



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

Programa de Maestría y Doctorado en Música

Facultad de Música

**ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA ACTIVIDAD CEREBRAL DURANTE EL  
PROCESAMIENTO PASIVO DE PATRONES RÍTMICOS REGULARES E  
IRREGULARES**

TESIS

que para optar por el grado de

**MAESTRO EN MÚSICA**

en el campo de

**COGNICIÓN MUSICAL**

presenta:

**JOSÉ CARLOS FEDERICO BÁEZ ÁVILA**

TUTOR PRINCIPAL

**GABRIELA PÉREZ ACOSTA**

Facultad de Música

**MÉXICO, D. F. DICIEMBRE 2015**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**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.

## AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar mi más sincero agradecimiento a los profesores del posgrado por su colaboración en la preparación de este manuscrito. En especial, a la Mtra. Gabriela Pérez Acosta, al Dr. Eduardo Castro Sierra y al Dr. Luis Jiménez Ángeles, cuya familiaridad con las necesidades e ideas para realizar esta investigación, resultaron de enorme utilidad durante el desarrollo de este proyecto.

# ÍNDICE

<b>RESUMEN.....</b>	<b>5</b>
<b>PERCEPCIÓN DEL RITMO .....</b>	<b>6</b>
1.1 ORÍGENES DE LA CAPACIDAD RÍTMICA .....	6
1.2 BASES BIOLÓGICAS DE LA PERCEPCIÓN DEL RITMO .....	7
1.3 BASES PSICOLÓGICAS DE LA PERCEPCIÓN DEL RITMO .....	8
1.3.1 <i>Psicología de la Gestalt</i> .....	8
1.3.2 <i>Leyes de la Gestalt</i> .....	9
1.3.3 <i>Efectos psicológicos del ritmo</i> .....	11
1.4 LA ESTRUCTURA DE AGRUPACIÓN.....	12
1.5 LA ESTRUCTURA MÉTRICA.....	16
1.5.1 <i>Tipos de acentos</i> .....	16
1.5.2 <i>La jerarquía métrica</i> .....	18
1.6 PERCEPCIÓN DE PATRONES DE PULSO.....	21
1.6.1 <i>La estructura métrica en la rítmica proporcional</i> .....	23
1.7 ALGUNAS PRECISIONES TERMINOLÓGICAS .....	27
1.8 RITMO EN EL SIGLO XX.....	28
1.8.1 <i>La estructura métrica en la rítmica balcánica</i> .....	28
1.8.2 <i>Estructuras de metro cruzado</i> .....	30
1.9 RÍTMICA SIN METRO.....	30
1.9.1 <i>Rítmica proporcional sin metro</i> .....	31
1.9.2 <i>Rítmica balcánica sin metro</i> .....	31
1.10 CONCLUSIONES PARCIALES DE LA PRIMERA PARTE .....	32
<b>ESTÍMULOS RÍTMICOS IRREGULARES.....</b>	<b>41</b>
2.1 NORTE DE LA INDIA.....	41
2.1.1 <i>Tihais – Tintal</i> .....	41
2.1.2 <i>Chartal Ki sawari</i> .....	43
2.1.3 <i>Jhaptal</i> .....	44
2.2 SUR DE LA INDIA .....	45
2.2.1 <i>Chaturasra Gati</i> .....	45
2.3 ÁFRICA.....	46
2.3.1 <i>Cuatro contra cinco</i> .....	46
2.4 RITMOS FLAMENCOS .....	47
2.4.1 <i>Ciclos de compases flamencos</i> .....	47
2.4.2 <i>El conteo de 6</i> .....	48
2.4.3 <i>Conteo de 12</i> .....	49
2.4.4 <i>Martinete</i> .....	50
<b>DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>51</b>
3.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	51
3.2 HIPÓTESIS.....	52
3.3 OBJETIVOS.....	53

3.4 JUSTIFICACIÓN.....	53
<b>METODOLOGÍA.....</b>	<b>55</b>
4.1 SUJETOS DE ESTUDIO.....	55
4.2 ESTÍMULOS .....	56
4.3 PROCESO DE ESCANEEO .....	56
4.4 PARÁMETROS DE ESCANEEO .....	57
4.5 ANÁLISIS ESTADÍSTICO .....	57
<b>RESULTADOS.....</b>	<b>59</b>
5.1 INSTRUMENTISTAS ARMÓNICO-MELÓDICOS (TECLADO) .....	59
5.1.1 Zonas de activación ante un estímulo regular.....	60
5.1.2 Zonas de activación ante un estímulo irregular .....	66
5.2 INSTRUMENTISTAS MELÓDICOS .....	72
5.2.1 Zonas de activación ante un estímulo regular.....	72
5.2.2 Zonas de activación ante un estímulo irregular .....	79
5.3 RESULTADOS COMPARATIVOS ENTRE AMBOS TIPOS DE INSTRUMENTISTAS .....	84
5.3.1 Áreas de activación de Instrumentistas armónico-melódicos y melódicos ante un estímulo regular.....	84
5.3.2 Áreas de activación de Instrumentistas armónico-melódicos y melódicos ante un estímulo irregular. ....	84
5.4 VISTA POR CORTES TRANSVERSALES.....	85
5.4.1 Estímulos regulares.....	85
5.4.2 Estímulos irregulares .....	86
5.5 COMPARACIÓN DEL TOTAL DE SUJETOS .....	87
5.5.1 Estímulos regulares (A) contra irregulares (B) .....	87
5.5.2 Comparación regulares contra irregulares vista por cortes transversales .....	87
<b>DISCUSIÓN.....</b>	<b>89</b>
6.1 ESTÍMULOS REGULARES.....	90
6.1.1 INSTRUMENTISTAS ARMÓNICO-MELÓDICOS .....	90
6.1.2 Instrumentistas melódicos.....	91
6.2 ESTÍMULOS IRREGULARES.....	92
6.2.1 Instrumentistas armónico-melódicos.....	92
6.2.2 Instrumentistas melódicos.....	92
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>95</b>
<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>99</b>

## Resumen

Los músicos profesionales han aprendido a percibir la música utilizando diferentes estrategias. Una de ellas es el agrupamiento rítmico, referida comúnmente como percepción rítmica. El músico analiza la información disponible y la categoriza por medio de reglas que le permiten encontrar una estabilidad y comprensión de la estructura métrica (Lerdahl y Jackendoff, 1983). Se ha observado que debido a este pensamiento lógico, los músicos desarrollan una lateralización al hemisferio izquierdo durante la percepción de la música, comparados con los que no son músicos (Evers S, Dannert J, Rötter G, Ringlestein EB., 1999).

En específico, la mayoría de los estudios sugieren que la percepción de patrones rítmicos regulares en músicos favorece una especialización del hemisferio izquierdo, este trabajo plantea la hipótesis de que el uso de secuencias rítmicas irregulares, favorecen una activación de áreas cerebrales distintas a las observadas en estudios previos durante la percepción pasiva de secuencias rítmicas regulares. A través del empleo de la técnica de resonancia magnética funcional (fMRI), se observó una lateralización izquierda durante el procesamiento de patrones rítmicos regulares, en concordancia con los hallazgos de estudios previos, sin embargo, durante el procesamiento de patrones rítmicos irregulares se observó activación en áreas cuyas funciones principales son motoras y de memoria.

## Percepción del ritmo

Es difícil dar una definición absoluta acerca de lo que es el ritmo, prueba de ello es que a lo largo de diferentes épocas esta definición se ha ido modificando. Sin embargo, entendemos de forma general que el ritmo es la forma en que la música se mueve en el tiempo (Kraft Leo, 1987). Otras definiciones que se encuentran comúnmente son:

- El patrón de tiempo creado por la música (Murray, 1971).
- El espacio en el tiempo que existe entre nota y nota (Siu Lan Tan, 2010).

Es importante mencionar que es la proporción de tiempos entre los momentos de aparición de las notas y no su duración lo que determina la percepción del ritmo (Siu Lan Tan, 2010).

La sección que se presenta a continuación está enfocada a revisar las definiciones de los elementos del ritmo (compás, métrica y pulso), y los aspectos psicológicos de su percepción.

### 1.1 Orígenes de la capacidad rítmica

Existen dos líneas de investigación que han intentado explicar los orígenes de la capacidad rítmica. La primera, propia de la psicología cognitiva, se enfoca en el procesamiento de la información y en el mecanismo de conteo interno que calcula las proporciones relacionadas con la estructura musical (Drake y Botte, 1993).

La segunda, sugiere que los ritmos son percibidos a través de un proceso de sincronización, en donde un patrón rítmico logra y mantiene su sincronía con otro (Drake, Penel y Bigand, 2000); es decir, el oyente sincroniza los ritmos internos con ritmos externos.

## 1.2 Bases biológicas de la percepción del ritmo

Es común ver a una persona, ya sea niño o adulto, moverse en sincronía con la música, lo que sugiere una capacidad innata para percibir el ritmo. Hay diferentes explicaciones sobre estas capacidades innatas. El procesamiento del ritmo puede tener su origen en los ritmos biológicos que controlan la respiración, el ritmo cardíaco y el movimiento (Phillips-Silver y Keller, 2012).

Se ha demostrado cómo los bebés relacionan el movimiento y el sonido gracias al balanceo que hacen sus padres mientras les cantan y los arrullan (Phillips-Silver y Trainor, 2005). Es decir, escuchamos la melodía en la música, pero sentimos el ritmo. El movimiento del cuerpo involucra al sistema motor, el propioceptivo (percepción de la posición del cuerpo), el vestibular (percepción de movimiento y equilibrio), el visual y el auditivo, y aunque se sabe de la participación conjunta de estos sistemas, pocos estudios han examinado las interacciones audio-vestibulares (Phillips-Silver y Trainor, 2008).

Asimismo, otros investigadores sugieren que la combinación de referencias melódicas y temporales nos ayudan a percibir el ritmo (Hannon, Snyder, Eerola, y Krumhansl, 2004), cuando no existen estas referencias, como en un patrón rítmico de 6 pulsos sin acentos, éste puede ser percibido por algunas personas como 2 grupos de 3 tiempos (como en un vals) o como 3 grupos de 2 tiempos (como en una marcha) (Phillips-Silver y Trainor, 2005).

Por otro lado, se ha demostrado la importancia del hemisferio derecho en el procesamiento del ritmo en personas sin formación musical (Ohnishi, 2001) (debido a que escuchan la música de manera global) y cómo la experiencia musical modifica este proceso, y que en músicos hay mayor activación en el hemisferio izquierdo (Dawe, Platt, y Racine, 1995). Lo anterior sugiere, que los músicos tienden a analizar y anticipar los eventos musicales, debido a su experiencia y formación en este campo.



El análisis y anticipación realizado por los músicos involucra al hemisferio izquierdo, a los ganglios basales y al área motora suplementaria (Grahn y Brett, 2007). Este proceso cognitivo será analizado en las siguientes secciones, a partir de los principios de agrupación y su influencia en la percepción de la música.

### **1.3 Bases psicológicas de la percepción del ritmo**

#### **1.3.1 Psicología de la Gestalt**

El término Gestalt proviene del alemán y fue introducido por primera vez por Christian von Ehrenfels. No tiene una traducción única, aunque se entiende generalmente como 'forma'; sin embargo, también podría traducirse como “figura”, “configuración”, “estructura” o “creación” (Bringas, Aleida. 2012).

La mente configura, conforme a ciertas leyes, los elementos que llegan a ella a través de los canales sensoriales (percepción) o de la memoria (pensamiento, inteligencia y resolución de problemas). La Gestalt pretende explicar que la organización básica de cuanto percibimos está en relación con un estímulo en el que nos concentramos, que a su vez es parte de un fondo más amplio, donde hay otras formas, es decir, todo lo percibido es mucho más que la información que llega a los sentidos.

Uno de los principios fundamentales de la percepción para en la Gestalt es la llamada ley de *Prägnanz* (pregnancia o buena forma), que afirma la tendencia de la experiencia perceptiva a adoptar las formas más simples posibles. Las partes de una figura que tiene "buena forma", o indican una dirección o destino común, forman con claridad unidades autónomas en el conjunto. Esta ley permite la fácil lectura de figuras que se superponen formando aparentes confusiones, pero prevaleciendo sus propiedades de buena forma o destino común, se ven desglosadas del conjunto (Koffka, 1935).

### 1.3.2 Leyes de la Gestalt

A pesar de que las diferentes leyes de la Gestalt se aplicaron principalmente a estímulos visuales, mencionaremos brevemente 4 principios que servirán para explicar la percepción de diferentes elementos en la música.

1. Principio de proximidad: Se refiere al agrupamiento parcial o secuencial de elementos que realiza nuestra mente basado en la distancia. Establece que los objetos contiguos tienden a ser vistos como una unidad. Es decir, los estímulos que están próximos tienden a percibirse como parte de la misma unidad.



Ilustración 1. Principio de proximidad

2. Principio de semejanza: Nuestra mente agrupa los elementos similares en una entidad. La semejanza depende de la forma, el tamaño, intensidad y otros aspectos de los elementos.



Ilustración 2. Principio de Semejanza

3. Principio de la buena continuidad: Los elementos que mantienen un patrón o dirección tienden a agruparse juntos, como parte de un modelo. Es decir, se perciben elementos continuos aunque estén interrumpidos.



Ilustración 3. Principio de la buena continuidad

4. Principio de cierre o cerramiento: Cuando un patrón está incompleto, hay una tendencia de percibirlo como un todo y completar las rupturas o irregularidades que presente.

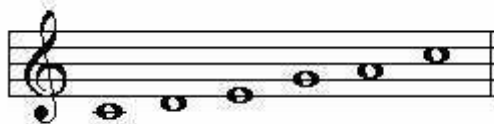


Ilustración 4. Principio de cerramiento

### 1.3.3 Efectos psicológicos del ritmo

Se sabe que hay diferentes formas de agrupar el ritmo, por ejemplo, dos personas que escuchan un mismo pulso pueden agruparlo de manera distinta, incluso si pertenecen a la misma cultura (Grahn y Brett, 2007).

Diversos factores culturales están asociados con las preferencias de agrupación en la música (crianza, educación, costumbres, etc.), aunque también podrían estar relacionadas con el entorno o con alguna experiencia que se puede remontar a la infancia (Phillips-Silver y Trainor, 2008).

En el mundo occidental, estas subdivisiones son en 2 y en 3, es decir dos o tres pulsos guiados y agrupados por un acento. Esto hace posible tener un código en común fácil de entender. Cuando la música no contiene este tipo de divisiones, el oyente está más propenso a rechazarla por serle ajena, ésta es una probable explicación del por qué se tiene una mayor dificultad para asimilar ritmos de otras culturas, o incluso de la misma cultura si es que se violan estos códigos. Por ejemplo, la música de Stravinski o Messiaen tiene divisiones que no corresponden al lenguaje musical común, lo que provoca que sea más difícil asimilarla. Por lo tanto, no es de extrañarse que dichos compositores hayan encontrado una gran resistencia por parte del público.

A pesar de que sabemos que el ritmo es una secuencia de proporciones seriales, la forma en que se prefiere agrupar una serie de pulsos puede ser una proyección de la personalidad. Se ha observado que si se toma, por ejemplo, a un estudiante de música que está aprendiendo a encontrar el compás en una obra, si su personalidad muestra una tendencia activa o es del tipo extrovertido, encuentra una subdivisión del pulso real, marcando un pulso más rápido. Por el contrario, si es del tipo introvertido tiende, en general, a marcar un pulso más (Seashore, 1936).

Carl E. Seashore, en su libro *Psychology of Music* (1936) menciona que la percepción del ritmo involucra a todo el organismo, pero que requiere

principalmente cinco habilidades fundamentales. Las primeras dos son la noción del tiempo y de la intensidad, que corresponden respectivamente a dos atributos del sonido. La tercera y cuarta es la imaginación auditiva y motriz, que son la capacidad de revivir la experiencia auditiva y las actitudes corporales correspondientes. La quinta es el impulso motor del ritmo, que es una tendencia innata, inconsciente y orgánica. Estos cinco factores pueden ser los aspectos básicos del ritmo.

A continuación hablaremos de las reglas que rigen las preferencias de agrupación en la música occidental y que son las que se enseñan principalmente en las escuelas de música. Como punto de partida se tomó la “Teoría generativa de la música tonal” (Lerdahl y Jackendoff, 1983), que a pesar de tener ciertas limitantes, funciona adecuadamente para el tipo de estímulos rítmicos que se han empleado en investigaciones previas y para este trabajo.

#### **1.4 La estructura de agrupación**

La forma de agrupar y el cómo se ha aprendido a hacerlo, está relacionada con la tradición musical de la cual provenimos. En la música occidental, la primera forma de agrupación (compás) aparece en una obra atribuida a Franco de Colonia aproximadamente en 1280, en el *Ars Cantus Mensurabilis*. Y surge debido a la necesidad de escribir de forma más precisa que notas son largas y cuáles son cortas en relación a un texto en particular.

Franco de Colonia escribe sobre la música mensurable:

*“La música mensurable es aquella melodía medida con unidades de tiempo largas y cortas. Para entender esta definición, debemos considerar que cosa es la medida, y qué es el tiempo. La medida es un atributo que sirve para demostrar la longitud y la brevedad de cualquier melodía mensurable. Digo “mensurable”, ya que en el canto llano esta clase de medida no se halla presente. El tiempo es la medida de la duración del sonido, así como de su contrario, la omisión de sonido, comúnmente conocida como silencio. Digo que el*

*silencio se mide por el tiempo, ya que si este no fuera el caso, dos melodías diferentes, una con silencios y otra sin ellos, no podrían acomodarse proporcionalmente entre sí.*<sup>1</sup>

*La música mensurable se divide en aquella que lo es totalmente y aquella que sólo lo es de manera parcial.*

El sistema de Franco permitió dividir las notas en dos o tres. Siendo este el principio fundamental de nuestro sistema de agrupación en la música. La barra de compás no existía anteriormente, su aparición y desarrollo se presentó durante el siglo XVII

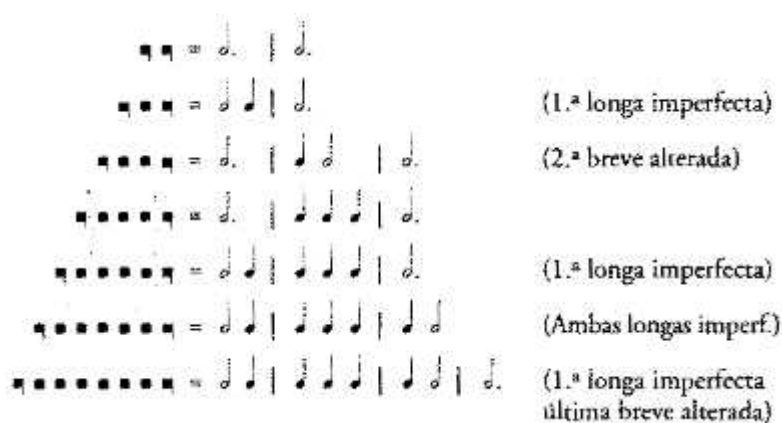


Ilustración 5. Sistema de agrupación desarrollado por Franco de Colonia.

Por ejemplo, una persona, que se enfrenta a una serie de elementos o a una secuencia de hechos de cualquier tipo, integra espontáneamente los elementos o hechos en grupos de algún tipo (Miller, 1956). La facilidad con la que lleva a cabo esta tarea depende del grado en que la organización de lo que percibe se ajuste a sus principios y construcción de agrupaciones.

