2010). Inquiry-Based Science Instruction—What Is It and Does It Matter? Results from a Research Synthesis Years 1984 to 2002. *Journal of Research in Science Teaching*, 47(4), 474–496.

National Research Council. (2012). *A Framework for K-12 science education: Practices crosscutting concepts, and core ideas*. National Academy Press.

OCDE, (2016). *PISA 2015 Assessment and Analytical Framework: Science, Reading, Mathematic and Financial Literacy*. Paris: OECD Publishing.

Peeters, M., & Meijer, W. (2014). Onderzoekend leren. Hoe stel je een onderzoeksvraag op? [Inquiry-based learning. How do you formulate a research question?]. *Jeugd in School en Wereld*, 9, 6–9.

Puerto, S. (2018). *Secuencia didáctica para desarrollar los procesos de razonamiento y argumentación de los estudiantes del ciclo III en el componente numérico* (Doctoral dissertation). Universidad Nacional Sede Bogotá.

Romero-Ariza, M. (2017). El aprendizaje por indagación, ¿existen suficientes evidencias sobre sus beneficios en la enseñanza de las ciencias? *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* 14 (2), 286-299.

Santi, M. (2016). Education as Jazz. A way to escape the monologue of teaching and learning. In Marina Santi, Eleonora Zorzi (eds.) *Education as Jazz. Interdisciplinary sketches on a new metaphor*. Newcastle: Cambridge Scholars Publishing.

Savery, J. R. (2006). Overview of problem-based learning: definition and distinctions, the interdisciplinary. In *Journal of Problem-based learning*.

Slater, M., Lotto, B., Arnold, M. M., & Sánchez-Vives, M. V. (2014). How we experience immersive virtual environments: the concept of presence and its measurement. *Annu.Psicol.* 40,193–210.

Stender, A., Schwichow, M., Zimmerman, C., & Härtig, H. (2018). Making inquiry-based science learning visible: the influence of CVS and cognitive skills on content knowledge learning in guided inquiry. *International Journal of Science Education*, 40(15), 1812-1831.

Tella, A. (2007). The impact of motivation on student's academic achievement and learning outcomes in mathematics among secondary school students in Nigeria. *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education*, 3(2), 149-156.

Yoon, H.-G., Joung, Y. J., & Kim, M. (2012). The challenges of science inquiry teaching for pre-service teachers in elementary classrooms: Difficulties on and under the scene. *Research in Science Education*, 42(3), 589–608.

Wilson, G. B., & MacDonald, R. A. R. (2017). The construction of meaning within free improvising groups: a qualitative psychological investigation. *Psychol. Aesthetics Creat. Arts*, 11, 136–146.

Windschitl, M. (2003). Inquiry projects in science teacher education: What can investigative experiences reveal about teacher thinking and eventual classroom practice? *Science Education*, 87(1), 112-143.

*Agradecemos a Facultad de Ciencias de la Educación de la Universidad de Granada, al Centro de Investigación Mente, Cerebro y Comportamiento (CIMCYC) (Universidad de Granada), y Centro Universitario de João Pessoa – UNIPÊ por darnos apoyo a esta investigación científica.*

---



## **Anexo 09**

# **Structural changes in the brain based on musical teaching methodologies**

Marcella Pereira Barbosa de Aquino\*, Purificación Pérez-García\*, Miguel Pérez-García\*\*,  
Juan Verdejo-Román\*\*\*

\*Facultad de Ciencias de la Educación de la Universidad de Granada, España\*\* Facultad de Psicología de la Universidad de Granada, España \*\*\* Facultad de Psicología. Universidad Complutense de Madrid., España

### **Abstract**

Our objective was to evaluate the changes in brain structures associated with the learning to play a musical instrument according to the teaching methodology employed. We compared two methodological experiences in musical education, one that used the traditional method and another that used learning by inquiry. We planned two guitar courses with different methodologies, and we applied these methodologies in 2 groups of university students that were assigned to either A - the inquiry method of education, or B - traditional education, attending for 4 months (twice per week) guitar teaching sessions with a duration of 1 hour. We compared these musical education methodologies in terms of brain structure by using magnetic resonance imaging at two time points (before and after the teaching process). The data reveal that the inquiry group tried to "create" a way of restructuring the information, whilst the traditional group fostered a more analytical effort.

Keywords: Structural changes; brain; university student; traditional teaching; inquiry-based methodology; music

### **INTRODUCTION**

The knowledge society, characterized by the availability of information as well as a paradigm shift in teaching and learning (Biasutti, 2017), is searching for a new science of learning based on the knowledge of cerebral functioning, which allows the teacher to develop their activities (Simões et al., 2015). It is known that both intense training and individual experience are related to structural and functional changes in the brain (Groussard et al., 2014).

The traditional teaching methodology takes as its starting point the assumption that all students are equal, making them passive receptive vessels of learning, with the tutor being central to the teaching process (Mezzari, 2011) and regarded as the "owner" of knowledge (Barros & Calero, 2018) who revises the information with their students (Krüger & Ensslin,

2013). This (traditional) methodology is found in the music classes of conservatories where the methods used involve increasing sequences of exercises in order to achieve mastery of the musical technique. The method is constructed from principles that are not explained or internalized by their authors or by those who adapt them to their pedagogical practice (Krüger & Ensslin, 2013).

Another growing methodology is Inquiry-Based Learning (IBL) (Romero, 2017). Its purpose is the acquisition of skills through direct knowledge, in the first person, promoting both the skill of thinking and the ability to raise questions, analyze, reflect, investigate, and solve problems (Couso, 2014). The student is the protagonist of their own learning, having greater control over this process, fostering the tendency to become active agents in research (Bevins & Price, 2016). The teacher promotes productive and creative activity, contributing to solving problem situations and favoring autonomous work that will allow students to understand learning (Takeuchi, Mori, Suzukamo, & Izumi, 2019). In terms of musical training in the context of inquiry, improvisation is a technique of musical teaching. In current methods it is accepted as an innovative tool for promoting new challenges in education (Santi, 2016), the development of creativity, the construction of interactive knowledge (Biasutti, 2017) and critical thinking and problem solving skills (Biasutti, 2013).

However, in the field of neurosciences in education, it is unclear as to whether the cerebral structures responsible for learning differ according to whether a traditional or inquiry-based instruction method is applied, which is the issue of study in this article. To the best of our knowledge, there are no studies that compare — at a brain structure level — the teaching methods described here, or their role in musical education. Comparative studies of IBL and traditional methodology appear to emphasize performance on academic or behavioral tests (Dierker et al., 2018), neurocognitive tests (Valerio et al., 2016), cognitive tests (Duman, 2010), and student questionnaire (Akhavan & Kadkhodaie, 2016). A number of investigations have measured differential academic performance (Barros & Calero, 2018; Hincapie et al., 2018) by including critical thinking in specific topics such as in Biochemistry (Hincapie et al., 2018) or Nursing (Llobet & Herrero, 2014); evaluating the design and implementation of a subject program that implements problem-based learning (PBL) (Delgado & De Justo, 2018); or by comparing traditional methodologies and PBL in the promotion of critical thinking, problem solving, and self-directed learning) (Choi, et al., 2014).

Considering the relevance of the neurosciences in educational practice, the findings suggest the need to provide more in-depth knowledge of this developing relationship, which is the purpose of the present study. There is clearly an existing vacuum of scientific work that explores the link between neuroscience and education (Bacaro & Sforini, 2016), particularly for teaching methodologies. The use of a neuroscience approach to compare teaching methodologies at the cerebral structural level is a matter of critical importance that has so far been insufficiently explored. Therefore, the objective of the present study is to evaluate the change in brain structures associated with the learning to play a musical instrument according to the specific teaching methodology used. Our hypothesis is that the two methods described previously (traditional and inquiry) will produce different changes in the brain. In particular, it is expected that the inquiry-based methodology will be linked to

changes in brain regions involved in creativity while the traditional methodology will produce changes in the regions involved in memory. The results may be useful for educational practice in Elementary Level, High School Level and University Level.

## **METHOD**

### **Sample**

To ensure a statistical power of at least 0.8, the sample size was calculated using G \* Power 3.1.9.2, following the proposal of Zandbelt et al. (2008) for statistical power in resonance studies. In a recent study on brain differences between musicians and non-musicians, using a similar type of analysis, Zamorano et al. (2017) found a Cohen's  $d$  greater than 2. Because our study is not the same as the latter, we decided to be conservative and hypothesized a Cohen's  $d > 1$ . Thus, taking into account this consideration, we calculated the necessary sample size, deciding a priori to be conservative and accept a Cohen's  $d$  greater than 1. Therefore, to obtain a statistical power of 0.8, with an alpha level = 0.05, the minimum sample required was 18 participants per group. A further 10% was recruited in case of possible dropout.

