



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

ESCUELA NACIONAL DE MÚSICA

**Efectos sobre los tractos neurales, después de un entrenamiento musical,
en niños ciegos de nacimiento y niños con ceguera tardía**

OPCIÓN DE TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

MAESTRA EN MÚSICA

ESPECIALIDAD EN COGNICIÓN MUSICAL

P R E S E N T A:

CORAL ITALÚ GUERRERO ARENAS

DIRECTOR DE TESIS: DR. EDUARDO CASTRO-SIERRA

MÉXICO, D.F. JUNIO 2012





Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

RESUMEN

De acuerdo con varios autores, la experiencia musical puede desarrollar cambios benéficos a nivel cognitivo, social y motor. Estudios previos han mostrado que un entrenamiento musical puede causar cambios en la neuroanatomía del cerebro, y que este entrenamiento produce mayores efectos si comienza en edades tempranas. El proyecto que aquí se presenta se realizó con niños ciegos de entre 5 y 6 años sin ninguna formación musical previa, a los que se les dio clases de música durante 10 meses. El objetivo era observar si existían cambios significativos en las fibras de sustancia blanca -con vías mielinizadas y, por lo tanto, más rápidas- del cerebro debidos al entrenamiento musical. Finalizado el tiempo de entrenamiento, a los sujetos se les realizaron estudios de tractografía -esto es, de análisis de las conexiones anatómicas existentes entre distintas áreas cerebrales- en el Hospital Infantil de México Federico Gómez y se analizaron, específicamente, las vías auditivas, occipitales, frontales y del cuerpo calloso. Se pudo comprobar que las vías antes mencionadas se encontraban mayormente definidas y más largas en los niños ciegos que habían tomado las clases de música, comparados con sus hermanos que no tenían esta preparación y que eran videntes. Dada la íntima relación genética y ambiental entre hermanos que viven juntos, estos resultados indican que el entrenamiento musical puede modificar de manera importante estas vías, observándose como resultado cambios a nivel motor, conductual y cognitivo. Es importante destacar que el presente es un estudio piloto, por lo cual, los resultados deben ser analizados con reservas, pues se obtuvieron de un análisis transversal sin que hubieron mediciones a lo largo del proyecto. Aun así, se espera que lo presentado sienta un precedente para futuras investigaciones vinculadas a la música, el cerebro y la discapacidad, en este caso, la ceguera, ya que éste es uno de los primeros estudios que se han desarrollado dentro de este campo.

SUMMARY

According with some authors the musical experience can develop beneficial changes in the cognitive, social and motor areas. Previous studies have proved that a musical training can cause changes in the brain neuroanatomy and that this training can produce better results in earlier ages. The project that is presented here was made with blind children between 5 and 6 years without previous musical knowledge, to which a musical class was given for ten months. The main objective was to notice if it existed significant changes in the white substance fibers -with myelinated tracts and therefore, faster- in the brain due to the musical training. When the musical training had finished a tractography was made to children – this is an analysis of the anatomy connections between the different brain areas- at the **Hospital Infantil de México Federico Gómez** and were specific analyzed the auditive, occipital, frontal and colossal commisure tracts . It was probed that the tracts were well defined and longer in children that took musical classes compared with their brothers that were sighted and who haven't this knowledge. Due to the genetic and environmental relation between brothers who lived together, these results indicate that the musical training can modify in an important way these tracts having as a result changes in the motor, cognitive and social areas. It is important to emphasize that it is a pilot study; therefore, the results have to be taken with certain reservations because these results were obtained with a transversal analysis without measurements during the project. Even so, it is expected that this work set a precedent for future investigations related to music, brain and physical disability, in this case, blindness, since it is one of the first studies that have been developed in this field.

ÍNDICE

Resumen	1
Índice	2
Introducción	3
Planteamiento del problema	7
1. Justificación	9
2. Hipótesis	12
3. Objetivos	12
4. Marco teórico	13
4.1 Desarrollo cerebral	13
4.2 Regiones de Interés	14
4.3 Neuroanatomía de los elementos musicales	17
4.4 Ritmo, melodía y armonía	19
4.5 Entrenamiento musical y cerebro	25
4.6 Cerebro, música y ceguera	29
5. Técnicas de tractografía	36
5.1 Substancia blanca	36
5.2 Tractografía, música y ceguera	37
5.3 Tractos neurales	39
6. Ceguera	43
7. Desarrollo y metodología	47
8. Métodos y materiales	53
8.1 Apéndice I	53
8.2 Apéndice II	55
8.3 Análisis estadísticos	58
8.4 Imágenes de tractografías	65
9. Resultados y conclusiones	68
10. Pedagogos	70
11. Tabla de figuras	73
12. Referencias en orden de aparición	74
13. Bibliografía	78

'...la formación musical es un instrumento más poderoso que cualquier otro porque el ritmo y la armonía encuentran un lugar en los internos lugares del alma, donde pueden imprimirse. Así, transmiten gracia y dignifican el alma de aquél que esté educado como es debido, y hacen desgraciada al alma de aquél que no esté educado como es debido.'

Platón¹

Introducción

Si cerramos los ojos y nos concentramos en cada uno de los sonidos que suceden a nuestro alrededor, tal vez nos abrumaríamos con la cantidad de información acústica que llega a nuestros oídos. Estando tan acostumbrados a vivir en mundo visual, es difícil imaginar cómo podría ser depender únicamente de nuestra audición para movernos por la vida. Las personas con ceguera dependen justo de este sentido. Hablando específicamente de la educación musical en personas con estas características, debemos ser realistas al decir que en México esta formación es casi nula. Pocas son las instituciones que brindan un espacio formal para que gente con estas características tenga una formación musical de calidad, de hecho, la única institución de música a nivel superior que acepta a jóvenes con deficiencia visual es la Escuela Nacional de Música (ENM) de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Un número de alumnos con ceguera es parte de la población de la escuela, algunos estudiando el propedéutico y otros en la licenciatura, principalmente, en las áreas de piano y canto, aunque también en percusión y educación musical.

El problema de inclusión de las personas ciegas y débiles visuales en escuelas superiores parte de que muchas instituciones no cuentan con profesores capacitados para aceptarlos como parte de las clases regulares. Esto limita mayormente la de por sí escasa opción educativa para este segmento del alumnado en educación musical.

Si bien es cierto que esta falta de capacitación es uno de los principales obstáculos, también es verdad que no hay suficientes bases científicas que sustenten la importancia de una educación musical formal en personas ciegas. Hay trabajos de investigación que han mostrado que al estudiar y practicar música

¹ Platón. The republic of Plato. 3a Edición. Clarendon Press: Oxford, 1888, libro III (traducción al castellano: La república. Alianza: Madrid, 1998).

hay ciertos cambios a nivel cortical en las personas.² De la misma manera encontramos estudios en los que se muestra la diferencia cerebral entre músicos y no músicos. También, podemos hallar proyectos que demuestran cambios a nivel cognitivo, motor y social en niños que han recibido entrenamiento musical durante algún tiempo.³ En este sentido, encontramos publicaciones con respecto a los procesamientos de información audiovisual⁴ en los que se observa la activación de áreas corticales después de una estimulación de este tipo.

Dentro de estas líneas de investigación, hay resultados que muestran que las experiencias auditivas provocan una activación específica en la corteza cerebral, la cual está involucrada en el procesamiento de sonidos complejos, tales como la música. En el caso de la ceguera temprana, el resultado es una expansión en las áreas de respuestas auditivas en la corteza parietal y una mayor selectividad para las neuronas en la corteza auditiva. Las áreas occipitales usadas normalmente para la visión son activadas por estímulos auditivos cuando ha habido una ceguera temprana.⁵

A manera de preámbulo al marco teórico de este trabajo, mencionaremos que el cerebro tiene la capacidad plástica de reorganizarse y adaptarse a nuevas situaciones, en este caso, la privación del sentido de la vista. La *plasticidad cerebral* consiste en la habilidad del cerebro de modificar y reorganizar funciones, es decir, de permitir la reparación de algunos circuitos corticales e integrar otras áreas del cerebro para realizar funciones modificadas, y de esta manera adaptarse a cambios externos o internos. Investigaciones en ratas han mostrado una asociación entre plasticidad cerebral y cierto tipo de entrenamiento motor intenso. Entre los cambios observados, se encuentran: un incremento en el número de sinapsis, células gliales y la densidad capilar dentro del cerebelo y la corteza motora primaria, así como nuevas neuronas en el hipocampo. La suma de estos cambios podría provocar diferencias en un nivel macro estructural.⁶

² Peretz I, Zatorre R. The cognitive neuroscience of music. Oxford University Press: Oxford, 2007.

³ Fujioka T, Ross B, Kakigi R, Pantev C, Trainor L. One year of musical training affects development of auditory cortical-evoked fields in young children. Brain 2006; 129:2593-2608

⁴ Alpert G, Hein G, Tsai N, Naumer M, Knight R. Temporal characteristics of audiovisual information processing. J Neurosci 2008; 28:5344-5349

⁵ Rauschecker JP. Cortical plasticity and music. Ann NY Acad Sci 2001; 930:330-336

⁶ Altenmüller E, Wisendanger M, Kesselring J. Music, motor control and the brain. Oxford University Press: Oxford, 2006.

La plasticidad que se observa en los músicos, o en las personas con entrenamiento musical formal, es originada por varias causas. Algunas de ellas se deben a las complejas tareas que estas personas realizan, tales como trasladar símbolos musicales a actividades motoras (por ejemplo, al leer una partitura y tocar el instrumento), realizar movimientos independientes en los dedos y las manos, memorizar largas frases musicales o identificar tonos sin tener una referencia previa. Se ha descubierto que el cerebro de los músicos difiere del de las personas sin estudios musicales. Por ejemplo, el cuerpo caloso de los primeros es significativamente más grande que el de las personas sin este tipo de preparación. De la misma manera, el volumen cerebral de los músicos varones es relativamente mayor que el de los varones que no son músicos. Asimismo, hay estudios en los que se ha descubierto que en los cerebros de los músicos hay mayor concentración de materia gris en la región parietal posterior superior, la región premotora y el cerebelo.⁷

Por medio de recientes estudios, se ha comprobado que la música estimula procesos sensoriales, cognitivos, motores y afectivos en el cerebro. Por medio de ciertos programas experimentales, se ha demostrado que el entrenamiento musical formal causa cambios en la neuroanatomía del cerebro; por lo tanto, se puede deducir que si el aprendizaje está asociado al aumento sináptico, la investigación de la formación de las uniones sinápticas en la corteza cerebral se vuelve entonces de suma importancia.⁸

Hay otros estudios que revelan cambios importantes en las estructuras de activación auditiva, cambios que son provocados por diferentes tipos de entrenamiento musical. Algunos de estos estudios han evidenciado un incremento en la actividad de la región frontal derecha y los lóbulos bilaterales parieto-occipitales.⁹ Todos estos estudios sugieren que las diferencias que pudieran existir entre los músicos y los no músicos podrían deberse a la intensa práctica musical, además de la edad en que se comienzan los estudios, siendo mucho más evidentes los cambios cuando se empieza a una edad

⁷ Op. cit.

⁸ Cowell R, Richardson C. The new handbook of research on music teaching and learning. A project of the Music Educators National Conference. Oxford University Press: New York, 2002, p. 448

⁹ Op. cit.

temprana, esto es, en el momento en el que existe mayor plasticidad cerebral.

Este proyecto está dirigido a niños en etapa preescolar, los cuales están inmersos en la música a través de cantos y juegos propios de su edad, por lo cual se podría suponer que ya ha habido entonces cambios a nivel cerebral; pero es importante destacar la diferencia de una exposición a la música de manera natural, y un entrenamiento musical formal. Hargreaves¹⁰ menciona que hay una marcada diferencia entre la llamada 'aculturación' y el entrenamiento musical. La primera se refiere al desarrollo musical que se da de manera espontánea, lo que indica que no hay un esfuerzo o dirección en este sentido, es decir, es algo 'natural'. La aculturación va de la mano con el desarrollo del niño, lo que implica una maduración cognoscitiva y física. Aquella está asociada, además, con las propias experiencias de socialización del niño. El entrenamiento musical se refiere a lo opuesto, esto es, a un esfuerzo autoconsciente y dirigido, el cual pretende mejorar o desarrollar habilidades musicales concretas.

Esta tesis aborda diferentes aspectos cuyo conocimiento es necesario para la comprensión de la relación entre la ceguera y la música, al exponer mediante estudios científicos la importancia del entrenamiento musical en niños, la actividad cerebral durante diferentes procesos musicales y, a manera de introducción, lo que se ha estudiado en relación a estos aspectos. Además, a partir de los estudios que se realicen dentro de este proyecto, se pretende aportar una base más de conocimiento a este campo de investigación el cual no está aún completamente desarrollado.



Figura 1 tomada de http://www.who.int/disabilities/world_report/2011/posters/en/index.html

¹⁰ Hargreaves D. Música y desarrollo psicológico. Ed. GRAO: Barcelona, 1998.

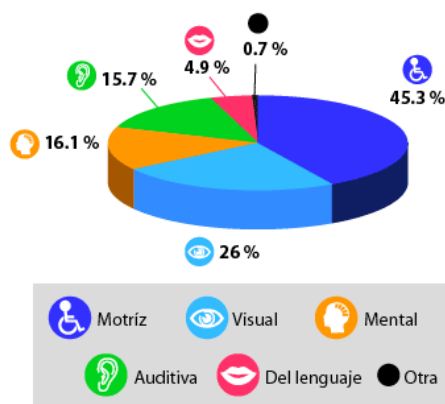
Planteamiento del problema

Este estudio pretende observar la relación del entrenamiento musical y niños ciegos. Dicho efecto se observa en la modificación de los tractos neurales, los que muestran una diferencia en su longitud y/o su grosor. Los trabajos con niños y música son muchos y han sido efectuados durante mucho tiempo. Esta elección podría deberse a que en esta edad se pueden identificar mayores cambios plásticos en el cerebro. Sin embargo, los trabajos que relacionan a los niños ciegos con el efecto que la música pudiera tener en ellos son casi inexistentes. Dicha situación podría deberse, a la dificultad de encontrar pacientes que cumplan con los criterios adecuados para realizar dichas investigaciones.

En octubre de 2011, la OMS publicó cifras acerca de las personas con discapacidad visual en el mundo. Aproximadamente, se refieren 285 millones de personas con este tipo de padecimiento. De éstas, 39 millones son ciegas y 246 millones presentan baja visión. Cerca de un 90% de la carga mundial de discapacidad visual se concentra en los países en desarrollo. Aunque el 65% de las personas que presentan esta discapacidad son adultos mayores de 50 años, se estima que el número de niños con discapacidad visual asciende a 19 millones. Unos 1,4 millones de menores de 15 años sufren ceguera irreversible.¹

Datos del INEGI muestran que, hasta el año 2000, había un millón 795 mil personas con discapacidad en México, lo que representaba 1.8% de la población, posteriormente en 2010 el conteo corresponde a un millón 292 mil personas y la ceguera representa la segunda causa de discapacidad en México.¹¹

Distribución porcentual de la población según el tipo de discapacidad, 2000



La suma de los porcentajes puede superar 100% porque algunas personas presentan más de una discapacidad.

FUENTE: INEGI. Las personas con discapacidad en México: una visión censal.

(<http://cuentame.inegi.org.mx/impresion/poblacion/discapacidad.asp>)

Figura 2. Porcentaje de personas con discapacidad en México.

¹¹ <http://www.sinembargo.mx/16-11-2011/74386>

En la gráfica anterior podemos observar que las personas con discapacidad visual ocupan un porcentaje importante dentro de este segmento de la población.

El proyecto que aquí se presenta puede servir como un modelo teórico para próximos estudios y ser de utilidad para aumentar el conocimiento acerca de este tema. También pretende contribuir, en un futuro cercano, al desarrollo de programas para personas con necesidades especiales que sean aplicables, ya sea, en escuelas o en instituciones de salud, y que incluyan una educación musical formal y de calidad.

1. Justificación

El presente trabajo pretende fundamentar mediante un estudio científico -y tomando como base los estudios anteriores- que la educación musical es importante para desarrollar aspectos cognitivos, sociales, motores y afectivos. En la actualidad, podemos encontrar que existe muy poco material que se refiera a la relación música-ceguera, especialmente en niños. Es por eso que este proyecto tiene como finalidad aumentar los conocimientos existentes en este campo.

Las personas ciegas desarrollan de manera importante el sentido de la audición para poder desplazarse dentro de un entorno que no perciben de manera visual. Podemos plantear entonces que, debido al espacio auditivo adicional creado a nivel cerebral, estas personas desarrollarán ciertas conexiones por la influencia de un entrenamiento musical. En este estudio sobre la audición en músicos ciegos en edad pediátrica, se tomarán en cuenta las características de la población estudiada, es decir, un grupo de niños que hayan perdido la vista en un momento de su infancia y otro de niños que hayan nacido sin ella. De esta manera, se podrán comparar ambos grupos entre sí para saber si hay similitudes o diferencias importantes entre ellos.

Dado que el proyecto está dirigido a niños en edad preescolar, las clases planeadas abarcarán aspectos básicos musicales, como discriminación de altura, duración, intensidad y velocidad. Con base en esto, posteriormente se podrá trabajar con elementos musicales formales y, paulatinamente, formar pequeños ensambles que impliquen procesos cognoscitivos más complejos. Sería un tanto incoherente trabajar aspectos teóricos con los alumnos, así que las clases serán planeadas de manera que el movimiento y el trabajo auditivo sean la parte esencial de la enseñanza.

Como ya se mencionó anteriormente, la oferta educativa para personas invidentes es muy poca, en especial, en el área musical. A partir de los estudios científicos existentes, se han observado cambios importantes en personas videntes con estudios musicales, en comparación con las que no poseen ninguno. Estos cambios son estructurales a nivel cerebral, motor e, incluso, cognitivo. Si hay este tipo de cambios en personas videntes, con mayor razón los habrá en personas ciegas, dado que la mayor fuente de información que llega a ellos es de tipo auditiva. Como sabemos la música posee, en especial, características acústicas. Si bien es cierto que la mayor parte de su educación musical la

reciben los músicos de forma visual (partituras), la música en sí misma se capta, fundamentalmente, por la audición.

Las personas que han perdido la visión reciben una gran parte de la información del entorno a través de sus oídos, por lo que un entrenamiento musical llevaría a que gran parte de esta información fuera procesada de manera organizada, musicalmente hablando. La música provoca conexiones entre la mente y el cuerpo: el ritmo, la melodía y la armonía suponen una ordenación y relación entre ellos. En el caso de las personas ciegas, un entrenamiento musical supone una estructuración, una organización y una clasificación de la información que naturalmente ingresa al cerebro. Esta, posteriormente, podrá combinarse en esquemas mentales y producir ideas coherentes, las cuales llevarán a una representación organizada y funcional de las cosas (ideomotricidad) que se logrará a través de la creación, la manipulación, la ejecución y la audición de procesos musicales. Es decir, los elementos musicales que naturalmente están presentes en el ambiente adquirirán un valor y un contexto adecuados en los procesos cerebrales de los sujetos invidentes. Por lo tanto, un entrenamiento musical implicará un cambio benéfico a nivel de procesos cognitivos, motores y afectivos en los sujetos que hayan perdido el sentido de la vista.

Para observar estos cambios a nivel cerebral a lo largo del tiempo, se ha elegido usar la técnica de tractografía. Esta técnica permite observar los cambios en los tractos o vías nerviosas resultantes de un efecto a largo plazo de audición de la música, antes y después de un entrenamiento musical. Dado que estudiarlo en todo el cerebro sería muy amplio, se ha decidido circunscribir el efecto de este entrenamiento solamente a lo que acontece a nivel de las vías neurales, y los cambios que allí se sucedan, si se presentan, nos darán evidencia de las modificaciones ocurridas en el cerebro debidas a un entrenamiento musical.

Las clases para los alumnos ciegos fueron diseñadas y expuestas por la autora del presente proyecto debido a que no hay una institución o una escuela de música formal que acepte niños ciegos como parte de su currículum normal de iniciación musical. La Escuela Nacional de Música (ENM) de la UNAM acepta a jóvenes ciegos que cuenten con una preparación previa para presentar el examen de admisión, igual que los otros aspirantes, pero no existe una escuela que formalmente los prepare para

este fin.

Para resumir, si bien es cierto que hay algunos profesores que preparan a los alumnos de manera individual, la realidad es que no existe una escuela en el área metropolitana especializada en educación musical para gente con discapacidad visual. Es importante aclarar que éste es un proyecto piloto. La razón de esto se debe a la dificultad de encontrar sujetos que cumplan con las condiciones y que, además, dispongan del tiempo fuera de sus actividades normales para involucrarse en este estudio. Aún así, se espera que los resultados que se obtengan sean satisfactorios y de gran aporte para el campo de la cognición musical.

2. Hipótesis

2.1 Después de un periodo de entrenamiento musical, el desarrollo y maduración de los tractos son distintos en cuanto a su longitud y grosor, debido a procesos que involucran diferentes áreas cerebrales, y que se han desarrollado en este tiempo, entre sujetos ciegos que han tomado entrenamiento musical en comparación con niños sin este tipo de entrenamiento, los que, además, son videntes.

2.2 Hay un aumento significativo medido por técnicas de tractografía, en los tractos que conectan áreas cognitivas, motrices, emocionales y sociales de los sujetos, favorecido por el entrenamiento musical realizado durante este tiempo.

3 Objetivos

- Establecer un marco teórico que sustente el estudio presentado, y que a su vez sirva de referencia a investigaciones posteriores.
- Comparar las diferencias encontradas en los tractos entre sujetos ciegos con preparación musical y sujetos sin esta formación.
- Comprobar tales diferencias, en cuanto a longitud y grosor, en los tractos de ambos grupos de sujetos y, en su caso, describirlas como referencia de futuros marcos teóricos.

4. Marco teórico

4.1 Desarrollo Cerebral

A manera de introducción al marco teórico, se resumirá de manera muy puntual el desarrollo cerebral y algunos elementos que involucran al mismo, los cuales son importantes para comprender conceptos que se refieren más adelante.