<sup>1</sup> De *Ars Cantus mensurabilis*, del año 1280 traducido en *Source Readings in Music History*, ed. Leo Treitler. ed. gen. (Nueva York: WW Norton. 1996).

Uno de estos principios es la ley de proximidad de la Gestalt (Humphrey G, 1924), la cual habla del agrupamiento parcial o secuencial de elementos por la mente basado en la distancia. Establece que los objetos cercanos tienden a ser vistos como una unidad y que los estímulos que están próximos tienden a percibirse como parte de la misma unidad.

En el caso de la música, lo que se percibe son las secuencias de tonos, puntos de ataque, duraciones (valores), intensidades y los timbres de la obra. Cuando se ha construido en la mente una estructura de agrupación para una pieza, se está muy cerca de la “comprensión”, de “darle sentido”, se sabe cuáles son las unidades, y cuáles forman parte de un grupo y cuáles no. Este conocimiento se convierte a su vez en la base para construir otros tipos más complejos de estructuras musicales. De esta manera puede verse la agrupación como el componente más elemental de la comprensión musical (Lerdahl y Jackendoff, 1983).

La característica más importante de los grupos musicales es que se perciben de manera jerárquica. Un motivo es percibido como parte de un tema, un tema como parte de un grupo temático y una sección como parte de una pieza. A fin de reflejar las jerarquías que percibe el oyente, vamos a representar los grupos mediante ligaduras colocadas por debajo de la notación musical.

Una ligadura comprendida dentro de otra significa que un grupo es percibido como parte de un grupo mayor. Así, en el siguiente ejemplo los grupos marcados como *p* se perciben como parte de un grupo mayor marcado como *q*.



Ilustración 6. Ejemplo de agrupación.

Una estructura jerárquica, es una organización compuesta por distintos elementos o áreas relacionadas de tal manera que cada elemento o área, contiene otros elementos o áreas, o bien, está contenida en ellos. Un elemento contenido puede decirse que es *subordinado* al elemento que lo contiene; éste último puede decirse que *domina*, o que es *superordinado* al primero. En principio, este proceso de subordinación (o de dominio) puede continuar indefinidamente. De esta forma, todos los elementos de una jerarquía (exceptuando aquellos que están en los extremos superior e inferior de la estructura) son subordinados en una determinada dirección, y dominantes o superiores en la otra. Aquellos elementos o áreas que son igualmente subordinados dentro del conjunto de la jerarquía entera, se dice que pertenecen a determinado nivel jerárquico. Un nivel determinado puede calificarse como *de pequeña escala* o *de gran escala*, dependiendo del tamaño de sus elementos o áreas constitutivas.

En una organización estrictamente jerárquica, un área dominante contiene áreas subordinadas pero no puede superponerse con ellas. Así pues, la estructura de agrupación de la siguiente ilustración *a* representa una organización posible, pero la estructura de agrupación de *b* representa una organización imposible: en *i* se superponen dos áreas en el primer y segundo nivel, y en *j* dos áreas se superponen en el nivel 2 y se solapan completamente en un área en el nivel 1, y en *k* uno de uno de los límites de nivel 3 se solapa con un área en el nivel 2.

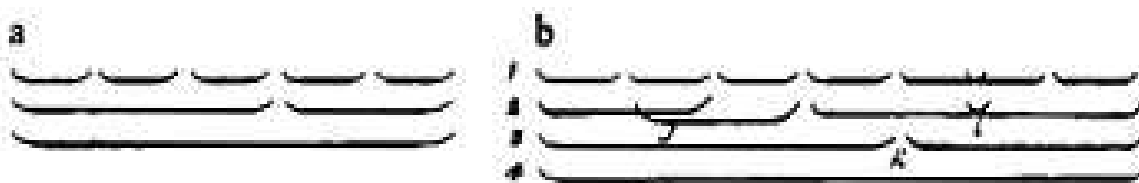


Ilustración 7. Organización posible “a” e imposible “b”.



Así como  $k$  no se da nunca en la música,  $j$  es por lo menos imaginable, e  $i$  ocurre habitualmente (en forma de solapamiento). De este modo, la agrupación musical no es *estrictamente* jerárquica en el sentido en que se acaba de describir. No obstante, las condiciones en las que se perciben los solapamientos son muy restringidas. Estos casos requieren un tratamiento especial.

Las reglas de agrupación que proponen Lerdahl y Jackendoff no son las únicas, por ejemplo, Bob Snyder en su libro “Música y memoria” (2001) explica de manera distinta la agrupación en la música, sin embargo para esta investigación se tomó como referencia las reglas expuestas en la teoría generativa de la música tonal. Esta decisión se debe a que los estímulos regulares ocupados en la investigación, cumplen con las reglas expuestas por Lerdahl y Jackendoff.

## **1.5 La estructura métrica**

Uno de los elementos para poder comprender el ritmo se encuentra en la estructura métrica, en ella encontramos los elementos que nos permiten anticipar diferentes acontecimientos en la música, ya sea al escucharla o tocarla. Estas guías se llaman acentos y están presentes de forma consciente en un músico, ya que le sirven para generar expectativas que le ayudan en su labor musical. En los siguientes apartados hablaremos de los acentos y su uso en la música occidental.

### **1.5.1 Tipos de acentos**

El uso impreciso del término acento, a menudo en relación con la métrica, ha causado mucha confusión. Para aclarar esto, es necesario distinguir tres tipos de acentos: fenomenológico, estructural y métrico.

Por *acento fenomenológico* entendemos cualquier evento que resalta en la superficie musical por alguna característica dinámica o melódica. En esta categoría se incluyen los puntos de ataque de los eventos tonales, acentuaciones locales como *sforzando*, cambios repentinos de intensidad o timbre, notas largas, saltos hacia notas relativamente agudas o graves, cambios armónicos, etcétera.

Por *acento estructural* entendemos un acento causado por los puntos de articulación estructural armónicos o melódicos de una frase (especialmente por la cadencia, objetivo del movimiento tonal).

Por *acento métrico* entendemos cualquier tiempo que sea relativamente fuerte en su contexto métrico.<sup>2</sup>

El acento fenomenológico funciona como fuente de percepción del acento métrico. Es decir, que los momentos de acentuación musical sirven de “guía” a partir de las cuales el oyente intenta extrapolar un esquema regular de acentos métricos. Si la regularidad de estas guías es pequeña o si entran en conflicto, el sentido de acento métrico queda atenuado o se vuelve ambiguo. Si las pistas son regulares y se apoyan unas a otras, el acento métrico toma una definición clara y estructurada en distintos niveles. Una vez que se ha establecido un esquema métrico, sólo se renuncia a él si se encuentra con pruebas que lo contradigan fuertemente.

En resumen, la tarea cognitiva del oyente es la de cotejar el esquema de acentuación fenomenológico dado con el esquema de acentuación métrico; donde los dos esquemas divergen es donde aparece la ambigüedad u otro tipo de complejidad rítmica. El acento métrico es pues una construcción mental dada por los esquemas de acentuación de la superficie musical pero no idéntica a ellos.

Cabe mencionar que los principios de la estructura de agrupación son más universales que los del estructura métrica. La complejidad rítmica de la música tonal

---

<sup>2</sup> *Sessions (1951, pp. 82-92) establece las mismas distinciones. Cooper y Meyer (1969, pp. 6-8) distinguen entre “stress” y “accent” pero no definen adecuadamente el segundo término; parece que su intención es darle el significado de acento métrico, combinándolo con ciertos aspectos de la estructura de agrupación del acento estructural.*

surge de la interacción entre una organización métrica (comparativamente más sencilla) con estructura de agrupación, y sobre todo, de la interacción de ambos componentes con una estructura tonal muy rica.

### 1.5.2 La jerarquía métrica

Los elementos que componen un esquema métrico son los *tiempos*. Se ha de insistir y dejar en claro que los tiempos, no tienen una duración. Los tiempos son idealizaciones, abstracciones utilizadas por el intérprete y deducidas de la señal acústica por el oyente. Sin embargo, estas idealizaciones tienen un lugar en el tiempo, por lo que un intervalo de tiempo (una duración) tiene lugar entre dos tiempos consecutivos. El término utilizado para estos intervalos es el de *intervalo temporal*. Siguiendo la analogía espacial, los intervalos de tiempo corresponden al espacio existente entre dos puntos geométricos. Por lo tanto, los intervalos temporales tienen duración, los tiempos no.

Es conveniente representar los tiempos mediante puntos, al ser análogos a éstos. Las secuencias de puntos del ejemplo siguiente representan secuencias de tiempos.



Ilustración 8. Representación de una secuencia de tiempos.

Las dos secuencias difieren en un aspecto fundamental: los puntos de la primera secuencia son equidistantes, los de la segunda no lo son. Dicho de otro modo, los

intervalos temporales entre los tiempos consecutivos son iguales en *a* pero desiguales en *b*. Aunque una estructura como la de *b* podría parecer imaginable en un principio, no es lo que uno considera como métrico; de hecho, no sería percibida así. El término *métrica* implica medida, y es difícil medir algo sin un intervalo o distancia de medida fijo. La métrica proporciona los medios de ese tipo de medida para la música; su función es marcar el flujo musical, en la medida en que sea posible, en intervalos temporales iguales. Para resumir, la estructura métrica es inherentemente periódica, esto descarta el esquema de tiempos del ejemplo *b* como métrico.

Siendo más rigurosos, tampoco el ejemplo *a* sería métrico. Un aspecto esencial de la idea de métrica es la noción de alternancia periódica de tiempos fuertes y débiles. Para que haya tiempos fuertes y débiles debe existir una *jerarquía métrica* (dos o más niveles de tiempos). La relación entre “tiempo fuerte” y “nivel métrico” es simplemente que si un tiempo se ha sentido como fuerte en un nivel determinado, también será un tiempo en el nivel inmediatamente superior.

En un compás de 4/4, por ejemplo, el primer y tercer tiempo se sienten como más fuertes en comparación con el segundo y cuarto, y se consideran como tiempos en el nivel inmediatamente superior; el primer tiempo es percibido como más fuerte que el tercero, representando así un tiempo en el nivel inmediatamente superior y así sucesivamente.

Traducido a una notación en puntos, esta estructura puede representarse así:



Ilustración 9. Representación de una estructura métrica.

En el nivel más pequeño: los tiempos primero, segundo, tercero y cuarto, son todos pulsos; en el nivel intermedio dos pulsos aparecen bajo los números 1 y 3; y en el nivel mayor sólo hay pulsos bajo el número 1. Los signos utilizados en el segundo ejemplo se utilizan para analiza poesía y según el orden de aparición representan: fuerte, débil, semifuerte y débil.

En la siguiente ilustración (Jones y colaboradores, 2002) podemos observar un oscilador regulado por un patrón rítmico regular, a través del cual se busca demostrar cómo se generan expectativas basadas en un pulso. Las expectativas son más precisas (hay una proporción correcta) cuando la aparición de los pulsos coinciden con el patrón inicial (IOI marcado con flechas).

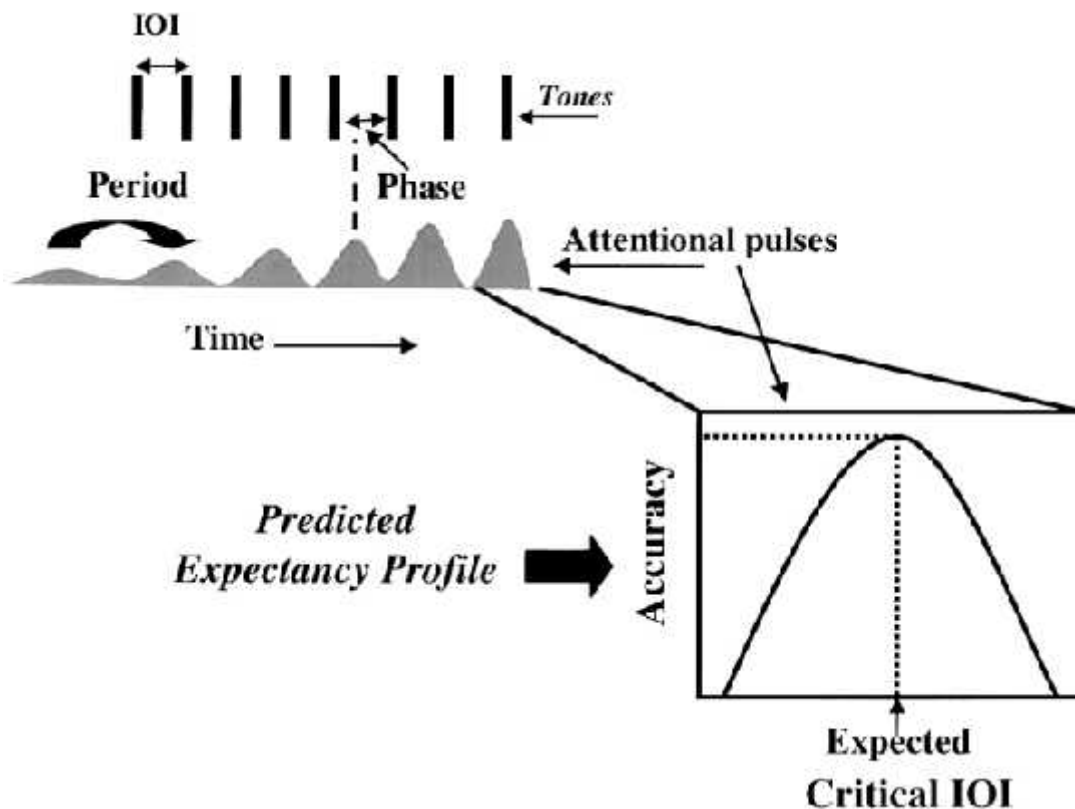


Ilustración 10. Modelo de cómo se genera una predicción de un evento.

## 1.6 Percepción de patrones de pulso

Para explicar la percepción del pulso, se tomó como base el libro “El oído de la mente” de Silvia Malbrán, donde se hace un análisis de diferentes estudios realizados sobre la percepción del pulso en la música. Se ha expuesto en las secciones anteriores las guías que existen para inferir los patrones de pulso y encontrar una regularidad temporal en la música, en este punto se profundizará un poco más sobre cómo lleva a cabo esto un músico.

Comencemos con algunas citas:

*“Cuando escuchamos música, a menudo seguimos el tiempo con movimientos manifiestos tales como golpes con los pies o las manos en sincronía con el tiempo”* (Gabrielsson, 1993).

*“La pulsación regular y perceptible forma parte del concepto de ritmo en Occidente”* (Delalande, 1995).

*“La experiencia que acompaña la percepción (o reconocimiento) de un pulso puede denominarse un percepto<sup>3</sup> de pulso”* (Parncutt, 1987).

*“Escuchar música y representar los patrones temporales que le son propios no es tan sencillo como parece; se trata de procedimientos para manipular patrones “entrantes” de estimulación”* (Dowling, 1993).

En una obra musical diferentes patrones de pulso son presentados simultáneamente a la percepción del oyente y elegir uno de ellos supone filtrar información. El analizar las interrelaciones existentes entre patrones es acceder a la estructura jerárquica que los soporta, y al ser posibles diferentes patrones de pulso, ¿cuál es la elección comúnmente compartida por los oyentes?

---

<sup>3</sup> *Percepto es un término acuñado por el filósofo Gilles Deleuze, con el que trata de establecer una diferencia con respecto a las nociones más conocidas de concepto y percepción. Es decir, en el percepto hay contenido y representación.*

Según Parncutt (1994), el oyente selecciona principalmente aquellos patrones de pulso a intervalos de tiempo que no son ni muy breves ni muy espaciados (correlación temporal), ya que las respuestas tienden a gravitar hacia la media, resultando más prominentes los patrones de pulso cuyos periodos son cercanos a las 100 pulsaciones (beats) por minuto. “Adoptando un término del Renacimiento, diríamos a nivel de tactus” (Lerdahl y Jackendoff, 1983).

*“El tactus<sup>4</sup>, por ende, es la sensación de pulso con mayor prominencia perceptual”* (Parncutt, 1994). En la elección intervienen factores asociados con las características del fragmento musical y la experiencia musical del oyente.

Los patrones de pulso se caracterizan por ser *“una serie de estímulos regulares, recurrentes y equivalentes”* (Cooper y Meyer, 1960) y como *“una simple secuencia de perceptos de eventos igualmente espaciados en el tiempo”* (Parncutt, 1987).

Por ello el concepto de pulso es un concepto genérico que alude a los diversos patrones presentes en la música y a su organización interna. Elegir para la ejecución un patrón de distribución regular de un fragmento musical es seleccionar sólo uno de los posibles.

Es por eso que Parncutt llegó a estas conclusiones en sus investigaciones:

*“Las secuencias de eventos normalmente evocan al mismo tiempo perceptos de pulsos de diferentes prominencias”* (Parncutt, 1987).

*“La percepción de pulsos de ritmos musicales puede ser entendida como una forma de técnicas de reconocimiento de patrones”* (Parncutt, 1994).

Los patrones de pulso pertenecientes a una obra musical son modelos que se diferencian por el intervalo de tiempo que utilizan. Este intervalo de tiempo entre ataques es el periodo<sup>5</sup>, que distingue cada uno de los patrones de pulso de los

---

<sup>4</sup> *Tactus: relación entre ataques equivalente a la del pulso de un hombre que respira con normalidad* (New Harvard Dictionary of Music).

<sup>5</sup> *Periodo: intervalo de tiempo entre un evento y el siguiente.*

restantes. Identificar auditivamente la estructura métrica de un fragmento musical requiere el cotejo en tiempo real de patrones de pulso de diferentes periodos.

Ejecutar cadenas de eventos organizadas temporalmente pone en juego la habilidad de medir el transcurrir temporal al momento y realizar simultáneamente una acción repetitiva o una secuencia de acciones. La continuidad del tiempo es segmentada por la sucesión de acciones que requieren la representación y construcción de escalas temporales.

La identificación pone en juego el establecimiento de categorías perceptuales y conceptuales:

- 1) Recepción y retención en la memoria de información temporal, armónica y melódica.
- 2) Traducción a un gesto corporal manifiesto o encubierto.
- 3) El establecimiento de relaciones cuantitativas y cualitativas entre los diferentes niveles de la estructura.
- 4) Su codificación en un sistema de notación.

### **1.6.1 La estructura métrica en la rítmica proporcional**

La rítmica proporcional se caracteriza por el uso de patrones de pulso regulares, que se relacionan como múltiplos integrales. También se ha denominado rítmica divisiva, rítmica de metros simétricos o rítmica con divisiones proporcionales. Cuando tres o más patrones presentan cierta permanencia en el discurso, configuran una organización jerárquica, a manera de un esqueleto de medida rítmica, la estructura métrica. Por su naturaleza estructural se requieren por lo menos tres niveles de pulso para configurarla.



### ***1.6.1.1 Tactus: el nivel de pulso básico***

El tactus es el nivel de pulso que tiene mayor prominencia perceptual porque se distribuye en una tasa regular en la música, es decir, su incidencia permite obtener datos de cómo configurar, aislar e identificar el tactus de una obra al escucharla. Se considera con mayor prominencia porque facilita la identificación de los otros niveles de pulso, con los que establece todo un sistema de relaciones de mayor o menor nivel. En inglés hay una confusión generala al emplear el termino beat y pulse. El beat se refiere al tactus y pulse es el pulso que no está acentuado, es decir, es un nivel de pulso diferente al tactus.