The participants of the present study were 42 university students without previous musical experience. All of the students followed a guitar learning course but they were randomly divided into two groups: 22 were assigned to the group in which a traditional teaching methodology was used (traditional group) and 20 to a group that received inquiry-based instruction (inquiry group).

The criterion for inclusion was to not have undergone any type of musical training experience beyond the compulsory courses included in the school curriculum. The exclusion criteria were the presence of any type of acoustic or serious medical problem, having suffered head injuries with loss of consciousness for more than 30 minutes, or the consumption of drugs, gathered through a personal interview. Participants were excluded if they had suffered brain damage or psychopathological dysfunctions, as measured by the Symptom Checklist-90-R (Derogatis, 1975), whilst any conditions that are incompatible with the magnetic resonance session (e.g., pregnancy, tattoos, claustrophobia, or the presence of ferromagnetic implants) were also considered exclusion criteria. All the participants had normal hearing capacity (measured through an individual audiometry test administered by specialists) and normal or corrected vision.

The recruitment of participants was random following an announcement to first-year students of the Faculty of Education Sciences at the University of Granada. This study was approved by the Ethics Committee for human research of this University and all procedures were carried out in accordance with the Declaration of Helsinki. All participants were duly informed of the investigation and gave their signed informed consent for their voluntary participation.

Of the 42 original participants, one did not attend the second resonance session (No Musician NM13) and two others (NM05, NM10) were discarded due to the low quality of the acquired brain images. Therefore, we finally analyzed the data of 21 university students

in the traditional group, with an average age of 20.95 years (SD = 6.31), 17 of which were women (80.95%) and 4 men (19.05%) and 18 university students in the inquiry group, with a mean age of 19.22 years (SD = 2.29), 16 of which were women (88.89%) and 2 men (11.11%). The groups did not differ in terms of gender ( $p = 0.493$ ), age ( $p = 0.253$ ), or level of education ( $p = 0.486$ ).

## **Experimental design**

To study the brain structure and the extent to which there may be differences according to the applied teaching methods, we compared two methodological experiences in musical education, one that used the traditional method and another that used learning by inquiry. For this, we: 1) Planned and validated two guitar courses with different methodologies, taking as a theoretical reference Bloom's taxonomy and expert validation; 2) Applied these methodologies in 2 groups of university adults that were assigned to either A - the inquiry method of education, or B - traditional education, attending for 4 months (twice per week) guitar teaching sessions with a duration of 1 hour; and 3) Compared these musical education methodologies in terms of brain structure by using magnetic resonance imaging at two time points (before and after the teaching process).

To rule out that the possibility that the effects were produced by the teacher, a single teacher taught the classes of the two groups following the guidelines of each method. Both the assignment of Method A or B to each group and the distribution of students to the groups was random, following the order of enrollment in each group during the process of admission to the university. Finally, to reduce the transfer of information between the groups, the classes were taught at the end of the morning, just after they finished their usual course classes, so that one group were taught between 12:30 and 13:30 and the other between 13:30 and 14:30 p.m. In addition, the classes were given on Thursday and Friday, because these were the only days in which they had this free time slot. On the remaining days, the students were occupied for the whole morning with classes on the subjects of the degree that they were studying.

### *Methodological planning of the courses*

Before implementing the courses with different teaching methodologies, it was necessary to present the planning of the courses to expert professors in the area, with the aim of confirming that the two courses did in fact differ in terms of the methodological criteria. These criteria were the type of group, the material applied, the teaching style, and the time dedicated by the teacher to daily activities during the sessions.

For the traditional method, the teacher provided the entire group of students with printed material and exclusively dedicated 50 minutes to explaining its content and answering any possible questions, their teaching style was deductive and expository, and the grouping of students was non-existent, since they worked individually. Thus, in a group class, each student studied separately under the supervision of the teacher. These criteria corresponded to the logic of a master class or traditional methodology.

For the inquiry method, no explanation about the printed material was given to the students, and the teacher did not explain the theory. Instead, the teacher adopted the role of moderator, dedicating a minimum amount of time (5 minutes) to address the general class, clarifying the contents that the students would use to work in groups during that session. Generally, teams of between 3 or 4 members were formed. The group had to solve the questions presented briefly by the teacher, which compelled the students to follow an inductive strategy and to be creative with the help of their classmates. The methodology was inductive, inquiry-based, and required group participation (Krüger & Ensslin, 2013).

To ensure the consistency of the implementation of the research protocol, the following measures were taken: 1) to ensure that the teacher followed the application guidelines of the two methods, he participated in the design of the sessions of each of the methodologies, so that he knew how to reliably apply both methods; 2) Five minutes before starting each session, we reviewed the script of how to develop the session. This included guidelines on the theoretical content, the activities, the time of intervention, the time given to the students, the material that was provided, and the arrangement of the classroom; 3) during the course of the professor's class, there was always an investigator to verify that the session was conducted in accordance with the research protocol; and 4) we kept a record of attendance of the students who received the classes.

The curriculum developed was the same in both methodologies: introduction to the guitar (anatomy, strings, and tuning), "fingering", scales of notes, rhythm, strumming, chords, timing, staff, and interpretation of popular songs. Finally, to rule out the influence of other subjects or teachers of the degree, both groups received the same hours of subjects and were taught by the same teachers during the semester.

#### *Acquisition and processing of imaging data*

All the participants underwent two magnetic resonance imaging sessions, one before the beginning of the course, and the other at the end of the guitar course. Magnetic resonance images were acquired on a 3T Tesla Magnetom Tim Trio scanner (Siemens Medical Solutions, Erlangen, Germany) equipped with a 32-channel receive-only head coil. A sagittal high-resolution three-dimensional T1-weighted image was obtained in both sessions. The acquisition parameters were as follows: Repetition time (TR), 2300ms; Ech time (TE), 3.1ms; flip angle, 9°; Field of view (FOV), 256 x 256 mm; number of slices, 208; voxel size, 0.8 x 0.8 x 0.8 mm.

Data were processed using with the FreeSurfer software version 6.0 (<http://surfer.nmr.mgh.harvard.edu>) on the Alhambra cluster of the University of Granada, Spain. Images were processed following the standard pipeline "recon-all" that has been previously validated to segment and measure brain substructure volumes, cortical thickness, and surface area (Dale et al., 1999; Fischl et al., 1999; Fischl & Dale, 2000). Before preprocessing, all images were visually inspected for acquisition artifacts.

The processing steps included (i) skull-stripping, (ii) automated Talairach registration, (iii) gray/white matter segmentation, (iv) construction of a model gray-white matter boundary, and (v) cerebral cortex parcellation into ROIs based on gyral and sulcal structures from the Destrieux atlas (Destrieux et al. 2010). FreeSurfer outputs were also visually inspected to check for correct segmentation and parcellation.

### *Measures of performance during the course*

The teacher evaluated all the students at the end of each of the 20 classes comprising the courses, using a scale between 1 and 5. The evaluation of learning during the courses was based on the percentage of attendance of each student, as well as the difference between their performance in the first 5 classes and their performance in the last 5. This allowed for assessing the improvement of each student whilst avoiding the possible bias associated with using measurements from a single session.

### **Statistical analyses**

Behavioral data were analyzed with the Statistical Package for the Social Sciences version 20 (SPSS; Chicago, IL). We conducted independent sample t-tests (two-tailed) to compare the groups in terms of demographic and IQ variables before the course and also to compare attendance and musical performance during the course.

About Neuroimaging analyses, 2x2 repeated measures ANOVAS were conducted for each of the different brain measurements with time of imaging as the within-subject variable (Pre, Post) and group as the between-subject variable (Traditional, Inquiry). The cerebral measurements used were the volumes, surface areas, and cortical thicknesses based on the Destrieux atlas. In addition, correlational analyzes were carried out between the regions for which the previous analysis revealed significant results and the improvement in performance during the course. These analyzes were conducted in SPSS v.20.

## **RESULTS**

### **Behavioral results**

No significant differences were found between the groups in terms of their pre-course IQ levels ( $p = 0.102$ ), their percentage of attendance to the course ( $p = 0.722$ ), or the improvement of musical performance ( $p = 0.357$ ).

### **Neuroimaging results**

Significant interactions were found regarding volume of the inferior frontal gyrus(both orbital and triangular regions), and the right posterior cingulate cortex. With respect to surface area, significant interactions were found in the left anterior insula, in the right posterior cingulate and in the left lateral superior temporal gyrus. Finally, changes in the thickness of the cortex were found in both the insula and the right lateral superior temporal gyrus (see Table 1).