El desarrollo cerebral es un proceso dinámico que se conduce y toma forma por la genética y las experiencias en la vida. Algunas partes del cerebro crecen y cambian rápidamente al mismo tiempo que otras permanecen estáticas. Este periodo de crecimiento está asociado a cambios en el funcionamiento cognitivo.¹² Por ejemplo, el rápido crecimiento en las áreas visuales y auditivas durante el primer año de vida corresponde a la ganancia en la percepción visual y auditiva. McPherson cita a Thompson (2000) al mencionar que las tasas de pico de crecimiento en los circuitos frontales del cuerpo caloso, entre los 3 y los 6 años de edad, resultan en una gran habilidad para mantener la atención y planear nuevas acciones. Por otro lado, el cuerpo caloso muestra picos de crecimiento entre los 11 y 15 años de edad, cuando se desarrollan asociaciones espaciales y el lenguaje. Entre los 6 y los 15 años de edad se puede observar un desarrollo en el sistema temporo-parietal, el cual está implicado también en el lenguaje y las relaciones espaciales. La corteza cerebral y el hipocampo son las partes que se desarrollan más lentamente del cerebro.

Un concepto que se manejará más adelante es el de *'poda' sináptica*. Esta poda se refiere a que, en los primeros años del desarrollo cerebral, existe una producción masiva de sinapsis, las cuales pueden surgir a diferentes tiempos y en diferentes áreas del cerebro (Jonson, 2001). Los genes y la experiencia trabajan juntos en esta *'poda' sináptica*. Mediante ella, el cerebro se *'esculpe'* a sí mismo hasta lograr su eventual disposición. El podado puede ser una *experiencia 'expectante'* o una *experiencia 'dependiente'*. Los sistemas de la experiencia expectante (por ejemplo, el lenguaje o la música) están basados en expectativas de que la experiencia puede proveer las influencias necesarias para seleccionar los subconjuntos necesarios de conexiones sinápticas (Webb, 2001). Los sistemas de

¹² McPherson G. The child as musician. A handbook of musical development. Oxford University Press: Oxford, 2000.

experiencias dependientes (por ejemplo, el vocabulario o ciertas habilidades musicales específicas) son únicos en cada individuo y el resultado de experiencias de aprendizajes específicos.

Las conexiones sinápticas que no son activadas o no son utilizadas constantemente se eliminan; esto sería, propiamente, el podado sináptico, mientras que aquellas que son usadas frecuentemente son fortalecidas.

4.2 Regiones de interés (“regions of interest”, o ROI’s)

El cerebro está dividido en dos hemisferios los cuales poseen una capa exterior de sustancia gris -densa y conformada por cuerpos celulares neurales- la cual es conocida como córtex o corteza. Además, cada hemisferio tiene un núcleo interior de sustancia blanca –formada por la mielina, la que cubre a los axones de la sustancia gris. La corteza se divide en cuatro lóbulos. Las ROI’s que se analizan en este estudio involucran a tres de estos lóbulos, además de otros núcleos que también se especificarán más adelante.

Las ROI’s que se han considerado para su observación son las siguientes:

- El lóbulo occipital
- El lóbulo temporal
- El lóbulo frontal
- El cuerpo geniculado medial
- El cuerpo calloso

En los lóbulos se hallan áreas o centros nerviosos que regulan importantes funciones tales como: la elaboración del pensamiento y la emoción, la interpretación de imágenes, el reconocimiento de ruidos, etc., la visión, el reconocimiento espacial, la discriminación del movimiento y los colores, etc.

- **Lóbulo occipital.** Está ubicado en la zona posterior del cerebro. En su parte más posterior es la fisura calcarina donde se procesan, inicialmente, los estímulos visuales. En este lóbulo se descifran los impulsos eléctricos que manda la retina a través del nervio óptico, se interpretan y posteriormente, se crean las imágenes visuales.¹³
- **Lóbulo temporal.** Es la parte del cerebro localizada por delante del lóbulo occipital, aproximadamente por detrás de cada sien. Desempeña un papel importante en tareas visuales complejas, como el reconocimiento de caras. Además, cada uno de los lóbulos temporales, en su parte mesial o interna está relacionado con la memoria a corto plazo, visual y auditiva y con el procesamiento de los estímulos auditivos.
- **Lóbulo frontal.** Se encuentra en la parte delantera del cráneo. Su parte anterior se conoce como corteza prefrontal. Este lóbulo se relaciona con la planificación o la resolución de problemas que requieran de la integración de diferentes tipos de información. La importancia de esta zona es que permite dirigir la conducta hacia un fin determinado; además tiene conexiones importantes con otras áreas del cerebro. Goldberg, en su libro 'El cerebro Ejecutivo', hace referencia al lóbulo frontal comparándolo (en relación directa con este estudio) con un director de orquesta, el cual reúne la información de las demás estructuras coordinándolas para que actúen de manera conjunta.¹⁴ En la parte posterior de este lóbulo se reúnen las neuronas que controlan el movimiento. El lóbulo frontal está separado del parietal por la cisura central, o cisura de Rolando.

¹³ [es.wikipedia.org/wiki/Lóbulo_occipital](http://es.wikipedia.org/wiki/L%C3%B3bulo_occipital)

¹⁴ http://es.wikipedia.org/wiki/L%C3%B3bulo_frontal

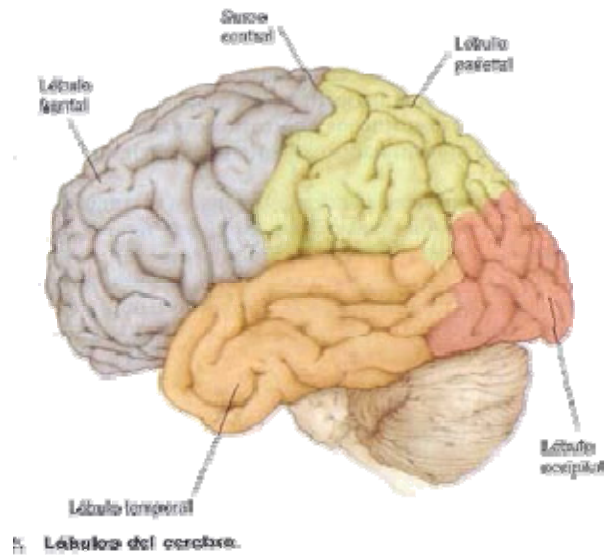


Figura 3. Se muestra el lóbulo frontal en color lila, lóbulo occipital en rojo y el lóbulo temporal en anaranjado. Imagen tomada de *biol3medio.blogspot.com*

- Cuerpo geniculado medial. Se localiza en la cara posterior del tálamo, específicamente sobre el núcleo pulvinar talámico. El cuerpo geniculado medial es la estación de relevo en el tálamo de las vías nerviosas que transmiten información auditiva.¹⁵
- Cuerpo caloso. Es un haz de fibras nerviosas cuya función es crear una vía de comunicación entre cada hemisferio cerebral con el fin de que ambos lados del cerebro trabajen de manera conjunta y complementaria.¹⁶

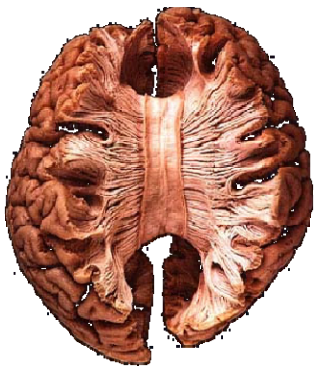


Figura 4. Imagen del cuerpo caloso. Une a los dos hemisferios cerebrales con el fin de que ambos trabajen de manera conjunta. Imagen tomada de *iqb.es*

¹⁵ http://es.wikipedia.org/wiki/Cuerpos_geniculados

¹⁶ http://es.wikipedia.org/wiki/Cuerpo_caloso

4.3 Neuroanatomía de los elementos musicales

Cada elemento musical tiene un procesamiento que involucra diferentes núcleos o áreas cerebrales en la personas. Como sería de esperarse, estos procesamientos se manifiestan de diversas formas de manera conductual, ya sea que afecten al lenguaje, los procesos motrices o los procesos cognitivos. Aunque propiamente no es el tema central de esta investigación, es importante conocer las bases sobre las cuales se sustenta cada uno de los diversos componentes musicales, además de que esto proporcionará un conocimiento más amplio sobre los cambios anatómicos y fisiológicos –que, se espera, se sucedan- observables en los sujetos del proyecto.

Como ya se observó en la revisión anterior, un entrenamiento musical que no sea únicamente auditivo, sino que implique, además, el aprender a tocar un instrumento, podría generar cambios corticales debido a los múltiples procesos multisensoriales que están involucrados. Pantev pudo comprobar estas hipótesis al comparar el desempeño de niños que recibían estimulación musical sólo de manera auditiva con el de niños que recibían clases de piano.¹⁷ Este estudio demostró que los sistemas sensorial-motor y auditivo se integran y que el entrenamiento multimodal causa cambios en la reorganización cortical de la corteza auditiva, en comparación con el entrenamiento basado sólo en la audición. Parsons, junto con otros colaboradores,¹⁸ analizó por medio de tomografía de emisión de positrones (PET) el flujo de sangre cerebral de pianistas durante algunas tareas de ejecución y memorización de algunas piezas musicales. Estos investigadores hallaron activación en el lóbulo temporal, y las áreas temporales bilaterales, especialmente, del lado izquierdo, cuando se ejecutaban tareas simples (v. gr., escalas).

Escala de Sol mayor



¹⁷ Pantev C, Lappe C, Herholz SC, Trainor L. Auditory-somatosensory integration and cortical plasticity in musical training.

Ann NY Acad Sci 2009; 1169:143-150

¹⁸ Op. cit.

De la misma manera, observaron mayor actividad de las áreas temporales bilaterales inferior, superior y media derecha cuando se ejecutaban piezas más complejas (v. gr., el tercer movimiento del Concierto Italiano, BMV 971, de Bach).



Extracto del tercer movimiento del Concierto Italiano BMV 971 de Johann Sebastian Bach.

<http://www.el-atril.com/partituras/compositor/Bachcontenido.html>

La gran actividad que se encontró en la corteza auditiva asociativa derecha indica que esta región puede estar involucrada en la recepción y la expresión de la melodía. Este trabajo también sugiere que algunas de las representaciones de alto nivel, en cuanto a significado musical, pueden hallarse en algunas de estas regiones de la corteza temporal.

De igual manera hay investigaciones que muestran que el hacer e imaginar música activa las mismas áreas cerebrales, y que cuanto más compleja sea la música que imaginamos mayormente complejas se volverán las representaciones internas de este proceso.¹⁹

Los mencionados hasta ahora son sólo algunos de los estudios que proporcionan evidencia de la neuroanatomía funcional de algunos de los elementos musicales en consideración. Analizar cada uno de estos aspectos por separado supondría un trabajo completo de investigación, pero ése no es el

¹⁹ Lehmann A, Sloboda J, Woody R. Psychology for musicians. Oxford University Press: Oxford, 2007

objetivo de este proyecto. Por este motivo, solamente se expondrán los mismos de manera general. También es de suma importancia destacar que todos estos estudios se han realizado con personas videntes, por lo que podría ser que en el caso de los sujetos ciegos hubiera cambios en alguno o más de los datos.

4.4 Ritmo, melodía y armonía

Se podría decir que la parte fundamental de la música es el ritmo. Muchos pedagogos musicales basan sus métodos en este aspecto. En este respecto, tenemos el caso de Carl Orff en su Orff-Schulwerk, o el de Jacques Dalcroze en su uso de la Eurritmia.

Estudios anteriores han mostrado que en la percepción y la ejecución del ritmo están involucradas ciertas áreas motoras. Específicamente, Grahn *et al.* (2007) proponen que los ganglios basales y el área motora suplementaria responden a la presencia de un pulso regular (Figura 3). Además de estas regiones, dichos autores encontraron una activación que variaba de acuerdo al nivel de entrenamiento musical en las personas, tanto en el cerebelo como en la corteza promotora.²⁰

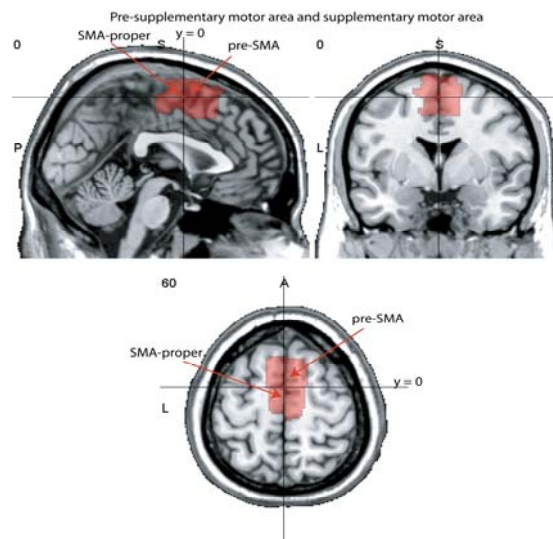


Figura 5. Imagen de las áreas motoras suplementarias, resaltadas en rojo.

Tomada de <http://www.mrc-cbu.cam.ac.uk/people/jessica.grahn/neuroanatomy.html>

²⁰ Grahn JA, Brett M. Rhythm and beat perception in motor areas of the brain. *J Cogn Neurosci* 2007; 19:893-906

Recientemente, se han confirmado estos hallazgos, insistiendo de esta manera que los ganglios basales (específicamente el putamen) y las áreas motoras premotoras y suplementarias son necesarios en la percepción del pulso (Figura 5 y 6).²¹

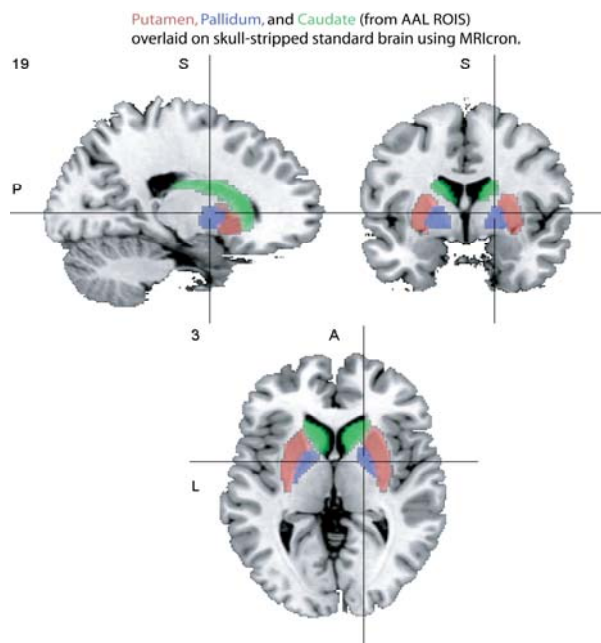


Figura 6. Imagen del putamen (resaltado en rosa) dentro de 3 cortes: sagital, coronal y transversal.

Tomada de <http://www.mrc-cbu.cam.ac.uk/people/jessica.grahn/neuroanatomy.html>

Bengtsson *et al.*²² observaron de igual manera que la corteza dorsal motora, las áreas motoras suplementaria y premotora y el cerebelo lateral se activan al escuchar secuencias rítmicas. De la misma manera, la corteza prefrontal superior es estimulada cuando escuchamos intervalos de tiempo métricos; estos autores concluyen que la activación de las áreas en donde se procesan estos estímulos dependerá de la complejidad del ritmo. A partir de los datos de algunos estudios de resonancia magnética funcional (fMRI; Harrington, 1998), se ha sugerido que los ritmos regulares y conocidos por los escuchas activan la corteza frontal izquierda y la corteza parietal, al igual que el cerebelo derecho anterior (Figura 7). Por otro lado, los ritmos menos conocidos parecen activar las áreas prefrontal derecha, frontal y parietal, así como el cerebelo posterior bilateral. Tal actividad en las cortezas parietal y prefrontal es congruente con datos recientes que implican a un circuito parietal-prefrontal

²¹ Grahn JA. The role of the basal ganglia in beat perception: neuroimaging and neuropsychological investigations. *Ann NY Acad Sci* 2009; 1169:35-45

²² Bengtsson SL, Ullén F, Ehrsson HH, Hashimoto T, Kito T, Naito E, Forssberg H, Sadato N. Listening to rhythms activates motor and premotor cortices. *Cortex* 2009; 45:62-71

inferior en el apoyo de actividades de memoria y atención, los cuales son necesarios para la percepción de la duración del estímulo auditivo.

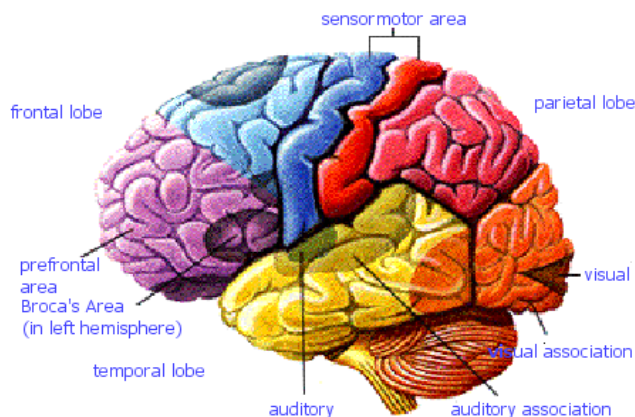


Figura 7. Lóbulos de la corteza cerebral: lóbulo frontal y corteza prefrontal (morado), lóbulo parietal (rosa), occipital (anaranjado), corteza auditiva (amarillo) y área motora (rojo y azul oscuro). Imagen tomada de <http://www.mrc-cbu.cam.ac.uk/people/jessica.grahn/neuroanatomy.html>

Parsons (citado en Peretz y Zatorre, 2007) hace referencia a un estudio entre músicos y no músicos en el cual se observa la activación de algunas áreas cerebrales al realizar diversas tareas rítmicas. La citada autora menciona que, en tareas de discriminación de tempo, los que no son músicos muestran una activación en la corteza frontal medial derecha así como en el cerebelo posterior bilateral, pero esta activación es menor o está ausente en los músicos. En actividades de discriminación de patrones, los que no son músicos muestran activación del cerebelo posterior bilateral y el mesencéfalo. En las discriminaciones de la métrica, existe una activación de la corteza frontal derecha inferior y el cerebelo posterior bilateral en estos últimos sujetos, mientras que en los músicos no existe tal activación. Por el contrario, los músicos muestran una clara activación de la corteza frontal medial bilateral y de la corteza parietal inferior bilateral, además de una fuerte activación en el cerebelo bilateral posterior lateral cuando ejecutan tareas de discriminación de duración.²³

En ambos casos, la activación de las áreas corticales prefrontales presupone procesos de memoria. Parsons especula que las activaciones en el mesencéfalo y la corteza temporal y frontal pueden estar involucradas en el procesamiento de las estructuraciones temporales del ritmo.

²³ Op. cit.

El ritmo y el tono son dos elementos que están relacionados con una primera percepción de la música. Hay hipótesis que mencionan la posibilidad de que estos dos procesamientos no se efectúen en las mismas áreas cerebrales, puesto que parecen ser diferentes entre sí. Hay géneros musicales, como el rap, en los que no existe una clara referencia tonal y, por otro lado, hay recitativos que parecerían no tener un ritmo definido.²⁴

Peretz y Zatorre²⁵ mencionan que la neocorteza temporal derecha juega un papel importante en la computación de relaciones de tono. En sus investigaciones, hacen referencia a Tramo (2002) quien observa que la porción derecha anterolateral del giro de Heschl tiene un papel importante en el análisis de la información tonal²⁶ (Figura 8). Los mismos autores mencionan también que el trabajar con memoria tonal provoca interacciones entre las áreas frontal cortical y posterior temporal.

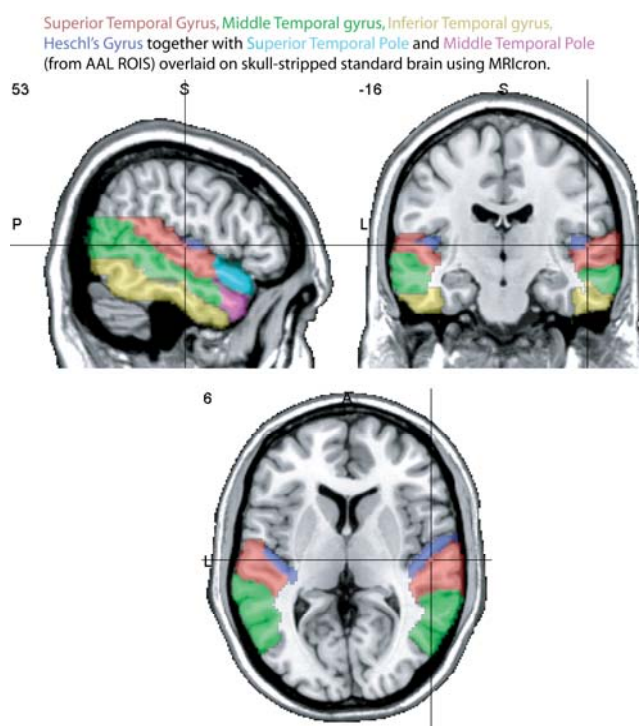


Figura 8. Giro de Heschl (resaltado en azul oscuro). Imagen tomada de <http://www.mrc-cbu.cam.ac.uk/people/jessica.grahn/neuroanatomy.html>

²⁴ Jackendoff R, Lerdahl F. The capacity for music: what is it and what's special about it? *Cognition* 2006; 100:33-72

²⁵ Op. cit.

²⁶ Peretz I, Zatorre R. Brain organization for music processing. *Ann Rev Psychol*, ProQuest Psychology Journals 2005; 56: 89-114.

De la misma manera, estos investigadores indican que la región secundaria derecha de la corteza involucra el procesamiento de las relaciones tonales, así como sus cambios en el tiempo, especialmente, si los cambios tonales son pequeños.²⁷

Recientemente, se ha observado que el surco intraparietal está involucrado en la transposición de tonos, una tarea que presupone un alto nivel de complejidad. Los autores de este estudio sugieren que esta región apoya a una gran capacidad para comparar y transformar este tipo de información.²⁸ Estudios realizados con músicos²⁹ han mostrado que para cada uno de los aspectos musicales arriba referidos se activan diferentes sub-áreas de un área cerebral grande. La comprensión melódica activa ambos hemisferios de manera equitativa, mientras que las comprensiones armónica y rítmica activan mayormente el hemisferio izquierdo. Una región que se activa en común con los tres tipos de tareas (ritmo, melodía y armonía) es *el giro fusiforme* (Figura 9). La observación de la actividad de este giro parece incluir al procesamiento visual de la notación musical.