En la teoría de la música es denominado “tiempo del compás” o “unidad de compás”. Para evitar confusiones, se prefiere usar el concepto “tactus”, dadas las diferencias entre notación y percepción, y la inconsistencia con que se ha utilizado el vocablo “tiempo” en la tradición occidental.

Los patrones de pulso se diferencian por el periodo; el que se percibe con más facilidad, tactus, que oscila alrededor de las 100 pulsaciones por minuto. Un factor importante que incide en la identificación del tactus es el tempo de la obra, por ejemplo, a una obra con tempo rápido se le asigna un tactus a un intervalo breve de tiempo, y viceversa.

Para resumir, el tactus es la unidad de medida básica (localizada en un nivel medio) para establecer relaciones con los otros niveles de pulso; estas interrelaciones determinan la estructura métrica (Malbrán, 2007).

### ***1.6.1.2 Subtactus y agrupamiento: el pie rítmico***

Conjuntamente con el tactus se presentan en la percepción otros patrones de periodo más breves. Estos patrones son subunidades del tactus. Diversos modelos

teóricos lo denominan subtactus. En la rítmica proporcional las posibilidades de agrupamiento son en dos o en tres. En la teoría musical tradicional a este patrón se lo denomina división (del tiempo) o subdivisión (del compás), esto es, el modo en que el valor mayor se divide en uno menor. Por ejemplo, en el compás 2/4 las corcheas son la división de la unidad de tiempo (la negra) y la subdivisión de la unidad de compás (la blanca), denominaciones todas ellas vinculadas con la notación. Para la escucha se prefiere usar el concepto de pie, tomado de los griegos, por considerar que alude a un agrupamiento de sonidos en unidades mínimas de dos o de tres (Malbrán 1984 a, 1984b). Aislar el subtactus es inferir un valor discreto, la figura menor en que se divide; aislar el pie es abstraer un grupo temporal de sonidos acentuados métricamente en células de dos (binario) o de tres (ternario).

*El pie es el agrupamiento del nivel de pulso inmediato inferior al tactus (sub-ordinal). Determina la distribución interna del tactus en grupos de dos o tres subunidades (Malbrán, 2007).*

### **1.6.1.3 Metro**

Otro de los niveles de pulso que resultan perceptibles son los que se distribuyen en lapsos más amplios y contienen al tactus y al pie. Esta unidad mayor -cuando presenta permanencia en la obra- es una configuración que se apoya en características del discurso musical tales como:

- Segmentaciones melódicas, correspondientes al fraseo de la melodía, que al oyente le permiten anticipar pausas, cesuras o respiraciones internas del discurso musical y que contienen el mismo número de tiempos.
- Ritmo armónico, esto es, el grado de estabilidad o cambio de la armonía.

Desde la escucha

*“El metro es la unidad de agrupamiento mayor (mayor al nivel medio) que, según sean sus relaciones con el tactus, determina el número fijo de tactus que incluye” (Malbrán, 2007).*

La articulación del fraseo, la redundancia temática y el ritmo armónico son indicativos del metro. En la teoría musical tradicional se ha denominado acento o unidad de compás. Según la estructura de la cual se trate, es frecuente que el oyente identifique a partir de la escucha hasta cuatro niveles de pulso: dos supraordinados, el ordinal (tactus) y uno subordinado al tactus.

Los compases denominados simples y compuestos demandan el análisis de mínimo tres niveles de pulso: tactus, subtactus y metro. En la obra Die Moldeau (fragmento de Má vlast) de Smetana podemos observar este tipo de análisis.



Ilustración 11. Niveles de pulso en un compás compuesto.

## 1.7 Algunas precisiones terminológicas

En diversos textos se observa la denominación indistinta de pulso o tiempo, esto es, se adopta la denominación de la notación y se considera la existencia de un único pulso cuya cualidad distintiva es que la sucesión se produce a un intervalo de tiempo igual entre un ataque y el que le sigue. Sin embargo, el compás escrito no siempre es coincidente con la estructura percibida. En cuanto a la distribución de un intervalo de tiempo igual, las subunidades (subtactus) y las supra unidades (metro), también se producen a igual intervalo de tiempo entre un ataque, su sucesor y su antecesor. Con dicha postura se ignora la existencia de diferentes niveles de pulso y se considera la sucesión a igual intervalo de ataque un atributo exclusivo.

Se les ha asignado el nombre Unidades de Tiempo Uniforme (UTU) a la segmentación temporal continua e igual de un intervalo de tiempo (Malbrán y Fumó, 1992). Cuando un grupo de personas bate palmas de manera regular, no percute elementos de la estructura métrica, solamente opera con una UTU. Toda distribución isócrona no constituye un patrón de pulso. Tactus, metro y pie, son patrones sin existencia autónoma, se encarnan y derivan de un discurso musical o rítmico con diferentes niveles de información (textual, melódica, armónica).

El análisis de la estructura métrica de una obra necesita considerar dos premisas básicas: 1) la prominencia relativa y los elementos que resultan relevantes a la percepción- y 2) el grado de permanencia de los agrupamientos temporales. Si en una obra lo que se percibe como subtactus es un agrupamiento establemente ternario, no corresponde escribirlo como valor irregular (tresillo), ya que el pie ternario es un elemento estructurante del discurso. El tresillo debe causar irregularidad rítmica, por ende, constituir un accidente del fluir musical en lugar de la norma.

La tipología presentada sólo puede ser analizada y comprendida si se parte de la idea clave compartida por la comunidad científica, que considera al tactus la unidad temporal de mayor prominencia, distribuida en una tasa temporal moderada.

## 1.8 Ritmo en el siglo XX

Algunos compositores recurren a estructuras rítmicas provenientes de su país de origen o bien de otros sistemas musicales, dando como resultado una rítmica mucho más rica en comparación con la que se había empleado anteriormente. Este tipo de estructura métrica es la que más se acerca a los estímulos utilizados en esta investigación, ya que cuentan con características en su estructura que no son fáciles de predecir. En este apartado se mencionarán algunas de ellas .

### 1.8.1 La estructura métrica en la rítmica balcánica

La rítmica balcánica (también llamada de “pie cojo”) debe su denominación a que su notación ingresó en la música académica de la mano de las transcripciones realizadas por Bartók y Kodály de la música de los Balcanes. Sin embargo, está presente en la música folclórica de diversos países. Otra denominación con que se le conoce, *aksak*, es un vocablo turco que significa «cojo» y fue tomado de la teoría clásica turca por Brailoiu<sup>6</sup>, quien lo introdujo en la rítmica occidental. También se denomina ritmo búlgaro o ritmo bícrono irregular (Pelinsky, 2000). Bartók en 1938 fue el primero en describirlo en la revista *Enekso*, y en 1951 Brailoiu explicó como un ritmo bitemporal irregular que se sirve de dos unidades de tiempo en relaciones 2:3 ó 3:2 (Michel, 1967).

Estudios de Georgiades (1949) documentan ejemplos en la música griega antigua (citado por Pelinsky, 2000). Según Pelinsky (2000, p. 93), “dichos ritmos se caracterizan por la aglomeración de dos unidades de duración (corta y larga) en lugar de una, y su relación matemática es irracional: en lugar de valer una unidad la

---

<sup>6</sup> *Constantin Brailoiu (1893 - 1958) compositor y etnomusicólogo rumano.*

mitad o el doble de la otra, su relación es de 2/3 o de 3/2 respectivamente” (Brailoiu, 1973).

En la rítmica proporcional los valores temporales se obtienen por división; por ello también se le llama divisiva. En la rítmica balcánica los valores se obtienen por adición, por ende, de manera no proporcional; por esta razón también se les ha llamado ritmos asimétricos. Cuando los patrones se repiten, conforman estructuras métricas en las que el tactus no es isócrono y el subtactus se distribuye en sucesiones yuxtapuestas de dos y tres subunidades. Los compases emergentes de este tipo de rítmica se denominan compases aditivos. En ellos, el metro se percibe claramente y la cifra indicadora del compás es la suma resultante de la sucesión de agrupamientos internos que presenta la estructura (por ejemplo, 2+ 2 +3).



Ilustración 12. Ejemplo de compás aditivo en la rítmica balcánica. Bela Bartok, Mikrokosmos VI.

Sus características son:

- Sucesión de pies binarios y ternarios (nivel de pulso a igual intervalo de tiempo) ♩=♩.
- Tactus no isócrono, producto de la sucesión de pies de diferente número de unidades (visión ampliada del concepto «tactus», ya que no es pulso isócrono).

- Metro estable y a igual intervalo de tiempo.

Este tipo de rítmica se observa en obras tanto académicas como en la música popular. En algunos trabajos de investigación previos se denominan metros complejos. Se considera que su reconocimiento perceptivo implica el uso de estrategias para cambiar de niveles métricos en tiempo real, lo que demanda un desarrollo más acabado de habilidades cognitivas. En virtud de las complejidades temporales comprometidas, se considera que el dominio de estas estructuras proporciona una ventana de acceso ampliada a la cognición temporal métrica (London, 1995).

## **1.8.2 Estructuras de metro cruzado**

### ***1.8.2.1 Rítmica proporcional y balcánica yuxtapuestas***

El uso de cruzamientos entre ejemplos de diferentes rítmicas, tanto verticales como horizontales, contrapone estructuras métricas de diferente naturaleza que comparten el número total de unidades de pie. Como se ha visto, estos cruzamientos se denominan compases equivalentes.

## **1.9 Rítmica sin metro**

En diferentes estéticas de la tradición occidental es posible encontrar obras musicales de rítmica sin metro. En algunos casos, se encuentran anotadas en estructuras de compás convencional. Entonces resulta pertinente la definición de la teoría musical tradicional, que caracteriza al compás como “el espacio comprendido entre dos líneas divisorias”. Esto es, desde la escritura se alude a una distribución estable que en realidad el receptor no puede percibir.

En ciertas obras el tema musical comparte una distribución proporcional, aunque su “gesto” no resulta adjudicable a una unidad métrica superior, esto es, a un metro.

Generalmente la escritura se resuelve mediante ligaduras que delimitan las unidades de fraseo. La distribución de figuras es proporcional aunque sin metro. Estos ejemplares se tipifican como pertenecientes a la rítmica proporcional sin metro.

### **1.9.1 Rítmica proporcional sin metro**

Como su nombre indica, se trata de obras cuyas distribuciones temporales corresponden a la rítmica proporcional por valerse de proporciones integrales. Sin embargo, la dicción melódica muestra la ausencia de un metro estable.

### **1.9.2 Rítmica balcánica sin metro**

El compositor resuelve la escritura mediante reiterados cambios de compás, no perceptibles por el auditor, pero de indudable ayuda para el intérprete.



## **1.10 Conclusiones parciales de la primera parte**

En la investigación en cognición contemporánea, la psicología de la música se sitúa dentro del marco teórico general de la psicología cognitiva porque atiende a las representaciones internas (mentales) de las propiedades abstractas y particulares del entorno musical sonoro y a los procesos que dan cuenta de dicha representación. La psicología cognitiva auditiva se propone estudiar el “pensar en el sonido” más allá de la palabra (Mc Adams y Bigand, 1994).

En el caso de las representaciones musicales interesa conocer el tipo de información de los estímulos que se internalizan, la forma en que se almacenan y el modo en que se interpretan. Se trata de determinar cómo los diferentes eventos perceptuales distribuidos en el tiempo son integrados por la mente en una estructura significativa (Madison, 1999).

Las acciones implicadas en la percepción musical suponen la interrelación entre el conocimiento que el auditor aporta como experiencia personal y lo que realmente sucede en la composición musical que está escuchando, habilidad que pone en juego una multiplicidad de procesos cognitivos (Dowling, 1993).

Hay un acuerdo general en que la extracción de regularidades perteneciente a unidades temporales subyacentes a la música, es un proceso fundamental para la comprensión musical (Toivianen y Snyder; Parncutt, 1994; Clarke, 1987; Handel, 1986; Lerdahl y Jackendoff, 1983; Shaffer, 1982).

Diversos teóricos e investigadores han sugerido que la estructura métrica, al tomar en cuenta la segmentación de la forma musical, resulta ser un factor importante para la percepción y memorización de la estructura musical, y opera como un importante anclaje cognitivo para la comprensión y cognición musical (Dawe y colaboradores, 1994, Jones, 1987; Lerdahl y Jackendoff, 1983).

Analizar en tiempo real los componentes de la estructura métrica es algo más que contar el número de pulsos por compás. Relacionar escalas temporales mientras se

está escuchando impone adentrarse en características del discurso de los agrupamientos relativos al fraseo melódico, al ritmo armónico, a los patrones rítmicos y otras incidencias tales como acentos fenomenológicos, desplazamientos métricos, silencios o cambios de estructura. Estos datos son los que ayudan a la comprensión de la música en tiempo real.

Prestar atención a un patrón temporal y aislarlo del resto de los componentes del contexto musical supone atención selectiva y abstracción. La atención selectiva se describe como una orientación de la conciencia hacia determinado tipo de estímulos, dejando fuera del campo otros, también presentes, que actúan como distractores. Funciona como un filtro que permite el paso de determinada información para su procesamiento (Broadbent, 1957-1958; Treisman, 1960,1964, citados por Kahnemann, 1997). El prestar atención es considerado como un proceso activo de recepción y selección de información. Elegir una unidad de medida regular a copiar con el pie implica omitir o dejar “fuera del campo” otras informaciones rítmicas y melódicas que forman parte del estímulo musical y que se presentan simultáneamente a la percepción del oyente. Esta “copia” es un claro ejemplo de almacenamiento ecoico, denominado así porque funciona como un eco (Snyder, 2000).

Este tipo de acopio de la información pone en juego procesos de codificación, representación y organización de datos acústicos necesarios para la retención. El material que es el foco de atención se almacena en la memoria a corto plazo y desempeña un papel importante en la percepción de la música, ya que el procesamiento de información temporal requiere mantener por cierto tiempo los estímulos percibidos en este sistema de la memoria cuya duración es normalmente del orden de unos pocos segundos (Neisser, 1967; Glusberg y Cowen, 1970; Crowder, 1970; citados por Parncutt, 1994). En tal sentido, el agrupamiento de componentes musicales funciona como un eficiente recurso de almacenamiento de información, al retener paquetes de acontecimientos sonoros en lugar de eventos discretos.

Retener características de un fragmento musical impone procesos de codificación, representación y organización de la información. Las estrategias para el desarrollo de la memoria a corto plazo son imprescindibles para la cognición musical auditiva. Escuchar el fragmento, repetirlo para sí mismo, advertir “lagunas de información” para prestarles atención focal en la siguiente repetición y, finalmente, integrar el “trazo” del discurso después de tres o cuatro repeticiones, son condiciones necesarias para el análisis de la música en tiempo real. Una cuestión de interés en el estudio de la percepción de diferentes sucesos que entran a nuestro campo perceptivo por vía auditiva es el grado de dominancia que puede presentar un atributo sobre los componentes restantes. Este rasgo se denomina prominencia. El análisis de la prominencia como fenómeno perceptivo supone que el organismo atiende “selectivamente” a algunos datos de los estímulos.

Según Imberty (2000) la organización perceptiva en la música es una jerarquía de prominencias más que una jerarquía sintáctica funcional. Las audiciones sucesivas de una obra musical permiten establecer una jerarquía entre los sucesos que han impactado la percepción desde la primera audición. En consecuencia, la jerarquía de prominencias perceptivas está basada en los fenómenos temporales. Se propone definir la macro estructura de una pieza musical como un esquema de estructuración del tiempo, como una representación mental de la progresión temporal de la obra musical.

Cada discurso musical pondera ciertos elementos sobre otros. El componente ponderado es percibido como más saliente. Seleccionar fragmentos musicales de escucha para ilustrar un contenido o concepto musical demanda al pedagogo analizar la obra en términos de prominencia. Esta selección emerge de la misma música; los datos de la partitura pueden resultar equívocos para tales decisiones. Un supuesto compartido es que el oyente, ante la presentación de una secuencia rítmica e instado a palmearla en intervalos igualmente espaciados, lo hará tomando en cuenta el percepto de pulso más prominente que evoca la secuencia.

Se describe la prominencia de patrones de pulso como “la significación perceptual y, por ende, musical basada en la fuerza o prominencia de una sensación de pulso” (Parncutt, 1994).

Los patrones/niveles de pulso, aunados a las expectativas del oyente, actúan como anclajes cognitivos específicamente atencionales. Los diferentes niveles de pulso son raramente escuchados como iguales; normalmente un nivel es escuchado como básico y actúa como marco de referencia para la percepción de otros niveles. Los oyentes pueden atender a los diversos niveles de pulso simultáneamente mientras palmean uno, usualmente el de distribución relativamente moderada en el tiempo (Parncutt, 1994).

Se ha visto que el grado de prominencia de cada nivel de pulso depende del periodo de su distribución y de las propiedades superficiales y estructurales de la música.

Pueden mencionarse como factores asociados a la mayor prominencia de los niveles de pulso:

- Ataques del ritmo de la melodía y del acompañamiento que coinciden con algún nivel de pulso (Palmer, 1992; Krumhansl, 1992).
- Acentos fenomenológicos (Lerdahl y Jackendoff, 1983).
- Duración de las notas del ritmo (Parncutt, 1994).
- Interacciones entre ritmo y alturas (Deutsch, 1982; Jones y Boltz, 1989; Monahan, 1993).
- Interacciones entre información melódica e información armónica (Dawe, Platt y Racine, 1994);.
- Periodo de los pulsos (Fraisse, 1982; Parncutt, 1994; Clarke, 2000; Toiviainen y Snyder, 2000).

- Velocidad (tempo) del fragmento (Handel, 1986; Handel y Oshinsky, 1981).

Los factores mencionados indican que ante la audición de un fragmento musical algunos componentes resultarán más importantes que otros; ello explicaría lo frecuente que resulta que el oyente, en el transcurso de la escucha, vaya centrando su atención y cambiando de un nivel a otro. De este modo las prominencias perceptivas son inestables, cambiantes durante su desarrollo simultáneo con la audición de la música. No obstante, hay acuerdo general en que, al escuchar música, inicialmente el nivel de pulso más saliente es el tactus, esto es, el primer nivel de pulso que “dispara” la atención del oyente.

Esta percepción se efectúa en tiempo presente, en el “ahora”, en el momento en que tiene lugar. Según la teoría de atención dinámica (Jones y Boltz, 1989) los oyentes afinan sus ritmos internos con los del ambiente y prestan atención al nivel de pulso que se desarrolla en un periodo intermedio de los niveles jerárquico-métricos. Lo denominan periodo de referencia, que puede identificarse como la tasa en la cual cada acción de la ejecución es realizada al tiempo de la música. El patrón saliente sirve como referencia para establecer relaciones con los otros patrones y ha sido denominado tiempo de referencia (Jones, 1987; Drake, Penel, Bigand y Stefan, 1997). Según este modelo, una vez que los oyentes se afianzan en un nivel particular de la jerarquía métrica, pueden saltar a otros niveles a través de procesos de atención focal.