**Table 1**

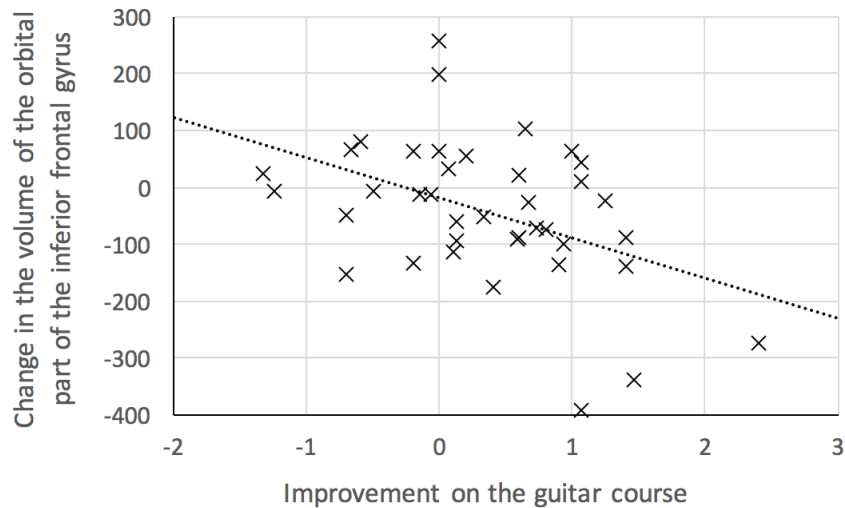
Brain regions where significant interactions were found between the learning group and the time at which the imaging took place.

Brain regions	Measure	Inquiry		Traditional		p-value	
		PRE	POST	PRE	POST		
<b>Inferior Frontal Gyrus (IFG)</b>	IFG Orbital (BA47) right	Volume	1213.33 (276.89)	1125.05 (262.89)	1180.67 (262.44)	1178.71 (212.68)	0.032
	IFG Triangular (BA45) left	Volume	2855.67 (633.26)	2903.94 (691.05)	2982.33 (544.54)	2921.38 (529.55)	0.012
<b>Insula</b>	Left insula	Cortical thickness	3.040 (0.148)	3.086 (0.129)	3.095 (0.097)	3.034 (0.151)	0.011
	Right insula	Cortical thickness	3.070 (0.172)	3.158 (0.121)	3.141 (0.126)	3.100 (0.162)	0.003
	Left anterior insula	Surface area	497.94 (81.51)	472.56 (70.39)	501.81 (61.69)	514.29 (59.58)	0.007
<b>Posterior Cingulate Cortex (PCC)</b>	PCC right	Volume	1639.28 (260.39)	1574.72 (230.06)	1549.38 (241.92)	1575.05 (237.56)	0.007
	PCC right	Surface area	388.22 (60.63)	368.78 (53.86)	370.67 (70.05)	373.57 (60.34)	0.013
<b>Superior Temporal Gyrus (STG)</b>	Lateral STG left	Surface area	1283.56 (133.30)	1248.89 (131.65)	1240.10 (110.88)	1262.10 (113.14)	0.002
	Lateral STG right	Cortical thickness	3.209 (0.151)	3.230 (0.135)	3.296 (0.182)	3.250 (0.159)	0.016

The numerical values represent the mean (standard deviation). BA: Brodmann area. The p-value represents the level of significance of the interaction analysis.

None of the regions that showed a significant interaction showed differences between groups on the first resonance session (all  $p > 0.05$ ), thus indicating that there were no differences between groups prior to the experiment.

When analyzing correlations with improvement in performance it is found that for the right orbital part of the inferior frontal gyrus, the more the volume decreases, the greater the improvement (more learning acquired) on the guitar course ( $r = -0.440$ ,  $p = 0.005$ ) (See Figure 1).



**Fig. 1.** Relation between change in the volume of the orbital part of the inferior frontal gyrus and the improvement on the guitar course.

## DISCUSSION

The results indicate that the two methodologies produce different changes in the brain.

### **A structural change was detected in the triangular part of the IFG**

There was a reduction in the left region in the traditional group when compared with the inquiry group. Due to the lack of longitudinal studies concerning the dynamics of the dual phenomenon of both a reduction and increase of brain structure, we are unable to draw any firm conclusions. We are only able to provide a description of the phenomena, since there is no agreement in the literature with regard to what happens during learning, with some authors suggesting that learning increases brain volume whilst others report that it is reduced (Zatorre, et al., 2012).

In our inquiry group, the volume of the right orbital part of the IFG (BA47) was reduced, while in the traditional group this volume remained unchanged. Our study has shown that the more the students learn the more this region is reduced. This could be due to the particular methodological conditions used in this study, that is, group learning and problem solving, in addition to having greater efficiency in certain cognitive functions, such as attention, motor and image inhibition, and expression of language (Matchin & Hickok, 2016). In addition, these students might have developed more efficiency in hierarchical structural processing in music (Cheung et al., 2018), in the syntactic reordering of language (Uddén et al., 2017), as well as in musical semantic processing, coding, and phonological representations (Richlan, 2012). The inquiry group used creativity as an educational tool, manifested by the increasing volume of the left inferior frontal region, which is larger in more verbally creative people (Klimenko, 2017), as well as the ability to compose ideas (Hartwigsen et al., 2019; Matchin & Hickok, 2016). In summary, what is perceived is an attempt to "create", by the students, a way to restructure and/or inhibit the information by



themselves, aided by emotional and/or motivational support in learning, assuming a dynamic process for evaluating and composing ideas and achieving, as a final product, the originality that is so characteristic of this inquiry-based learning group.

### **Inspection of the insula**

In the traditional learning group, we found a reduction in cortical thickness and an increase in the surface area in the left anterior region, whilst in the inquiry group we observed a bilateral increase of the cortical thickness of the insula and a reduction of the surface area of the left anterior insula. With the inquiry method, when using multisensory information, which triggers affective and executive order processes (Uddin et al., 2014), these play a critical role in the musical learning process, and thus we observed an increase of cortical thickness of the bilateral insula whilst the traditional group showed a reduction in thickness of this structure. In addition, the inquiry group could also show greater development of the motor sensory information system (Kleber et al., 2013), greater body control, and greater integration of multisensory information (He et al., 2018) in the context of musical training (Zamorano et al., 2017) and auditory skills in comparison with the traditional group. However, on the surface of the left anterior insula, a difference was detected for both groups (a reduction in surface area for the inquiry group and an increase for the traditional group). This raises the question of whether this region is more efficient and specialized as a result of the methodology implemented in the inquiry group, since this region participates in the relevant brain network, favoring a shift from the conventional to a more creative way of thinking. This would be less efficient for the traditional group, with a "possible" difficulty in making this transfer.

The insula plays an essential role in emotional processing, and is involved in creative thinking, facilitating the notation for the Executive network and the Default Mode Network (DMN) of elements in response to emotionally relevant information in the environment and associations in the mind (Cauda et al., 2011). The anterior insula —because it is central in the relevant network —becomes important when we switch from a conventional way of thinking to a new route (Heinonen et al., 2016).

### **The cingulate cortex under observation**

Particularly the right posterior region, which was reduced in both volume and surface area in the inquiry group, whilst remaining unchanged in the traditional group. In this study, we questioned whether, due to the reduction in volume and surface area in the right posterior cingulate cortex, there was greater functionality and specialization in this region in the inquiry group compared with the traditional group. The conditions in which the musical training took place followed an inductive strategy in a group environment and this provides the continuous generation of internal thoughts and images, which are components of creative innovation, and are also associated with emotive issues of representation and familiarization, favoring greater motivation and, as a consequence, greater performance in learning. In addition, the inquiry methodology promotes sufficient incentives for students to

develop their creativity by generating ideas or actions that allow them to resolve the problem.

The posterior cingulate cortex, whilst there is still no consensus regarding its cognitive role (Leech & Sharp, 2014), this structure appears to be correlated with the generation of internal thoughts and images, which are components of creative innovation (Klimenko, 2017). This structure participates in the formation and regulation of emotions along with the processing of data related to behavior, learning, and memory (Jung et al., 2010). The direct relationship between the posterior cingulate cortex and the generation of a divergent thought or action tends to be linked to more creative subjects (Barack et al., 2017).