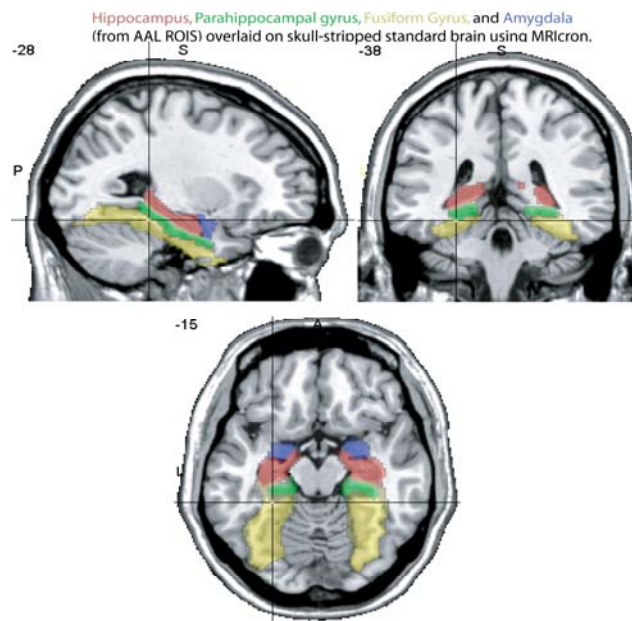


Figura 9. Giro fusiforme (en color beige).

Imagen tomada de <http://www.mrc-cbu.cam.ac.uk/people/jessica.grahn/neuroanatomy.html>

²⁷ Op. cit.

²⁸ Foster NE, Zatorre R. A role for the intraparietal sulcus in transforming musical pitch information. *Cereb Cortex* 2010 ; 20:1350-59

²⁹ Op. cit.

Es interesante destacar, como ya se había mencionado anteriormente, la manera en la que cada uno de estos elementos impulsa la actividad de sub-áreas, en este caso, de dos áreas mayores en la corteza frontal: la región lateral y la región lateral inferior. En todos los casos, hay una mayor actividad del lado izquierdo. Las tareas rítmicas, por ejemplo, activan sub-áreas superiores, las tareas melódicas sub-áreas inferiores y las tareas armónicas las dos anteriores.³⁰

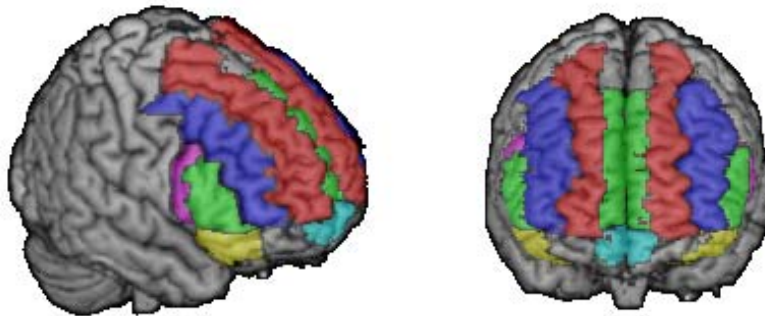


Figura 10. Imagen de la corteza frontal.

Imagen tomada de <http://www.mrc-cbu.cam.ac.uk/people/jessica.grahn/neuroanatomy.html>

De la misma manera, cada uno de estos aspectos musicales producen distintos patrones de actividad en la corteza auditiva. Al escuchar esquemas melódicos, existe una fuerte activación de las áreas auditivas secundarias, específicamente, de la corteza bilateral superior y la corteza temporal superior derecha. En el caso de la armonía, la activación se produce en la corteza temporal medial, superior y posterior y, aunque se ha observado que es de manera bilateral, es mucho mayor del lado izquierdo que del derecho. Por su parte, el ritmo produce una activación menor de esta misma corteza en la región inferior izquierda y bilateral media.³¹

Otro aspecto que podría ser susceptible de estudio es el timbre, el cual activa áreas de la corteza frontal superior derecha, frontal medial y la corteza precentral.³² Los estudios sobre memoria musical son muy amplios y variados, aunque, en general, se ha observado que las áreas involucradas en las

³⁰ Op. cit.

³¹ Op. cit.

³² Op. cit.

tareas de memoria son la corteza frontal inferior y la dorsolateral.³³ Estos estudios convergen en la idea de que en el procesamiento de la memoria interactúan las áreas frontal cortical y la temporal superior.³⁴ Los resultados de algunas otras investigaciones indican que en la *recuperación* de la memoria musical están implicados distintos núcleos del sistema límbico, específicamente, el hipocampo derecho, el giro frontal inferior izquierdo y el precúneo izquierdo.³⁵

4.5 Entrenamiento musical y cerebro

Puesto que la música es una experiencia que involucra varios tipos de percepción, lo que implica a nivel cortical un procesamiento complejo, sería de esperar que existieran cambios importantes en el cerebro a partir de un entrenamiento musical formal. Gracias a los avances tecnológicos, actualmente se pueden observar estos cambios a través de las técnicas que se han desarrollado para estudiar con mayor profundidad la anatomía y el funcionamiento del cerebro.

Entre los estudios más recientes a este respecto, encontramos el de Hyde y colaboradores (2009), en el cual se demuestra que la estructura cerebral de niños cambia después de 15 meses de entrenamiento musical, con mejoras en las habilidades motrices y auditivas. Esto puede ser debido que un entrenamiento musical es una intensa experiencia multisensorial, la que ofrece la oportunidad para estudiar la plasticidad en el desarrollo cerebral en relación con cambios conductuales inducidos por la música.³⁶

Anteriormente, se mencionó que hay diferencias significativas entre los músicos y los que no son músicos. Una de ellas, como ya se refirió, es la de que el cuerpo calloso en los primeros es mayor que en las personas sin entrenamiento musical. Estas diferencias se originan, posiblemente, porque los músicos requieren áreas de ambos hemisferios para procesar y ejecutar adecuadamente la música.³⁷

³³ Op. cit.

³⁴ Op. cit.

³⁵ Watanabe T, Yagishita S, Kikyo H. Memory of music: roles of right hippocampus and left inferior frontal gyrus. *Neuroimage* 2008; 39:483-491

³⁶ Hyde KL, Lerch J, Norton A, Forgeard M, Winner E, Evans AC, Schlaug G. The effects of musical training on structural brain development: a longitudinal study. *Ann NY Acad Sci* 2009; 1169:182-186

³⁷ Schlaug G, Forgeard M, Zhu L, Norton A, Winner E. Training-induced neuroplasticity in young children. *Ann NY Acad Sci*

Schlaug y otros investigadores han observado que los músicos que comienzan sus estudios musicales antes de los 7 años tienen un mayor cuerpo caloso (Figura 11), lo cual sugiere que la plasticidad ocurrida en el cuerpo caloso debido al entrenamiento musical se presenta durante la infancia temprana.³⁸

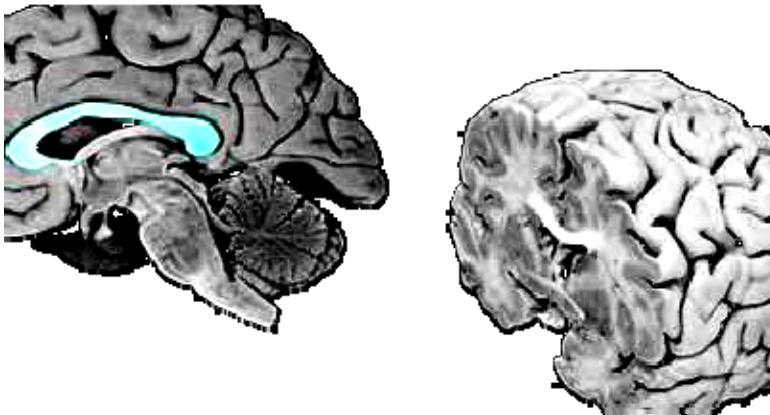


Figura 11. Imagen del cuerpo caloso (resaltado en azul claro) en un corte sagital. Tomada de <http://www.sylvius.com/>

Aprender a tocar un instrumento requiere de complejas habilidades multimodales, las cuales involucran percepciones simultáneas y muchas modalidades sensoriales -auditivas, visuales y somatosensoriales- así como motrices. Lappe (2008) comparó los efectos en la plasticidad cerebral de un entrenamiento musical a corto plazo, entre dos grupos de estudio: uno que sólo escuchaba la música, y otro que aprendía a tocar una secuencia en el piano. Se observó que el segundo grupo mostraba diferencias significativas con respecto al primer grupo. En los sujetos que aprendían la secuencia en el piano había un gran aumento de las representaciones musicales en la corteza auditiva después de un entrenamiento sensorial auditivo, comparados con los que solamente escuchaban las secuencias. Por esta observación, se pudo demostrar que existe una reorganización en la corteza auditiva después de un entrenamiento musical sensorial auditivo.³⁹

2009; 1169:205-208

³⁸ Op. cit.

³⁹ Lappe C, Herholz SC, Trainor LJ, Pantev C. Cortical plasticity induced by short-term unimodal and multimodal musical training. *J Neurosci* 2008; 28:2632-2639

Un entrenamiento musical puede afectar positivamente algunos dominios cognitivos. Una manera de observar estos cambios es a través de la respuesta de la banda gama de frecuencias en el electroencefalograma, la cual está asociada a los procesos de atención, expectación, recuperación de memoria e integración del procesamiento de núcleos superiores a inferiores (procesamiento de información de arriba a abajo, o “top-down”), y de núcleos inferiores a superiores (procesamiento de información de abajo a arriba, o “bottom-up”). Trainor *et al.* (2009) observaron que esta respuesta de la banda gama a sonidos musicales es mayor en músicos adultos, en comparación a cómo es en los que no son músicos, y que se desarrolla en niños después de un año de entrenamiento musical, cuando éstos comienzan las clases antes de los 4 años; no obstante, no se desarrolla en niños que no reciban este tipo de actividad. La autora concluye que el entrenamiento musical afecta las actividades oscilatorias en el cerebro que están asociadas con las funciones ejecutivas, y que el funcionamiento ejecutivo superior puede incrementar el nivel del aprendizaje y la ejecución en otros dominios cognitivos.⁴⁰

Como podemos ver, la mayoría de los estudios sugieren que un entrenamiento musical temprano, es decir, cuando los sujetos comienzan a estudiar desde niños, es importante para que existan cambios en la reorganización cerebral, pues es una etapa crucial en la plasticidad cortical del desarrollo. Ya en estudios anteriores, Trainor *et al.* (2003) observaron estos cambios en la corteza auditiva al estudiar los potenciales provocados en niños y adultos, concluyendo que los efectos del entrenamiento musical en la representación cortical podrán ser mayores cuando se empiece a estudiar música desde muy temprana edad.⁴¹ Hutchinson (2003) ha observado que el cerebelo de los niños con estudios musicales tempranos es mayor en comparación con el de los que no poseen esta instrucción, y que esto puede ser debido a la necesidad para sintetizar la información motora, sensorial y cognitiva, además de la misma necesidad por coordinar estas respuestas.

Siguiendo la misma línea de pensamiento, Sluming, en 2002, y Gaser y Schlaug, en 2003, observaron

⁴⁰ Trainor LJ, Shahin AJ, Roberts LE. Understanding the benefits of musical training: effects on oscillatory brain activity. *Ann NY Acad Sci* 2009; 1169:133-142

⁴¹ Trainor LJ, Shahin A, Roberts LE. Effects of musical training on the auditory cortex in children. *Ann NY Acad Sci* 2003; 999:506-513.

que la materia gris se incrementaba en las personas que poseían instrucción musical, lo cual se reflejaba en el aprendizaje y la habilidad para trasladar notaciones musicales en acciones motoras.

Recientemente, se ha observado que el hipocampo es altamente susceptible al entrenamiento musical, lo que provoca neuroplasticidad en esta área (Figura 12). Herdener (2010)⁴² examinó el efecto de dos semestres de entrenamiento musical intensivo en adultos; los resultados de ese estudio mostraron que los cambios funcionales en el hipocampo de los sujetos se debían al entrenamiento musical. Dentro de estos mismos criterios, Groussard (2010) ha publicado que la densidad de la sustancia gris en el hipocampo es mayor en los músicos en comparación con el de personas que no poseen esta formación. Esto puede deberse, de acuerdo con sus observaciones, a que la experticia musical modifica procesos de la memoria a largo plazo e induce la plasticidad funcional y estructural en este núcleo cerebral.⁴³

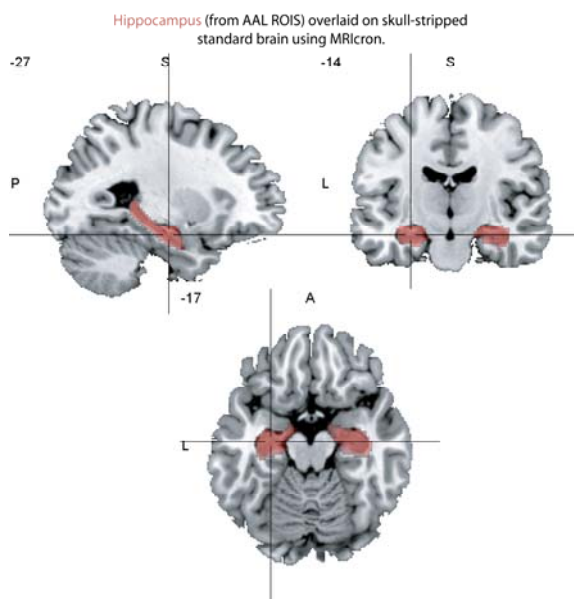


Figura 12. Imagen del hipocampo (resaltado en rojo) dentro de 3 cortes: sagital, coronal y transversal. Tomada de <http://www.mrccbu.cam.ac.uk/people/jessica.grahn/neuroanatomyfiles/HC.p>

⁴² Herdener M, Esposito F, di Salle F, Boller C, Hilti CC, Habermeyer B, Scheffler K, Wetzel S, Seifritz E, Cattapan-Ludewig K. Musical training induces functional plasticity in human hippocampus. *J Neurosci* 2010; 30: 1377-1384

⁴³ Groussard M, La Joie R, Rauchs G, Landeau B, Chételat G, Viader F, Desgranges B, Eustache F, Platel H. When music and long-term memory interact: effects of musical expertise on functional and structural plasticity in the hippocampus. *PLoS One* 2010; 5(10) .pii:e13225

ng

Todos estos datos nos proveen de una gran cantidad de evidencia acerca del efecto que la música, específicamente, el entrenamiento musical, tiene en la arquitectura del cerebro. Estas investigaciones se han realizado en personas videntes; la pregunta, entonces, sería: *¿Qué ocurre, a nivel cerebral, con las personas ciegas inmersas en un mundo totalmente sonoro?*

Se ha mencionado varias veces que al estar privados de el sentido de la vista, hay un aumento en las habilidades de otros sentidos, por ejemplo, la audición (también éste es el caso del tacto al leer Braille). Aunque las investigaciones en relación con personas ciegas y música no son tan numerosas como las mencionadas anteriormente en cuanto a personas sin alteraciones visuales, las referencias que existen son valiosas, y base para el estudio que se presenta en este proyecto.

4.6 Cerebro, música y ceguera

La música es una actividad esencialmente auditiva y algunos autores coinciden en que las personas ciegas proveen una oportunidad de observar cómo es la experiencia de los cambios en el procesamiento auditivo, en cuanto a modificaciones en la plasticidad cerebral o la activación de áreas específicas. Como ya se ha mencionado anteriormente, algunas habilidades se desarrollan al estar una persona privada de un sentido, por ejemplo, la destreza para discriminar ciertos tonos o duraciones de sonido, o las tareas de lenguaje y memoria (las cuales no deben estar relacionadas necesariamente con el quehacer musical). Hötting señala que al percibir algo se estimula más de un sentido. Esto da evidencia de que la integración de información por medio del aspecto multisensorial facilita la percepción y el control de la acción⁴⁴. De acuerdo con Oliver Sacks, los niños que carecen de un mundo visual descubren o crean de manera natural un mundo rico en tacto y sonido⁴⁵. Este mismo autor cita los estudios de Adam Ockelford, quien ha trabajado con niños ciegos, específicamente a consecuencia de la displasia septo-óptica (DSO). Observó que en algunos niños ciegos (los cuales clasificó como aquellos que sólo percibían apenas luz o movimiento) existían aptitudes musicales excepcionales, las cuales afloraban sin que hubiera ningún tipo de instrucción formal. Esto lo llevó a

⁴⁴Hötting K, Röder B. Auditory and auditory-tactile processing in congenitally blind humans. *Hear Res.* 2009; 258:165-174

⁴⁵Sacks O. *Musicofilia. Relatos de la música y el cerebro.* Anagrama: México, 2009.

suponer que estas aptitudes no dependían de la DSO, sino del grado de ceguera que los niños tenían, pues en los niños con ceguera parcial, aunque mostraban interés en la música, no existían estas mismas aptitudes musicales. Sacks atribuye esto al hecho de que en los niños ciegos no existe un mundo visual significativo, lo cual es fundamental para que se inclinen hacia la música.

Recordemos que el sistema auditivo está diseñado para captar información sobre la naturaleza y la localización de las vibraciones del aire que nosotros percibimos como sonidos. Al girar la cabeza para que el volumen de los sonidos sea igual en ambos oídos, localizaremos la dirección de su origen.⁴⁶ Varios estudios confirman la gran habilidad de la gente ciega de localizar sonidos.⁴⁷ De hecho, John Hull describe en su libro, 'Touching the Rock', que la gente con ceguera adquirida o congénita, puede crear mapas auditivos muy exactos de su entorno sonoro.⁴⁸

Estos descubrimientos sugieren una gran densidad del espacio auditivo en la corteza cerebral como base de la gran precisión en la localización de sonidos en los individuos ciegos. La expansión del terreno auditivo en la corteza cerebral podría aparecer para facilitar otros refinamientos de la percepción auditiva.

Durante la localización de los sonidos en un espacio auditivo virtual, en los humanos con visión, normalmente se activan partes de la corteza parietal posterior en un área separada de las áreas visuales involucradas en el análisis espacial. En los humanos ciegos, junto con la activación de un área mucha más extendida en la misma región, también se activan grandes partes del lóbulo occipital, el cual es usado normalmente para la visión (Figura 13). El resultado de las actividades correlacionadas en diferentes áreas del cerebro sugiere que los ingresos de información de estímulos auditivos a la corteza occipital están relacionados con la corteza parietal posterior.

⁴⁶ Storr A. La música y la mente: el fenómeno auditivo y el porqué de las pasiones. Paidós: Madrid, 2002.

⁴⁷ Op. cit.

⁴⁸ Op. cit.

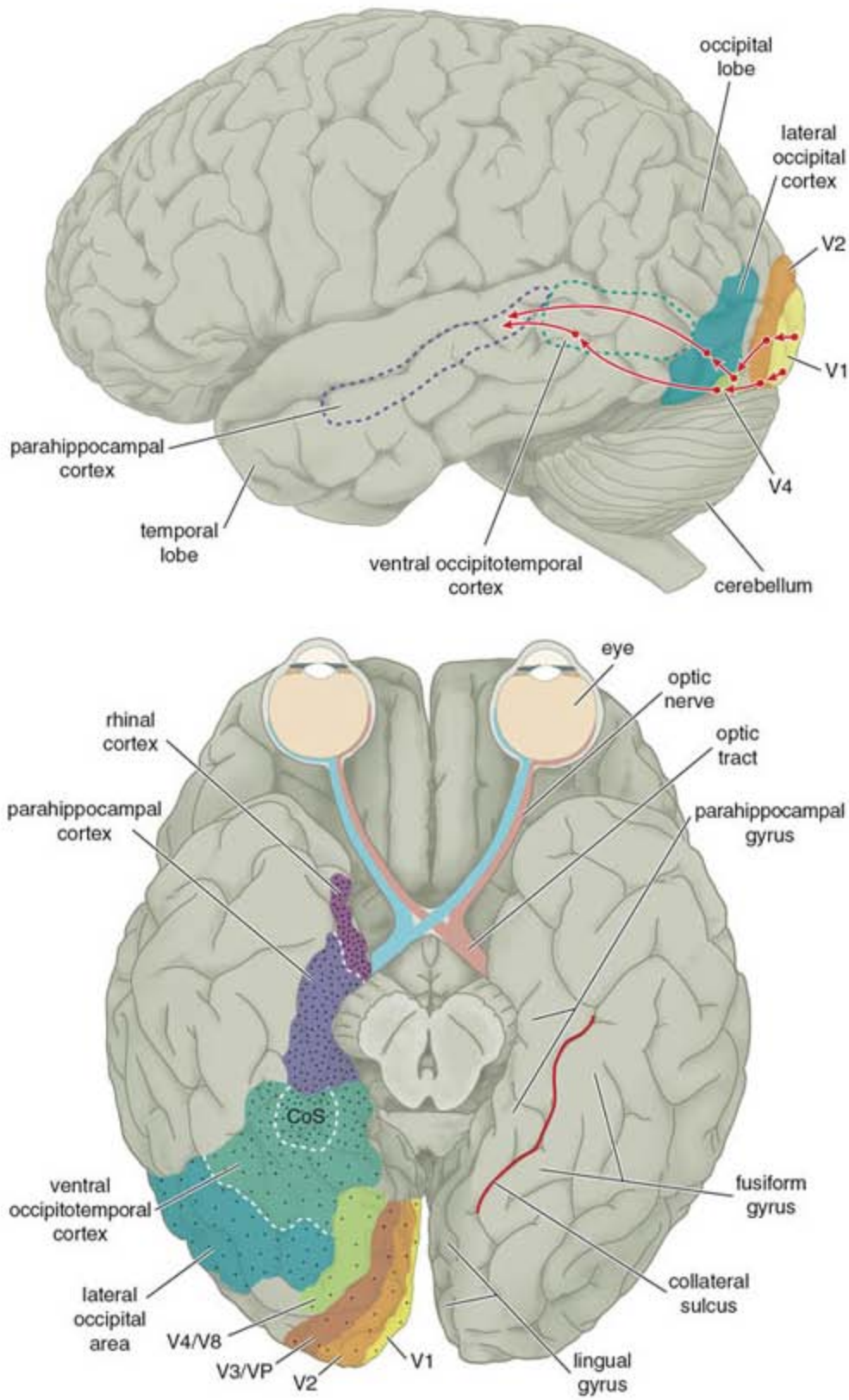


Figura 13. Relación funcional y estructural entre el lóbulo occipital y otras áreas cerebrales. Imagen tomada de <http://www.mrc-cbu.cam.ac.uk/people/jessica.grahn/neuroanatomy.html>.

En el caso de la plasticidad cerebral en las personas ciegas, podemos hablar de dos situaciones: cuando la corteza cerebral está dañada por una lesión traumática y cuando, a pesar de la indemnidad de la corteza occipital, no se desarrolla la visión.