Estos cambios de nivel pueden ser:

- Multiplicaciones del tactus que se caracterizan como una forma de atención orientada al futuro (en las secuencias de puntos sería proceder del nivel 2 a los niveles 3 ó 4).
- Divisiones del tactus, vistos como una forma de atención analítica (en los diagramas de puntos sería proceder del nivel 2 al nivel 1).

Operar en tiempo real con el cúmulo de información brindada por la música requiere la puesta en marcha de estrategias cognitivas que permitan cumplir los siguientes pasos: 1) recepción; 2) percepción; 3) puesta en marcha de un gesto motor; 4) cuantificación; 5) conceptualización.

Esta secuencia de reflexión sobre el hacer, simultánea con la escucha, requiere ser ordenada por pasos, con meticulosidad y una reevaluación permanente de las conclusiones parciales que se van obteniendo. Se trata de estrategias cognitivas de alto nivel de complejidad musical y conceptual, para lo cual el trazado de algoritmos constituye una valiosa ayuda.

La prominencia de niveles de pulso fue estudiada por R. Parncutt (1994) con secuencias artificiales (mecánicas) de ritmos estandarizados (vals, marcha, swing) producidas por medios computarizados. Las respuestas obtenidas indican la prominencia de patrones en una tasa temporal moderada (alrededor de 100 eventos por minuto).

Un modo de organizar las representaciones es a través del pensamiento por categorías. Los sistemas de categorías proveen información ordenada reduciendo el esfuerzo cognitivo. La categorización procesa la información con flexibilidad y parsimonia, y forma parte tanto de la identificación y reconocimiento de objetos como de la asimilación y organización de nuevos conocimientos (Melen, 2000).

En las categorías perceptuales, el procesamiento de la información incluye el almacenamiento organizado en la memoria, la recuperación eficiente y la respuesta a un número amplio de ejemplos provenientes de múltiples categorías (Melen, 2000).

La jerarquización por categorías reconoce los niveles subordinado, básico y supraordinado (De Vega, 1984):

- El nivel subordinado representa el menor grado de abstracción y contiene la más amplia cantidad de información respecto a los otros niveles.

- El nivel básico representa un estatus intermedio entre los extremos, pero brinda información insuficiente para distinguir eficientemente miembros de las categorías.
- El nivel supra ordenado, el más abstracto, condensa información acerca de los ejemplos, permitiendo una distinción más clara entre las categorías (Melen, 2000).

Como se mencionó anteriormente, en la percepción y reproducción de ritmos de la música, el nivel básico permite ordenar los datos conforme a una referencia temporal, el tactus, que actúa como unidad de medida; el nivel subordinado informa acerca de datos de la superficie musical (subtactus); el nivel supra ordinal se vincula con el agrupamiento temático, la estructura armónica y formal, así como la conformación de la estructura como un todo (metro).

Hay acuerdo entre los investigadores en considerar que la estructura métrica es jerárquica: se compone de elementos discretos relacionados de tal forma que el componente de un nivel incluye “a” y es incluido por componentes de otros niveles. Esta estructura genera relaciones de dominancia: un elemento contenido por otro es subordinado del elemento que lo contiene. En principio, esta relación de subordinación o dominación puede continuar indefinidamente. Por lo tanto, todos los elementos en una jerarquía, excepto los que están en los extremos, son dominantes en una dirección y subordinados en la otra (Lerdahl y Jackendoff, 1983).

Para que la mente organice e integre las diferentes pulsaciones en un todo coherente, necesita disponer de una “cinta métrica” que, operando en tiempo real y sin dejar de escuchar, suministre información acerca de la manera en que un nivel de pulso se incluye en o contiene a otro. Este rol lo cumple el tactus. y brinda la información necesaria para analizar las relaciones entre los diferentes niveles de pulso.

Este análisis de relaciones, si bien pareciera cuantitativo, es esencialmente cualitativo. Para adoptar un nivel de pulso como:

- Tactus, después de la elección inicial es necesario reexaminar si responde a una tasa de distribución moderada en el tiempo, si se corresponde con la imagen de la batuta del director o con andar o caminar a un tempo “cómodo”.
- Subtactus, es necesario compararlo al discurso rítmico-melódico para identificar si su agrupamiento mínimo (pie) es de dos o de tres.
- Metro, es preciso revisar su sostenimiento a lo largo del discurso, así como también si se corresponde con las líneas de fraseo y el ritmo armónico.

Con todos estos datos corroborados, aún falta la decisión final que consiste en establecer las relaciones entre los mismos. En síntesis, los diversos estudios previos analizados señalan que la estructura métrica es:

- Jerárquica, por las relaciones de dependencia e inclusión entre los patrones métricos. Un pulso en un nivel mayor debe serlo también en los niveles más pequeños.
- Periódica: los espacios temporales entre los pulsos en un nivel dado deben ser dos o más veces más amplios que los del nivel inmediato menor. Todos los niveles de pulso se componen de intervalos de tiempo iguales, variando entre un nivel y otro el periodo en el que se desarrollan. La estructura métrica depende de una división del tiempo en pequeños grupos de intervalos iguales (Johnson-Laird, 1991).
- Recursiva: se define en sus propios términos y puede ser elaborada indefinidamente mediante las mismas reglas. Los elementos de la estructura métrica son esencialmente similares tanto en el nivel subordinal, ataques de menor valor de duración (nivel 1), como en el nivel supra ordinal – ataques de mayor valor de duración (nivel 3).
- De proporciones integrales: todo nivel de pulso distribuido a breve intervalo de tiempo es contenido por otros niveles de pulso que son sus múltiplos



integrales. El valor de tiempo de cada nivel es una multiplicación o división de los restantes, esto es, conforma un integral. Por ende, un ataque en un nivel más dividido incluye valores de los niveles más inclusivos. Los niveles métricos más bajos son divisiones del nivel inmediato superior y subdivisiones de los restantes. (Shaffer, Clarke y Todd, 1985; Malbrán, 2001; Me Adams, 1996).

- Triárquica. Para que un sistema de relaciones entre niveles de pulso se considere una estructura métrica, es preciso que coexistan por lo menos tres niveles diferentes: un nivel jerárquico ordinal (básico), el tactus; un nivel subordinado, el subtactus, y un nivel supra ordenado, el metro. Retornando al concepto anterior de dominante-dominado, el tactus es dominante del subtactus y dominado por el metro.

## **Estímulos rítmicos irregulares**

Tomando en cuenta las reglas que se analizaron previamente, se realizó la siguiente selección de estímulos irregulares, los cuáles violan dichas reglas de agrupación y no contienen guías suficientemente claras para poder ser analizadas en tiempo real de manera eficiente. Estos estímulos fueron utilizados para la toma de imágenes de resonancia magnética funcional (fMRI).

La selección de los estímulos se hizo por medio de una encuesta aplicada a estudiantes del segundo año de licenciatura en música, con un promedio de formación musical de entre 2 y 14 años. En esta secuencia se solicitó a los estudiantes que identificaran, entre varios ejemplos, los estímulos que percibían como más irregulares. (Ver Anexo)

### **2.1 Norte de la India**

#### **2.1.1 Tihais – Tintal**

El llamado Tihais – Tintal es un patrón rítmico proveniente del norte de la India. Se basa en una reducción del patrón original, se comienza con un conteo de nueve pulsos y se va acortando cada vez que se repite, hasta llegar a uno (Fig. 5). Este tipo de conteo por reducción no se utiliza en la música occidental, por lo que es difícil establecer una relación temporal en la forma en que se presentan los ejemplos.

16 | 4 | <sup>+</sup> 

te ri ki ta ta ka ta te te ka ta ga di ge ne dha ki ta ta ka ta te te ka ta

2 

ga di ge ne dha ta ka ta te te ka ta ga di ge ne dha ta te te

o 

ka ta ga di ge ne dha te te ka ta ga di ge ne dha ka ta ga di ge ne

3 

dha ga di ge ne dha ge ne dha dha

Ilustración 13. Tihais - Tintal.

## 2.1.2 Chartal Ki sawari

Este tipo de patrones se caracterizan por tener dos compases de  $1\frac{1}{2}$  tiempos, lo que causa un patrón rítmico irregular. Aunque puede presentarse una alternación de compases en la música del siglo XX, no es común, haciendo difícil su percepción de los acentos.

1. CHARTAL KI SAWARI- 11 MATRAS, DIVIDED 2 + 2 + 2 + 2 +  $1\frac{1}{2}$  +  $1\frac{1}{2}$

The illustration shows the musical notation for the first line of the song 'Chartal Ki Sawari'. It consists of two lines of music. The first line has a 4/4 time signature and a repeat sign. The lyrics are 'dhin te ri ki ta dhi na tun na kat ta'. Above the notes are rhythmic markings: 'sam +', 'tali 2', 'khali', and 'tali 3'. The second line has lyrics 'dhin na dhin na dhin' and rhythmic markings 'tali 4', 'tali 5', and 'sam +'. The notes are quarter notes, and the lyrics are placed below them.

Ilustración 14. Chartal Ki Sawari

### 2.1.3 Jhaptal

Patrón rítmico con 10 pulsos con un acento únicamente en el primer tiempo. Como se mencionó anteriormente, se necesita la repetición de un evento para poder establecer una relación temporal y predicción de los siguientes eventos. Este patrón rítmico no permite hacerlo.

The image displays five lines of musical notation for the Jhaptal rhythm. Each line consists of a rhythmic staff with notes and a corresponding line of lyrics. Above the notes are symbols indicating accents: '+' for a strong accent and 'o' for a weak accent. Numbers 2 and 3 are placed above the notes to indicate groupings. The first line is marked with a '10' and a '4' on the left, indicating 10 pulses in a 4-beat cycle. The lyrics are: 'dha ki ta ta ka dhi ki ta ta ka te ri ki ta ta ka de re', 'de re ki ta dha ki ta ta ka te ri ki ta ta ka de re de re', 'ki ta dha ki ta ta ka te ri ki ta ta ka de re de re ki ta', 'dha dha dha ki ta ta ka dhi ki ta', and 'ta ka te ri ki ta ta ka de re de re ki ta dha ki ta ta ka'.

Ilustración 15. Jhaptal.

## 2.2 Sur de la India

### 2.2.1 Chaturasra Gati

Gati se refiere al número de divisiones por agrupación, que en este caso es de 4 por grupo. A pesar de que parece que la agrupación en 4 es clara, la aparición de silencios hace difícil su percepción.

CHATURASRA GATI

The image displays musical notation for Chaturasra Gati, a 4-beat rhythmic cycle. It is organized into four rows, each containing four measures. The measures are grouped by their beat count: C (1 beat), 4 (4 beats), 3 (3 beats), and 2 (2 beats). The notation includes notes, rests, and dynamic markings like '(tam) 2nd X'. Lyrics are written below the notes. The first row starts with a double bar line and ends with a double bar line. The second row ends with a double bar line. The third row ends with a double bar line. The fourth row ends with a double bar line.

Row 1:  
C: ta  
4: ta ka di mi  
3: ta ka di mi  
2: ta ka ju na  
(tam) 2nd X

Row 2:  
C: tam ta  
W: ta ka di mi  
C: ta ka di mi  
W: ta ka ju na

Row 3:  
C: tam ta  
4: ki ta tam  
3: ta ki ta tam  
2: ta ki ta

Row 4:  
C: tam ta  
W: ki ta tam  
C: ta ki ta  
W: ta ka di mi

Row 5:  
C: tam  
4: ta ri ki ta ta ka tam  
3: ta ri ki ta ta ka tam  
2: ta ri ki ta ta ka

Row 6:  
C: tam  
W: ta ri ki ta ta ka tam  
C: ta ri ki ta ta ka ta ka ta ri ki ta ta ka  
W: ta ri ki ta ta ka

Row 7:  
C: (dum) ki ta ta ka ta ri ki ta ta ka (dum) ki ta ta ka ta ri ki ta ta ka ta ka ta ri ki ta ta ka  
4: ki ta ta ka ta ri ki ta ta ka  
3: ki ta ta ka ta ri ki ta ta ka  
2: ki ta ta ka

Ilustración 16. Chaturasra Gati.

## 2.3 África

### 2.3.1 Cuatro contra cinco

Patrón rítmico que solapa dos grupos distintos, uno de 4 y otro de 5. Se puede observar en el conteo de la línea superior la aparición irregular de la acentuación, en los tiempos 5 y 6.

12/8

3.

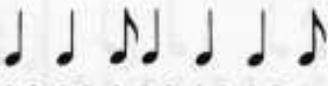

tap: (r.h.)	$\frac{12}{8}$			
count:		1 2 1 2 1 1 2 1 2 1 2 1	x - x - x x - x - x - x	
tap: (l.h.)	$\frac{12}{8}$			
count:		1 2 3 4	x - - x - - x - - x - -	

Ilustración 17. Ritmo africano.

## 2.4 Ritmos flamencos

A diferencia de los ritmos empleados en África e India, los palos flamencos permiten comenzar su conteo en un lugar diferente a 1, lo que desfasa la aparición de los acentos. Tienen en común una agrupación más grande que los compases de la música occidental.

La familia de compases flamencos 3/4, 6/8 incluyen las siguientes formas:

<b>Soleares</b>	<b>Bulerias</b>
<b>Solea por Bulerias</b>	<b>Peteneras</b>
<b>Alegrías</b>	<b>Guajiras</b>
<b>Alegrías por Rosas</b>	<b>Siguiriyas</b>
<b>Caracoles</b>	<b>Serranas</b>
<b>Cantinas</b>	
<b>Fandangos (Grandes, de Triana)</b>	<b>Fandangos de Huelva</b>
<b>Tarantas</b>	<b>Fandangos de Malaga (Verdiales)</b>
<b>Granadinas</b>	<b>Sevillanas</b>
<b>Rondena</b>	
<b>Malaguenas</b>	

Ilustración 18. Palos flamencos.

### 2.4.1 Ciclos de compases flamencos

La familia de compases 3/4 y 6/8 son de las más importantes dentro del género, asimismo también son las familias rítmicamente más complejas. La métrica consiste en agrupaciones de seis con distintas variaciones.



## 2.4.2 El conteo de 6

Es crucial tener clara la diferencia entre 3/4 y 6/8, que dentro de este contexto es un ciclo de seis que comienza en “12” y termina en “5”. Considerando un compás de seis notas, se pueden dividir en tres grupos de 2 ó dos grupos de 3 (Fig. 11):

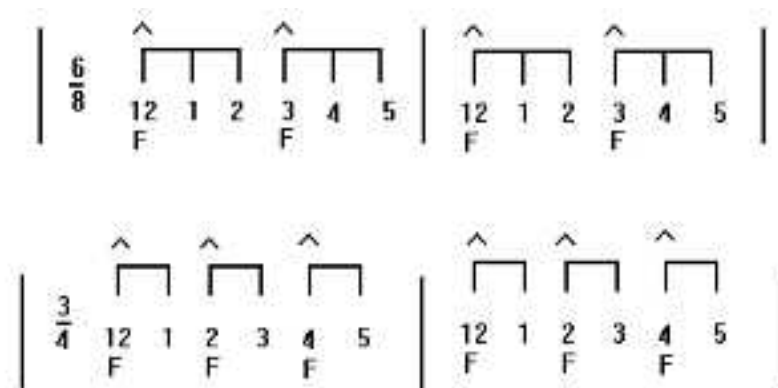


Ilustración 19. Conteo de 6 en 2 distintas agrupaciones.

Los acentos se encuentran en el número 12 y 3 en el compás de 6/8, pero en 12, 2 y 4 en el compás de 3/4.

### 2.4.3 Conteo de 12

La razón de que las frases comiencen en el número 12, se debe a que hay dos formas de contar las estructuras rítmicas del flamenco; las que comienzan en 12 y las que comienzan en 1 (como se esperaría intuitivamente).

```
1. Alternating measures of 6/8, 3/4 (or 6/4, 3/2) :
|(6/8) 12 1 2 3 4 5 |(3/4) 6 7 8 9 10 11|
|(6/4) 12 1 2 3 4 5 |(3/2) 6 7 8 9 10 11|

2. Four measures of 3/4 (or 3/8) counted:
|(3/4) 1 2 3 | 4 5 6 | 7 8 9 | 10 11 12
|
|(3/8) 1 2 3 | 4 5 6 | 7 8 9 | 10 11 12|
```

Ilustración 20. Conteo de 12.

Con este tipo de cuenta encontramos la Soleá, Soleá por bulerías y alegrías. En una bulería se comienza la cuenta en 12, algo similar a un compás de 6/8, al terminar ese ciclo se continúa en  $\frac{3}{4}$  (Fig. 13).

```
Bulerias (12-Count)
cc cc cc cc
|[6/8]12* 1 2 3* 4 5|[3/4] 6* 7 8* 9 10*(11)| (Bulerias Compas sequence)
```

Ilustración 21. Bulerías.

## 2.4.4 Martinete

Es un palo de origen flamenco que se caracteriza por marcado ritmo del martillo sobre el yunque acompaña el cante. El origen etimológico de “martinete” se encuentra en el martillo pilón, pieza de la fragua que golpea los lingotes metálicos en el yunque para darles forma y que tiene el sobrenombre de martinete.

Su irregularidad podemos observarla en su conteo:

3x4 (1 2) 3 4 5 6 / 6x8 1 2 3 4 5 6 / 3x4 1  
F  
(5) 1 2 / 3 4 / 5

## **Desarrollo de la investigación**

Se decidió hacer uso de la resonancia magnética funcional (fMRI), la cual se utiliza para medir la actividad cerebral en tiempo real mediante los cambios en el flujo de sangre.

### **3.1 Planteamiento del problema**

Gracias al desarrollo de las técnicas de neuroimagen funcional (fMRI), hemos podido acceder a los procesos neuronales que se desencadenan ante un estímulo auditivo, lo que nos ha dado un panorama más amplio de cómo algunos elementos de la música y en particular el ritmo, forman las características principales de cómo el cerebro percibe y decodifica la música. Sin embargo, la mayoría de las investigaciones que utilizan estas técnicas, se han concentrado en los correlatos neuronales de la percepción de la música por medio de otros elementos, por ejemplo de altura tonal, afinación y secuencia de acordes, en comparación con investigaciones que se han concentrado en el ritmo.

La ubicación en donde se procesa el ritmo en el cerebro ha sido difícil de identificar y se ha llegado a resultados contradictorios debido a la cantidad de variables no controladas en otros estudios, lo que nos puede llevar a pensar sobre diferentes aspectos biológicos y psicológicos del porqué de estos resultados. Uno de ellos podría ser que en el estudio de la percepción del ritmo se usan tradicionalmente componentes métricos regulares (3/4, 4/4, 2/4, etc.). El uso de los pulsos y la acentuación propia de cada compás, sirven como guías perceptuales que el cerebro requiere para poder anticipar y analizar los diversos eventos musicales, por lo tanto el uso de patrones rítmicos irregulares podría revelar otras áreas y procesos de la percepción del ritmo.

La organización métrica regular del ritmo hasta inicios el siglo XX, es altamente predominante en la música occidental, lo cual difiere con la música que no proviene de esta región donde la organización métrica es muchas veces más compleja. En la India, por ejemplo, se utilizan “talas” que consisten en ciclos de pulsos que forman patrones métricos compuestos, que son acentuados a lo largo de un ciclo a intervalos diferentes (ej. 14 pulsos en: 5+2+3+4 o 3+4+3+4).