### **Changes detected in the temporal gyrus**

The surface area of this structure was reduced in the inquiry group, specifically in the left lateral superior region, whilst for the traditional group, a decrease in cortical thickness was observed in the right lateral superior region. Even though the two methodologies provided the students with the opportunity to develop the auditory-motor processing of language and music, there are differences at the cerebral hemispheric level, where shrinkage of the lateral superior temporal surface area is detected in the inquiry group and an increase in the surface area was found in the traditional group. This region promotes greater development in the student's processing of the understanding and association of language information, as well as musical semantic memory, referring to the memory of meanings, understandings and other conceptual knowledge, all of which are unrelated to real experiences. In addition, this region is the one most used to process musical tasks in both musical training and performance of expert musicians.

However, given the detection of shrinkage of the right lateral temporal surface area in the traditional group and the fact that this region remained unchanged in the inquiry group, it might be reasonable to suppose that this region is not efficient and specialized following a learning method that is characterized by theoretical and memory-based academicism, although it could possibly facilitate rhythmic processing (Williamon, Aufegger, & Eiholzer, 2014) and musical tone as well as the analysis of auditory stimuli. From didactic experience we know that it is easier to remember something to which we have given meaning than something that we have learned by mere repetition of words.

### **CONCLUSIONS**

In conclusion, our study has shown that the students in both of our learning groups achieved — regardless of their methodological experience — a modification in their cerebral structure. In the inquiry group, we found a reduction in volume of the right orbital part of the IFG, a reduced volume and surface area of the right posterior cingulate cortex and in the surface area of the left lateral superior temporal gyrus. Additionally, we detected a bilateral increase in cortical thickness of the insula along with a reduction of the surface area of the left anterior insula. In the case of the traditional group, we found a reduced volume of the left triangular part of the IFG and a reduction of cortical thickness of the right lateral superior temporal gyrus. The insula showed a bilateral reduction in thickness,

as well as an increase in the surface area of the left anterior region. We can conclude that the inquiry group attempted to "create" a way to restructure and/or inhibit the information and generate internal thoughts and images, whilst the methods used in the traditional group fostered a more analytical, hierarchical, and memory-based mental effort.

### **Limitations**

The study groups are sufficient but limited in number. The results were not adjusted for the number of comparisons, but this is due to the preliminary nature of this work. Future investigations should aim to provide a more in-depth study of this issue. In particular, it would be worthwhile to observe cerebral changes at the functional level when comparing the proposed methodologies; replicate these findings in larger samples in other curricular subjects.

### **Acknowledgments**

This work was supported by the University of Granada, Spain (grant 3000 €); and the João Pessoa University Center, Brazil (grant 27000€). All participants provided written informed consent, and the protocol was approved by the ethics committee of the University of Granada.

### **REFERENCES**

- Akhavan, M., & Kadkhodaie, M. S. (2016). The Effects of Brain-Based Training on Learning and Retention of Life Skills in Adolescents. *International Journal of Behavioral Sciences*, *10*(3), 140–144.
- Bacaro, B. L., & Sforni, M. S. F. (2016). Educação e neurociência: As contribuições da literatura científica para o ensino. *Anais da Semana de Pedagogia da UEM*, *4*(1).
- Barack, D. L., Chang, S. W. C., & Platt, M. L. (2017). Posterior Cingulate Neurons Dynamically Signal Decisions to Disengage during Foraging. *Neuron*, *96*(2), 339–347.
- Barros, V., & Calero, M. (2018). Aula Invertida en la enseñanza de álgebra en la educación superior. *Espirales Revista Multidisciplinaria de investigación*, *2*(13).
- Bevins, S., & Price, G. (2016). Reconceptualising inquiry in science education. *International Journal of Science Education*, *38*(1), 17–29.
- Biasutti, M. (2013). Improvisation in dance education: Teacher views. *Research in Dance Education*, *14*(2), 120–140. <https://doi.org/10.1080/14647893.2012.761193>
- Biasutti, M. (2017). Teaching Improvisation through Processes. Applications in Music Education and Implications for General Education. *Frontiers in Psychology*, *8*, 911.
- Cauda, F., D'Agata, F., Sacco, K., Duca, S., Geminiani, G., & Vercelli, A. (2011). Functional connectivity of the insula in the resting brain. *NeuroImage*, *55*(1), 8–23.

- Cheung, V. K. M., Meyer, L., Friederici, A. D., & Koelsch, S. (2018). The right inferior frontal gyrus processes nested non-local dependencies in music. *Scientific Reports*, *8*(1), 3822.
- Choi, E., Lindquist, R., & Song, Y. (2014). Effects of problem-based learning vs. Traditional lecture on Korean nursing students' critical thinking, problem-solving, and self-directed learning. *Nurse Education Today*, *34*(1), 52–56.
- Couso, D. (2014). De la moda de “aprender indagando” a la indagación para modelizar: Una reflexión crítica. In *Investigación y transferencia para una educación en ciencias: Un reto emocionante* (pp. 1–28).
- Dale, A. M., Fischl, B., & Sereno, M. I. (1999). Cortical Surface-Based Analysis: I. Segmentation and Surface Reconstruction. *NeuroImage*, *9*(2), 179–194.
- Delgado, A., & De Justo, E. (2018). Evaluación del diseño, proceso y resultados de una asignatura técnica con aprendizaje basado en problemas. *Educación XXI*, *21*(2).
- Derogatis, L. R. (1975). *SCL-90-R*. Baltimore: MD: Clinical Psychometric Research.
- Destrieux, C., Fischl, B., Dale, A., & Halgren, E. (2010). Automatic parcellation of human cortical gyri and sulci using standard anatomical nomenclature. *NeuroImage*, *53*(1), 1–15.
- Dierker, L., Flaming, K., Cooper, J. L., Singer-Freeman, K., Germano, K., & Rose, J. (2018). Evaluating Impact: A Comparison of Learning Experiences and Outcomes of Students Completing A Traditional Versus Multidisciplinary, Project-Based Introductory Statistics Course. *International Journal of Education, Training and Learning*, *2*(1), 16–28.
- Duman, B. (2010). The Effects of Brain-Based Learning on the Academic Achievement of Students with Different Learning Styles. *Educational Sciences: Theory and Practice*, *10*(4), 2077–2103.
- Fischl, B., & Dale, A. M. (2000). Measuring the thickness of the human cerebral cortex from magnetic resonance images. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *97*(20), 11050–11055.
- Fischl, B., Sereno, M. I., & Dale, A. M. (1999). Cortical Surface-Based Analysis: II: Inflation, Flattening, and a Surface-Based Coordinate System. *NeuroImage*, *9*(2), 195–207.
- Groussard, M., Viader, F., Landeau, B., Desgranges, B., Eustache, F., & Platel, H. (2014). The effects of musical practice on structural plasticity: The dynamics of grey matter changes. *Brain and Cognition*, *90*, 174–180.
- Hartwigsen, G., Neef, N. E., Camilleri, J. A., Margulies, D. S., & Eickhoff, S. B. (2019). Functional Segregation of the Right Inferior Frontal Gyrus: Evidence From Coactivation-Based Parcellation. *Cerebral Cortex*, *29*(4), 1532–1546.

- He, H., Yang, M., Duan, M., Chen, X., Lai, Y., Xia, Y., ... Yao, D. (2018). Music Intervention Leads to Increased Insular Connectivity and Improved Clinical Symptoms in Schizophrenia. *Frontiers in Neuroscience*, *11*.
- Heinonen, J., Numminen, J., Hlushchuk, Y., Antell, H., Taatila, V., & Suomala, J. (2016). Default Mode and Executive Networks Areas: Association with the Serial Order in Divergent Thinking. *PLOS ONE*, *11*(9), e0162234.
- Hincapie, D. A., Ramos, A., & Chirino, V. (2018). Aprendizaje Basado en Problemas como estrategia de Aprendizaje Activo y su incidencia en el rendimiento académico y Pensamiento Crítico de estudiantes de Medicina. *Revista Complutense de Educación*, *29*(3), 665–681.
- Jung, R. E., Segall, J. M., Bockholt, H. J., Flores, R. A., Smith, S. M., Chavez, R. S., & Haier, R. J. (2010). Neuroanatomy of creativity. *Human Brain Mapping*, *31*(3), 398–409.
- Kleber, B., Zeitouni, A. G., Friberg, A., & Zatorre, R. J. (2013). Experience-Dependent Modulation of Feedback Integration during Singing: Role of the Right Anterior Insula. *Journal of Neuroscience*, *33*(14), 6070–6080.
- Klimenko, O. (2017). Bases neuroanatómicas de la creatividad. *Katharsis: Revista de Ciencias Sociales*, (24), 207–238.
- Krüger, L. M., & Ensslin, S. R. (2013). Método Tradicional e Método Construtivista de Ensino no Processo de Aprendizagem: Uma Investigação com os Acadêmicos da Disciplina Contabilidade III do Curso de Ciências Contábeis da Universidade Federal de Santa Catarina. *Revista Organizações em Contexto*, *9*(18), 219–270.
- Leech, R., & Sharp, D. J. (2014). The role of the posterior cingulate cortex in cognition and disease. *Brain*, *137*(1), 12–32. <https://doi.org/10.1093/brain/awt162>
- Llobet, J. R., & Herrero, P. P. (2014). Teaching Methodologies for the Development of “Problem Solving” Competence Among Nursing Students. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, *139*, 358-365.
- Matchin, W., & Hickok, G. (2016). ‘Syntactic Perturbation’ During Production Activates the Right IFG, but not Broca’s Area or the ATL. *Frontiers in Psychology*, *7*, 241.
- Mezzari, A. (2011). O uso da Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP) como reforço ao ensino presencial utilizando o ambiente de aprendizagem Moodle. *Revista Brasileira de Educação Médica*, *35*(1), 114–121.
- Richlan, F. (2012). Developmental dyslexia: Dysfunction of a left hemisphere reading network. *Frontiers in Human Neuroscience*, *6*, 120.
- Romero, M. (2017). El aprendizaje por indagación: ¿existen suficientes evidencias sobre sus beneficios en la enseñanza de las ciencias? *Revista Eureka sobre enseñanza y divulgación de las ciencias*, *14*(2), 286–299.