Respecto a la primera situación, estudios descriptivos han demostrado el traslado de la función de la corteza visual a zonas adyacentes a la corteza occipital, como son ciertas regiones posteriores de los lóbulos parietales y temporales, reconocibles mediante las características de los potenciales provocados visuales y de la resonancia magnética funcional (fMRI), en lesiones de la corteza visual.⁴⁹

En el caso de una ceguera temprana, se ha demostrado la existencia de una modalidad denominada 'plasticidad cruzada' ("*crossmodal plasticity*"), la cual se hace presente para compensar o incrementar el déficit sensorial, en este caso, la pérdida de la visión. Estos cambios implican mecanismos neuroplásticos en los que áreas que procesan determinada información, reciben, procesan y responden a otro tipo de información procedente de otra modalidad sensorial.⁵⁰ Por ejemplo, en tareas de recuperación de memoria verbal, hay datos recientes que muestran activación en la corteza visual izquierda. Esta activación también se observa en personas ciegas, las cuales poseen también una elevada memoria verbal. Esto sugiere que la corteza visual puede ser usada como un recurso de memoria adicional y contribuir a una memoria verbal superior en casos de una situación especial. Mientras que en las personas ciegas la reorganización funcional cruzada (*crossmodal*) se debe a la privación de la vista, en los músicos puede deberse a las exigencias naturales de una formación musical, la cual involucra todos los recursos neurales posibles⁵¹.

Esta respuesta ocurre en la corteza occipital de niños que han perdido la vista en etapas tempranas, la cual se facilita, a la vez, como consecuencia del aprendizaje de la lecto-escritura Braille, al ampliarse y variarse la capacidad perceptiva de la corteza occipital, en compensación por la ausencia de la visión.

⁴⁹ Kong CK, Wong LY, Yuen Mk. Visual field plasticity in a female with right occipital cortical dysplasia. *Pediatr Neurol* 2000; 23:256-260

⁵⁰ Hernández-Muela S, Mula F, Mattos, L. Plasticidad neuronal funcional. *Rev Neurol* 2004; 38:S58-68

⁵¹ Huang Z, Zhang JX, Yang Z, Dong G, Wu J, Chan AS, Weng X. Verbal memory retrieval engages visual cortex in musicians. *Neuroscience* 2010; 168:179-89

Hay investigaciones que muestran un aumento de habilidades a partir de un entrenamiento musical fuera de la escuela. Por medio de este entrenamiento, se ha revelado que hay cambios significativos en las funciones cerebrales, y posiblemente también en su anatomía. La práctica constante optimiza los circuitos neurales por el cambio de las neuronas involucradas, el tiempo de sincronización y el número y la fuerza de las conexiones sinápticas inhibitorias y excitatorias. La sola exposición a un ambiente acústico enriquecido aumenta las respuestas auditivas corticales y modifica la sincronización de las neuronas auditivas.⁵²

En las personas ciegas puede haber una gran variedad de procesamientos de modalidades sensoriales; esta variedad es, obviamente, debida al aumento de las capacidades auditivas y/o somatosensoriales que se produce a partir de la ausencia de uno de los sentidos, en este caso, de la visión. En años recientes, un número de estudios ha llevado a identificar regiones corticales sensoriales, al revelar procesamientos multisensoriales en el surco superior temporal, el surco intraparietal y las regiones frontales.⁵³

Esto datos implican que hay numerosas estructuras corticales involucradas en los procesamientos multisensoriales. Durante un entrenamiento musical en personas ciegas, se pondrían en funcionamiento, principalmente, los sistemas de la audición y el tacto (este último, al estar los sujetos en contacto directo con los instrumentos, al percutir los ritmos en su cuerpo o por el uso de las regletas para distinguir los diferentes tamaños de los instrumentos) los cuales proveerán información a través de los distintos canales sensoriales.

¿Cómo se selecciona la información auditiva relevante - en este caso, la música -, sobre todo, en personas ciegas, 'invadidas' de toda clase de sonidos que pueden ser o no útiles de su entorno?

Desde 1950, se ha descrito que hay una selección automática de los sonidos por el cerebro. Esta selección permite que escuchemos un sonido con atención y rechacemos o atenuemos otros que no

⁵² Fujiyota T, Ross B, Kakigi R, Pantev C, Trainor L. One year of musical training affects development of auditory cortical-evoked fields in young children. Brain 2006; 129:2593-2608

⁵³ Op. cit.

son de utilidad (Broadbent, 1952; Cherry, 1953). Actualmente, se sabe que el cerebro continuamente busca patrones y que nos informa cuando algo nuevo aparece y deberíamos de aprender⁵⁴. Los resultados de un estudio de Luo (2008) sugieren que la corteza auditiva modula los procesamientos neurales de la información auditiva en el núcleo coclear de dos maneras. Una de ellas resulta por el incremento a través de la estimulación cortical de las respuestas auditivas y la disminución de la latencia de las respuestas. La segunda involucra el aumento de la representación de ciertas frecuencias de sonido en el núcleo coclear, las cuales son enfatizadas en la corteza auditiva. Estos descubrimientos dan apoyo a un informe reciente acerca de que la experiencia musical aumenta la codificación en el tallo cerebral del campo lingüístico, presumiblemente, por respuestas provenientes de la vía cortical.⁵⁵

Estudios recientes acerca de la función de la corteza visual en personas ciegas de Jiang *et al.* (2009)⁵⁶ han permitido observar por técnicas de MRI que hay un mayor grosor en la corteza visual en los ciegos a temprana edad en comparación con la misma corteza en los ciegos tardíos. Estos autores concluyen que el engrosamiento en los ciegos tempranos puede ser el resultado de una reducción sináptica, de manera secundaria a la privación de la visión. Cuando la privación de la vista ocurre durante un periodo crítico del desarrollo neural de la corteza visual, se interrumpe el proceso de ‘*podado*’ sináptico, permitiéndose así un engrosamiento de la corteza visual.

Una forma de reorganización cerebral ocurre en las personas ciegas que leen *braille*. El *braille* es un sistema de escritura que usa patrones de puntos resaltados en papel, los cuales representan letras, números, etc., y se lee sintiendo los puntos realzados por medio del tacto.

Leer en *braille* activa la corteza somatosensorial, pero también otras áreas cerebrales. Hay estudios que muestran, por medio de tomografía de emisión de positrones (PET), las áreas que se activan en una persona que está leyendo por este sistema. Hay una actividad significativa en el polo occipital, inconfundiblemente, y porciones de la corteza visual. A través de procesos de reorganización cerebral,

⁵⁴ <http://emcap.iaa.upf.es/>

⁵⁵ Luo F, Wang Q, Kazan A, Yan J. Corticofugal modulation of initial sound processing in the brain. *J Neurosci* 2008; 28:11615 -11621

⁵⁶ Jiang J, Zhu W, Shi F, Liu Y, Li J, Qin W, Li K, Yu C, Jiang T. Thick visual cortex in the early blind. *J Neurosci* 2009; 29:2250-2211

los sujetos ciegos mantienen un uso 'tradicional' de sus áreas visuales para procesar el braille, semejante al uso de las áreas auditivas usadas para el lenguaje manual (señas) en las personas sordas.⁵⁷ Pero también existen situaciones en las que la plasticidad no funciona de forma positiva. Por ejemplo, una lesión en el tálamo puede provocar que se produzcan conexiones anormales que influyen de manera importante en la percepción. Beauchamp y Ro (2008) observaron que en pacientes con lesión talámica existía una sinestesia táctil-auditiva y, por lo tanto, una respuesta a los sonidos en la corteza somatosensorial. Esto lleva a la discusión de que la plasticidad puede ocasionar conexiones anormales en modalidades sensoriales que normalmente están separadas, y que la sinestesia puede ser causada por conexiones inapropiadas en territorios corticales cercanos.⁵⁸

⁵⁷ Beauchamp M, Ro T. Neural substrates of sound-touch synesthesia after a thalamic lesion. *J Neurosci* 2008; 28:13696-13702

⁵⁸ Bear M, Connors B. *Neuroscience. Exploring the brain*. Lippincott Williams & Wilkins: Philadelphia, 2007

5. Técnicas de tractografía

El uso de esta técnica en el cerebro ha provisto una gran cantidad de información sobre la arquitectura de la materia blanca. Uno de los propósitos de esta técnica es el de entender la relación entre los diferentes tractos mielinizados, y entre éstos y la materia gris.

La tractografía de la sustancia blanca es una técnica no invasiva usada para observar *in vivo* las estructuras de dicha materia. Está basada en la obtención de una imagen de tensor de difusión (DTI), la cual estima la orientación de la sustancia blanca (WM, por sus siglas en inglés: “white matter”) usando la propiedad del agua de difundirse rápida y paralelamente a lo largo de la dirección de las fibras.⁵⁹

Mediante la aplicación de los correspondientes gradientes del campo magnético, la imagen por resonancia magnética puede ser impulsada por el movimiento térmico (difusión) de las moléculas de agua en la dirección del gradiente de campo. La difusión es anisotrópica (heterogénea y dependiente de la dirección) en los haces de fibras de la sustancia blanca. Esta información está contenida en el tensor de difusión, un modelo matemático de la difusión en un espacio tridimensional (3D). Las trayectorias de las fibras, mostradas en colores superpuestos en una escala de grises, se observan, como se mencionó anteriormente, en proyecciones en tres dimensiones (3D). En las tractografías, a veces se muestran colores elegidos arbitrariamente.⁶⁰ La materia blanca es parte fundamental en este estudio, por lo cual es importante aclarar a qué se refiere este término.

5.1 Sustancia blanca

La sustancia blanca está representada por fibras, principalmente axones largos y mielinizados, que conectan entre sí diversos puntos de la corteza cerebral, o a la corteza con distintos núcleos del

⁵⁹ Lazar M, Alexander A, Thottakara P, Badie B, Fiel A. White matter reorganization after surgical resection of brain tumors and vascular malformations. *Am J Neuroradiol* 2006; 27:1258-1271

⁶⁰ Jellison B, Field A, Medow J, Lazar M, Shariar M, Alexander A. Diffusion tensor imaging of cerebral white matter: a pictorial review of physics, fiber tract anatomy and tumor imaging patterns. *Am J Neuroradiol* 2004; 25:356-369

neuroeje. Se sitúa entre el tronco encefálico y el cerebro y está formada por varias estructuras situadas en la parte central del cerebro, como el tálamo y el hipotálamo⁶¹. Dichas fibras se clasifican de acuerdo a las conexiones que realicen. De esta manera, tenemos la siguiente tipificación:

- i. Fibras de proyección
- ii. Fibras comisurales
- iii. Fibras de asociación
- iv. Fibras del sistema límbico
- v. Fibras del tallo cerebral

5.2 Tractografía, música y ceguera

En el caso de personas videntes, en 2002, Schmithorst encontró diferencias en los tractos de la materia blanca entre adultos que habían tomado clases de música desde su infancia comparados con adultos sin esta preparación. Los músicos mostraron un aumento significativo de la anisotropía fraccional (FA; por sus siglas en inglés) en la rodilla del cuerpo calloso.⁶² En 2010, se realizaron estudios de tractografía a músicos con oído absoluto, a músicos sin esta cualidad y a personas sin esta preparación. Oechslin y colaboradores centraron este estudio en el tracto del fascículo longitudinal superior pues consideraron que es un núcleo primario para funciones del lenguaje y la música. Esta decisión fue debida a que aquel conecta áreas temporales involucradas en procesos auditivos con áreas frontales involucradas en muchas funciones ejecutivas, tales como la memoria o distintos procesos de atención. Estos autores observaron que existe una relación entre los músicos con oído absoluto y una asimetría izquierda de las fibras de este tracto.⁶³

Referente a estudios en ciegos Shimony *et al.* (2006),⁶⁴ observaron que los parámetros de difusión

⁶¹ http://es.brainexplorer.org/brain_atlas/Brainatlas_index.shtml

⁶² Schmithorst VJ, Wilke M. Differences in white matter architecture between musicians and non-musicians: a diffusion tensor imaging study. *Neurosci Lett* 2002 Mar 15; 321:57-60.

⁶³ Oechslin M, Imfeld A, Loenneker T, Meyer M, Jäncke L. The plasticity of the superior longitudinal fasciculus as a function of musical expertise: a diffusion tensor imaging study. *Front Hum Neurosci* 2009; 3:76.

⁶⁴ <http://www.starklab.slu.edu/neuro/BS%20Project.pdf>

están alterados en ciegos a temprana edad en la región del surco calcarino, y ausentes o atenuados en los tractos genículo-corticales. Estos autores hicieron un estudio con 5 niños ciegos a temprana edad (antes de que aprendieran a leer en letras negras), neurológicamente normales y que quedaron ciegos a causa de una patología de la retina. También emplearon un grupo de control de 7 sujetos videntes. Los mismos observaron que 13 de los 14 tractos genículo-calcarinos en los hemisferios de los sujetos videntes eran normales, mientras que estas condiciones sólo se observaban en 2 tractos de los 10 estudiados en los sujetos ciegos (Imágenes 14 y 15). Con estos resultados, se concluyó, entre otras cosas, que los sujetos ciegos poseen una alteración en la microanatomía de la sustancia blanca, y que éstas anomalías son más aparentes en el lóbulo occipital y el esplenio ventral.⁶⁵

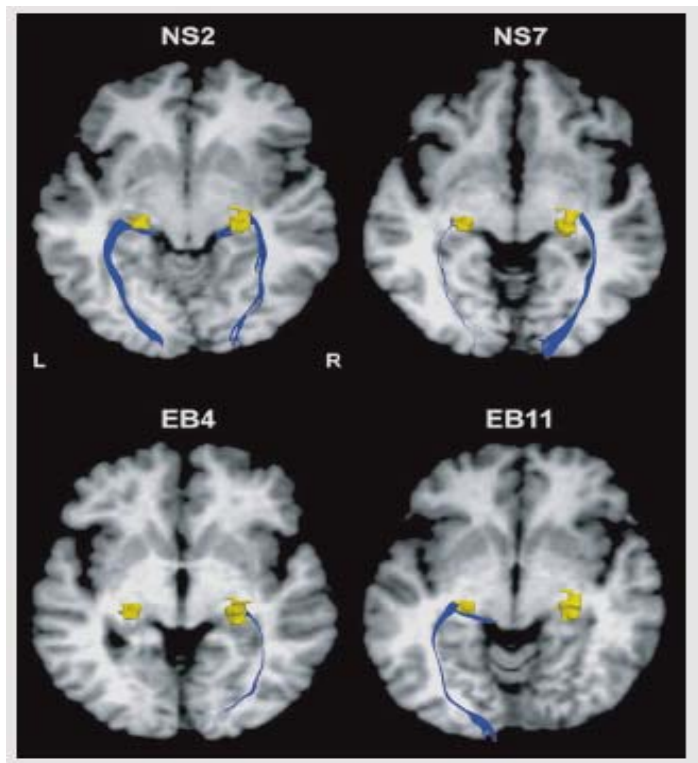


Figura 14. Se muestran las tractografías de los sujetos videntes (NS) en comparación con las de los sujetos ciegos (EB). Se observa que los tractos genículo-calcarinos en los sujetos videntes son típicamente normales, mientras que en los sujetos ciegos son apenas perceptibles (Shimony et al., 2006).

⁶⁵ Shimony J, Burton H, Epstein A, McLaren D, Sun S, Snyder A. Diffusion tensor imaging reveals white matter reorganization in early blind humans. *Cereb Cortex* 2006; 16:1653-1661

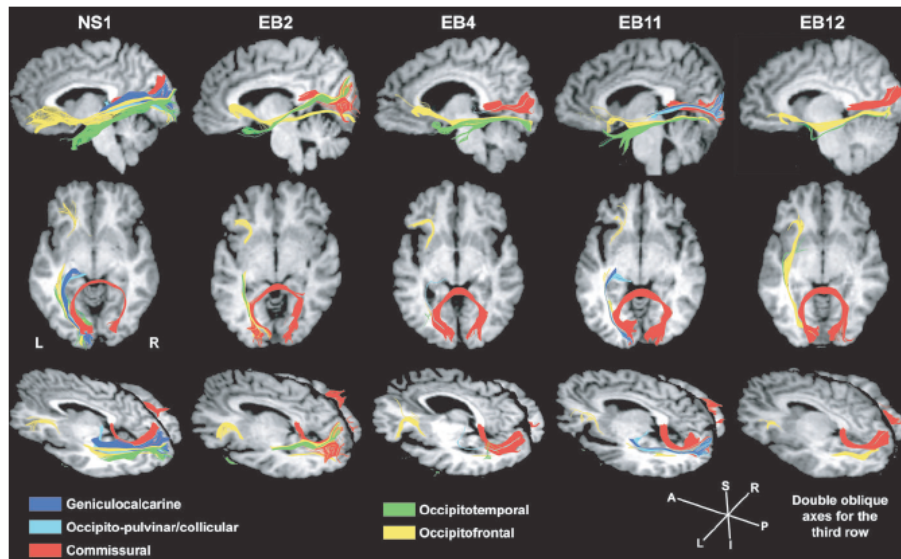


Figura 15. Cortes sagitales y axiales, en los que se comparan las fibras de ambos hemisferios entre sujetos videntes y ciegos (Shimony et al., 2006).

5.3 Tractos neurales

Como se mencionó anteriormente, las fibras, o tractos, de la sustancia blanca se clasifican de la siguiente manera:

Fibras de asociación. Estas fibras interconectan las áreas corticales en cada hemisferio. Entre estas fibras se encuentran el cíngulo, el fascículo occipitofrontal, superior e inferior, el fascículo uncinado, el fascículo superior longitudinal (arcuato) y el fascículo longitudinal inferior (occipito-temporal).⁶⁶

⁶⁶ Op. cit.

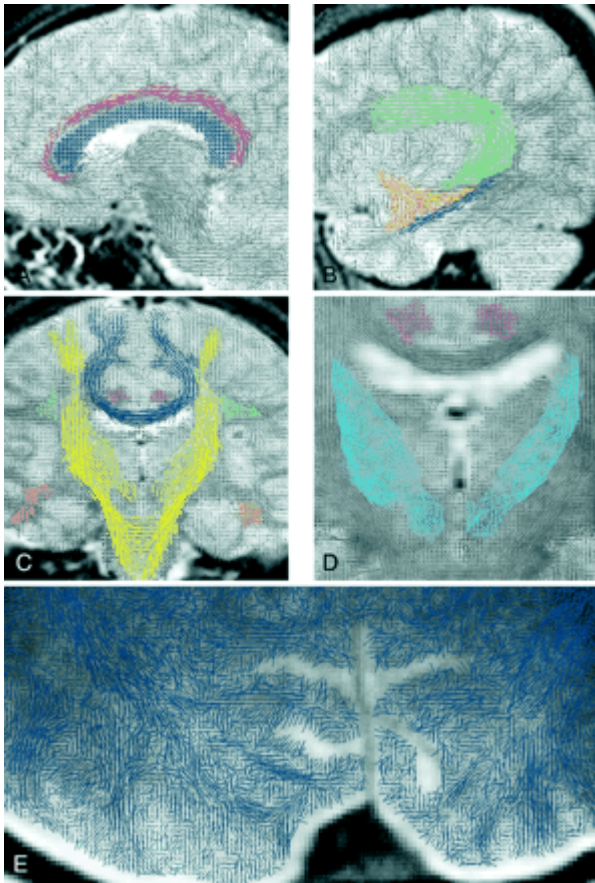


Figura 16. Tomada de Mamata H, Mamata Y, Westin C, Shenton M, Kikinis R, Lolesz F, Maier S. High resolution line scan diffusion tensor MR Imaging fiber tract anatomy. Am J Neuroradiol 2002; 23: 67-75

- A. Corte sagital en el cual se observa el paso de fibras a través del cíngulo (rosa). Las fibras del cuerpo calloso corren en un ligero ángulo a través del plano (puntos azules)
- B. En el mismo corte, se observa el fascículo arcuato (verde), el fascículo inferior longitudinal (azul) y el fascículo uncinado (anaranjado)
- C. Corte coronal del limbo de la cápsula interna. Se observan las fibras del cíngulo (rosa), el fascículo arcuato (verde) el fascículo uncinado (anaranjado) que pasan a través del corte (puntos). Las fibras del limbo posterior de la cápsula interna (líneas amarillas) corren sobre el plano.
- D. Corte coronal de la región talámica. Las fibras estriato-nigrales y pálido-nigrales se muestran en color azul claro.
- E. Corte axial del área calcarina. Se observan las fibras que conectan la corteza visual.

Fibras de proyección. Estas fibras interconectan las áreas corticales con el núcleo profundo, el tallo cerebral, el cerebelo y la médula espinal. Hay fibras de proyección que pueden ser eferentes o aferentes.

Las fibras de este tipo incluyen los tractos córtico-espinales, córtico-bulbares y córtico-pónticos, así como los tractos genículo-calacarinós. También se observa la corona radiata que conecta la cápsula interna con las áreas corticales.⁶⁷

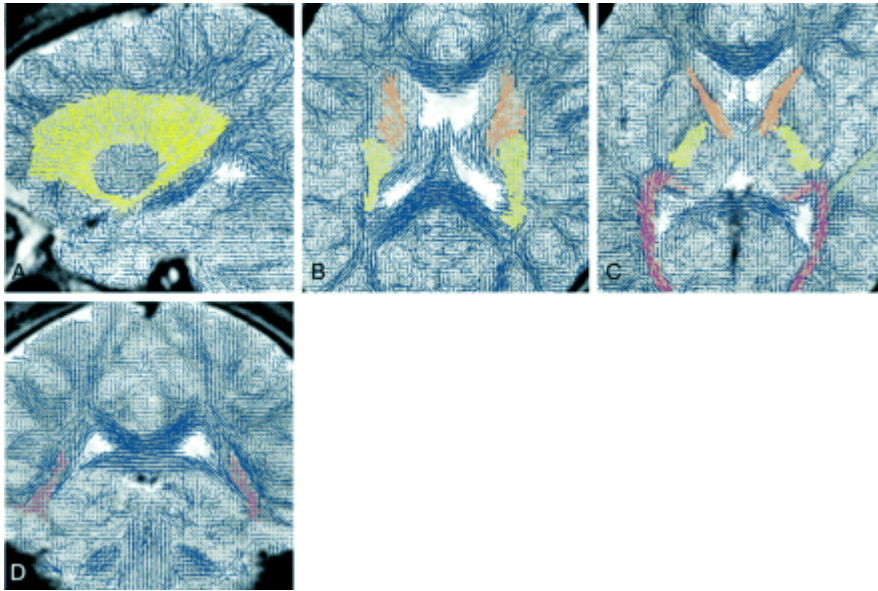


Figura 17. Tomada de Mamata H, Mamata Y, Westin C, Shenton M, Kikinis R, Lolesz F, Maier S. High resolution line scan diffusion tensor MR Imaging fiber tract anatomy. Am J Neuroradiol 2002; 23: 67-75.