En la mayoría de los estudios de la percepción del ritmo se utilizan métricas regulares y los resultados obtenidos reflejan que hay una mayor activación del hemisferio izquierdo con este tipo de patrones métricos (Abecasis, Brochard, Del Río, Dufour, y Ortiz, 2009; Bever y Chiarello, 2009; Limb, Kemeny, Ortigoza, Rouhani, y Braun, 2006; Meg, n.d.; Sakai y colaboradores., 1999). El uso de métricas regulares para estos estudios puede ser la razón de la lateralización del hemisferio izquierdo, debido a que un músico occidental al poder reconocer, analizar y anticipar los pulsos, genera expectativas que cumplen con las reglas de agrupación del ritmo, algo similar a lo que sucede con el lenguaje (Lerdahl y Jackendoff, 1983).

### **3. 2 Hipótesis**

La percepción de estímulos rítmicos que contienen agrupaciones de pulsos y acentos irregulares involucra la actividad de más y/o distintas áreas cerebrales que aquéllas involucradas en la percepción de estímulos rítmicos regulares.

Como analizamos en la primera parte de este trabajo, esta hipótesis se fundamenta en los principios de la gramática M, expuestos por Lerdahl y Jackendoff en su libro “Teoría Generativa de la Música Tonal”.

### **3.3 Objetivos**

Demostrar que las características de una secuencia rítmica irregular tienen un efecto distinto en la forma en que el cerebro procesa el ritmo y que para ello se involucran áreas cerebrales distintas a las observadas en estudios realizados anteriormente.

### **3.4 Justificación**

Los resultados de las investigaciones anteriores han sido inconsistentes, por lo que no se ha logrado comprender del todo el proceso de la percepción del ritmo, ni el porqué de la variedad de estos resultados. A continuación se mencionarán algunas variantes que se han encontrado en diferentes estudios.

En algunos estudios del ritmo han incluido aspectos de melodía y timbre, lo que dificulta la posibilidad de separar los elementos neuronales encargados específicamente del procesamiento del ritmo (Platel y colaboradores., 1997).

Otra variante es el impacto de la educación musical y la dominancia hemisférica, ya que se ha mostrado la diferencia anatómica y funcional en el cerebro de los músicos (Bever and Chiarello, 1974; Schlaug y colaboradores., 1995; Keenan y colaboradores., 2001; Ohnishi y colaboradores., 2001; Jongsma y colaboradores., 2004). En este trabajo se investigará únicamente la percepción del ritmo por músicos profesionales para eliminar esta variable.

A pesar de que el estudio de las lesiones sugería la dominancia del hemisferio izquierdo al percibir un ritmo (Sherwinand Efron, 1980; Robin y colaboradores., 1990), otros estudios demostraron la importancia del hemisferio derecho en este proceso (Peretz1990; Kester y colaboradores., 1991; Penhune y colaboradores., 1999; Samson, 2003).

El hecho de que una melodía tenga su propio ritmo inherente dificulta un poco más el llegar a resultados claros. De igual forma, otros estudios han incorporado aspectos motores en la producción del ritmo (Krampe y colaboradores., 2000; Desain and Honing, 2003; Patel y colaboradores., 2005). Aunque los aspectos motores son obviamente muy importantes, es necesario separar los aspectos productivos y perceptivos del ritmo, ya que implican diferentes sistemas neuronales (Desain and Windsor, 2000).

La causa de esta lateralización hemisférica, en especial con relación a funciones pasivas y activas no puede ser ignorada (Poeppel y colaboradores., 1996). Ya que escuchar música es generalmente una actividad “pasiva”, en donde al oyente no se le pide tomar decisiones de acuerdo a lo que está escuchando, el tener un rol activo no reflejaría el proceso neuronal que participa comúnmente en el procesamiento del ritmo.

Tomando todo esto en cuenta se ha decidido estudiar la percepción del ritmo con patrones rítmicos irregulares, con el afán de proporcionar elementos nuevos que permitan tener un mejor entendimiento de estos procesos cognitivos.

## METODOLOGÍA

### 4.1 Sujetos de estudio

La muestra se conformó con un total de 14 músicos de diferentes áreas, con una educación musical formal de más de 10 años. Todos los sujetos de la muestra tocan un instrumento armónico melódico o melódico<sup>7</sup>.

Su promedio de edad fue entre 25 y 35 años de los cuáles 5 eran mujeres. La muestra incluía:

- Tres pianistas.
- Tres compositores.
- Un organista.
- Dos guitarristas.
- Un flautista.
- Un contrabajista.
- Tres cantantes.

De los cuáles uno de ellos era zurdo, en el caso de los compositores, su instrumento principal es el piano. A todos los sujetos se les indicó que el estudio no presentaba ningún tipo de riesgo o efecto secundario y todos aceptaron participar de manera voluntaria.

---

<sup>7</sup> *Un instrumentista armónico es está acostumbrado a lidiar con diferentes elementos de armonía y melodía al mismo tiempo. Un instrumentista melódico es responsable de llevar una sola línea melódica.*



## 4.2 Estímulos

Los ritmos regulares se generaron por medio de la aplicación IwriteMusic 2 para iPad versión 2.3.12 y presentados con el sintetizador del software ES2 de Emagic Logic Pro.

Se eligió el sonido de un bloque de madera ajustado con el mismo volumen, duración y timbre para todos los estímulos regulares por medio del software Audacity. Para eliminar los efectos de la percepción tonal, la percusión tenía un espectro de frecuencias de banda ancha.

Los ritmos regulares, trece en total, fueron presentados en un compás de 2/4, 4/4, 3/4, 6/8, 9/8 y 12/8 a un *tempo* entre 100 y 120 pulsaciones por minuto. Los patrones rítmicos regulares e irregulares se presentaron aleatoriamente para evitar su anticipación.

Los 13 patrones rítmicos irregulares fueron seleccionados por medio de un pre test, aplicado a un grupo de 30 músicos, a través del cual fueron identificados con un mayor nivel de irregularidad dentro de un grupo de 113 estímulos.

## 4.3 Proceso de escaneo

Para el análisis de la activación cerebral se decidió utilizar la técnica de resonancia magnética funcional (fMRI). Los datos se obtuvieron por medio un resonador de cuerpo completo de 3 Teslas (Philips Achieva) utilizando una cuadratura de cabeza estándar y una secuencia EPI gradiente-eco en el Centro Nacional de Investigación en Imagenología e Instrumentación Médica (CIM) de la Universidad Autónoma Metropolitana Campus Iztapalapa.

#### **4.4 Parámetros de escaneo**

Los parámetros de escaneo utilizados fueron los siguientes: TR 2,000 msec, TE 30 msec, ángulo de inversión 90°, matriz 64x64, campo de visión 220 mm, 26 cortes paralelos axiales que cubrían todo el cerebro, 6 mm de grosor.

Dos exploraciones iniciales de prueba fueron adquiridas y se descartaron en el análisis de datos. Además de los datos funcionales, se obtuvieron imágenes estructurales de alta resolución usando una secuencia clínica estándar ponderada en T1.

Los sujetos se colocaron de espaldas sobre el resonador sin ninguna restricción mecánica. Escucharon los patrones rítmicos presentados con un diseño de paradigma de bloque con auriculares electrostáticos no ferromagnéticos (Stax Saitama, Japan) con protección adicional para minimizar el sonido del resonador.

El volumen se ajustó a un nivel cómodo que podía ser percibido por encima del ruido del resonador. Se utilizó el oxígeno en la sangre dependiente del nivel de formación de imágenes para medir la actividad funcional.

Los estímulos fueron presentados en una pista de 9 minutos que contenían bloques de ritmos (8-12 segundos) separados por intervalos de descanso (5-8 segundos). Se les dio instrucciones a los músicos de no moverse mientras escuchaban los ritmos Y fueron monitoreados para asegurarse que así fuera durante el proceso.

#### **4.5 Análisis estadístico**

Las imágenes fueron adquiridas y luego pre procesadas de forma estándar, con reajuste espacial, normalización, y suavizado (9 kernel mm) de todos los datos con el software SPM8.

Los análisis de efectos fijos y aleatorios se realizaron utilizando el umbral  $P < 0.001$  sin corrección. El análisis de contraste se realizó a través de ambos grupos y situaciones. Las coordenadas de volumen normalizado de SPM8 se convirtieron en el Centro Nacional de Investigación en Imagenología e Instrumentación Médica de la Universidad Autónoma Metropolitana Campus Iztapalapa en México DF, para la identificación específica de las áreas de actividad. Tres dimensiones y representaciones con un corte axial se construyeron a partir de mapas de contraste generados por imágenes de resonancia magnética (MRI) y un mapeo estadístico (SPM).

## Resultados

Toda la información fue procesada utilizando el software SPM. El análisis de los datos se realizó conforme a dos criterios: agrupando los resultados de acuerdo al tipo de instrumento de especialización de los (armónico melódico o melódico), y con la totalidad de los sujetos de estudio.

### 5.1 Instrumentistas armónico-melódicos (teclado)

Las características principales de estos sujetos al tocar sus instrumentos es la de lidiar con melodía, armonía y ritmo de forma simultánea, estando mucho más acostumbrados a resolver y manejar una gran cantidad de información rítmica y melódica.

En las imágenes obtenidas podemos apreciar un tipo de actividad muy similar en ambos hemisferios y cabe destacar la participación de la corteza pre motora y motora (Figura 15).

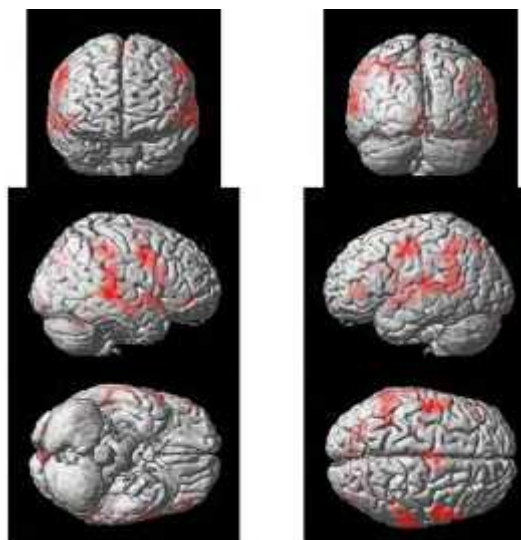


Ilustración 22. Activación con los estímulos regulares en instrumentistas armónicos melódicos

Para comprender mejor el porqué de la activación de estas áreas con un estímulo rítmico regular, procederemos a dar una breve explicación de las funciones asociadas con estas estructuras. Por cuestiones prácticas no mencionaremos las sumas de activación relacionadas con el procesamiento de información visual (lóbulo parietal), ya que son irrelevantes para esta investigación.

### 5.1.1 Zonas de activación ante un estímulo regular

El lóbulo frontal es una de las estructuras cerebrales más grandes. En esta región se localizan las funciones cognitivas superiores. El lóbulo frontal contiene subestructuras que incluyen la corteza pre frontal, corteza orbito frontal, corteza motora y pre motora. Algunas de las funciones asociadas a esta región es la toma de decisiones, resolución de problemas, pensamiento, movimiento voluntario, cognición, inteligencia, atención, procesamiento del lenguaje y, comprensión entre muchas otras.

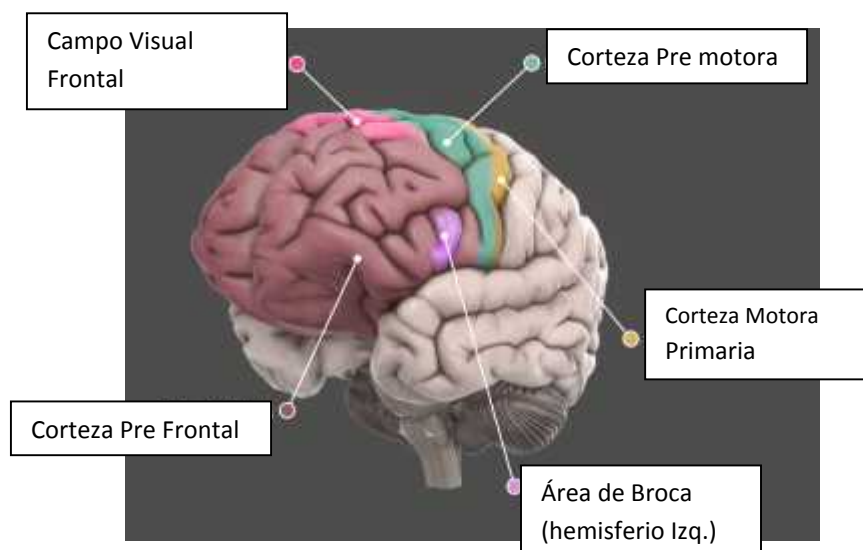


Ilustración 23. Lóbulo Frontal

## Zonas de Activación en el Lóbulo Frontal

1. Giro Medio Frontal
2. Área Motora Suplementaria Derecha
3. Materia Gris
4. Área 6 de Brodmann
5. Sustancia Blanca
6. Área Motora Suplementaria Izquierda
7. Giro Frontal Superior
8. Giro Cingulado
9. Lóbulo Límbico
10. Área 24 de Brodmann
11. Lóbulo Paracentral Izquierdo
12. Área 32 de Brodmann
13. Cíngulo Medio Derecho e Izquierdo
14. Área 31 de Brodmann

La corteza pre motora es la encargada de preparar y ejecutar los movimientos de las extremidades y utiliza la información generada en otras regiones de la corteza para seleccionar los movimientos adecuados. Igualmente es importante para el aprendizaje (imitación), cognición social (empatía)(Kobayakawa and Kawamura, 2011).

En la lista de activación aparece el sistema límbico, el cual es un grupo de estructuras que incluyen a la amígdala, hipocampo e hipotálamo, están involucrados en el procesamiento de las emociones y la memoria.

Se encontró activación en los lóbulos temporales que están formados por varias subestructuras (amígdala, corteza auditiva primaria, giro temporal superior, área de Wernicke, giro temporal medio inferior y giro fusiforme). Sus funciones incluyen la percepción, reconocimiento de objetos, adquisición de la memoria, comprensión del lenguaje y reacciones emocionales.

El giro temporal superior contiene la corteza auditiva primaria que es responsable del procesamiento del sonido; incluye igualmente el área de Wernicke localizada (en la mayoría de las personas) en el hemisferio izquierdo. Esta zona está

involucrada en la comprensión del lenguaje. Estos resultados concuerdan con la investigaciones previas (Limb, Kemeny, Ortigoza, Rouhani, y Braun, 2006).

El área de Broca es una sección del cerebro humano involucrada en la producción del habla, el procesamiento del lenguaje y su comprensión. Está ubicada en la tercera circunvolución frontal (circunvolución frontal inferior), en las secciones opercular y triangular del hemisferio dominante para el lenguaje (para la gran mayoría de seres humanos, diestros o zurdos, es el hemisferio izquierdo). Esta región corresponde a las áreas de Brodmann 44 y 45, y se conecta con el área de Wernicke (la otra región importante para el lenguaje en los humanos) mediante un haz de fibras nerviosas llamado fascículo arqueado (o arcuato).

Se encontró activación del giro supra marginal, que tiene una labor importante en la comprensión del lenguaje hablado, aprendizaje de vocabulario nuevo y lectura.

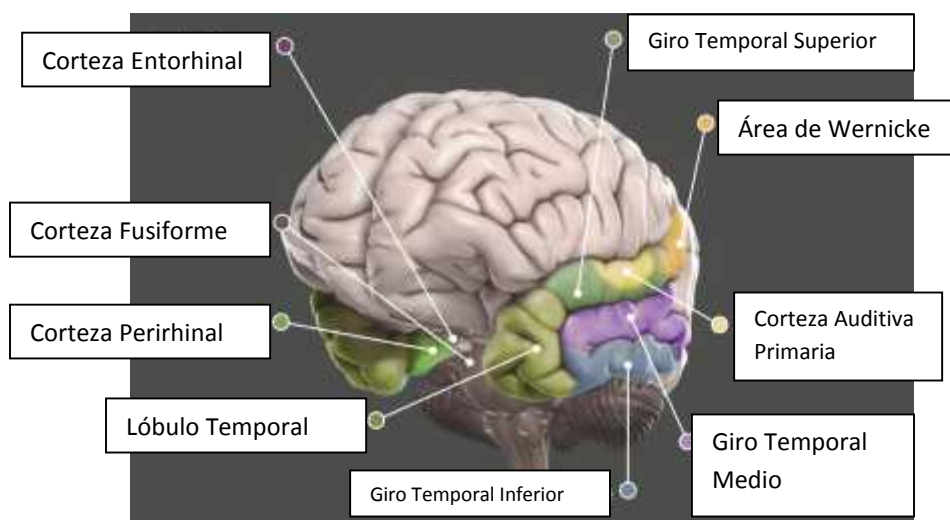


Ilustración 24. Lóbulos Temporales

## Zonas de Activación en el Hemisferio Derecho

1. Lóbulo Temporal
2. Sustancia Blanca
3. Materia Gris
4. Lóbulo Parietal
5. Lóbulo Frontal
6. Giro Temporal Superior

- |                                       |                                 |
|---------------------------------------|---------------------------------|
| 7. Giro Temporal Superior Medio       | 34. Área 19 de Brodmann         |
| 8. Lóbulo Parietal Inferior           | 35. Área 44 de Brodmann (Broca) |
| 9. Giro Supramarginal Derecho         | 36. Lóbulo Occipital            |
| 10. Giro Precentral Derecho           | 37. Área 2 de Brodmann          |
| 11. Giro Frontal Inferior             | 38. Área 39 de Brodmann         |
| 12. Giro Pre central                  | 39. Opérculo de Rolando Derecho |
| 13. Área 40 de Brodmann               | 40. Giro Temporal Inferior      |
| 14. Opérculo Frontal Inferior Derecho | 41. Espacio Frontal Temporal    |
| 15. Parietal_Inf_R (aal)              | 42. Área 13 de Brodmann         |
| 16. Área 21 de Brodmann               | 43. Giro Occipital Superior     |
| 17. Polo Temporal Superior Derecho    | 44. Área 8 de Brodmann          |
| 18. Área 22 de Brodmann               | 45. Área 41 de Brodmann         |
| 19. Área 6 de Brodmann                | 46. Giro Temporal Transverso    |
| 20. Giro Postcentral                  | 47. Área 3 de Brodmann          |
| 21. Región Occipital Media Derecha    | 48. Área 47 de Brodmann         |
| 22. Área 9 de Brodmann                | 49. Área 1 de Brodmann          |
| 23. Giro Medio Frontal                | 50. Área 46 de Brodmann         |
| 24. Ínsula Derecha                    | 51. Área 4 de Brodmann          |
| 25. Área 38 de Brodmann               | 52. Área 20 de Brodmann         |
| 26. Área 42 de Brodmann               | 53. Zona de Heschl Derecha      |
| 27. Giro Inferior Frontal             | 54. Extra-Nuclear               |
| 28. Ínsula                            | 55. Área 37 de Brodmann         |
| 29. Sub-lobar                         | 56. Ventrículo Lateral          |
| 30. Área 45 de Brodmann (Broca)       |                                 |
| 31. Precúneo                          |                                 |
| 32. Giro Supramarginal                |                                 |
| 33. Giro Angular                      |                                 |