- Santi, M. (2016). Education as jazz: A framework to escape the monologue of teaching and learning. En *Education as Jazz: Interdisciplinary Sketches on a New Metaphor* (pp. 3–27). Newcastle: Cambridge Scholars Publishing.
- Simões, E. M. S., Nogaró, A., & Ecco, I. (2015). Saberes Da neurociência cognitiva na formação de educadores. *Proceedings of the XII Congresso Nacional de Educação-Educere*. Curitiba, Brazil.
- Takeuchi, N., Mori, T., Suzukamo, Y., & Izumi, S.I. (2019). Activity of Prefrontal Cortex in Teachers and Students during Teaching of an Insight Problem: PFC Activity in Teaching-Learning Task. *Mind, Brain, and Education*, 1-9.
- Uddén, J., Ingvar, M., Hagoort, P., & Petersson, K. M. (2017). Broca's region: A causal role in implicit processing of grammars with crossed non-adjacent dependencies. *Cognition*, 164, 188–198.
- Uddin, L. Q., Kinnison, J., Pessoa, L., & Anderson, M. L. (2014). Beyond the Tripartite Cognition–Emotion–Interoception Model of the Human Insular Cortex. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 26(1), 16–27.
- Valerio, G., Jaramillo, J., Caraza, R., & Rodríguez, R. (2016). Principles of Neuroscience applied to University Education. *Formación universitaria*, 9(4), 75–82.
- Williamon, A., Aufegger, L., & Eiholzer, H. (2014). Simulating and stimulating performance: Introducing distributed simulation to enhance musical learning and performance. *Frontiers in Psychology*, 5.
- Zamorano, A. M., Cifre, I., Montoya, P., Riquelme, I., & Kleber, B. (2017). Insula-based networks in professional musicians: Evidence for increased functional connectivity during resting state fMRI. *Human Brain Mapping*, 38(10), 4834–4849.
- Zandbelt, B. B., Gladwin, T. E., Raemaekers, M., Van Buuren, M., Neggers, S. F., Kahn, R. S., ... Vink, M. (2008). Within-subject variation in BOLD-fMRI signal changes across repeated measurements: Quantification and implications for sample size. *NeuroImage*, 42, 196-206.
- Zatorre, R. J., Fields, R. D., & Johansen-Berg, H. (2012). Plasticity in gray and white: Neuroimaging changes in brain structure during learning. *Nature Neuroscience*, 15(4), 528–536

# TALLER DE INICIACIÓN MUSICAL. CUADERNO DE TRABAJO

## Grupo tradicional



# TALLER DE INICIACIÓN MUSICAL EN GUITARRA

## (GRUPO TRADICIONAL)

**Objetivo:** Conocer aspectos técnicos que el instrumento proporciona.

### **Competencias que desarrolla la asignatura:**

- Aprender aspectos técnicos básicos del instrumento (guitarra) así como lectura formal de compás, ritmo, elementos musicales en pentagrama, acordes mayores, rasgueo, reconocer grave y agudo, tonalidad Re, afinación.
- Adquirir destreza en el manejo de las estructuras armónicas y melódicas esenciales.
- Asimilar y usar en la práctica pequeñas estructuras formales.

### **Estrategias de evaluación:**

- La observación directa y evaluación por parte del profesor.
- Realización de un diario de las actividades de aula.

**Taxonomía digital de Bloom para ser observada en las clases:** Recordar, Comprender, Aplicar.



## SEMANA 01

Día 01	
<b>Contenido</b>	Evaluación de conocimiento musical básico.
<b>Actividades propuestas</b>	<b>Aplicar:</b> Aplicar un test de conocimiento musical básico de guitarra.
<b>Evaluación</b>	La observación directa y su evaluación por parte del profesor. Realización de registro diario.

Día 02	
<b>Contenido</b>	Iniciación y conocimiento del propio instrumento (partes y funciones). Uso correcto y cuidado. Afinación. <b>Dimensiones observadas y las actividades propuestas</b>
<b>Comprender:</b>	Enseñar mediante exposición teórica las partes del instrumento, su uso correcto, cuidado y afinación.
<b>Comprensión:</b>	Pedir al alumno que identifique las partes de su instrumento e intente afinar de acuerdo con el contenido presentado.
<b>Aprendizaje esperado</b>	
	Comprender el instrumento en términos de partes y funciones, uso correcto y afinación. Generar en los alumnos el interés y entusiasmo por el instrumento.
<b>Evaluación</b>	
	La observación directa y su evaluación por parte del profesor. Realización de registro diario.

## SEMANA 02

Día 03	
<b>Contenido</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Notas musicales por cuerdas.</li> <li>- Conociendo notas básicas en guitarra.</li> <li>- Práctica de pequeñas melodías.</li> </ul>
<b>Dimensiones observadas y las actividades propuestas</b>	<p><b>Recuerdo:</b> El profesor va a tocar un pequeño fragmento de una canción y los alumnos intentan imitarlo.</p> <p><b>Aplicar:</b> El alumno va a practicar el rasgueo aprendido y ritmo distintos por medio de repetición.</p> <p><b>Comprender:</b> Enseñar mediante exposición teórica los acordes mayores (Do mayor, Mi mayor, Sol mayor...), pentagrama y pedir para practicar por repetición.</p>
<b>Aprendizaje esperado</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Conocer las notas musicales por cuerdas.</li> <li>- Relación grave y agudo.</li> <li>- Practicar trozos musicales.</li> </ul>
<b>Evaluación</b>	<p>La observación directa y su evaluación por parte del profesor.</p> <p>Realización de registro diario.</p>

Día 04	
<b>Contenido</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Rasgueo (Pulgar-Dedos y sus combinaciones).</li> <li>- Acordes mayores (Do mayor, Mi mayor, Sol mayor...).</li> <li>- Valores musicales en la práctica del instrumento: ritmo.</li> </ul>
<b>Dimensiones observadas y las actividades propuestas</b>	<p><b>Recordar:</b> Recuperar el conocimiento aprendido en la aula anterior.</p> <p><b>Aplicar:</b> El profesor tocará un pequeño fragmento de una canción y los alumnos intentan imitarlo.</p>
<b>Aprendizaje esperado</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Conocer los acordes mayores.</li> <li>- Conocer el ritmo y el rasgueo.</li> </ul>
<b>Evaluación</b>	<p>La observación directa y su evaluación por parte del profesor.</p> <p>Realización de registro diario.</p>

## SEMANA 03

Día 05	
<b>Contenido</b>	Valores musicales en la práctica del instrumento: compás, pentagrama.
<b>Dimensiones observadas y las actividades propuestas</b>	<p><b>Recordar:</b> Recuperar el conocimiento aprendido.</p> <p><b>Comprender:</b> El profesor va a enseñar por medio expositivo cómo hacer una lectura formal de compaso y ritmo.</p> <p><b>Comprender:</b> Ejercicios para el estudio de la lectura, dictado musical.</p>
<b>Aprendizaje esperado</b>	- Comprender el compás y pentagrama.
<b>Evaluación</b>	La observación directa y su evaluación por parte del profesor. Realización de registro diario.