- A. Corte sagital lateral. Se observa la corona radiata (amarillo).
- B. Corte axial a través de la rodilla y el esplenio del cuerpo calloso. Se observan las fibras de la corona radiata dentro del limbo posterior (amarillo), y las fibras dentro del limbo anterior (anaranjado) del cuerpo calloso.
- C. Corte axial del ganglio basal. Se observan las fibras del limbo anterior de la cápsula interna (anaranjado), el limbo posterior (amarillo), y partes de la radiación óptica (rosa) y auditiva (verde).
- D. Corte coronal de los ventrículos laterales. Los puntos rosas indican las fibras a través del plano, las cuales son parte de la radiación óptica.

Fibras comisurales. Estas fibras interconectan áreas corticales similares entre los hemisferios opuestos, como el cuerpo calloso y la comisura anterior.⁶⁸ La rodilla (“genu”) del cuerpo calloso contiene muchas fibras que se interconectan con los lóbulos frontales. El cuerpo calloso contiene también fibras que van desde la parte posterior del lóbulo frontal al lóbulo parietal (se pueden ver en las figuras 16A y 16C, y 18A). El esplenio (“splenium”), que se muestra en la figura 17B, 17C y 17D,

⁶⁷ Op. cit.

⁶⁸ Op. cit.

contiene fibras que interconectan áreas correspondientes a los lóbulos temporales y occipitales. Las fibras cruzan dentro de la comisura anterior y se muestran claramente en la figura 18B. La parte frontal de la comisura anterior es muy delgada, y pequeñas fibras interconectan en esta zona a los bulbos olfatorios.⁶⁹

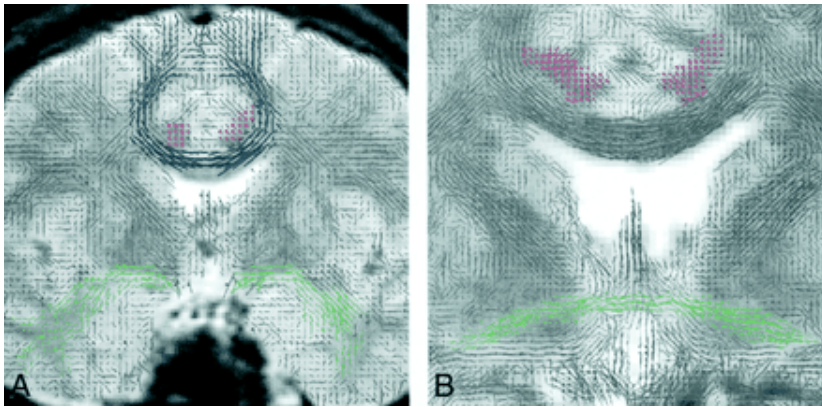


Figura 18. Tomada de Mamata H, Mamata Y, Westin C, Shenton M, Kikinis R, Lolesz F, Maier S. High resolution line scan diffusion tensor MR Imaging fiber tract anatomy. Am J Neuroradiol 2002; 23: 67-75)

- A. Corte coronal de la ínsula. El cíngulo (rosa) y las fibras (azul) interconectan la corteza fronto-parietal de cada hemisferio con el cuerpo calloso. Las fibras de la comisura anterior (verde) se irradian en los lóbulos temporales.
- B. Ampliación del corte coronal, en donde se observa la comisura anterior (verde).

Fibras del sistema límbico. Dentro de esta clasificación se encuentran el cíngulo, el fórnix, las estrías terminales, el hipocampo y la amígdala, además de los ventrículos. El cíngulo viaja a lo largo de la superficie ventral del hipocampo, mientras que el fórnix y las estrías terminales se proyectan a lo largo de la superficie dorsal.⁷⁰

Fibras del tallo cerebral. Dentro de esta clasificación hablamos específicamente de los pedúnculos cerebrales inferior, medio y superior, el tracto corticoespinal y el lemnisco medial.

⁶⁹ Mamata H, Mamata Y, Westin C, Shenton M, Kikinis R, Lolesz F, Maier S. High resolution line scan diffusion tensor MR imaging fiber tract anatomy. Am J Neuroradiol 2002; 23:67-75

Las figuras 16, 17 y 18 se tomaron de esta misma referencia.

⁷⁰ Wakana S, Jiang H, Nagae-Poetscher L, van Zijl PC, Mori S. Fiber tract-based atlas of human white matter anatomy. Radiology 2004; 230:77-87

6. Ceguera

De acuerdo con datos de la Organización Mundial de la Salud, de 415 millones de personas que hay en el mundo con discapacidad visual, 45 millones son ciegos y el 87% de estas personas vive en países en desarrollo.⁷¹ Datos del INEGI informan que, hasta el 2005, 467 mil personas padecían discapacidad visual en México.⁷² Debido a que este proyecto se centra en solamente en ella, se definirá brevemente la ceguera, además de que se realizará una breve revisión sobre las causas que originaron este padecimiento entre los sujetos de estudio.

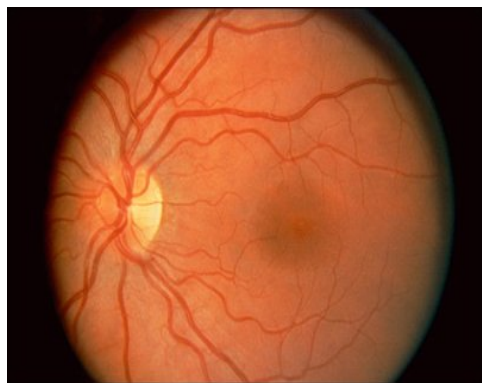


Figura 19. Retina sana. Tomada de <http://ocularis.es/blog/pics/retsana.jpg>

Ceguera. Se define como la falta total o parcial del sentido de la vista. En algunos casos, es posible que la persona ciega pueda tener una ligera percepción de la luz, es decir, que sea capaz de distinguir entre luz y oscuridad, pero no de distinguir las formas de los objetos.⁷³

Los sujetos del presente estudio tienen un diagnóstico de ceguera total, la cual fue causada por diversas patologías, específicamente, la retinopatía del prematuro, el glaucoma congénito y el retinoblastoma bilateral (cáncer).

a) Retinopatía del prematuro (ROP). Es también conocida como *fibroplasia retrolental*, la cual se desarrolla en hasta el 84% de los niños prematuros de 1250 gr. de peso, o menos. Consiste en el desarrollo anormal de los vasos sanguíneos de la retina, proceso que inicia generalmente en los primeros días de vida y causa la ceguera en un par de semanas.

⁷¹ <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs282/en/index.html>

⁷² <http://www.jornada.unam.mx/2005/04/29/a03n1cie.php>

⁷³ <http://www.once.es/home.cfm?id=189&nivel=3&orden=6>

A los 4 meses de la gestación, la retina del feto comienza a desarrollar los vasos sanguíneos; antes de este tiempo, esta estructura es avascular. Hacia los 8 meses de la gestación, la vascularización alcanza la *ora serrata* (parte más anterior y periférica de la retina) y la retina periférica hacia los 9 meses de gestación e incluso después del nacimiento. Esto significa que los niños prematuros aún no alcanzan el nivel adecuado de madurez vascular.

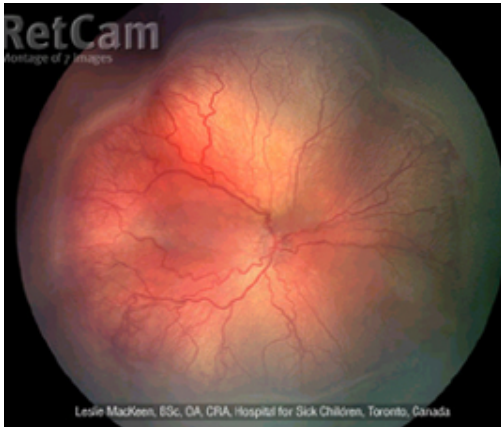


Figura 20. Fondo del ojo en una retinopatía del prematuro. Tomada de [http://www.aragoninvestiga.org/files/retinopatia-prematuro-](http://www.aragoninvestiga.org/files/retinopatia-prematuro-oftalmologia-hospital-zaragoza.jpg)

[oftalmologia-hospital-zaragoza.jpg](http://www.aragoninvestiga.org/files/retinopatia-prematuro-oftalmologia-hospital-zaragoza.jpg)

Recientemente, se ha descubierto que la retinopatía del prematuro es una enfermedad multifactorial con numerosos potenciales de riesgo, los que incluyen bajo peso al nacer, corta edad gestacional, anemia, síndrome de tensión respiratoria, apnea y repetidas transfusiones sanguíneas, entre otros. De los bebés que nacen prematuramente y con un peso menor a 1,250 gr, del 60 al 80% presentará ROP entre el primer y el segundo mes de vida. De este porcentaje, el 90% resolverá su situación, y en el 10% restante la misma progresará a estadios más severos, incluso la ceguera.⁷⁴

b) Glaucoma congénito. Se caracteriza porque existe una anomalía ocular debida a la presión intraocular aumentada, esto es, un defecto en la salida del humor acuoso. De hecho, debe haber un equilibrio entre la producción y la salida del humor acuoso. La presión intraocular excesiva provoca una degeneración de la retina. Este tipo de glaucoma afecta generalmente a los niños.

Una de las características del glaucoma es la pérdida de la transparencia normal de la córnea y la

⁷⁴ www.medigraphic.com/espanol/e-htms/e-h.../em-gg014k.htm

presencia de un crecimiento exagerado del ojo. Generalmente, la enfermedad se presenta de manera bilateral, aunque no siempre es igual de agresiva en ambos ojos. Si el tratamiento no funciona o se presenta demasiado tarde, habrá un ojo ciego, otro grande y adelgazamiento en la capa externa del ojo.⁷⁵

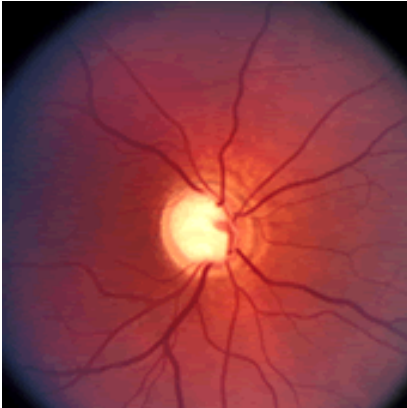


Figura 21. Tomada de

http://www.oftalmicamonterrey.com/servicios_guacloma.gif

c) Retinoblastoma bilateral. Es una enfermedad en la cual se forman células malignas (cancerosas) en los tejidos de la retina. El tumor puede estar en uno o ambos ojos y aparecer normalmente en niños menores de 5 años.⁷⁶ El retinoblastoma se puede desarrollar en un niño cuya familia no haya padecido nunca cáncer en el ojo, pero otras veces, puede aparecer en varios miembros de la misma. Este tipo de cáncer se puede diseminar a través de las vías ópticas a la órbita, el cerebro e, incluso, los pulmones y los huesos.⁷⁷

⁷⁵ http://www.asociaciondeglaucoma.es/glaucoma/glaucoma_congenito.html

⁷⁶ <http://www.cancer.gov/espanol/pdq/tratamiento/retinoblastoma/patient#Keypoint1>

⁷⁷ <http://www.nlm.nih.gov/medlineplus/spanish/ency/article/001030.htm>

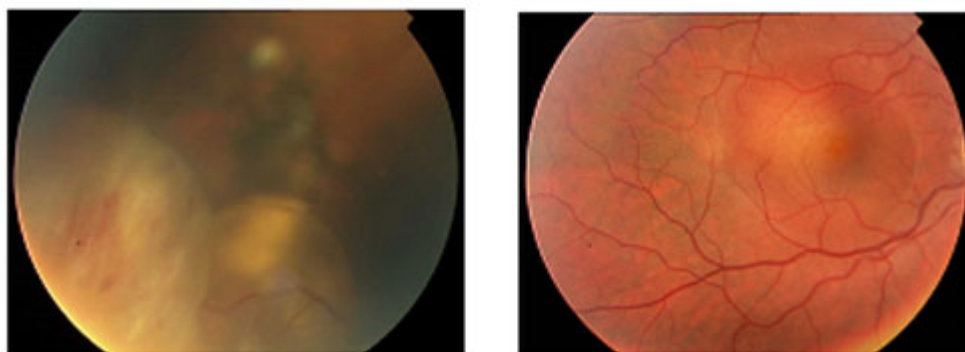


Figura 22. Fondo de ojo compatible con retinoblastoma. Tomada de http://www.socv.org/imagenes/fotos_informese/fotos_2007/retinoblastomas_002.jpg

7. Desarrollo y metodología

Tipo de estudio. Se realizó un estudio transversal en sujetos con aproximadamente 10 meses de entrenamiento musical. Se observaron los cambios en los tractos neurales de ambos grupos de estudio.

Tipo de muestra. Tres sujetos con edades de 5 y 6 años que hubieran perdido la visión, ya sea, en etapas tempranas de su niñez o de manera tardía. Cada uno de los participantes se comparó con su propio control que, en este caso, era genéticamente de la misma familia, además de que, en el caso de los controles, se trataba de sujetos que no carecían del sentido de la vista.

Ambos participantes eran de aproximadamente de la misma edad; los sujetos ciegos tomaron clases de música por un periodo de 10 meses mientras que los controles no las tomaron.

Criterios de inclusión/ exclusión. Los sujetos fueron valorados oftalmológicamente en el HIMFG para poder describir el tipo de ceguera y el motivo de ésta. También se realizaron pruebas de Pre-diagnóstico cuantitativo y cualitativo de la Escala Verbal WPPSI en las cuales se determinó que ninguno de los participantes tenía déficit mental (a excepción de la ceguera). Ambos estudios se pueden consultar en el apéndice del proyecto.

Ya que los sujetos eran menores de edad, se pidió, y fue otorgado, el consentimiento de los padres y/o los tutores.

Procedimiento.

Para el desarrollo de las clases de música se tomaron en cuenta los siguientes aspectos:

Sesiones una vez a la semana en las cuales las clases incluyeron:

- *Ritmo.* El que favorece el proceso de estructuración espacio-temporal. Gracias al ritmo podemos tener una estructura y orden en los procesos mentales. La noción de ritmo nos conduce al concepto de intervalo, el cual es una función necesaria en el plano motor y en el espacio-temporal. Se manejaron instrumentos de percusión que hicieran atractivas las clases, ya que, además, la manipulación de éstos requiere de cierto control motor, que puede ser fino

o grueso, según el instrumento que se esté empleando. Las percusiones que se utilizaron fueron el huéhuetl, las claves, las maracas, los tambores de mano, los crótalos y los panderos.

- *Melodía.* Se manejó a través de cantos y juegos que favorecieron el aspecto de estructuración espacio-temporal en los niños. Los juegos y los movimientos corporales que se incluyeron en los cantos ayudaron al alumno a desarrollar aspectos psicomotores, tales como la lateralización, la postura y el equilibrio, el control respiratorio, la coordinación motriz, la organización espacio-temporal, el tono y, finalmente, la organización del esquema corporal.
- *Armonía.* Se trabajó, principalmente, un instrumento: el xilófono. La razón de esta elección fue que, al ser un instrumento al cual se le pueden remover las barras, es mucho más fácil para el niño -sobre todo en edades tempranas, como 4 ó 5 años- encontrar las armonías adecuadas que correspondan a la melodía que se le presente.

Los materiales que se trabajaron en clase tomaron como base elementos de los métodos de Carl Orff, Pierre van Hauwe, Jacques Dalcroze y Zoltán Kodály. Además, se utilizaron diversas rimas, adivinanzas y piezas de otros autores que se adaptaron a lo anterior y a las necesidades de los alumnos.

Se planearon las clases de acuerdo a la edad de los sujetos, además de los materiales didácticos y piezas acorde a su edad.

Objetivos generales de las clases

1. Conocer los elementos musicales y practicarlos a lo largo del curso.
2. Igualmente, reconocer distintos instrumentos musicales y para la discriminación auditiva.
3. Ejecutar pequeñas piezas con diferentes instrumentos de percusión y xilófono, además de la voz.

El propósito de este curso no fue que los alumnos fueran ejecutantes de algún instrumento; esto sería difícil de lograr debido a la edad y a las características de los alumnos, además del corto tiempo que duró el proyecto. Lo que sí se pretendió fue que los niños aprendieran cómo llevar un pulso, los

ritmos, a cantar afinadamente y a desarrollar su memoria musical. Hay que mencionar que en una educación musical para niños videntes, la mayor parte del aprendizaje en edad preescolar, es a través de la imitación esencialmente de movimientos. En el caso de los niños con ceguera, no sería de esta manera. A pesar de que la imitación auditiva es primordial, también se requiere de explicaciones sencillas que guíen al alumno para que dirija sus movimientos al objetivo que se desee, ya sea, el acompañar con un movimiento una canción o, más específicamente, tocar un instrumento.

Como se mencionó anteriormente, no se detallan cada una de las clases, pues no es fundamental para el proyecto. Pero sí se exponen los aspectos generales que podrían servir de base para una programación específica futura.

Contenido de las clases.

Ritmo

Este elemento se trabajó con diferentes materiales didácticos, así como por medio de adivinanzas y rimas. Se marcaron con percusiones corporales (golpes en diferentes partes del cuerpo -rodillas, palmas, chasquidos-), o bien, con instrumentos de percusión (claves, tambor de mano, huéhuetl). El ritmo se trabajó de manera constante durante todo el curso. Un elemento básico desde la primera clase fue el pulso. Los alumnos lo experimentaban percutiéndolo de manera corporal y en instrumentos, en ritmos hablados y en canciones sencillas, con desplazamiento y sin desplazamiento.

El uso de regletas fue de gran utilidad pues se pudo comprender de manera tangible los conceptos de sonidos largos y cortos debido a que cada una de estas regletas es de diferente tamaño. De esta manera, el alumno podía asociar lo que escuchaba con el tamaño de la regleta que tocaba en un determinado momento. No se trabajaron específicamente figuras rítmicas pues eso implicaría un proceso de escritura en braille que los alumnos aún no dominan del todo. Lo que sí es destacable es que se buscó que los alumnos comprendieran que en la música existen sonidos largos y cortos.

Asimismo, los alumnos pudieron acompañar algunas de las canciones con patrones rítmicos sencillos ejecutados en instrumentos de percusión. Conjuntamente con los ejercicios rítmicos, los alumnos

lograron hacer sencillas improvisaciones entre ellos a manera de pregunta-respuesta.

Melodía

Básicamente la melodía se trabajó a través del canto. Los alumnos comenzaron por entonar canciones sencillas con intervalos de 3ª menor. Posteriormente, su repertorio se amplió con canciones en escalas mayores, menores y pentatónicas. Ya más avanzado el curso, los alumnos lograron entonar los grados de la escala mayor en orden y de manera aleatoria.

La dificultad de los cantos fue avanzando conforme lo hacía el curso. Al principio eran cantos de letra sencilla y de un solo intervalo: 3ª menor. Paulatinamente, la letra era un poco más compleja, lo que conllevaba a desarrollar la memoria musical, pues los alumnos sólo contaban con el recurso auditivo; aunque las melodías se pudieran apoyar con narraciones cortas que introducían a la temática de la canción. En este sentido, hay una diferencia significativa con los niños videntes, los que se pueden apoyar en dibujos, por ejemplo.

Armonía

Los alumnos consiguieron armonizar de manera sencilla pequeñas canciones. Ya que el xilófono es un instrumento al que se le pueden remover las barras fue relativamente sencillo que los niños encontraran la armonía adecuada para las canciones que les presentaban. La mayoría de las armonizaciones estuvieron basadas en bordones.

Otros elementos musicales...

Velocidad. Básicamente, se trabajaron tempos rápidos y lentos, a través de diferentes melodías y juegos. Principalmente los alumnos vivenciaron la velocidad a través de desplazamientos y movimiento corporal.

Intensidad. Se jugó con los diferentes tipos de intensidad, f, p, pp, mf, ff, ppp, fff, ya sea, en la voz o en los instrumentos que se estuvieran tocando.

Altura. Grave-agudo. Se manejaron estos conceptos a través de juegos en la voz y sonidos presentes en la naturaleza (animales, transportes, ruidos del ambiente). El trabajo en este aspecto ayudó a la correcta entonación de las canciones que se presentaron a lo largo del curso.

Duración. Fue la base para el estudio del ritmo. La discriminación de sonidos largos y cortos a través de diferentes actividades ayudaron a la comprensión de este concepto. Como actividades se sugirieron: cortar periódico de acuerdo al sonido que se escuche, marcar con el dedo una línea imaginaria siguiendo la indicación anterior, etc.

Timbre. A través de la audición de diferentes instrumentos, se conocieron diferentes timbres que caracterizan a cada instrumento musical. Además, se trabajó el timbre de la propia voz a través de las diversas entonaciones que se le dio.

Cada uno de estos elementos, son parte fundamental para la formación musical del alumno. Se manejaron de acuerdo a la edad de los alumnos y sus necesidades, aunque hay que aclarar que no se trabajaron estrictamente de acuerdo con la manera como se hace en una escuela de música profesional. El objetivo, a nivel educativo de este trabajo, fue que se formalizara y se tomaran en cuenta cada uno de estos aspectos dentro de la educación musical en las escuelas. La importancia es saber que no es sólo dar los cantos y juegos, en este caso para niños en edad preescolar, sin ninguna meta especial, sino saber que son la base para una educación musical formal, sino que las actividades estén dirigidas a objetivos específicos que ayuden al desarrollo integral y musical del alumno. Recordemos que la música es un proceso de coordinación, precisión, secuenciación y ejecución, que además permite una retroalimentación que contribuye a reforzar y almacenar determinados esquemas sensorio-motores que ayudarán al mantenimiento de las funciones más complejas del ser humano.⁷⁸

Una vez concluidas las clases, los sujetos asistieron al área de imagenología del HIMFG para que se les tomaran las imágenes de resonancia magnética para la implementación de las técnicas de tractografía. Además, se les realizaron las pruebas de pre-diagnóstico cuantitativo y cualitativo de la Escala Verbal

⁷⁸ Betés de Toro M. Fundamentos de musicoterapia. Morata: Madrid, 2000.

WPPSI y se sometieron a la valoración oftalmológica. Estas últimas pruebas y sus resultados se pueden consultar en el anexo de este proyecto.