## Zonas de Activación en el Hemisferio Izquierdo

- |                                       |   |
|---------------------------------------|---|
| 1. Sustancia Blanca                   | 19. Área 22 de Brodmann                 |
| 2. Materia Gris                       | 20. Giro Frontal Medio                  |
| 3. Lóbulo Parietal                    | 21. Lóbulo Parietal Superior            |
| 4. Lóbulo Temporal                    | 22. Giro Frontal Inferior               |
| 5. Lóbulo Frontal                     | 23. Área 7 de Brodmann                  |
| 6. Giro Temporal Superior             | 24. Giro Postcentral                    |
| 7. Lóbulo Parietal Inferior Izquierdo | 25. Opérculo Frontal Inferior Izquierdo |
| 8. Giro Precentral                    | 26. Lóbulo Occipital Superior           |
| 9. Lóbulo Temporal Sup Izquierdo      | 27. Lóbulo Frontal Inferior             |
| 10. Lóbulo Parietal Inferior          | 28. Opérculo de Rolando Izquierdo       |
| 11. Temporal_Mid_L (aal)              | 29. Área 21 de Brodmann                 |
| 12. Precentral_L (aal)                | 30. Área 9 de Brodmann                  |
| 13. Área 40 de Brodmann               | 31. Angular Izquierdo                   |
| 14. Giro Temporal Medio               | 32. Área 4 de Brodmann                  |
| 15. Giro Supramarginal                | 33. Precúneo Izquierdo                  |
| 16. Precúneo                          | 34. Lóbulo Temporal Superior Izquierdo  |
| 17. Área 6 de Brodmann                |   |
| 18. Supramarginal Izquierdo           |   |



35. Giro Temporal
36. Lóbulo Frontal Medio
37. Área 41 de Brodmann
38. Área 44 de Brodmann (Broca)
39. Área 3 de Brodmann
40. Área 19 de Brodmann
41. Cúneo
42. Área 38 de Brodmann
43. Área 43 de Brodmann
44. Zona de Heschl Izquierda
45. Área 13 de Brodmann
46. Área 39 de Brodmann
47. Área 46 de Brodmann
48. Ínsula
49. Área 8 de Brodmann
50. Sub-lobar
51. Área 45 de Brodmann 45 (Broca)
52. Cuneus Izquierdo)
53. Área 1 de Brodmann
54. Área 37 de Brodmann
55. Área 31 de Brodmann
56. Área 2 de Brodmann
57. Precúneo Derecho
58. Giro Angular
59. Ínsula Izquierda

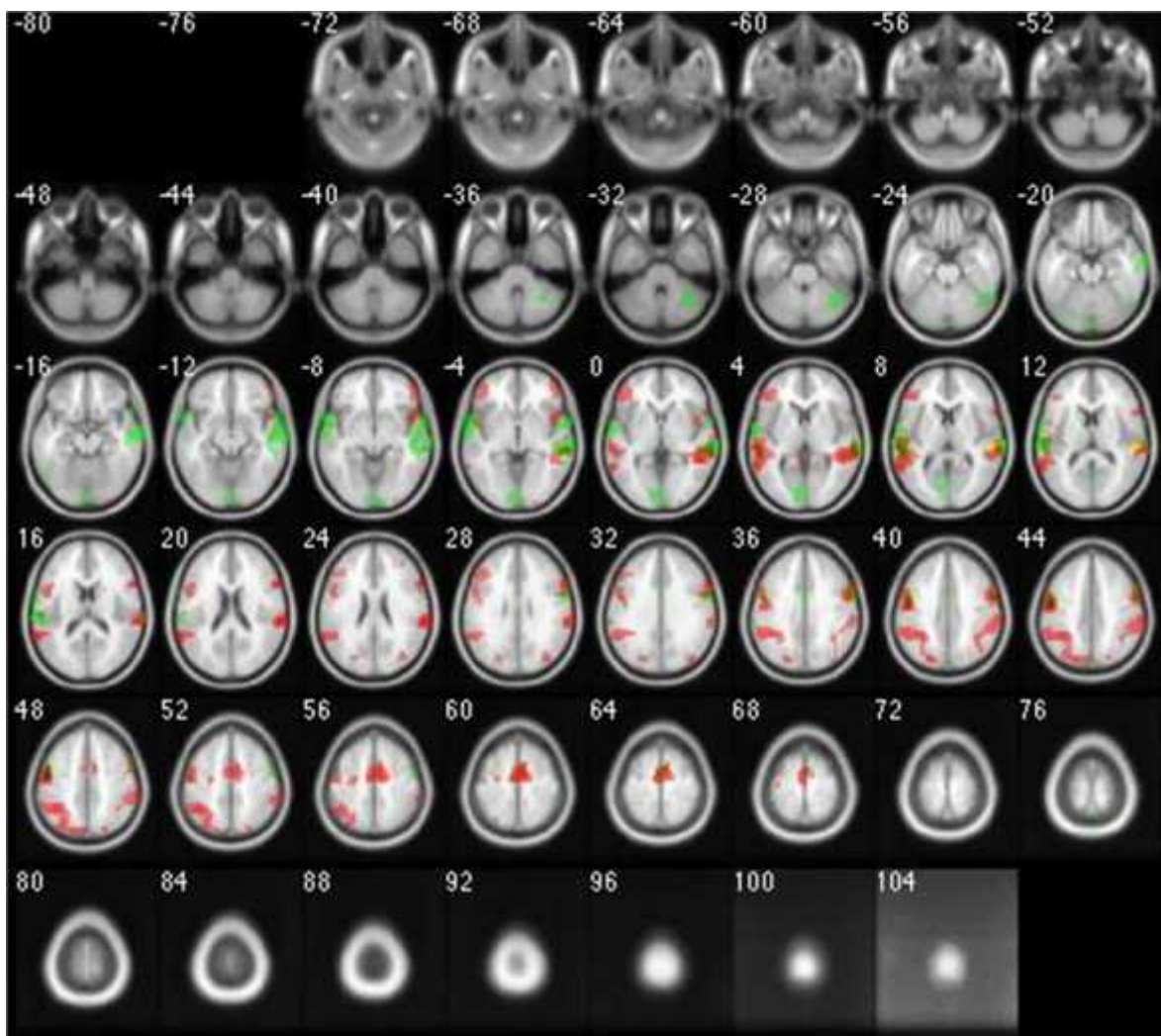


Ilustración 25. Vista por cortes de la activación por estímulos regulares en instrumentistas armónico melódicos. Los diferentes colores (rojo, rosa, verde y amarillo) corresponden a 4 sujetos de estudio.

## 5.1.2 Zonas de activación ante un estímulo irregular

A continuación se muestran las áreas de activación cerebral con estímulos rítmicos irregulares.

### Zonas de Activación en el Lóbulo Frontal

1. Sustancia Blanca
2. Cuerpo Calloso
3. Extra-Nuclear
4. Sub-lobar
5. Cíngulo Posterior Izquierdo
6. Lóbulo Límbico
7. Corteza Posterior Cingulada
8. Corteza Calcarina
9. Precúneo Izquierdo
10. Área 29 de Brodmann
11. Materia Gris
12. Hipocampo Izquierdo
13. Sub-Gyral
14. Tallo Cerebral Derecho

Dentro de las zonas de activación se puede destacar encontramos el cuerpo calloso. Su función es la de servir como vía de comunicación entre un hemisferio cerebral y otro, con el fin de que ambos lados del cerebro trabajen de forma conjunta y complementaria.

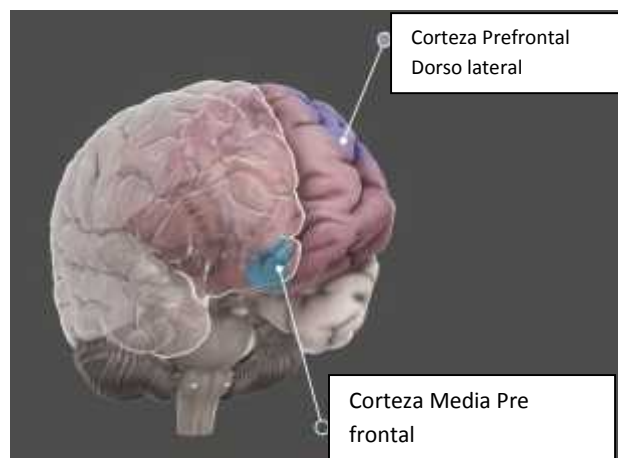


Ilustración 26. Corteza Pre Frontal

## Zonas de Activación en el Hemisferio Derecho

1. Lóbulo Frontal
2. Giro Frontal Inferior
3. Materia Gris
4. Área 46 de Brodmann
5. Sustancia Blanca
6. Giro Medio Frontal

En comparación con los estímulos regulares, se observaron áreas de activación de este hemisferio con un estímulo rítmico irregular.

## Zonas de Activación en el Hemisferio Izquierdo

- |                                       |   |
|---------------------------------------|---|
| 1. Sustancia Blanca                   | 27. Área 17 de Brodmann                 |
| 2. Materia Gris                       | 28. Área 40 de Brodmann                 |
| 3. Lóbulo Temporal                    | 29. Área 19 de Brodmann                 |
| 4. Giro Temporal Superior             | 30. Lingua                              |
| 5. Lóbulo Temporal Superior           | 31. Lóbulo Temporal Superior Izquierdo  |
| 6. Lóbulo Frontal                     | 32. Corteza Calcarine                   |
| 7. Cúneo                              | 33. Lóbulo Occipital Derecho            |
| 8. Lóbulo Temporal Medio              | 34. Lóbulo Occipital Inferior Izquierdo |
| 9. Lóbulo Parietal                    | 35. Lóbulo Occipital Superior Izquierdo |
| 10. Giro Temporal Medio               | 36. PreCúneo                            |
| 11. Giro Lingual                      | 37. Giro Temporal Transverso            |
| 12. Giro Precentral I                 | 38. Área 13 Brodmann                    |
| 13. Área 18 de Brodmann               | 39. Giro Fusiforme                      |
| 14. Giro Medio Occipital              | 40. Área de Heschl                      |
| 15. Giro Inferior Frontal             | 41. Área 41 de Brodmann                 |
| 16. Giro Postcentral                  | 42. Giro Frontal Medio                  |
| 17. Área 22 de Brodmann 22 (Wernicke) | 43. Área 42 de Brodmann                 |
| 18. Lóbulo Parietal Inferior          | 44. Área 9 de Brodmann                  |
| 19. Cúneo Izquierdo                   | 45. Área 38 de Brodmann                 |
| 20. Sub-lobar                         | 46. Área 44 de Brodmann                 |
| 21. Operculo de Rolando               | 47. Lóbulo Límbico                      |
| 22. Ínsula                            | 48. Área 31 de Brodmann                 |
| 23. Área 6 de Brodmann                | 49. Área 4 de Brodmann                  |
| 24. Opérculo Frontal Inferior         | 50. Área 43 de Brodmann                 |
| 25. Giro Occipital Inferior           | 51. Área 45 de Brodmann                 |
| 26. Área 21 de Brodmann               |   |

52. Ínsula	65. Fluido Cerebro Espinal
53. Área 30 de Brodmann	66. Área 20 de Brodmann
54. Área 7 de Brodmann	67. Giro Parahipocampal
55. Área 3 de Brodmann	68. Hipocampo
56. Área 37 de Brodmann	69. Área 8 de Brodmann
57. Extra-Nuclear	70. Vermis 4 y 5
58. Área 2 Brodmann	71. Claustro
59. Giro Temporal Inferior	72. Cerebelo (Izq.)
60. Giro Supramarginal	73. Culmen del Vermis
61. Giro Occipital Superior	74. Lóbulo Anterior del Cerebelo
62. Área 1 de Brodmann	75. Área 39 de Brodmann
63. Área 47 de Brodmann	76. Cerebelo
64. Área 23 de Brodmann	77. Hipocampo

Se observó un número muy grande de áreas activas durante el procesamiento de un patrón rítmico irregular.

Podemos destacar la activación de las siguientes áreas de Brodmann:

- BA 6 que corresponde a la corteza pre-motora en el lóbulo frontal. La actividad relacionada con esta zona es de secuencia motora, sensorial y espacial.
- BA 9 localizada dentro del lóbulo frontal, la cual se considera de gran importancia para la memoria de trabajo, recuperación de datos y la categorización semántica.
- BA 21 localizada en la corteza temporal, cuya función es de vital importancia en el procesamiento auditivo, lenguaje, procesamiento selectivo del texto o lenguaje hablado, así como el procesamiento semántico.
- BA 39 localizada en el lóbulo parietal, asociada con el procesamiento del lenguaje y representación semántica.
- BA 40 localizada en lóbulo parietal, igualmente relacionada con la representación semántica.

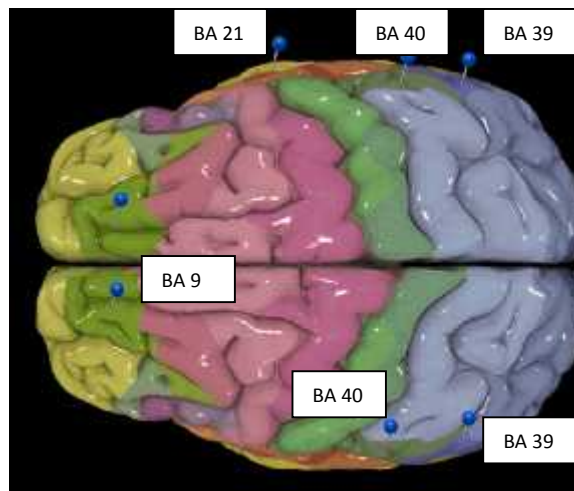
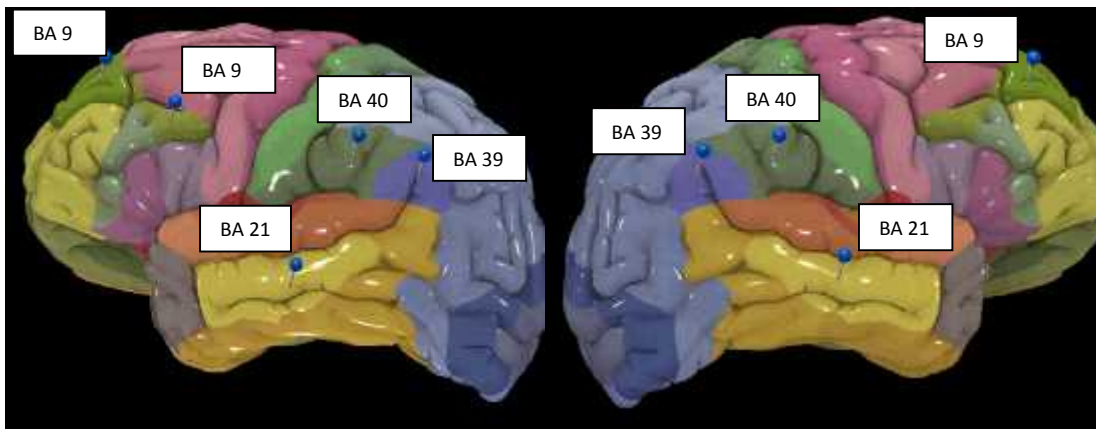


Ilustración 27. Áreas de Brodmann activas con los estímulos irregulares en instrumentistas armónico-melódicos.

Igualmente destaca la activación del cerebelo, el cual regula el comportamiento de movimientos automáticos. Algunos estudios recientes han asociado al cerebelo con funciones cognitivas como el aprendizaje y la atención. El cerebelo tiene gran importancia en la sincronización de movimientos rítmicos. Un estudio reciente de neuroimagen llevado a cabo por Brown y otros investigadores (2006) examinaron

las bases neurales de la danza y encontraron actividad del cerebelo durante el entrenamiento (sincronización, anticipación y movimiento con el ritmo musical).

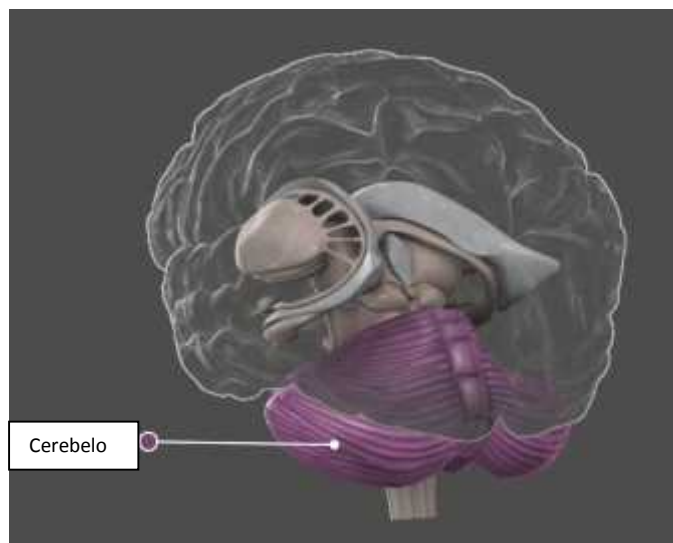


Ilustración 28. Cerebelo

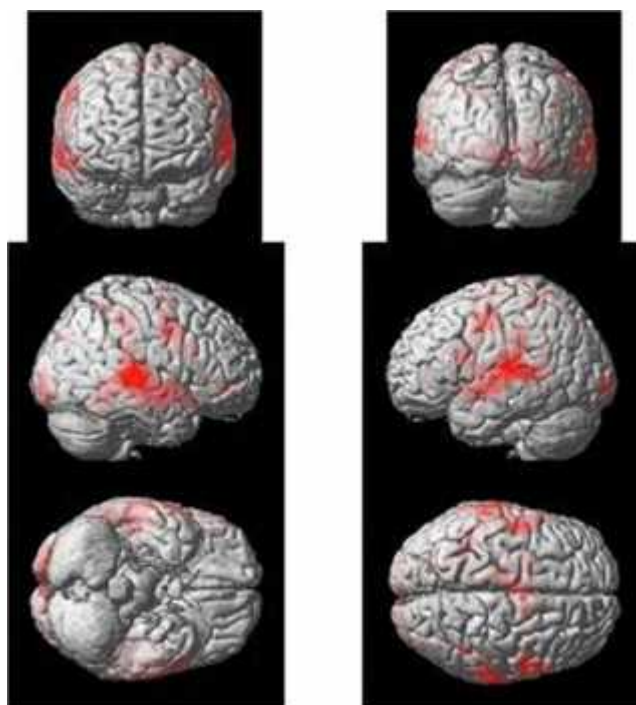


Ilustración 29. Área de activación con estímulos irregulares en instrumentistas armónico-melódicos.