Día 06	
<b>Contenido</b>	Valores musicales en la práctica del instrumento: compás, ritmo, tabla tura. Introducción del acompañamiento armónico con los acordes.
<b>Dimensiones observadas y las actividades propuestas</b>	<p><b>Recordar:</b> Recuperar el conocimiento aprendido.</p> <p><b>Aplicación:</b> Enseñar lo que es armonía, acompañamiento armónico en guitarra, cambio de tres acordes aprendidos. En seguida hacer un dictado musical.</p>
<b>Aprendizaje esperado</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Revisar los conceptos de compás, ritmo y pentagrama.</li> <li>- Conocer la armonía.</li> </ul>
<b>Evaluación</b>	La observación directa y su evaluación por parte del profesor. Realización de registro diario.

## SEMANA 04

Día 07	
<b>Contenido</b>	Acompañamiento armónico con los acordes.
<b>Dimensiones observadas y las actividades propuestas</b>	<p><b>Recordar:</b> Recuperar el conocimiento aprendido.</p> <p><b>Aplicar:</b> El profesor enseña tres trozos musicales y al dividir el gran grupo en tres, pedir para ejecutar cada trozo como un coro. Al final todos hacen a la vez.</p>
<b>Aprendizaje esperado</b>	- Conocer la armonía.
<b>Evaluación</b>	La observación directa y su evaluación por parte del profesor. Realización de registro diario.

Día 08	
<b>Contenido</b>	Revisión general.
<b>Dimensiones observadas y las actividades propuestas</b>	<p><b>Recordar:</b> Recuperar el conocimiento aprendido.</p> <p><b>Aplicar:</b> Charla para dudas en cuanto al contenido expuesto hasta el momento. En seguida el alumno de modo individual va a ejecutar un trozo sencillo musical lo que está escrito en una hoja como también pasará al pentagrama lo que escucha.</p>
<b>Aprendizaje esperado</b>	- Profundizar en los conocimientos adquiridos. (ritmo, armonía, compás, pentagrama, acordes mayores, rasgueo, reconocer grave y agudo, conocer el instrumento (guitarra) y afinación).
<b>Evaluación</b>	La observación directa y su evaluación por parte del profesor. Realización de registro diario.

## SEMANA 05

Día 09	
<b>Contenido</b>	Lectura y escritura de notas (acordes) en el pentagrama.
<b>Dimensiones observadas y las actividades propuestas</b>	<b>Recordar:</b> El estudiante va a reproducir un trozo sencillo musical (de la pieza musical Las Mañanitas, 2 <sup>o</sup> parte) por medio de imitación del profesor y lectura en pentagrama.
<b>Aprendizaje esperado</b>	- Entender los elementos musicales en pentagrama.
<b>Evaluación</b>	La observación directa y su evaluación por parte del profesor. Realización de registro diario.

Día 10	
<b>Contenido</b>	Lectura y escritura de notas (acordes) en el pentagrama.
<b>Dimensiones observadas y las actividades propuestas</b>	<b>Aplicar:</b> Practicar la pieza musical Las Mañanitas, 2 <sup>o</sup> parte.
<b>Aprendizaje esperado</b>	- Entender los elementos musicales en pentagrama.
<b>Evaluación</b>	La observación directa y su evaluación por parte del profesor. Realización de registro diario.

## SEMANA 06

Día 11
<p><b>Contenido</b> Lectura y escritura de notas (acordes) en el pentagrama.</p> <p><b>Dimensiones observadas y las actividades propuestas</b>  <b>Recordar:</b> Revisar el conocimiento aprendido.  <b>Aplicar:</b> El estudiante va a reproducir un trozo sencillo musical (de la pieza musical Las Mañanitas, 3<sup>ra</sup> parte) por medio de imitación del profesor y lectura en pentagrama.</p> <p><b>Aprendizaje esperado</b> - Profundizar los elementos musicales en pentagrama.</p> <p><b>Evaluación</b> La observación directa y su evaluación por parte del profesor. Realización de registro diario.</p>

Día 12
<p><b>Contenido</b> Lectura y escritura de notas (acordes) en el pentagrama.</p> <p><b>Dimensiones observadas y las actividades propuestas</b>  <b>Aplicar:</b> Practicar la pieza musical Las Mañanitas, 3<sup>ra</sup> parte.</p> <p><b>Aprendizaje esperado</b> - Profundizar los elementos musicales en pentagrama.</p> <p><b>Evaluación</b> La observación directa y su evaluación por parte del profesor. Realización de registro diario.</p>

## SEMANA 07

Día 13	
<b>Contenido</b>	Presentación de canciones populares simples para interpretar.
<b>Dimensiones observadas y las actividades propuestas</b>	<b>Aplicar:</b> El estudiante va a reproducir toda la pieza musical Las Mañanitas por medio de imitación del profesor y lectura en pentagrama.
<b>Aprendizaje esperado</b>	- Reforzar el conocimiento adquirido por medio de canción popular.
<b>Evaluación</b>	La observación directa y su evaluación por parte del profesor. Realización de registro diario.

Día 14	
<b>Contenido</b>	Lectura de acordes.
<b>Dimensiones observadas y las actividades propuestas</b>	<b>Aplicar:</b> Introducir la lectura de los acordes de la canción Las Mañanitas.
<b>Aprendizaje esperado</b>	- Conocer los acordes y profundizar la lectura musical.
<b>Evaluación</b>	La observación directa y su evaluación por parte del profesor. Realización de registro diario.

## SEMANA 08

Día 15	
<b>Contenido</b>	Control de práctica en nuevas notas por acorde de guitarra (tonalidad RE).
<b>Dimensiones observadas y las actividades propuestas</b>	<b>Aplicar:</b> El estudiante va a reproducir toda la pieza musical de Feliz Navidad en la tonalidad Re por medio de imitación del profesor y lectura en pentagrama. El profesor va a enseñar de modo expositivo los acordes en esta tonalidad.
<b>Aprendizaje esperado</b>	- Conocer la tonalidad RE.
<b>Evaluación</b>	La observación directa y su evaluación por parte del profesor. Realización de registro diario.

Día 16	
<b>Contenido</b>	Control de práctica en nuevas notas por acorde de guitarra (Tonalidad RE).
<b>Dimensiones observadas y las actividades propuestas</b>	<b>Aplicar:</b> Practicar los cambios de acordes en el orden que aparecen en la canción elegida (Feliz Navidad) que incluye las notas aprendidas (Escala Re).
<b>Aprendizaje esperado</b>	- Reforzar el conocimiento de la tonalidad RE.
<b>Evaluación</b>	La observación directa y su evaluación por parte del profesor. Realización de registro diario.



## SEMANA 09

Día 17	
<b>Contenido</b>	Revisión general.
<b>Actividades</b>	<b>Aplicar:</b> Practicar los cambios de acordes en el orden que aparecen en la canción elegida Feliz Navidad.
<b>Aprendizaje esperado</b>	Reforzar todos los conocimientos adquiridos hasta el momento. (Los elementos musicales, ritmo, armonía, tonalidad RE, acordes, compás, pentagrama, acordes mayores, rasgueo, reconocer grave y agudo, conocer el instrumento (guitarra) y afinación).
<b>Evaluación</b>	La observación directa y su evaluación por parte del profesor. Realización de registro diario.

Día 18	
<b>Contenido</b>	Revisión general.
<b>Actividades</b>	<b>Aplicar:</b> Practicar los cambios de acordes en el orden que aparecen en la canción elegida Feliz Navidad.
<b>Aprendizaje esperado</b>	Reforzar todos los conocimientos adquiridos hasta el momento. (Los elementos musicales, ritmo, armonía, tonalidad RE, acordes, compás, pentagrama, acordes mayores, rasgueo, reconocer grave y agudo, conocer el instrumento (guitarra) y afinación).
<b>Evaluación</b>	La observación directa y su evaluación por parte del profesor. Realización de registro diario.

## SEMANA 10

Día 19	
<b>Contenido</b>	Repaso de piezas musicales.
<b>Actividades</b>	<b>Aplicar:</b> Repaso y estudio, durante 15 minutos de la canción Feliz Navidad según lo aprendido en las clases, posteriormente grabar un vídeo de aproximadamente 3 o 4 minutos con el móvil tocando primero con acordes y posteriormente también punteando la pieza. Se ha de realizar la misma actividad anterior con la canción Las Mañanitas.
<b>Aprendizaje esperado</b>	- Destreza musical y profundizar los conocimientos trabajados.
<b>Evaluación</b>	La observación directa y su evaluación por parte del profesor. Realización de registro diario.

Día 20	
<b>Contenido</b>	Evaluación final.
<b>Actividades</b>	<b>Aplicar:</b> Aplicar un test de conocimiento musical básico de guitarra.
<b>Evaluación</b>	La observación directa y su evaluación por parte del profesor. Realización de registro diario.