Una vez obtenidas las imágenes para tractografía, se definieron las ROI's (regiones de interés) de manera similar en la corteza cerebral de cada individuo. Las ROI's que se tomaron en cuenta para este estudio fueron:

- El lóbulo frontal
- El lóbulo temporal
- El lóbulo occipital
- El cuerpo geniculado
- El esplenio
- El cuerpo calloso

Posteriormente, se ocultaron de la observación las regiones de interés, con la excepción de aquellas en las que se pretendía determinar las fibras entre una a otra ROI. En este estudio, las fibras de las regiones de interés que se deseaban hallar fueron:

- Las fibras, o tractos, occipito-frontales (bilaterales)
- Las fibras occipito-temporales (bilaterales)
- Las fibras occipitales
- El cuerpo calloso

Una vez que las fibras se habían delimitado, se obtuvo el registro del número de ellas que existían de un punto a otro. De esta manera, se pudieron comparar los resultados entre los sujetos.

8. Métodos y Materiales

Se obtuvieron imágenes de tensor de difusión DTI HIGH con TR=8825, TE=80; tamaño del voxel 2.00/2.03/2.00; factor EPI 59; matriz 112 x 110; 60 cortes con una duración de 10:00 minutos.

Se procesaron las imágenes con el software integrado (INTERA 1.5 T, RELEASE 2.6 LEVEL 1 2008.07.18)

8.1 Apéndice I

Valoración oftalmológica de los sujetos

- a) MC-1. M, 7 años. Antecedente de convulsiones a los 4 años e internamiento por 1 mes en el Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS). Posible problema viral. A los 3 meses de estar internado inicia con disminución de la visión y ceguera. Tratamiento: carbamazepina.

Agudeza visual en ambos ojos: no percibe luz. Anexos de ambos ojos normales. Segmento anterior de ambos ojos normal. Pupila en midriasis media; lo demás en buen estado. Fondo ocular en ambos ojos: papilas blancas, vasos adelgazados, arteriales y venosos. Todo lo demás normal.

Diagnóstico: atrofia óptica bilateral.

- b) MC-2. M, 6 años y 11 meses. *Diagnóstico de glaucoma bilateral congénito*; ojo izquierdo con phthisis bulbi y antecedentes de rubéola.

Agudeza visual: en ojo derecho percibe luz; en ojo izquierdo no percibe luz.

Operado en Hospital "Conde de Valenciana" por su problema diagnóstico.

Segmento anterior ojo derecho: megalocórnea de 15 mm. Edema corneal, cámara anterior amplia, iris regular con iridectomía superior. Demás estructuras difíciles de valorar por opacidad de medio.

Segmento anterior ojo izquierdo: 10 mm. de diámetro corneal, opacidad corneal difusa. Demás estructuras difíciles de valorar.

Ultrasonografía: ojo derecho, 24 mm. de diámetro eje antero-posterior, sinéresis vítrea; ojo izquierdo, desprendimiento retiniano total.

Empleo de Braille desde hace 2 meses.

c) MC-3. F, 7 años. Antecedente de prematuridad de 24 semanas, peso 920 gr. Estuvo en incubadora 70 días, entubada 30 días. Interconsulta a Oftalmología a los 9 meses.

Diagnóstico: retinopatía del prematuro.

Desprendimiento retiniano bilateral.

Agudeza visual: en ambos ojos no percibe luz.

Agudeza visual: en ojo derecho no percibe luz / movimientos oculares en búsqueda.

Segmento anterior ojo derecho: Micro-oftalmos.

Diámetro de corneal de 7 mm., transparente, cámara estrecha, seclusión pupilar, leucocoria.

Segmento anterior ojo izquierdo: Microcórnea.

Diámetro de corneal de 7 mm., queratopatía en banda, iris vasos en estroma, cámara estrecha, seclusión pupilar, leucocoria.

Ultrasonografía: Desprendimiento total retiniano en embudo estadio V.

8.2 Apéndice II

Pre-diagnóstico cuantitativo y cualitativo de la Escala Verbal WPPSI

Nota. Se señala en cada caso, el sujeto de estudio (a) y su control (b). En el sujeto MC-2, no hubo sujeto control.

Caso 1a (MC-1)

El Caso 1a (edad: 7) obtiene un puntaje normalizado de 44, con un CI verbal de 92. Estos datos indican que posee una inteligencia verbal normal. De esta manera, se puede decir que ha desarrollado capacidades verbales (semántica, razonamiento lógico, memoria y conceptualización) adaptativas y funcionales al igual que la media poblacional.

La puntuación en cada subescala del Caso 1a se encuentra sobre la norma. Esto indica que su capacidad para captar las propiedades básicas de los objetos y las relaciones de éstos, los conocimientos generales o los conceptos básicos, la memoria remota y el pensamiento asociativo, el lenguaje y la fluidez verbal, los conceptos numéricos y las operaciones numéricas, la concentración, la atención y el manejo automático de símbolos, el juicio práctico, la comprensión y la adaptación a situaciones sociales, y la capacidad para utilizar las experiencias de un modo adecuado son suficientes y funcionales, mas no sobresalientes.

Testigo 1b

El Testigo 1b (edad: 5) obtiene un puntaje normalizado de 72, con un CI verbal de 127, lo que indica que posee una inteligencia verbal superior a la norma poblacional, por lo que se puede confirmar que el Testigo 1b presenta capacidades verbales (semántica, razonamiento lógico, memoria, conceptualización) adaptativas y funcionales, pero en un grado superior a la mayoría de sus coetáneos.

Específicamente, en la mayoría de las subescalas puntúa de manera superior, a excepción de la subescala de semejanzas, ya que en ella puntúa de forma normal y suficiente, lo que indica que su capacidad para captar las propiedades básicas de los objetos y las relaciones existentes entre los

hechos y las ideas es buena. En cuanto a la información, el vocabulario, la aritmética y la comprensión, puede decirse que el Testigo 1b posee, en grado admirable, los conocimientos generales o los conceptos básicos captados del ambiente y retenidos; por lo tanto, su memoria remota y su pensamiento asociativo funcionan de manera excelente. Asimismo, posee un lenguaje muy rico, comprende muchas palabras y tiene fluidez verbal. La capacidad que demuestra al utilizar conceptos numéricos y operaciones confirma su gran concentración, su atención y su manejo automático de símbolos. Por último, posee un juicio práctico, una comprensión y una adaptación a situaciones sociales que le permiten utilizar las experiencias de un modo brillante y funcional.

Caso 2a (MC-2)

El Caso 2a (edad: 7:1) obtiene un puntaje normalizado de 58, con un CI verbal de 110. Estos datos indican que posee una inteligencia verbal normal, brillante o alta. Al mismo tiempo, se puede confirmar que el Caso 2a presenta capacidades verbales (semántica, razonamiento lógico, memoria y conceptualización) adaptativas y funcionales al igual que la mayoría de los niños de su edad, pero en grado sobresaliente.

Específicamente, en las subescalas, puntúa alrededor de la norma, a excepción de la subescala de semejanzas. En la capacidad para captar las propiedades básicas de los objetos y las relaciones existentes entre los hechos y las ideas, puntúa de forma superior. En cuanto a la información, el vocabulario, la aritmética y la comprensión, puede decirse que el Caso 2a posee en grado suficiente los conocimientos generales o los conceptos básicos captados del ambiente y retenidos; por lo tanto, su memoria remota y su pensamiento asociativo funcionan normalmente. Asimismo, posee un lenguaje suficientemente rico, comprende muchas palabras y tiene fluidez verbal. La capacidad que demuestra al utilizar conceptos numéricos y operaciones confirma su buena concentración, su atención y su manejo automático para símbolos. Por último, mantiene un buen juicio práctico, y una comprensión y una adaptación a situaciones sociales que le permiten utilizar las vivencias de un modo adecuado.

Testigo 2b.

El Testigo 2b (edad: 5::8) obtiene un puntaje normalizado de 54, con un CI verbal de 105, lo que indica posee una inteligencia verbal normal y, a su vez, que tiene capacidades verbales (semántica, razonamiento lógico, memoria y conceptualización) adaptativas y funcionales al igual que la media poblacional.

Su puntuación en cada subescala es normal, o sea, que su capacidad para captar las propiedades básicas de los objetos y las relaciones de éstos, los conocimientos generales o los conceptos básicos, la memoria remota y el pensamiento asociativo, el lenguaje y la fluidez verbal, los conceptos numéricos las operaciones matemáticas, la concentración, la atención y el manejo automático de símbolos, el juicio práctico, la comprensión y la adaptación a situaciones sociales, y la capacidad para utilizar las experiencias de un modo adecuado son suficientes y funcionales, más no sobresalientes.

Caso 3a (MC-3).

El Caso 3a (edad: 7:3) obtiene un puntaje normalizado de 31, con un CI verbal de 76. Por lo tanto, se puede decir que la inteligencia verbal es limítrofe respecto a la norma poblacional. La interpretación que se da al nivel de las capacidades verbales, como la semántica, el razonamiento lógico, la memoria y la conceptualización, es que éstas son muy limitadas y muy poco eficientes para el buen desarrollo y funcionalidad en todas las áreas vitales.

En la mayoría de las subescalas ha sido calificado con un nivel inferior; no obstante, las subescalas vocabulario y semejanzas dan un valor sobre la media, lo que habla a favor de que el Caso 3a conserva suficiente riqueza de lenguaje, buena comprensión de las palabras y fluidez verbal, así como la capacidad de captar las propiedades básicas de los objetos y las relaciones esenciales existentes entre los hechos y las ideas. Sin embargo, no existe significativamente la capacidad para interiorizar los conocimientos generales o los conceptos básicos, la memoria remota y el pensamiento asociativo son pobres, la concentración, la atención y el manejo automático de símbolos, el juicio práctico, la comprensión y la adaptación a situaciones sociales se aprecian limitados.

Testigo 3b.

El Testigo 3b (edad: 6:4:) obtiene un puntaje normalizado de 50, con un CI verbal de 100, lo que indica que posee una inteligencia verbal normal y que, a su vez, tiene capacidades verbales (semántica, razonamiento lógico, memoria y conceptualización) adaptativas y funcionales al igual que la media poblacional.

Su puntuación en cada subescala es normal, o sea, que la capacidad para captar las propiedades básicas de los objetos y las relaciones de estos, los conocimientos generales o conceptos básicos, la memoria remota y el pensamiento asociativo, el lenguaje y la fluidez verbal, los conceptos numéricos y las operaciones numéricas, concentración, atención y manejo automático de símbolos, juicio práctico, la comprensión y la adaptación a situaciones sociales, y la capacidad para utilizar las experiencias de un modo adecuado son suficientes y funcionales, más no sobresalientes.

8.3 Análisis Estadísticos.

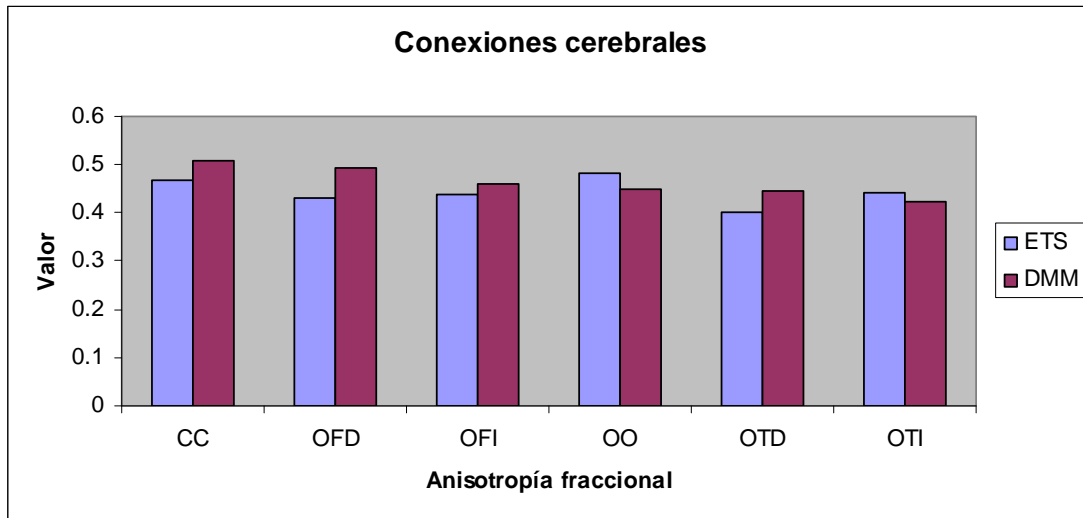
1. Se usaron las pruebas no paramétricas de normalidad de Kolmogorov-Smirnov de los 3 casos y los 3 testigos correspondientes. En las 6 pruebas efectuadas los resultados fueron normales.
2. Se aplicaron las pruebas no paramétricas de Wilcoxon para comprar las medias de cada uno de los 3 casos con las medias de sus testigos correspondientes. En aquellos casos de las gráficas de Excel donde las comparaciones dieron diferencias significativas ($p < 0.05$) se incluye el valor numérico de la probabilidad.

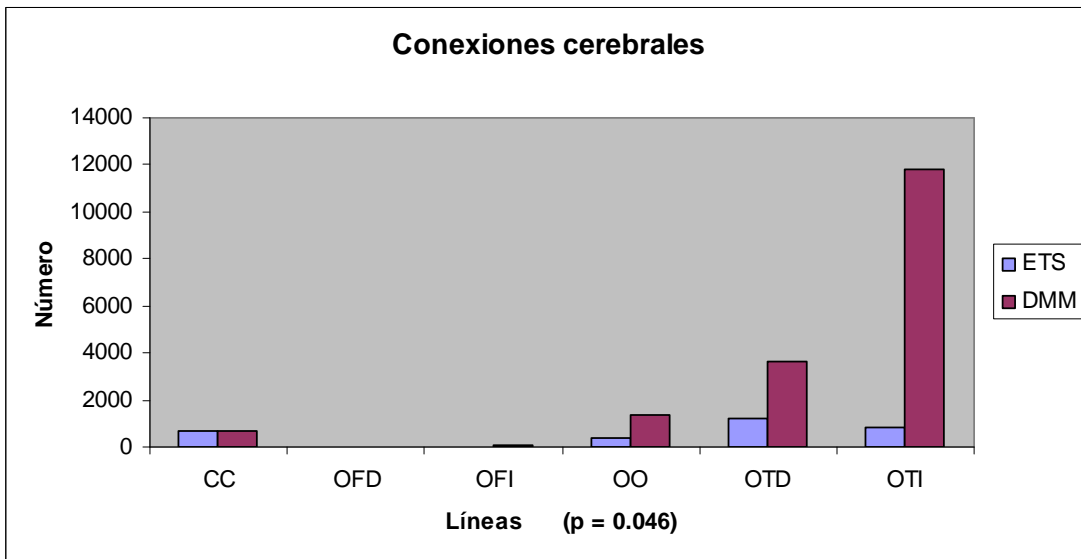
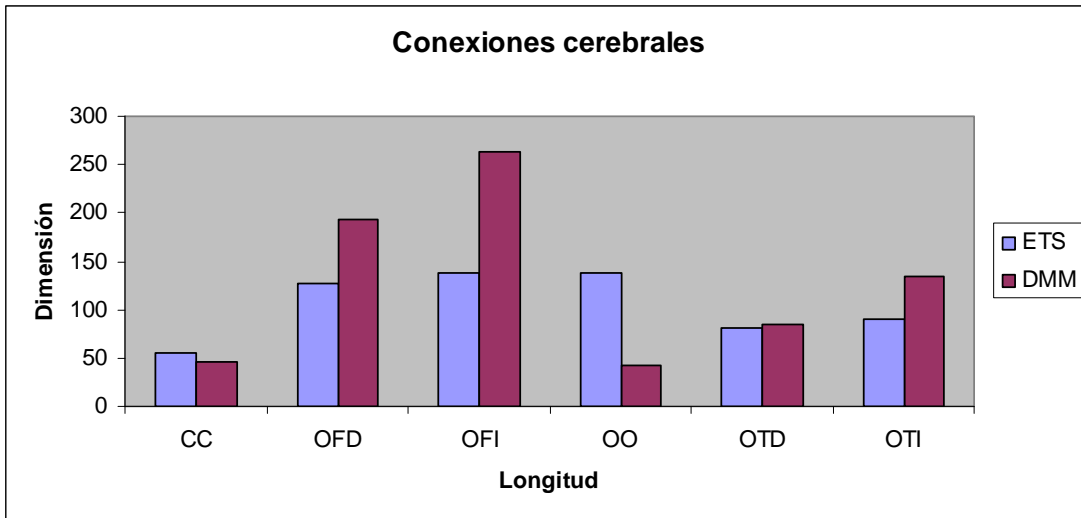
Caso 1a MC 1

Conexiones	Líneas	FA	Longitud
Cuerpo Calloso	675	0.468±0.NaN	55.50±39.00
Occipital-frontal derecho	36	0.431±0.134	126.24±14.00
Occipital-frontal izquierdo	20	0.439±0.124	138.44±13.66
Occipital-occipital	353	0.481±0.195	138.49±18.65
Occipital-temporal derecho	1174	0.401±0.138	81.46±28.15
Occipital –temporal izquierdo	846	0.442±0.152	90.80±18.19

Testigo Diego Morales Mariscal (no emparentado)

Conexiones	Líneas	FA	Longitud
Cuerpo Calloso	710	0.508±0.196	45.29±32.25
Occipital-frontal derecho	2	0.492±0.183	192.68±2.31
Occipital-frontal izquierdo	65	0.460±0.194	262.88±63.94
Occipital-occipital	1360	0.449±0.214	42.34±151.83
Occipital-temporal derecho	3628	0.447±0.168	85.35±27.93
Occipital –temporal izquierdo	11795	0.425±0.159	135.22±75.39



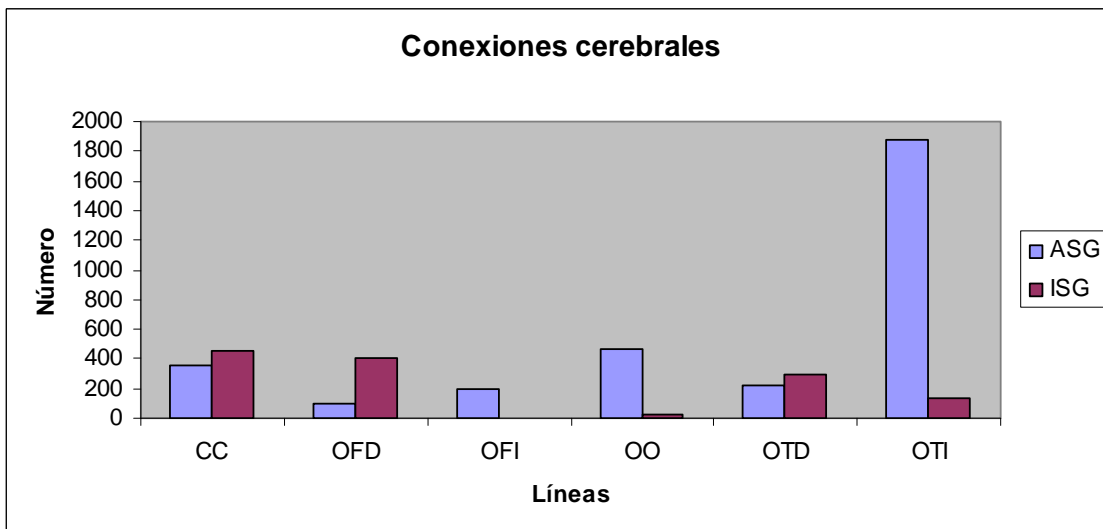
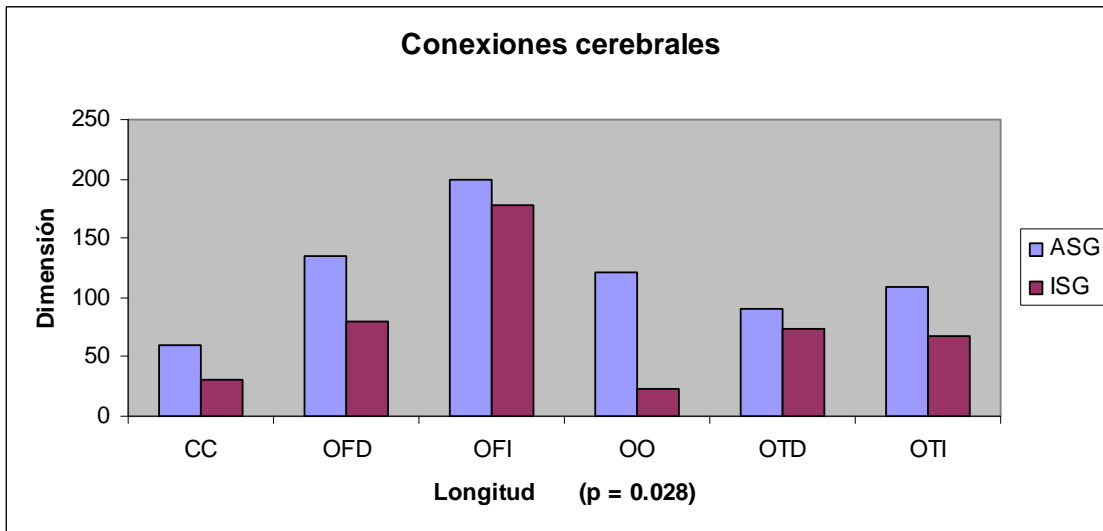
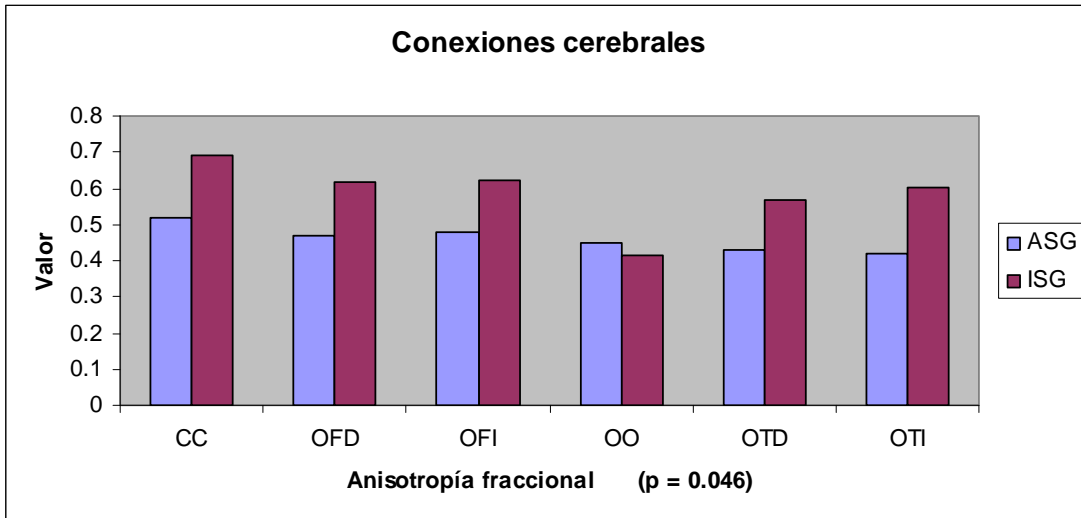