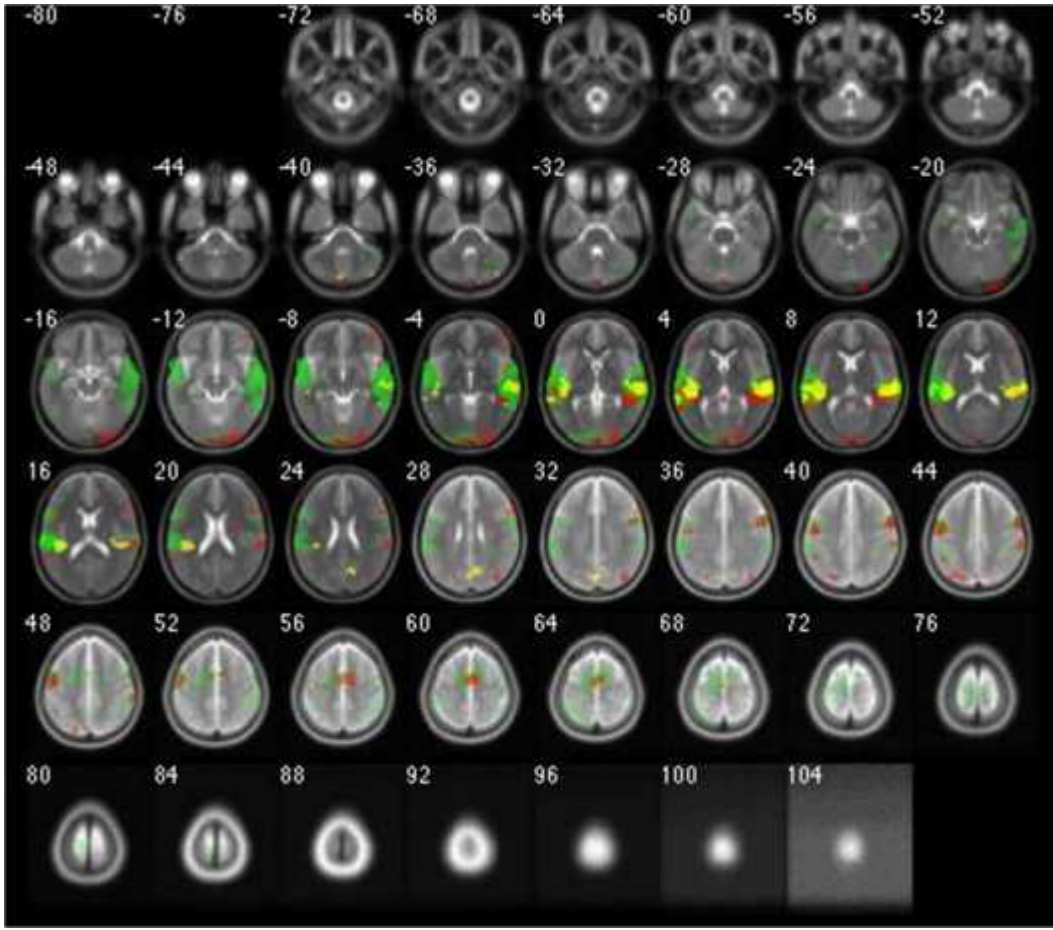


Ilustración 30. Vista por cortes de la activación con estímulos irregulares en instrumentistas armónico-melódicos. Los diferentes colores (rojo, rosa, verde y amarillo) corresponden a 4 sujetos de estudio.



## **5.2 Instrumentistas melódicos**

### **5.2.1 Zonas de activación ante un estímulo regular**

Este tipo de sujetos de estudio se caracteriza por realizar un procesamiento distinto de la música. Su atención se concentra principalmente en la afinación, además en el caso de un instrumento de viento, en la producción del mismo y si es de cuerda, en el uso del arco.

A continuación se muestran las áreas de activación cerebral con estímulos rítmicos regulares.

### **Zonas de Activación en el Lóbulo Frontal**

Se puede apreciar que hay un número más grande de zonas activas, principalmente los ganglios basales (globus pallidus, núcleo subtalámico, putamen y núcleo caudado), durante el procesamiento de un estímulo rítmico regular.

Dentro de las áreas de activación se encuentra:

- Tálamo, que es el encargado de transmitir información entre la corteza y el tallo cerebral y muchas otras estructuras. Por este tipo de interacción, el tálamo contribuye a muchos procesos en el cerebro que incluyen la percepción, atención, la anticipación y el movimiento. Asimismo tiene un rol central en el estado de alerta y vigilia.
- El núcleo rojo que es una estructura en el centro del cerebro involucrada en la coordinación motora.
- Putamen, involucrado en el aprendizaje de habilidades motrices y de memoria de procedimientos.

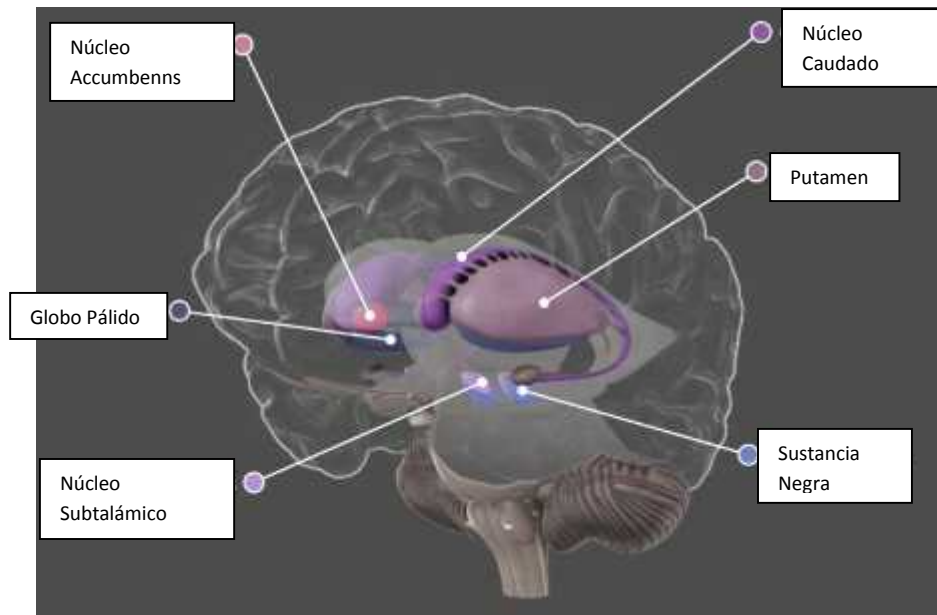


Ilustración 31. Ganglios Basales.

- |   |                              |
|---|------------------------------|
| 1. Sub-lobar                            | Medio                        |
| 2. Materia Gris                         | 19. Tercer Ventrículo        |
| 3. Tálamo                               | 20. Núcleo Rojo              |
| 4. Tálamo Izquierdo                     | 21. Núcleo Ventral Anterior  |
| 5. Tálamo Derecho                       | 22. Putamen Izquierdo        |
| 6. Cerebro Medio                        | 23. Núcleo Lentiforme        |
| 7. Núcleo Dorsal Medio                  | 24. Extra-Nuclear            |
| 8. Pulvinar                             | 25. Lóbulo Frontal Inferior  |
| 9. Sustancia Blanca                     | 26. Giro Frontal Inferior    |
| 10. Extra-Nuclear                       | 27. Giro Medio Frontal       |
| 11. Tallo Cerebro Izquierdo             | 28. Sub-Gyral                |
| 12. Cuerpo Mamilar                      | 29. Ínsula Izquierda         |
| 13. Fluido Cerebro Espinal              | 30. Núcleo Caudado Izquierdo |
| 14. Núcleo Ventral Lateral              | 31. Globo Pálido Izquierdo   |
| 15. Tallo Cerebral Derecho              | 32. Giro del cuerpo caloso   |
| 16. Núcleo Lateral Posterior<br>Ventral | 33. Núcleo Caudado           |
| 17. Núcleo Sub talámico                 |                              |
| 18. Núcleo Ventral Posterior            |                              |

## Zonas de Activación en el Hemisferio Derecho

El número de zonas activas es muy similar en comparación con el grupo de instrumentos armónico melódicos.

Cabe destacar la activación del área 4 de Brodmann que cumple con funciones diferentes:

- Motora
- Somato-sensorial
- Memoria motriz

Igualmente se observó activación en las siguientes áreas (hemisferio contrario en comparación con el otro grupo):

### BA 42

- Se localiza en la corteza auditiva derecha, reportada como más sensible a la tonalidad, mientras que la corteza auditiva izquierda es más sensible a las diferencias de secuencia en el sonido.

### BA 47

- Relacionado con el procesamiento del lenguaje que incluye procesamiento fonológico y semántico.

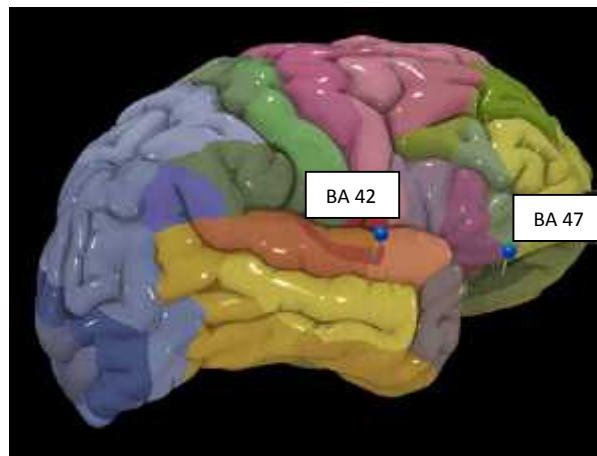


Ilustración 32. Áreas de Brodmann activas durante la percepción de patrones rítmicos regulares en instrumentistas melódicos.

- |   |                                       |
|---|---------------------------------------|
| 1. Sustancia Blanca                         | 27. Área 47 de Brodmann               |
| 2. Materia Gris                             | 28. Opérculo Frontal Inferior Derecho |
| 3. Lóbulo Temporal                          | 29. Sub-Gyral                         |
| 4. Lóbulo Frontal                           | 30. Área de Brodmann 6                |
| 5. Giro Temporal Superior                   | 31. Área 42 de Brodmann               |
| 6. Giro Temporal Superior Derecho           | 32. Ínsula                            |
| 7. Sub-lobar                                | 33. Lóbulo Parietal Inferior          |
| 8. Giro Frontal Inferior                    | 34. Área de Brodmann 40               |
| 9. Lóbulo Temporal Derecho                  | 35. Núcleo Caudado                    |
| 10. Giro Temporal Medio                     | 36. Cabeza del Núcleo Caudado         |
| 11. Extra-Nuclear                           | Head                                  |
| 12. Putamen Derecho                         | 37. Espacio Temporal Frontal          |
| 13. Giro Precentral                         | 38. Corteza Frontal Inferior Derecha  |
| 14. Lóbulo Parietal                         | 39. Giro Frontal Medio                |
| 15. Núcleo Lentiforme                       | 40. Giro del Cuerpo Calloso           |
| 16. Putamen                                 | 41. Giro Temporal Transverso          |
| 17. Área de Brodmann 22                     | 42. Área de Brodmann 44 (Broca)       |
| 18. Corteza Orbito Frontal Inferior Derecha | 43. Área de Brodmann 13               |
| 19. Núcleo Caudado)                         | 44. Área de Brodmann 38               |
| 20. Ínsula Derecha                          | 45. Globo Pálido Derecho)             |
| 21. Corteza Precentral                      | 46. Área de Brodmann 4                |
| 22. Corteza SupraMarginal                   | 47. Área de Brodmann 43               |
| 23. Área de Brodmann 21                     | 48. Corteza Frontal Superior Derecha  |
| 24. Lóbulo Temporal Superior Derecho        | 49. Área de Brodmann 41               |
| 25. Opérculo de Rolando Derecho             | 50. Área de Brodmann 45               |
| 26. Giro Postcentral                        | 51. Claustro                          |
|   | 52. Globo Pálido Lateral              |
|   | 53. Área de Brodmann 2                |

54. Lóbulo Límbico
55. Giro Frontal Medio
56. Área de Brodmann 3
57. Cuerpo Caudado
58. Corteza Cingulada Anterior
59. Fluido Cerebro Espinal
60. Giro Parahipocampal Derecho
61. Ventrículo Lateral
62. Giro Rectal
63. Giro Parahipocampal

64. Zona de Heschl Derecho
65. Área de Brodmann 1
66. Lóbulo Temporal Inferior  
Derecho
67. Área de Brodmann 25
68. Globo Pálido
69. Área de Brodmann 34
70. Amígdala Derecha
71. Cuerpo Calloso

## Zonas de Activación en el Hemisferio Izquierdo

Las zonas de activación son muy similares en comparación con el primer grupo y no se presenta algún cambio relevante.

- |  |                              |
|--|------------------------------|
| 1. Lóbulo Temporal                         | 20. Área 42 de Brodmann      |
| 2. Sustancia Blanca                        | 21. Giro Supramarginal       |
| 3. Giro Temporal Superior                  | 22. Área 21 de Brodmann      |
| 4. Materia Gris                            | 23. Sub-Gyral                |
| 5. Lóbulo Temporal Superior<br>Izquierdo   | 24. Giro Temporal Transverso |
| 6. Giro Pre central                        | 25. Área 13 de Brodmann      |
| 7. Giro Frontal Inferior                   | 26. Área 41 de Brodmann      |
| 8. Lóbulo Parietal                         | 27. Área 44 de Brodmann      |
| 9. Giro Precentral                         | 28. Área 45 de Brodmann      |
| 10. Lóbulo Parietal Inferior               | 29. Giro Postcentral         |
| 11. Área 22 de Brodmann                    | 30. Lóbulo Temporal Superior |
| 12. Giro Temporal Medio                    | 31. Zona de Heschl           |
| 13. Opérculo de Rolando                    | 32. Giro Frontal Medio       |
| 14. Opérculo Frontal Inferior<br>Izquierdo | 33. Ínsula Izquierda         |
| 15. Área 40 de Brodmann                    | 34. Extra Nuclear            |
| 16. Área 6 de Brodmann                     | 35. Espacio Temporal Frontal |
| 17. Sub-lobar                              | 36. Área 39 de Brodmann      |
| 18. Ínsula                                 | 37. Área 43 de Brodmann      |
| 19. Área 9 de Brodmann                     | 38. Área 4 de Brodmann       |
|  | 39. Área 38 de Brodmann      |

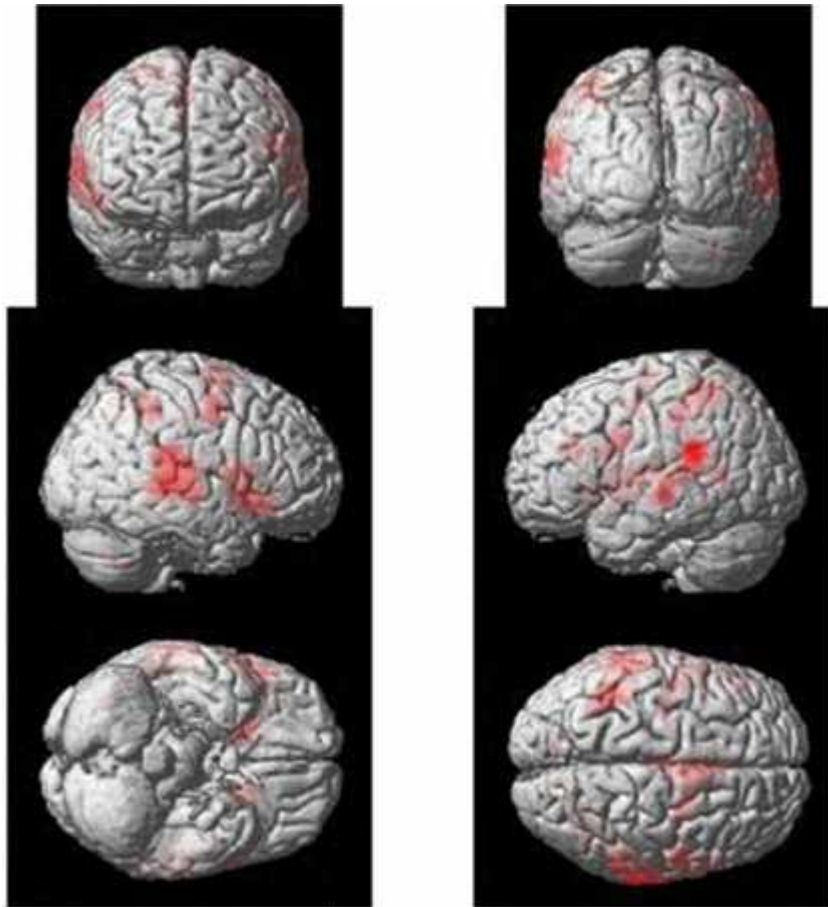


Ilustración 33. . Áreas de activación con estímulos regulares en instrumentistas melódicos.

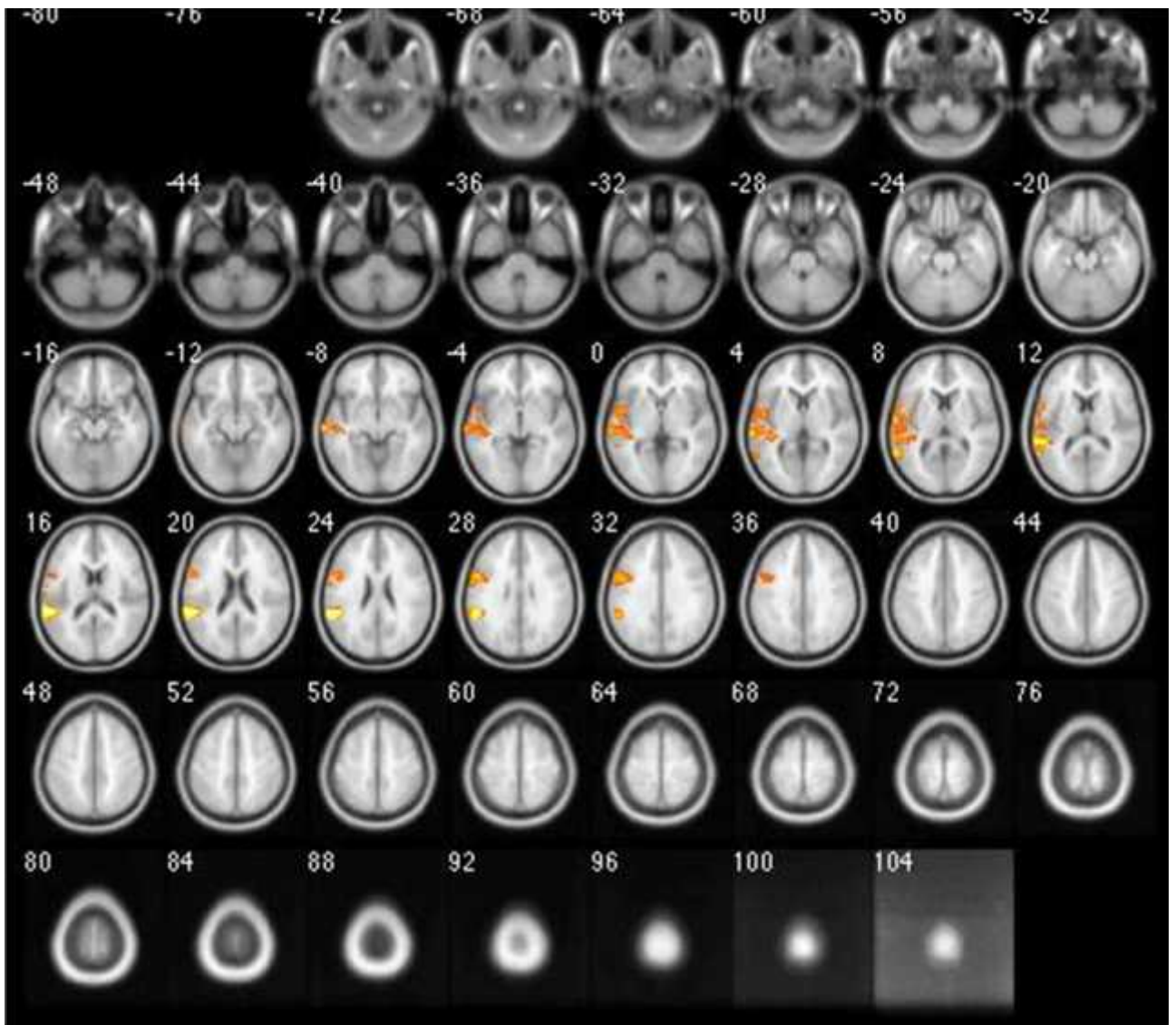


Ilustración 34. Vista por cortes de la activación con estímulos regulares en instrumentistas melódicos. Los diferentes colores (rojo, rosa, verde y amarillo) corresponden a 4 sujetos de estudio.