# TALLER DE INICIACIÓN MUSICAL. CUADERNO DE TRABAJO

## Grupo por indagación



# TALLER DE INICIACIÓN MUSICAL EN GUITARRA

## (GRUPO POR INDAGACIÓN)

**Objetivo:** Desarrollo de la capacidad creativa aplicada a la práctica instrumental (guitarra). La improvisación como medio de expresión. Improvisación a partir de elementos musicales, estructuras armónicas, melódicas, rítmicas.

### **Competencias que desarrolla la asignatura:**

- Desarrollar la capacidad de ser expresivo con el propio instrumento mediante la improvisación de un discurso musical propio.
- Adquirir destreza en el manejo de las estructuras armónicas y melódicas esenciales.
- Conseguir un grado de iniciativa musical que permita la autosuficiencia creativa.
- Asimilar y usar en la práctica pequeñas estructuras formales.
- Controlar la precisión rítmica y desarrollar mecanismos que permitan lograr fluidez en el desarrollo de las ideas musicales propias.
- Desarrollar la auto escucha durante la improvisación, la comunicación musical y el sentido musical global en la improvisación colectiva.

### **Estrategias de evaluación:**

- La observación directa y su evaluación por parte del profesor.
- Realización de un diario de las actividades de aula,

**Taxonomía digital de Bloom para ser observada en las clases:** Comprender, Aplicar, Analizar, Evaluar, Crear.

## SEMANA 01

Día 01	
<b>Contenido</b>	Evaluación de conocimiento musical básico.
<b>Dimensiones observadas</b>	<b>Aplicar:</b> Aplicar un test de conocimiento musical básico de guitarra.
<b>Evaluación</b>	La observación directa y su evaluación por parte del profesor. Realización de registro diario.

Día 02	
<b>Contenido</b>	Iniciación y conocimiento del propio instrumento (partes y funciones). Uso correcto y cuidado. Afinación.
<b>Dimensiones observadas y las actividades propuestas</b>	<b>Comprender:</b> En la pizarra estará el nombre de las partes del instrumento sin identificarlo. Se pedirá a cada grupo que los mismos identifiquen y clasifiquen a su modo las partes con un papelito, así como cuestionarse cómo es su uso correcto, cuidado y cómo podría ser hecha una afinación. Después van a comparar el resultado con los otros grupos. <b>Aplicar:</b> Buscar la misma nota en otra cuerda y afinar (plantearles que afinen solo una cuerda (por ejemplo Mi' en la 6ª cuerda y, a partir de ahí, busquen la nota de la 5ª cuerda (La) usando la que ya tienen afinada y traten de afinar así las siguientes).
<b>Aprendizaje esperado</b>	Comprender el instrumento en términos de partes y funciones, uso correcto y afinación; Generar en los alumnos el interés y entusiasmo por el instrumento.
<b>Evaluación</b>	La observación directa y su evaluación por parte del profesor. Realización de registro diario.

## SEMANA 02

Día 04	
<b>Contenido</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Rasgueo (Pulgar-Dedos y sus combinaciones).</li> <li>- Acordes mayores (Do mayor, Mi mayor, sol mayor...).</li> <li>- Valores musicales en la práctica del instrumento: ritmo.</li> </ul>
<b>Dimensiones observadas y las actividades propuestas</b>	<p><b>Crear:</b> Promover una pequeña improvisación a modo de “diálogo”. Uno toca un pequeño fragmento (como si estuviera “diciendo” algo, y el otro le “contesta”). Después, ponen en común “la conversación musical” que han tenido.</p> <p><b>Crear:</b> El mini grupo va a improvisar un ritmo basado en la marcha (con notas y silencio). El profesor va a grabar con el móvil.</p>
<b>Aprendizaje esperado</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Conocer los Acordes mayores</li> <li>- Conocer el ritmo y el rasgueo</li> </ul>
<b>Evaluación</b>	<p>La observación directa y su evaluación por parte del profesor.</p> <p>Realización de registro diario.</p>

Día 03	
<b>Contenido</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Notas musicales por cuerdas.</li> <li>- Conociendo notas básicas en guitarra.</li> <li>- Práctica de pequeñas melodías.</li> </ul>
<b>Dimensiones observadas y las actividades propuestas</b>	<p><b>Evaluar:</b> Entrega el profesor los acordes en una hoja y el grupo debe intuir cómo aplicarlo en la guitarra, como se lleva a cabo.</p> <p><b>Crear:</b> El alumno va a identificar el rasgueo utilizado en la canción que el profesor va a tocar y pensar cómo podrían hacer el rasgueo de modo distinto para el pequeño fragmento musical.</p> <p><b>Crear:</b> El profesor pide que materialice en un papel cómo serían los elementos musicales de duración y altura así como los acordes mayores en pentagrama por medio de un sistema mnemotécnico en un esquema y la representación gráfica de este acorde para que les permita reproducirlo.</p>
<b>Aprendizaje esperado</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Conocer las notas musicales por cuerdas.</li> <li>- Relación grave y agudo.</li> <li>- Practicar trozos musicales.</li> </ul>
<b>Evaluación</b>	<p>La observación directa y su evaluación por parte del profesor.</p> <p>Realización de registro diario.</p>

## SEMANA 03

Día 05	
<b>Contenido</b>	Valores musicales en la práctica del instrumento: compás, pentagrama.
<b>Dimensiones observadas y las actividades propuestas</b>	<p><b>Analizar:</b> El profesor pone distintos ritmos e intentan saber en qué compás están hechas (con compases simples, no usaría más del 2/4; 3/4).</p> <p><b>Analizar:</b> En seguida el mini grupo va a escuchar su grabación de improvisación rítmica de la clase anterior e intentar pasar al papel a su modo este ritmo.</p> <p><b>Comprender:</b> Después de esto el profesor va a presentar el pentagrama.</p>
<b>Aprendizaje esperado</b>	- Comprender el compás y pentagrama.
<b>Evaluación</b>	La observación directa y su evaluación por parte del profesor. Realización de registro diario.

Día 06	
<b>Contenido</b>	Valores musicales en la práctica del instrumento: compás, ritmo, pentagrama. Introducción del acompañamiento armónico con los acordes.
<b>Dimensiones observadas y las actividades propuestas</b>	<p><b>Analizar:</b> El alumno va a inventar un trozo musical improvisado en pentagrama y el subgrupo va a tocar todos los trozos de forma ordenada con acompañamiento armónico.</p>
<b>Aprendizaje esperado</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Revisar los conceptos de compás, ritmo y pentagrama.</li> <li>- Conocer la armonía.</li> </ul>
<b>Evaluación</b>	La observación directa y su evaluación por parte del profesor. Realización de registro diario.

## SEMANA 04

Día 07	
<b>Contenido</b>	Acompañamiento armónico con los acordes.
<b>Dimensiones observadas y las actividades propuestas</b>	
<b>Recordar:</b>	Recuperar el conocimiento aprendido.
<b>Analizar:</b>	Ordenar una secuencia de 09 compás y ejecutarlos en el gran grupo.
<b>Evaluar:</b>	En seguida una de esta secuencia de tres compases será tocada por un grupo, el otro marcará el pulso de ritmo 3/4 y el tercero generará una secuencia nueva, diferente a la del primer grupo. Al final todos la hacen a la vez.
<b>Aprendizaje esperado</b>	- Conocer la armonía.
<b>Evaluación</b>	La observación directa y su evaluación por parte del profesor. Realización de registro diario.

Día 08	
<b>Contenido</b>	Revisión general.
<b>Dimensiones observadas y las actividades propuestas</b>	
<b>Aplicar:</b>	Charla para dudas en cuanto al contenido expuesto hasta el momento. En seguida los estudiantes forman parejas y se colocan enfrentados, de manera que se pide que uno de ellos ejecute un trozo sencillo musical que está escrito en una hoja, mientras que el otro va a pasar al pentagrama lo que escucha.
<b>Aprendizaje esperado</b>	- Profundizar en los conocimientos adquiridos. Ritmo, armonía, compás, pentagrama, acordes mayores, rasgueo, reconocer grave y agudo, conocer el instrumento (guitarra) y afinación.
<b>Evaluación</b>	La observación directa y su evaluación por parte del profesor. Realización de registro diario



## SEMANA 05

Día 09	
<b>Contenido</b>	Lectura y escritura de notas (acordes) en el pentagrama.
<b>Dimensiones observadas y las actividades propuestas</b>	<p><b>Analizar:</b> Los estudiantes forman parejas y se colocan enfrentados de manera que se pide que uno de ellos reproduzca un trozo sencillo musical (de la pieza musical Las Mañanitas, 2ª parte) que está escrito, mientras que el otro va a pasar para un pentagrama lo que escucha.</p> <p><b>Crear:</b> Improvisar una estructura melódica a partir de elementos musicales presentes en la pieza musical Las Mañanitas.</p>
<b>Aprendizaje esperado</b>	- Entender los elementos musicales en pentagrama.
<b>Evaluación</b>	La observación directa y su evaluación por parte del profesor. Realización de registro diario.