Caso 2a MC 2

Conexiones	Líneas	FA	Longitud
Cuerpo Calloso	361	0.520±0.201	59.59±35.29
Occipital-frontal derecho	102	0.469±0.168	134.61±24.76
Occipital-frontal izquierdo	197	0.481±0.166	199.42±56.10
Occipital-occipital	472	0.449±0.202	120.93±39.80
Occipital-temporal derecho	216	0.428±0.141	90.56±19.21
Occipital –temporal izquierdo	1880	0.421±145	108.50±17.50

Testigo 2b

Conexiones	Líneas	FA	Longitud
Cuerpo Calloso	452	0.689±0.186	31.27±18.23
Occipital-frontal derecho	403	0.618±0.177	79.62±23.59
Occipital-frontal izquierdo	1	0.624±0.177	177.75±0.00
Occipital-occipital	22	0.413±0.155	23.71±20.45
Occipital-temporal derecho	295	0.566±0.181	73.02±11.41
Occipital –temporal izquierdo	133	0.603±164	68.82±10.61

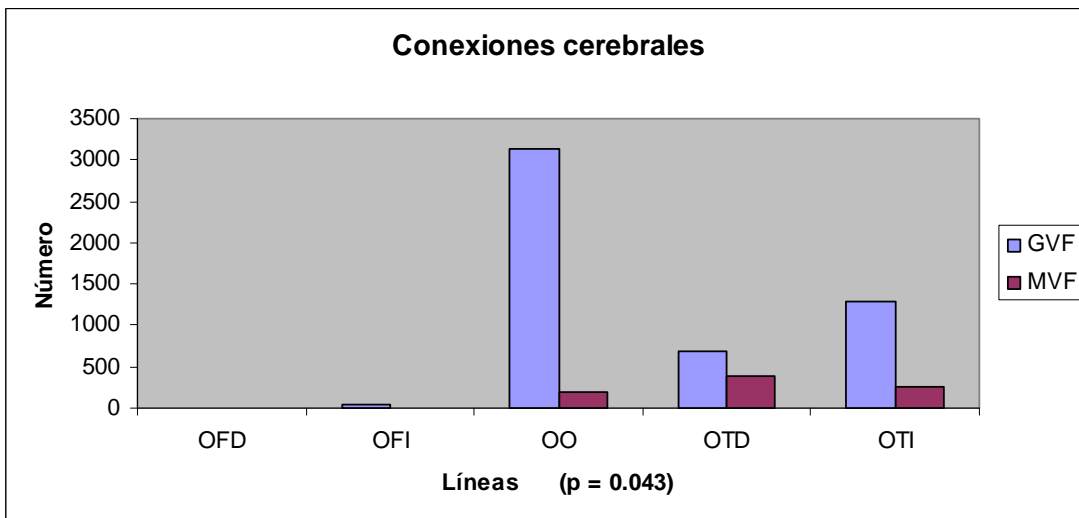
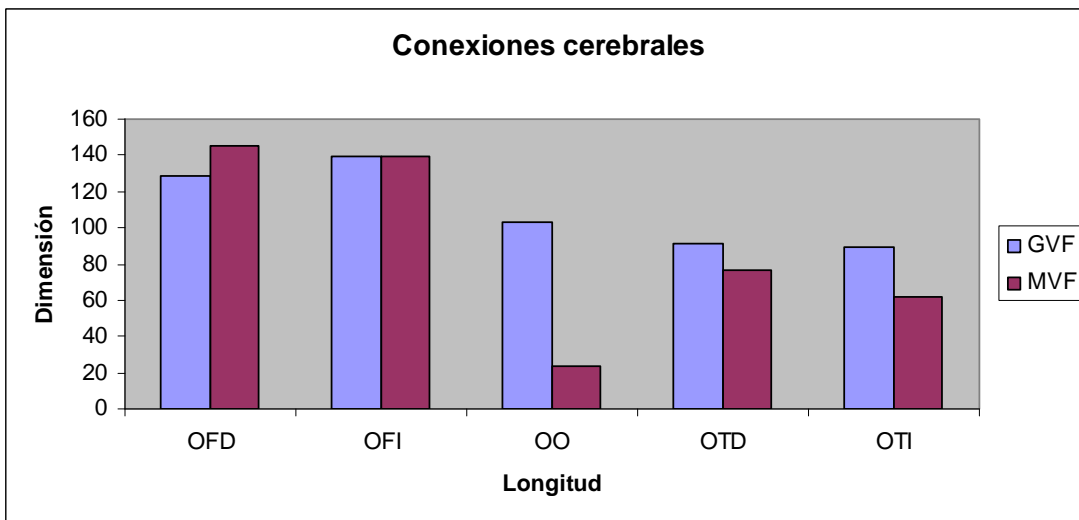
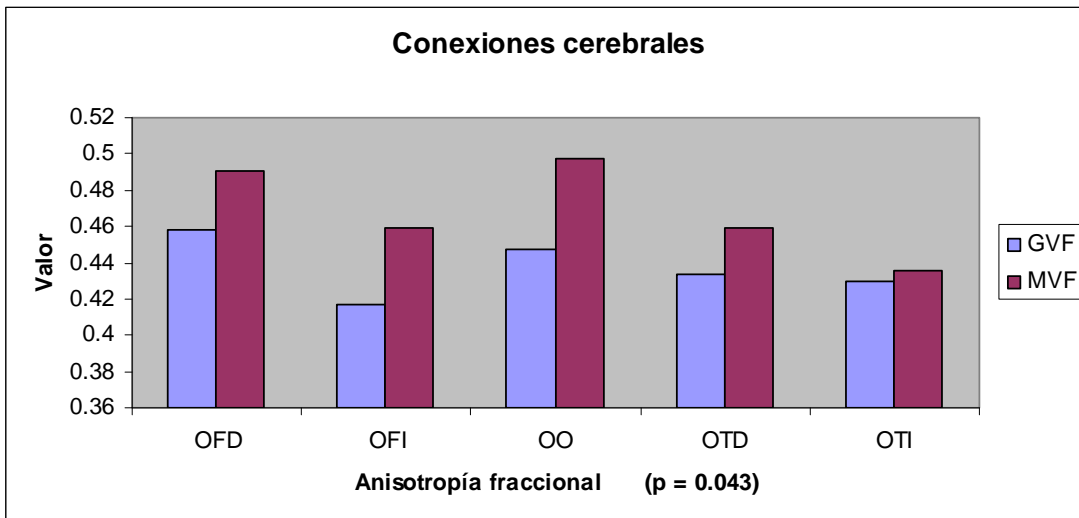


Caso 3a MC3

Conexiones	Líneas	FA	Longitud
Cuerpo Calloso			
Occipital-frontal derecho	5	0.458±0.131	128.43±2.80
Occipital-frontal izquierdo	41	0.417±0.153	139.87±10.66
Occipital-occipital	3126	0.447±0.183	103.33±35.59
Occipital-temporal derecho	694	0.434±0.168	91.33±34.07
Occipital –temporal izquierdo	1295	0.430±153	89.55±29.82

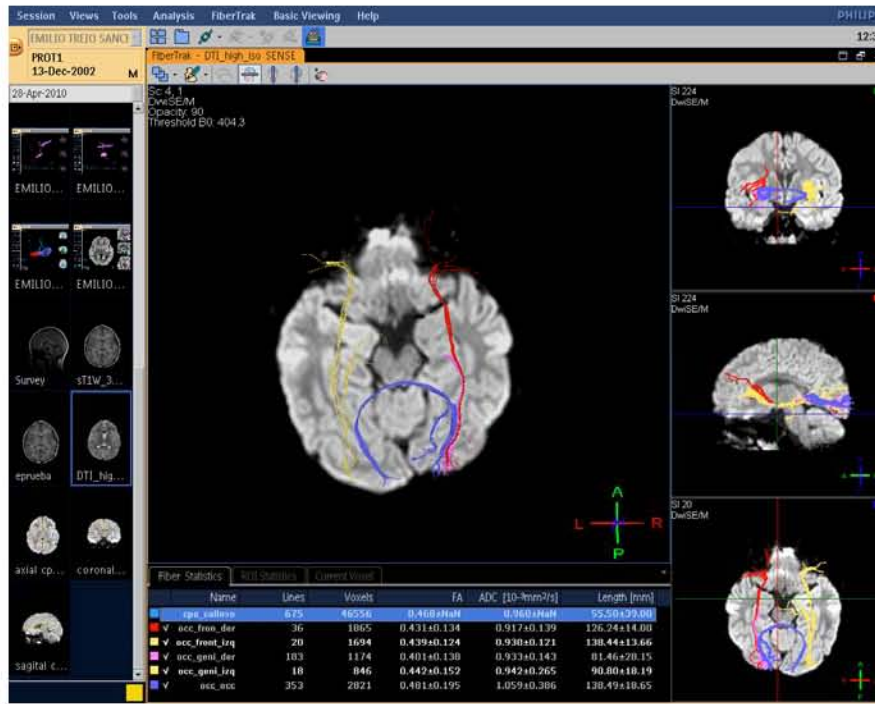
Testigo 3b

Conexiones	Líneas	FA	Longitud
Cuerpo Calloso	213	0.487±0.198	97.10±55.81
Occipital-frontal derecho	2	0.491±0.138	144.90±3.15
Occipital-frontal izquierdo	4	0.459±0.140	138.99±19.37
Occipital-occipital	195	0.497±0.220	24.00±26.59
Occipital-temporal derecho	380	0.459±0.155	76.25±17.92
Occipital –temporal izquierdo	254	0.436±160	61.52±22.19

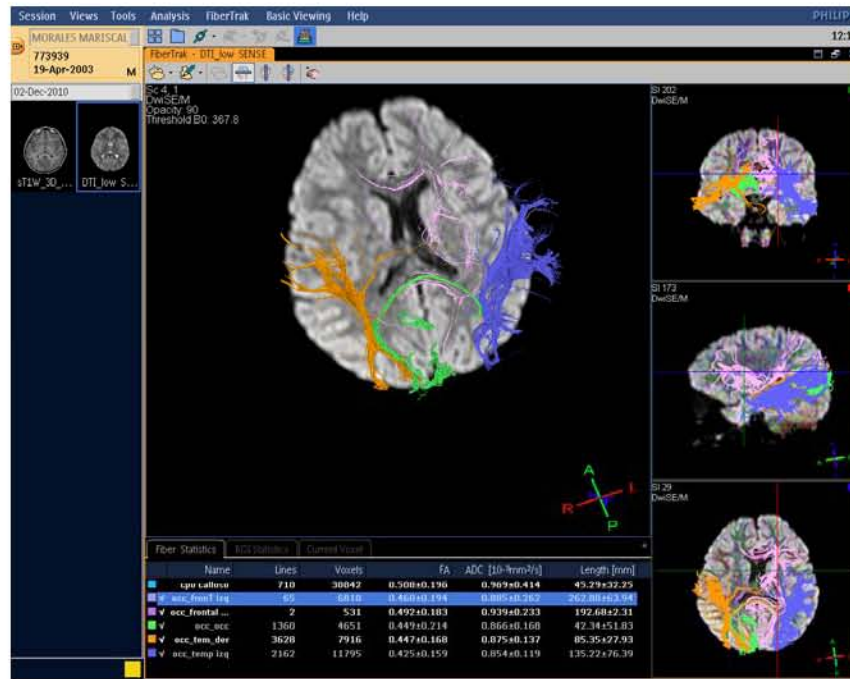


8.4 Imágenes de Tractografías

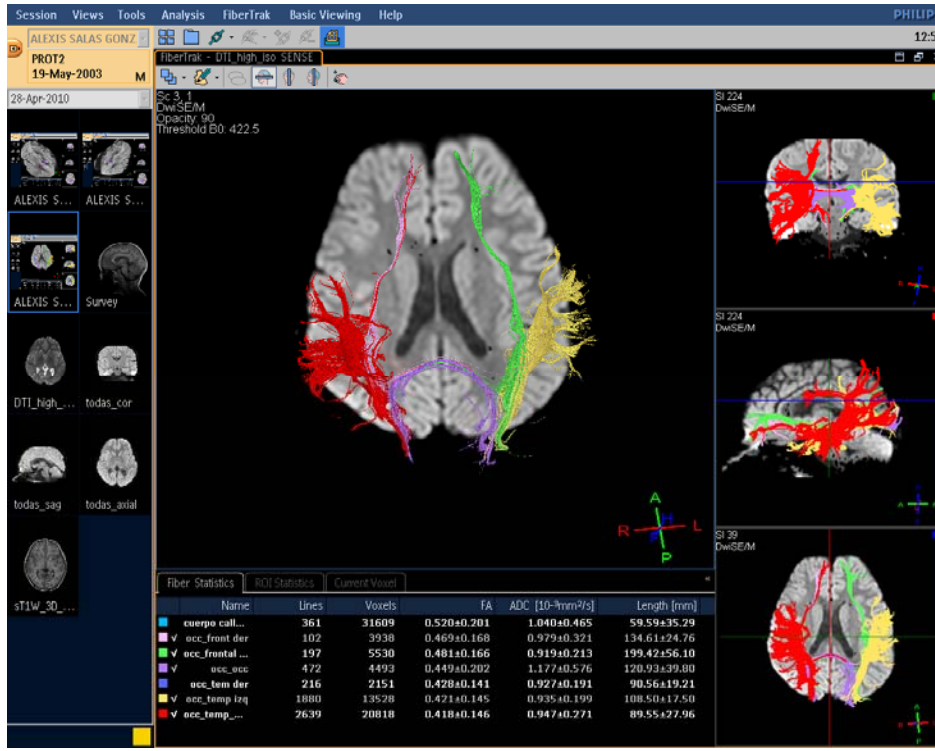
Caso 1a MC 1



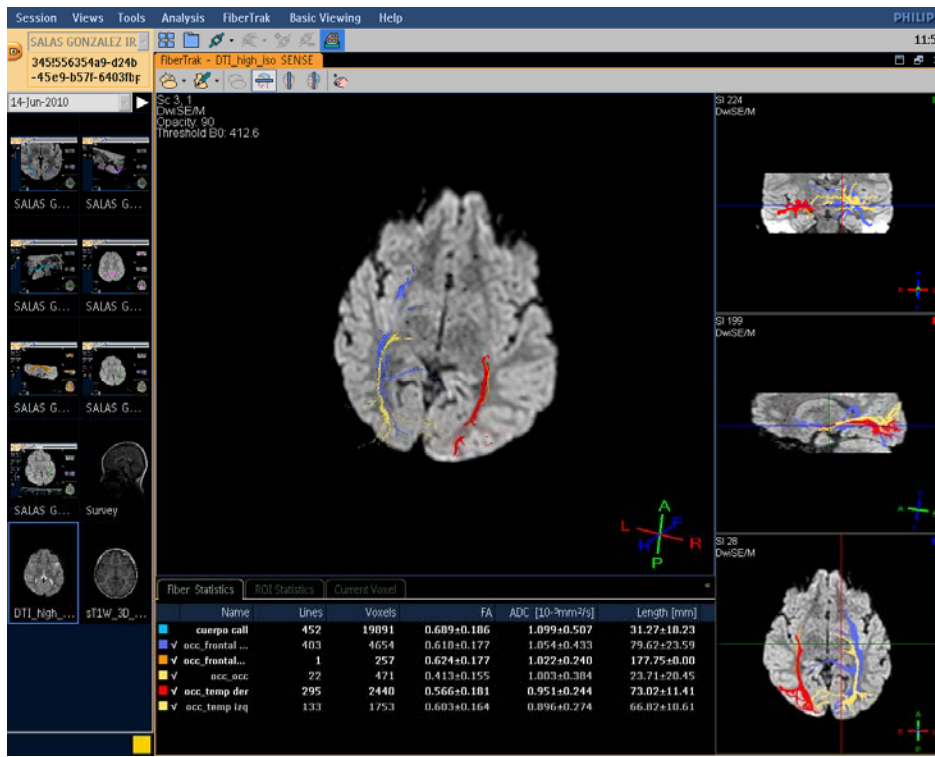
Caso 1b.



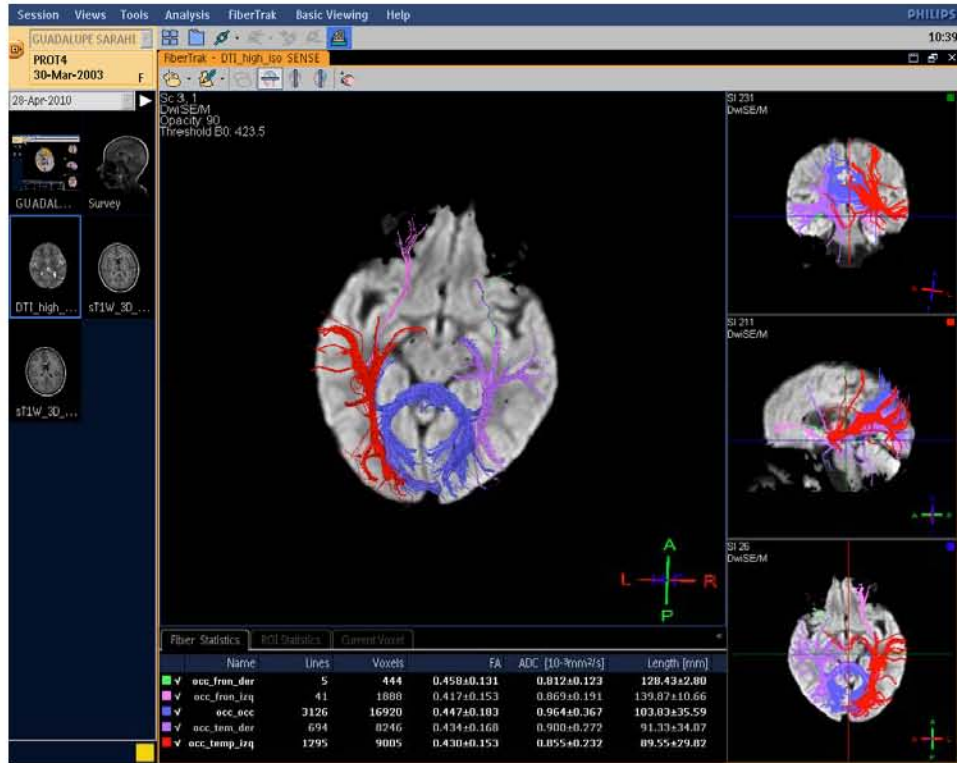
Caso 2a MC 2



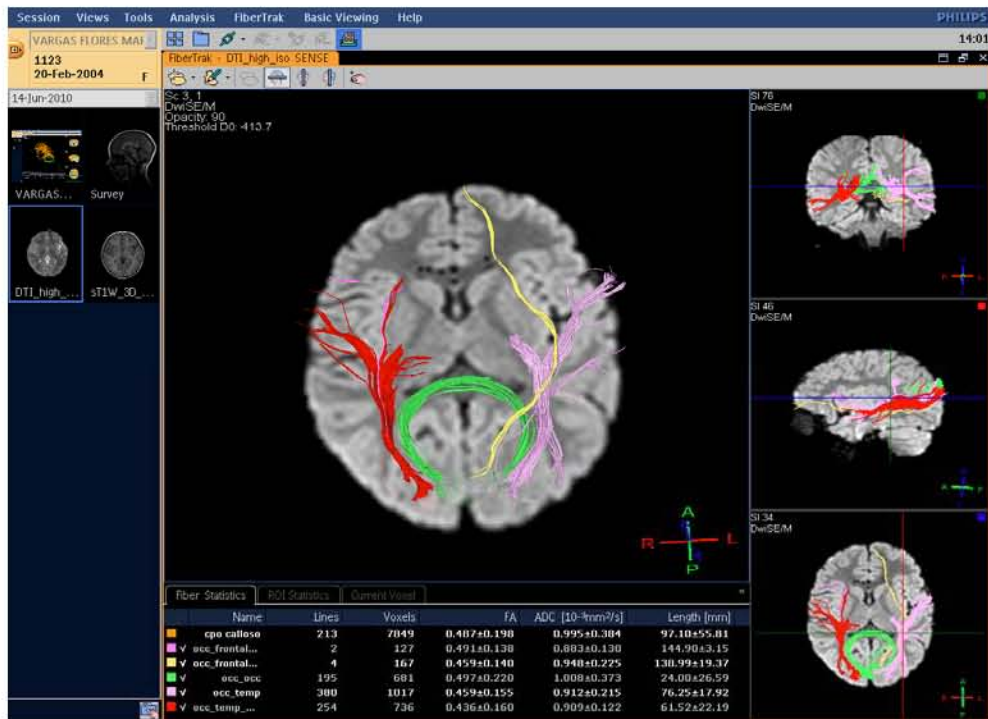
Testigo 2b



Caso 3a MC 3



Testigo 3b



9. Resultados y Conclusiones

Las tractografías realizadas para este estudio nos muestran que las fibras de los sujetos ciegos que tomaron las clases de música son más definidas y largas que en los sujetos control, especialmente las vías occipito-frontales, las vías occipito-temporales y las vías occipitales. Esto podría deberse al entrenamiento musical que tomaron durante aproximadamente 10 meses.

Si bien es cierto que hay muchas variables que controlar, estos resultados nos ofrecen un precedente acerca de los efectos que se podrían observar en un estudio longitudinal en el cual se podría llevar un registro de los estudios que se realizaran al inicio, la mitad y el término del mismo. Durante este estudio, se pudieron observar los aspectos que se deben corregir, controlar y tomar en cuenta en próximos proyectos. Se ha mencionado en repetidas ocasiones que éste fue un proyecto piloto, pero los resultados vistos pueden ser de una amplia utilidad para futuras investigaciones.

La revisión que se ha hecho para este proyecto ha mostrado que existe una amplia evidencia sobre la relación entre la instrucción musical formal y cambios en la neuroanatomía del cerebro, los cuales se reflejan a nivel motor, conductual y sensorial.

La literatura nos indica que a través de este entrenamiento musical, sobre todo comenzando en una etapa temprana de la vida, es posible que exista plasticidad en diferentes núcleos cerebrales lo cual puede ser benéfico y reflejarse en el desarrollo integral del individuo. Lo mostrado hasta ahora respalda lo anterior y apoya nuestras hipótesis sobre los cambios en los tractos neurales de los sujetos.