Día 10	
<b>Contenido</b>	Lectura y escritura de notas (acordes) en el pentagrama.
<b>Dimensiones observadas y las actividades propuestas</b>	<p><b>Aplicar:</b> Los estudiantes forman parejas y se colocan enfrentados, de manera que se pide que uno de ellos cree un pequeño trozo mientras que el compañero va a pasar a un pentagrama lo que escucha. Después se cambian de rol, el que antes improvisaba ahora pasa lo que escucha a un pentagrama. Después se procede a un intercambio entre parejas, de modo que la nueva pareja debe crear sobre la improvisación de la pareja anterior.</p>
<b>Aprendizaje esperado</b>	- Entender los elementos musicales en pentagrama.
<b>Evaluación</b>	La observación directa y su evaluación por parte del profesor. Realización de registro diario.

## SEMANA 06

Día 11	
<b>Contenido</b>	Lectura y escritura de notas (acordes) en el pentagrama.
<b>Dimensiones observadas y las actividades propuestas</b>	<p><b>Analizar:</b> Los estudiantes forman parejas y se colocan enfrentados de manera que se pide que uno de ellos reproduzca un trozo sencillo musical (de la pieza musical Las Mañanitas, 3<sup>ra</sup> parte) que está escrito, mientras que el otro va a pasar al pentagrama lo que escucha.</p> <p><b>Crear:</b> Improvisan una estructura melódica a partir de elementos musicales presentes en la pieza musical Las Mañanitas.</p>
<b>Aprendizaje esperado</b>	- Profundizar los elementos musicales en pentagrama.
<b>Evaluación</b>	La observación directa y su evaluación por parte del profesor. Realización de registro diario.

Día 12	
<b>Contenido</b>	Lectura y escritura de notas (acordes) en el pentagrama.
<b>Dimensiones observadas y las actividades propuestas</b>	<p><b>Aplicar:</b> Los estudiantes forman parejas y se colocan enfrentados, de manera que se pide que uno de ellos cree un pequeño trozo mientras que el compañero va a pasar a un pentagrama lo que escucha. Después se cambian de rol, el que antes improvisaba ahora pasa lo que escucha a un pentagrama. Después se procede a un intercambio entre parejas, de modo que la nueva pareja debe crear sobre la improvisación de la pareja anterior.</p>
<b>Aprendizaje esperado</b>	- Profundizar los elementos musicales en pentagrama.
<b>Evaluación</b>	La observación directa y su evaluación por parte del profesor. Realización de registro diario.

## SEMANA 07

Día 13	
<b>Contenido</b>	Presentación de canciones populares simples para interpretar
<b>Dimensiones observadas y las actividades propuestas</b>	<b>Analizar:</b> Los estudiantes forman grupos de 04 y se pide que reproduzcan toda la pieza musical Las Mañanitas que está escrito en un pentagrama por intuición.
<b>Aprendizaje esperado</b>	- Reforzar el conocimiento adquirido por medio de canción popular.
<b>Evaluación</b>	La observación directa y su evaluación por parte del profesor. Realización de registro diario.

Día 14	
<b>Contenido</b>	Lectura de acordes.
<b>Dimensiones observadas y las actividades propuestas</b>	<b>Crear:</b> Los estudiantes forman parejas y se colocan enfrentados, en seguida improvisan una estructura melódica a partir de elementos musicales presentes en la pieza musical Las Mañanitas y que uno improvise mediante rasgueo rítmico $\frac{3}{4}$ , por punteo y acordes.
<b>Aprendizaje esperado</b>	- Conocer los acordes y profundizar la lectura musical.
<b>Evaluación</b>	La observación directa y su evaluación por parte del profesor. Realización de registro diario.

## SEMANA 08

Día 15	
<b>Contenido</b>	Control de práctica en nuevas notas por acorde de guitarra (tonalidad Re).
<b>Dimensiones observadas y las actividades propuestas</b>	<p><b>Analizar:</b> Los estudiantes forman parejas y se pide que reproduzcan la pieza musical Feliz Navidad en la tonalidad Re que está escrito en un pentagrama por intuición.</p> <p><b>Crear:</b> Luego después hacen una improvisación con la pieza musical elegida mediante rasgueo rítmico, por punteo y acordes.</p>
<b>Aprendizaje esperado</b>	- Conocer la tonalidad Re.
<b>Evaluación</b>	La observación directa y su evaluación por parte del profesor. Realización de registro diario.

Día 16	
<b>Contenido</b>	Control de práctica en nuevas notas por acorde de guitarra (tonalidad Re).
<b>Dimensiones observadas y las actividades propuestas</b>	<p><b>Analizar:</b> Practicar los cambios de acordes en el orden que aparecen en la canción elegida (Feliz Navidad) que incluye las notas aprendidas (Escala Re).</p> <p><b>Crear:</b> En seguida promover una pequeña improvisación a modo de “diálogo”. Uno toca un pequeño fragmento de la canción elegida anteriormente en Escala Re (Flecha) y el otro continúa con otro fragmento de la canción.</p>
<b>Aprendizaje esperado</b>	- Reforzar el conocimiento de la tonalidad Re.
<b>Evaluación</b>	La observación directa y su evaluación por parte del profesor. Realización de registro diario.

## SEMANA 09

Día 17	
<b>Contenido</b>	Revisión general.
<b>Dimensiones observadas y las actividades propuestas</b>	<b>Crear:</b> Los estudiantes forman parejas y se pide que hagan una imagen mental sobre una secuencia de compás, la escriba y ejecute. En seguida presentan la secuencia musical racionalizada a sus compañeros.
<b>Aprendizaje esperado</b>	Reforzar todos los conocimientos adquiridos hasta el momento. Los elementos musicales, ritmo, armonía, tonalidad Re, acordes, compás, pentagrama, acordes mayores, rasgueo, reconocer grave y agudo, conocer el instrumento (guitarra) y afinación.
<b>Evaluación</b>	La observación directa y su evaluación por parte del profesor. Realización de registro diario.

Día 18	
<b>Contenido</b>	Revisión general.
<b>Dimensiones observadas y las actividades propuestas</b>	<b>Crear:</b> Los estudiantes forman parejas y recogen la secuencia musical racionalizada de la clase anterior de otra pareja para improvisar sobre esta secuencia a modo de revisión de todo el contenido. En seguida presentan su improvisación a sus compañeros.
<b>Aprendizaje esperado</b>	Reforzar todos los conocimientos adquiridos hasta el momento. Los elementos musicales, ritmo, armonía, tonalidad Re, acordes, compás, pentagrama, acordes mayores, rasgueo, reconocer grave y agudo, conocer el instrumento (guitarra) y afinación.
<b>Evaluación</b>	La observación directa y su evaluación por parte del profesor. Realización de registro diario.

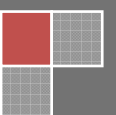
## SEMANA 10

Día 19	
<b>Contenido</b>	Repaso de piezas musicales.
<b>Dimensiones observadas y las actividades propuestas</b>	<p><b>Analizar:</b> Buscar un pentagrama en Internet de otro villancico de libre elección y grabarlo en vídeo rasgueado o punteado, con una duración máxima de 3 o 4 minutos.</p> <p><b>Crear:</b> Posteriormente se ha de realizar una composición personal, intentando que tenga algún sentido musical, de 9 compases de tres por cuatro.</p> <p><b>Recordar:</b> Se debe memorizar, escribir en pentagrama siguiendo el sistema aprendido en clase y posteriormente grabar.</p>
<b>Aprendizaje esperado</b>	- Destreza musical y profundizar los conocimientos trabajados.
<b>Evaluación</b>	La observación directa y su evaluación por parte del profesor. Realización de registro diario.

Día 20	
<b>Contenido</b>	Evaluación final.
<b>Dimensiones observadas y las actividades propuestas</b>	<b>Aplicar:</b> Aplicar un test de conocimiento musical básico de guitarra.
<b>Evaluación</b>	La observación directa y su evaluación por parte del profesor. Realización de registro diario.

# REGISTRO DIARIO DE ACTIVIDADES

Grupo Tradicional

















































# REGISTRO DIARIO DE ACTIVIDADES

Grupo por Indagación