Como se mencionó en un principio, este trabajo tuvo como fin aumentar el conocimiento existente sobre la relación de la música con la ceguera y, de la misma manera, incidir en la educación musical de este país al respaldarla con trabajos serios que apoyen la importancia del área del desarrollo auditivo y, secundariamente, del desarrollo visual.

De igual forma, mostró el beneficio que puede tener el arte, en este caso la música, en las personas con alguna discapacidad. Éste es un trabajo que invita a personas de diferentes áreas a integrarse a este tipo de proyectos, ya sea, del área de la salud, el área social o cualquier otra, porque este tipo de estudios aporta conocimientos para el desarrollo humano y en beneficio de la comunidad.

10. Pedagogos musicales

La planeación de las clases se basó en los métodos de Orff, Kodály, van Hauwe y Dalcroze. La razón por la cual no se maneja un solo método es porque ninguno de ellos está pensado exclusivamente para niños y personas con discapacidad visual. Al tomar elementos de cada una de las propuestas de los pedagogos antes mencionados, las clases se volvieron más enriquecedoras y se manejaron desde diferentes perspectivas los diferentes componentes musicales. Se hace énfasis en que no se ha hecho una descripción detallada sobre el momento de las sesiones o actividades en el cual se utilizó algún método específico, pues lo que se empleó fue una adaptación de acuerdo a las necesidades especiales de los alumnos. Lo que sí se menciona, obviamente, es el compositor de las piezas y los ejercicios que se incluyen en el repertorio de los alumnos.

A continuación, se dará una breve reseña de cada uno de los compositores y su aportación educativa.

Carl Orff. Nació en Munich en 1895 y murió en la misma ciudad en 1982. Estudió música y composición en la Akademie der Tonkunst. Junto con Dorothee Günter, fundó en 1924 una academia, la Güntherschule, para enseñar música y danza a niños. Orff estaba interesado en la relación entre la música y los movimientos corporales; de esta manera, diseña un método que organiza los elementos musicales a través del lenguaje, el canto, el juego y la danza. Así, surge el método Orff-Schulwerk. Una de las características de este método es que, gracias a su instrumentación sencilla, permite que los niños, aún sin formación musical puedan ejecutar una de sus piezas con relativa facilidad. El primer elemento que maneja Orff es el ritmo, el cual está determinado por el lenguaje, el movimiento y la canción. Posteriormente, en las experiencias melódicas. Trabaja con la tercera menor descendente (parte del canto natural del niño), y progresivamente añade otros tonos de la escala pentatónica, las escalas modales, para llegar finalmente a las escalas mayores y menores.

Las canciones que Orff utiliza están basadas en ostinati; son cortas, tienen un rango melódico no muy amplio y generalmente corresponden a pequeños rondeaux, o tienen una estructura simple.

La riqueza instrumental que se presenta en este método incluye xilófonos, metalófonos, diferentes tamaños de tambores, así como otras percusiones. Todos los instrumentos de placa tienen barras removibles. Además de los instrumentos mencionados, los alumnos hacen uso de la voz, palmas, chasquidos y distintas percusiones corporales para acompañar sus ejercicios y canciones.

Emile Jacques Dalcroze. Nace en Viena en 1865 y muere en Ginebra en 1950. Sus ideas pedagógicas se plasman en un método que vincula el aprendizaje musical con el desarrollo del movimiento. *“La educación musical tendría que basarse íntegramente en la audición, en la percepción del fenómeno musical; mediante el oído, normalmente se capta la relación entre las notas, las tonalidades, los acordes y a través del cuerpo entero mediante los ejercicios de iniciación a la percepción de la rítmica, la dinámica y los matices agógicos de la música”* Emile Jacques Dalcroze.⁷⁹

Dalcroze toma como elementos principales la rítmica, el solfeo y la improvisación. Principalmente, hace énfasis en la rítmica, es decir, ‘vive’ corporalmente el movimiento musical. Para este pedagogo, la música es una construcción de la mente que implica la capacidad de organizar los movimientos en el tiempo y el espacio sonoro, y está ligada a las capacidades de reflexión y análisis, las cuales no son específicamente de tipo musical, sino que son necesarias para cualquier área intelectual, artística o práctica. Dalcroze pone en práctica su método al orden de personas ciegas y con deficiencia mental.

Pierre van Hauwe. Nace en 1920 en Holanda. Es conocido por sus métodos titulados ‘Jugando con música’ y ‘Toquemos juntos la flauta’, adaptados en México por María de la Victoria Nadal y Adriana Sepúlveda. Su propuesta pedagógica se basa en las ideas de Orff, Kodály y Dalcroze, estructurándolas de manera que el niño pueda vivir, aprender, crear y expresar espontáneamente el arte musical. En los libros mencionados, se pone en práctica la idea de un conjunto escolar instrumental apoyado en instrumental Orff. Una característica importante acerca de este método es que van Hauwe da la oportunidad de reforzar el material que él propone con la creatividad del profesor para que la clase sea realmente enriquecedora.

⁷⁹ www.joanllongueres.com/cuerpo_ritmica

Zoltán Kodály. Nace en Kecskemét, Hungría, en 1882 y muere en Budapest en 1967. La filosofía Kodály se basa en diversos puntos importantes:

1. Para que el aprendizaje musical sea interiorizado, se debe iniciar con el instrumento natural y propio del niño, la voz.
2. La educación del oído musical puede ser completamente exitosa solamente si se inicia tempranamente, en los grados de preescolar o educación primaria -y aún antes, si es posible.
3. Así como el niño posee una lengua madre, también posee una lengua madre musical en el folclor de su música.

Kodály propone el uso de la escala pentatónica, principalmente, para iniciar al niño a una correcta entonación. Usa un sistema de sílabas rítmicas, el cual fue una adaptación del trabajo de Emile-Joseph Chevé, útil para leer y escribir patrones rítmicos.

Para Kodály, el orden pedagógico de cada aprendizaje nuevo será *escuchar, cantar, relacionar, escribir, leer y crear.*

11. Tabla de figuras

Número de figura	Fuente
1	http://www.who.int/disabilities/world_report/2011/posters/en/index.html
2	http://cuentame.inegi.org.mx/impresion/poblacion/discapacidad.asp
3	www.biol3medio.blogspot.com
4	www.iqb.es
5 - 10; 12-13	http://www.mrc-cbu.cam.ac.uk/people/jessica.grahn/neuroanatomy.html
11	http://www.sylvius.com/
14-15	Shimony J, Burton H, Epstein A, McLaren D, Sun S, Snyder A. Diffusion tensor imaging reveals white matter reorganization in early blind humans. <i>Cerebral Cortex</i> 2006; 16:1653-1661
16 -18	Mamata H, Mamata Y, Westin C, Shenton M, Kikinis R, Lolesz F, Maier S. High resolution line scan diffusion tensor MR Imaging fiber tract anatomy. <i>Am J Neuroradiol</i> 2002; 23: 67-75
19	http://ocularis.es/blog/pics/retsana.jpg
20	http://www.aragoninvestiga.org/files/retinopatia-prematuro-oftalmologia-hospital-zaragoza.jpg
21	http://www.ofthalmicamonterrey.com/servicios_guacloma.gif
22	http://www.socv.org/imagenes/fotos_informese/fotos_2007/retinoblastomas_002.jpg

12. Referencias en orden de aparición

1. Platón. The republic of Plato. 3a Edición. Clarendon Press: Oxford, 1888, libro III (traducción al castellano: La república. Alianza: Madrid, 1998).
2. Rauschecker JP. Cortical plasticity and music. *Ann NY Acad Sci* 2001; 930:330-336
3. Altenmüller E, Wisendanger M, Kesselring J. Music, motor control and the brain. Oxford University Press: Oxford, 2006.
4. Cowell R, Richardson C. The new handbook of research on music teaching and learning. A project of the Music Educators National Conference. Oxford University Press: New York, 2002, p. 448
5. Hargreaves D. Música y desarrollo psicológico. Ed. GRAO: Barcelona, 1998.
6. McPherson G. The child as musician. A handbook of musical development. Oxford University Press: Oxford, 2000.
7. Hyde KL, Lerch J, Norton A, Forgeard M, Winner E, Evans AC, Schlaug G. The effects of musical training on structural brain development: a longitudinal study. *Ann NY Acad Sci* 2009; 1169:182-186
8. Schlaug G, Forgeard M, Zhu L, Norton A, Winner E. Training-induced neuroplasticity in young children. *Ann NY Acad Sci* 2009; 1169:205-208
9. Lappe C, Herholz SC, Trainor LJ, Pantev C. Cortical plasticity induced by short-term unimodal and multimodal musical training. *J Neurosci* 2008; 28:2632-2639
10. Trainor LJ, Shahin AJ, Roberts LE. Understanding the benefits of musical training: effects on oscillatory brain activity. *Ann NY Acad Sci* 2009; 1169:133-142
11. Trainor LJ, Shahin A, Roberts LE. Effects of musical training on the auditory cortex in children. *Ann NY Acad Sci* 2003; 999:506-513.
12. Herdener M, Esposito F, di Salle F, Boller C, Hilti CC, Habermeyer B, Scheffler K, Wetzel S, Seifritz E, Cattapan-Ludewig K. Musical training induces functional plasticity in human hippocampus. *J Neurosci* 2010; 30: 1377-1384
13. Groussard M, La Joie R, Rauchs G, Landeau B, Chételat G, Viader F, Desgranges B, Eustache F, Platel H. When music and long-term memory interact: effects of musical expertise on functional and structural plasticity in the hippocampus. *PLoS One* 2010; 5(10) .pii:e13225
14. Pantev C, Lappe C, Herholz SC, Trainor L. Auditory-somatosensory integration and cortical plasticity in musical training. *Ann NY Acad Sci* 2009; 1169:143-150

15. Lehmann A, Sloboda J, Woody R. Psychology for musicians. Oxford University Press: Oxford, 2007
16. Grahn JA. The role of the basal ganglia in beat perception: neuroimaging and neuropsychological investigations. *Ann NY Acad Sci* 2009; 1169:35-45
17. Bengtsson SL, Ullén F, Ehrsson HH, Hashimoto T, Kito T, Naito E, Forssberg H, Sadato N. Listening to rhythms activates motor and premotor cortices. *Cortex* 2009; 45:62-71
18. Jackendoff R, Lerdahl F. The capacity for music: what is it and what's special about it? *Cognition* 2006; 100:33-72
19. Peretz I, Zatorre R. Brain organization for music processing. *Ann Rev Psychol, ProQuest Psychology Journals* 2005; 56: 89-114.
20. Foster NE, Zatorre R. A role for the intraparietal sulcus in transforming musical pitch information. *Cereb Cortex* 2010 ; 20:1350-59
21. Watanabe T, Yagishita S, Kikyo H. Memory of music: roles of right hippocampus and left inferior frontal gyrus. *Neuroimage* 2008; 39:483-491
22. Hötting K, Röder B. Auditory and auditory-tactile processing in congenitally blind humans. *Hear Res.* 2009; 258:165-174
23. Sacks O. Musicofilia. *Relatos de la música y el cerebro.* Anagrama: México, 2009.
24. Storr A. *La música y la mente: el fenómeno auditivo y el porqué de las pasiones.* Paidós: Barcelona, 2002.
25. Kong CK, Wong LY, Yuen Mk. Visual field plasticity in a female with right occipital cortical dysplasia. *Pediatr Neurol* 2000; 23:256-260
26. Hernández-Muela S, Mula F, Mattos, L. Plasticidad neuronal funcional. *Rev Neurol* 2004; 38:S58-68
27. Huang Z, Zhang JX, Yang Z, Dong G, Wu J, Chan AS, Weng X. Verbal memory retrieval engages visual cortex in musicians. *Neuroscience* 2010; 168:179-89
28. Fujiyota T, Ross B, Kakigi R, Pantev C, Trainor L. One year of musical training affects development of auditory cortical-evoked fields in young children. *Brain* 2006; 129:2593-2608
29. Luo F, Wang Q, Kazan A, Yan J. Corticofugal modulation of initial sound processing in the brain. *J Neurosci* 2008; 28:11615 -11621

30. Jiang J, Zhu W, Shi F, Liu Y, Li J, Qin W, Li K, Yu C, Jiang T. Thick visual cortex in the early blind. *J Neurosci* 2009; 29:2250-2211
31. Beauchamp M, Ro T. Neural substrates of sound-touch synesthesia after a thalamic lesion. *J Neurosci* 2008; 28:13696-13702
32. Bear M, Connors B. *Neuroscience. Exploring the brain.* Lippincott Williams & Wilkins: Philadelphia, 2007
33. Lazar M, Alexander A, Thottakara P, Badie B, Fiel A. White matter reorganization after surgical resection of brain tumors and vascular malformations. *Am J Neuroradiol* 2006; 27:1258-1271
34. Jellison B, Field A, Medow J, Lazar M, Shariar M, Alexander A. Diffusion tensor imaging of cerebral white matter: a pictorial review of physics, fiber tract anatomy and tumor imaging patterns. *Am J Neuroradiol* 2004; 25:356-369
35. Schmithorst VJ, Wilke M. Differences in white matter architecture between musicians and non-musicians: a diffusion tensor imaging study. *Neurosci Lett* 2002 Mar 15; 321:57-60.
36. Oechslin M, Imfeld A, Loenneker T, Meyer M, Jäncke L. The plasticity of the superior longitudinal fasciculus as a function of musical expertise: a diffusion tensor imaging study. *Front Hum Neurosci* 2009; 3:76.
37. Shimony J, Burton H, Epstein A, McLaren D, Sun S, Snyder A. Diffusion tensor imaging reveals white matter reorganization in early blind humans. *Cereb Cortex* 2006; 16:1653-1661
38. Mamata H, Mamata Y, Westin C, Shenton M, Kikinis R, Lolesz F, Maier S. High resolution line scan diffusion tensor MR imaging fiber tract anatomy. *Am J Neuroradiol* 2002; 23:67-75
39. Wakana S, Jiang H, Nagee-Poetscher L, van Zijl PC, Mori S. Fiber tract-based atlas of human white matter anatomy. *Radiology* 2004; 230:77-87
40. Betés de Toro M. *Fundamentos de musicoterapia.* Morata: Madrid, 2000.
41. Urias Horcasitas M. *Música para niños. Un manual para el maestro.* CONACULTA. México, 2000.
42. Orff C, Keetman G. *Music for children.* Schott and CO.LTD.

Referencias de Internet.

43. <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs282/en/index.html>
 44. <http://www.jornada.unam.mx/2005/04/29/a03n1cie.php>
 45. <http://www.once.es/home.cfm?id=189&nivel=3&orden=6>
 46. <http://www.medigraphic.com/espanol/e-htms/e-h.../em-gg014k.htm>
 47. http://www.asociaciondeglaucoma.es/glaucoma/glaucoma_congenito.html
 48. <http://www.cancer.gov/espanol/pdq/tratamiento/retinoblastoma/patient#Keypoint1>
 49. <http://www.nlm.nih.gov/medlineplus/spanish/ency/article/001030.htm>
 50. http://www.joanllongueres.com/cuerpo_ritmica
 51. http://es.wikipedia.org/wiki/L%C3%B3bulo_occipital
 52. <http://www.starklab.slu.edu/neuro/BS%20Project.pdf>
 53. http://es.wikipedia.org/wiki/Cuerpos_geniculados
 54. http://es.wikipedia.org/wiki/Cuerpo_calloso
 55. <http://emcap.iaa.upf.es/>
 56. http://es.brainexplorer.org/brain_atlas/Brainatlas_index.shtml
 57. <http://www.who.int/topics/blindness/es/index.html>
 58. <http://www.sinembargo.mx/16-11-2011/74386>
-

13. Bibliografía

Altenmüller E, Wisendanger M, Kesselring J. Music, motor control and the brain. Oxford University Press: Oxford, 2006.

Bear M, Connors B. Neuroscience. Exploring the brain. Lippincott Williams & Wilkins: Philadelphia, 2007.

Beauchamp M, Ro T. Neural substrates of sound-touch synesthesia after a thalamic lesion. J Neurosci 2008; 28:13696-13702

Bengtsson SL, Ullén F, Ehrsson HH, Hashimoto T, Kito T, Naito E, Forssberg H, Sadato N. Listening to rhythms activates motor and premotor cortices. Cortex 2009; 45:62-71.

Betés de Toro M. Fundamentos de musicoterapia. Morata: Madrid, 2000.

Cowell R, Richardson C. The new handbook of research on music teaching and learning. A project of the Music Educators National Conference. Oxford University Press: New York, 2002, p. 448.

Foster NE, Zatorre R. A role for the intraparietal sulcus in transforming musical pitch information. Cereb Cortex 2010 ; 20:1350-59

Fujiiyota T, Ross B, Kakigi R, Pantev C, Trainor L. One year of musical training affects development of auditory cortical-evoked fields in young children. Brain 2006; 129:2593-2608

Grahn JA. The role of the basal ganglia in beat perception: neuroimaging and neuropsychological investigations. Ann NY Acad Sci 2009; 1169:35-45

Groussard M, La Joie R, Rauchs G, Landeau B, Chételat G, Viader F, Desgranges B, Eustache F, Platel H. When music and long-term memory interact: effects of musical expertise on functional and structural plasticity in the hippocampus. PLoS One 2010; 5(10) .pii:e13225

Hargreaves D. Música y desarrollo psicológico. Ed. GRAO: Barcelona, 1998.

Herdener M, Esposito F, di Salle F, Boller C, Hilti CC, Habermeyer B, Scheffler K, Wetzel S, Seifritz E, Cattapan-Ludewig K. Musical training induces functional plasticity in human hippocampus. *J Neurosci* 2010; 30: 1377-1384

Hernández-Muela S, Mula F, Mattos, L. Plasticidad neuronal funcional. *Rev Neurol* 2004; 38:S58-68

Hötting K, Röder B. Auditory and auditory-tactile processing in congenitally blind humans. *Hear Res.* 2009; 258:165-174

Huang Z, Zhang JX, Yang Z, Dong G, Wu J, Chan AS, Weng X. Verbal memory retrieval engages visual cortex in musicians. *Neuroscience* 2010; 168:179-89

Hyde KL, Lerch J, Norton A, Forgeard M, Winner E, Evans AC, Schlaug G. The effects of musical training on structural brain development: a longitudinal study. *Ann NY Acad Sci* 2009; 1169:182-18

Jackendoff R, Lerdahl F. The capacity for music: what is it and what's special about it? *Cognition* 2006; 100:33-72

Jellison B, Field A, Medow J, Lazar M, Shariar M, Alexander A. Diffusion tensor imaging of cerebral white matter: a pictorial review of physics, fiber tract anatomy and tumor imaging patterns. *Am J Neuroradiol* 2004; 25:356-369

Jiang J, Zhu W, Shi F, Liu Y, Li J, Qin W, Li K, Yu C, Jiang T. Thick visual cortex in the early blind. *J Neurosci* 2009; 29:2250-2211

Kong CK, Wong LY, Yuen Mk. Visual field plasticity in a female with right occipital cortical dysplasia. *Pediatr Neurol* 2000; 23:256-260

Lappe C, Herholz SC, Trainor LJ, Pantev C. Cortical plasticity induced by short-term unimodal and multimodal musical training. *J Neurosci* 2008; 28:2632-2639

Lazar M, Alexander A, Thottakara P, Badie B, Fiel A. White matter reorganization after surgical resection of brain tumors and vascular malformations. *Am J Neuroradiol* 2006; 27:1258-1271

-
- Lehmann A, Sloboda J, Woody R. Psychology for musicians. Oxford University Press: Oxford, 2007
- Luo F, Wang Q, Kazan A, Yan J. Corticofugal modulation of initial sound processing in the brain. *J Neurosci* 2008; 28:11615 -11621
- Mamata H, Mamata Y, Westin C, Shenton M, Kikinis R, Lolesz F, Maier S. High resolution line scan diffusion tensor MR imaging fiber tract anatomy. *Am J Neuroradiol* 2002; 23:67-75
- McPherson G. The child as musician. A handbook of musical development. Oxford University Press: Oxford, 2000.
- Oechslin M, Imfeld A, Loenneker T, Meyer M, Jäncke L. The plasticity of the superior longitudinal fasciculus as a function of musical expertise: a diffusion tensor imaging study. *Front Hum Neurosci* 2009; 3:76.
- Orff C, Keetman G. Music for children. Schott and CO.LTD.
- Pantev C, Lappe C, Herholz SC, Trainor L. Auditory-somatosensory integration and cortical plasticity in musical training. *Ann NY Acad Sci* 2009; 1169:143-150
- Peretz I, Zatorre R. Brain organization for music processing. *Ann Rev Psychol*, ProQuest Psychology Journals 2005; 56: 89-114.
- Platón. The republic of Plato. 3a Edición. Clarendon Press: Oxford, 1888, libro III (traducción al castellano: La república. Alianza: Madrid, 1998).
- Rauschecker JP. Cortical plasticity and music. *Ann NY Acad Sci* 2001; 930:330-336
- Sacks O. Musicofilia. Relatos de la música y el cerebro. Anagrama: México, 2009.
- Schlaug G, Forgeard M, Zhu L, Norton A, Winner E. Training-induced neuroplasticity in young children. *Ann NY Acad Sci* 2009; 1169:205-208
- Shimony J, Burton H, Epstein A, McLaren D, Sun S, Snyder A. Diffusion tensor imaging reveals white matter reorganization in early blind humans. *Cereb Cortex* 2006; 16:1653-1661
- Schmithorst VJ, Wilke M. Differences in white matter architecture between musicians and non-musicians: a diffusion tensor imaging study. *Neurosci Lett* 2002 Mar 15; 321:57-60.
- Storr A. La música y la mente: el fenómeno auditivo y el porqué de las pasiones. Paidós: Barcelona, 2002.
- Trainor LJ, Shahin A, Roberts LE. Effects of musical training on the auditory cortex in children. *Ann NY Acad Sci* 2003; 999:506-513.

Trainor LJ, Shahin AJ, Roberts LE. Understanding the benefits of musical training: effects on oscillatory brain activity. *Ann NY Acad Sci* 2009; 1169:133-142

Urias Horcasitas M. Música para niños. Un manual para el maestro. CONACULTA. México, 2000.

Wakana S, Jiang H, Nagae-Poetscher L, van Zijl PC, Mori S. Fiber tract-based atlas of human white matter anatomy. *Radiology* 2004; 230:77-87

Watanabe T, Yagishita S, Kikyo H. Memory of music: roles of right hippocampus and left inferior frontal gyrus. *Neuroimage* 2008; 39:483-491