### 5.2.2 Zonas de activación ante un estímulo irregular

Dentro de las áreas de activación con estímulos irregulares destaca la activación de los ganglios basales, principalmente del núcleo subtalámico, que participa en la regulación de las funciones motoras.

### Zonas de Activación en el Lóbulo Frontal

- |                              |                                      |
|------------------------------|--------------------------------------|
| 1. Sub-lobar                 | 12. Cuerpo Mamilar                   |
| 2. Materia Gris              | 13. Mammillary Body                  |
| 3. Tálamo                    | 14. Tallo Cerebral Derecho           |
| 4. Tálamo Derecho            | 15. Tercer Ventrículo                |
| 5. Tálamo Izquierdo          | 16. Núcleo Rojo                      |
| 6. Núcleo Dorsal Medio       | 17. Núcleo Ventral Lateral           |
| 7. Extra-Nuclear             | 18. Núcleo Ventral Posterior Medio   |
| 8. Pulvinar                  | 19. Núcleo Subtalámico               |
| 9. Sustancia Blanca          | 20. Núcleo Ventral Posterior Lateral |
| 10. Fluido Cerebro Espinal   |                                      |
| 11. Tallo Cerebral Izquierdo |                                      |

En el hemisferio izquierdo coinciden áreas de activación que fueron observadas previamente y que están relacionadas con la producción y comprensión del lenguaje.

Destaca la activación del hipocampo izquierdo, cuyas funciones principales son:

- Almacenamiento de la memoria a corto plazo.
- Formación de la memoria a largo plazo.
- Navegación espacial

Hay actividad en el claustró cerebral que está asociado con los movimientos.



## Zonas de Activación en el Hemisferio Izquierdo

1. Lóbulo Temporal
2. Sustancia Blanca
3. Giro Temporal Superior
4. Materia Gris
5. Lóbulo Temporal Superior
6. Lóbulo Temporal Medio
7. Lóbulo Frontal
8. Giro Temporal Medio
9. Lóbulo Parietal
10. Área 22 de Brodmann
11. Giro Frontal Inferior
12. Giro Precentral
13. Giro Precentral Izquierdo
14. Opérculo Frontal Inferior Izquierdo
15. Opérculo de Rolando
16. Sub-lobar
17. Lóbulo Parietal Inferior
18. Área 21 de Brodmann
19. Sub-Gyral
20. Ínsula
21. Giro Postcentral
22. Área 40 de Brodmann
23. Área 41 de Brodmann
24. Giro Temporal Transverso
25. Área 6 de Brodmann
26. Área 13 de Brodmann
27. Lóbulo Temporal Superior Izquierdo
28. Área 42 de Brodmann
29. Área 9 de Brodmann
30. Área 44 de Brodmann
31. Extra-Nuclear
32. Zona de Heschl
33. Área de Brodmann 38
34. Giro Frontal Medio
35. Giro Supramarginal
36. Espacio Frontal Temporal
37. Área 37 de Brodmann
38. Área 45 de Brodmann
39. Área 43 de Brodmann
40. Área 39 de Brodmann
41. Área 1 de Brodmann
42. Hipocampo Izquierdo
43. Núcleo Caudado
44. Cola del Núcleo Caudado
45. Corteza Frontal Izquierda
46. Área 47 de Brodmann
47. Ínsula Izquierda
48. Ventrículo Lateral
49. Fluido Cerebro Espinal
50. Claustro

Dentro de la actividad en el hemisferio derecho destaca la activación del precúneo, involucrado con la memoria episódica, procesamiento visuoespacial, reflexiones sobre uno mismo, y aspectos de la conciencia.

Igualmente el cerebelo muestra actividad con este tipo de estímulos, en particular el lóbulo anterior y posterior, involucrados en la planeación de movimiento que está por suceder y la coordinación de movimientos finos.

## Zonas de Activación en el Hemisferio Derecho

1. Sustancia Blanca
2. Materia Gris
3. Lóbulo Parietal
4. Lóbulo Temporal
5. Lóbulo Occipital
6. PreCúneo
7. Giro Temporal Medio
8. Giro Temporal Superior
9. Giro Temporal Superior Derecho
10. PreCúneo
11. Área 7 de Brodmann
12. Lóbulo Frontal
13. Cúneo
14. PreCúneo
15. Giro Postcentral
16. Lóbulo Occipital Medio
17. Giro Occipital Medio
18. Área 19 de Brodmann
19. Lóbulo Parietal Inferior
20. Lóbulo Limbico
21. Cúneo
22. Lóbulo Paracentral
23. Lóbulo Parietal Superior Derecho
24. Lóbulo Parietal Superior Izquierdo
25. Área 40 de Brodmann
26. Cúneo
27. Giro Frontal
28. Cerebelo
29. Lóbulo Parietal Inferior
30. Giro Postcentral
31. Área 31 de Brodmann
32. Corteza Calcarina
33. Área 18 de Brodmann
34. Lóbulo Occipital Superior Derecho
35. Área 22 de Brodmann
36. Lóbulo Occipital Superior Izquierdo
37. Área 39 de Brodmann
38. Área 21 de Brodmann
39. Lóbulo Paracentral Derecho
40. Giro Inferior Occipital
41. Giro Supramarginal Derecho
42. Giro Cingulado
43. Giro Fusiforme
44. Lóbulo posterior del Cerebelo
45. Área 5 de Brodmann
46. Cruz del Cerebelo Derecho
47. Declive
48. Lóbulo Occipital Inferior Derecha
49. Corteza Frontal Inferior Izquierda
50. Angular Izquierdo
51. Giro Precentral
52. Lóbulo Occipital Inferior
53. Lóbulo Temporal Superior Derecho
54. Angular Derecho
55. Lóbulo Anterior del Cerebelo
56. Culmen
57. Cingulo Medio Derecho
58. Giro Angular
59. Cerebelo
60. Giro Fusiforme Derecho
61. Cingulo Izquierdo Medio
62. Corteza Calcarina izquierda
63. Lóbulo Paracentral Izquierdo
64. Lóbulo Parietal Inferior Derecho
65. Lóbulo Parietal Inferior Derecho
66. Sub-lobar
67. Área 4 de Brodmann
68. Giro Supramarginal
69. Área 3 de Brodmann
70. Área 6 de Brodmann
71. Área 37 de Brodmann
72. Área 47 de Brodmann area
73. Ínsula
74. Superior Occipital Gyrus
75. Precentral\_L (aal)
76. Transverse Temporal Gyrus
77. Ínsula
78. Área 41 de Brodmann
79. Área 42 de Brodmann
80. Lingua del Cerebelo izquierdo
81. Cerebelo
82. Giro Inferior Temporal
83. Área 30 de Brodmann
84. Opérculo de Rolando Derecho
85. Área 38 de Brodmann
86. Área 13 de Brodmann
87. Área 2 de Brodmann
88. Giro Fusiform Izquierdo
89. Cingulo Izquierdo
90. Cruz Izquierda del Cerebelo
91. Lingua del Cerebelo

92. Zona de Heschl Derecha  
93. Extra-Nuclear  
94. Giro Frontal Medio

95. Espacio Frontal Temporal  
96. Área 23 de Brodmann

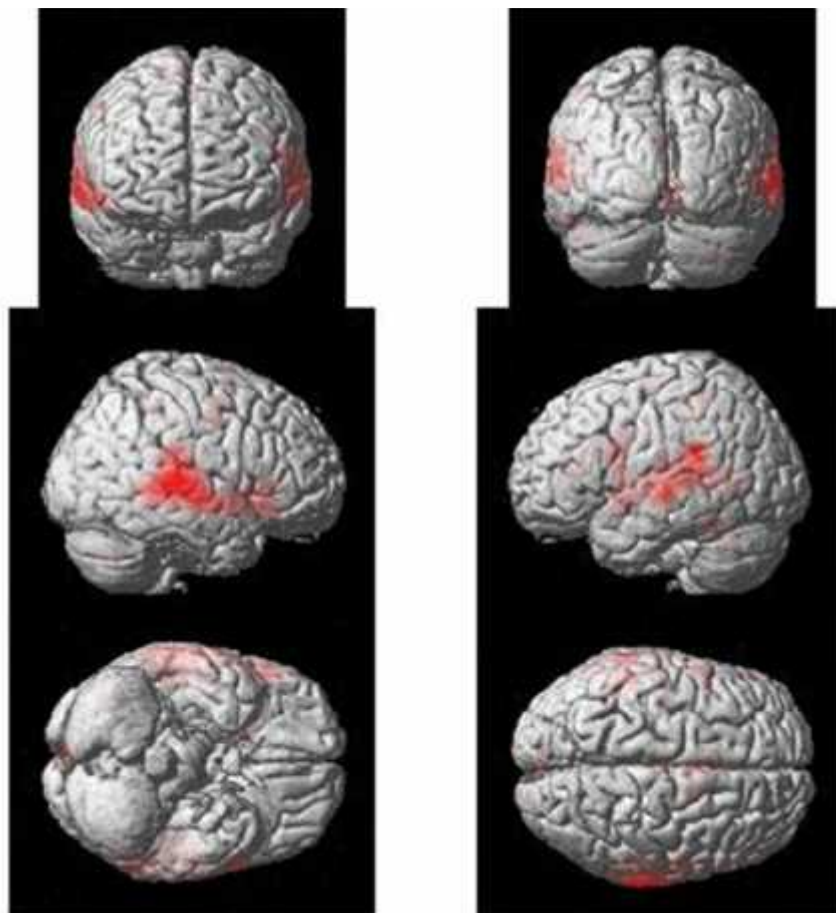


Ilustración 35. Áreas de activación con estímulos irregulares en instrumentistas melódicos.

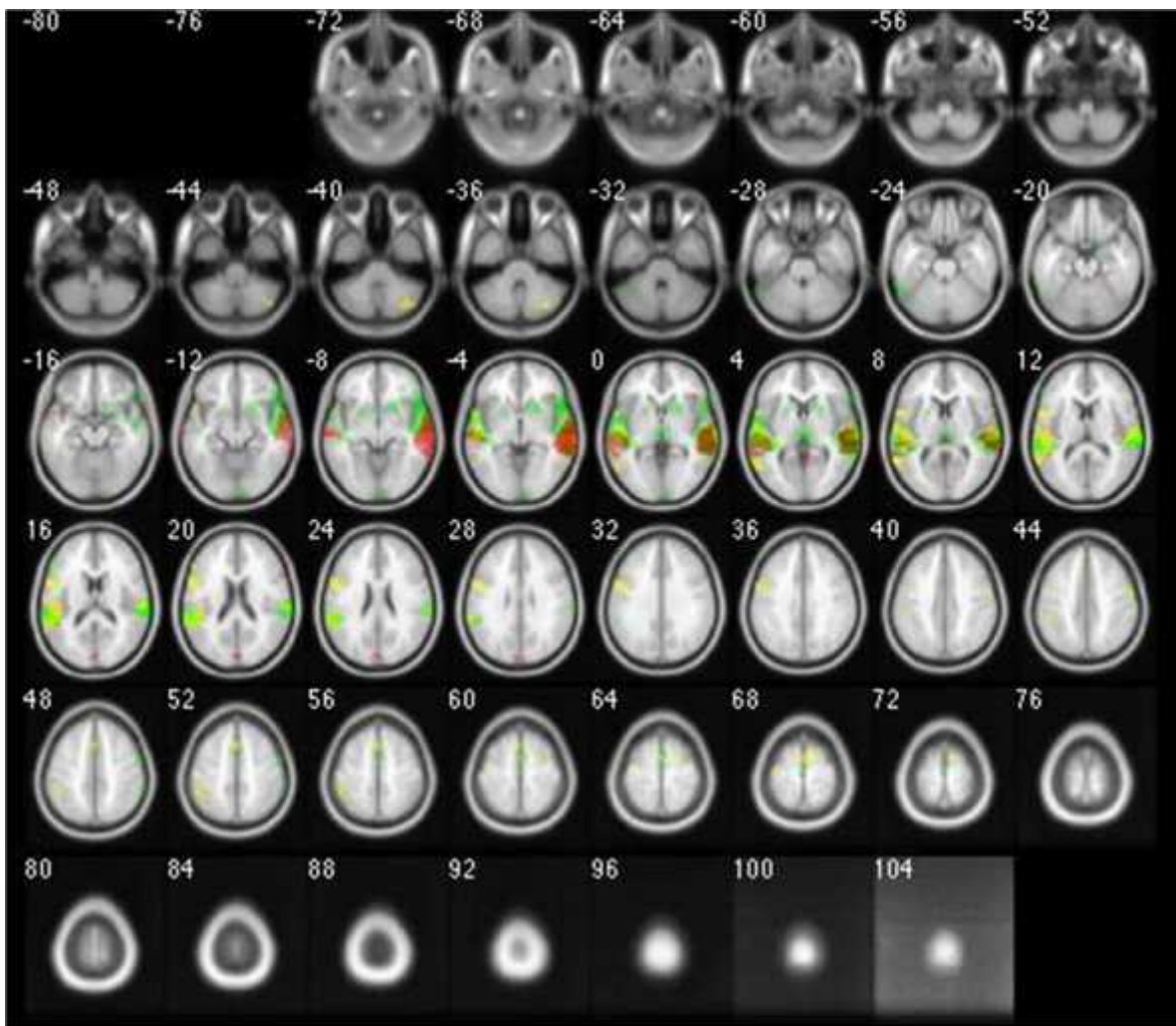
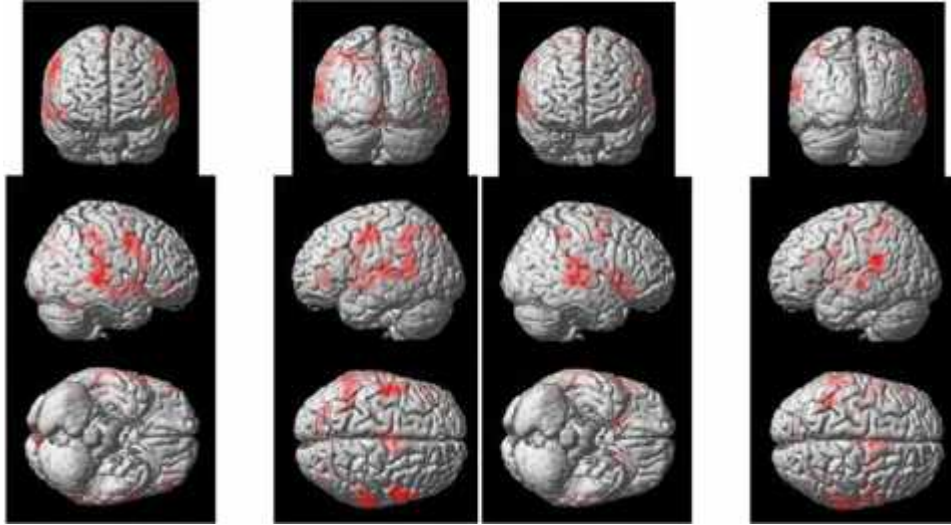


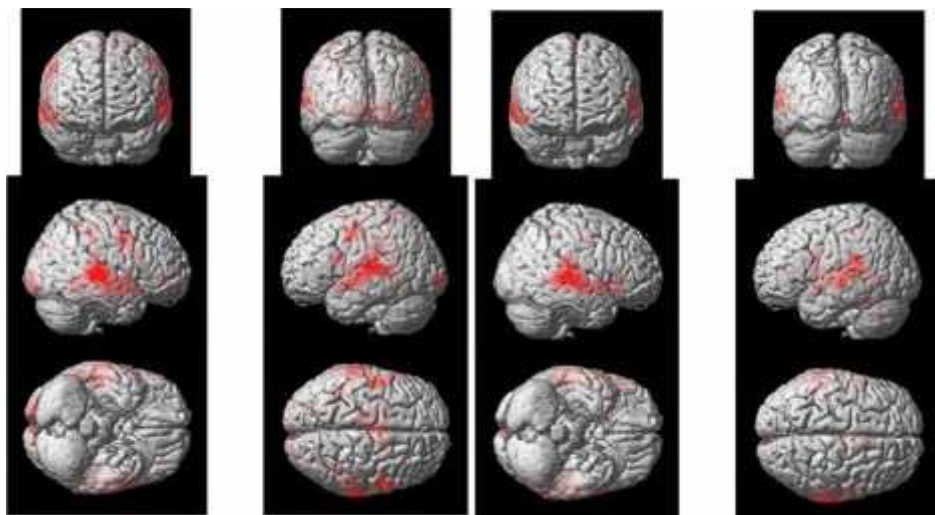
Ilustración 36. Vista por cortes de la activación con estímulos irregulares en instrumentistas melódicos. Los diferentes colores (rojo, rosa, verde y amarillo) corresponden a 4 sujetos de estudio.

### 5.3 Resultados comparativos entre ambos tipos de instrumentistas

#### 5.3.1 Áreas de activación de Instrumentistas armónico-melódicos y melódicos ante un estímulo regular.



#### 5.3.2 Áreas de activación de Instrumentistas armónico-melódicos y melódicos ante un estímulo irregular.



## 5.4 Vista por cortes transversales

### 5.4.1 Estímulos regulares

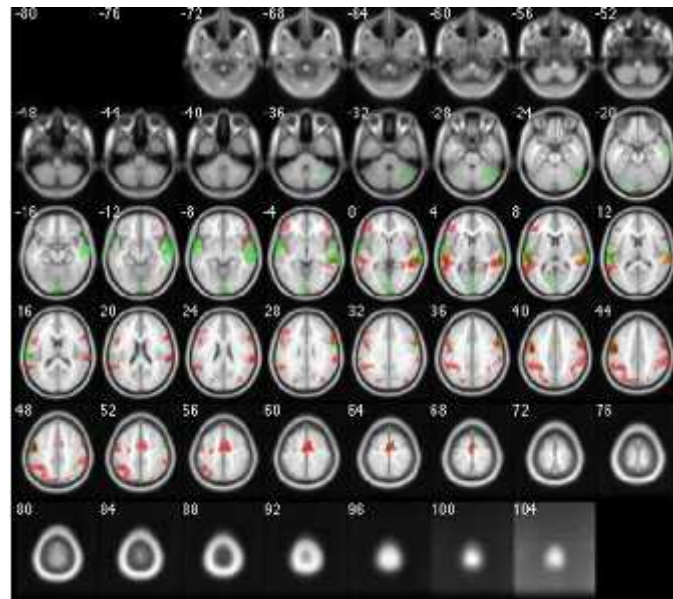


Ilustración 37. Instrumentistas armónico-melódicos.

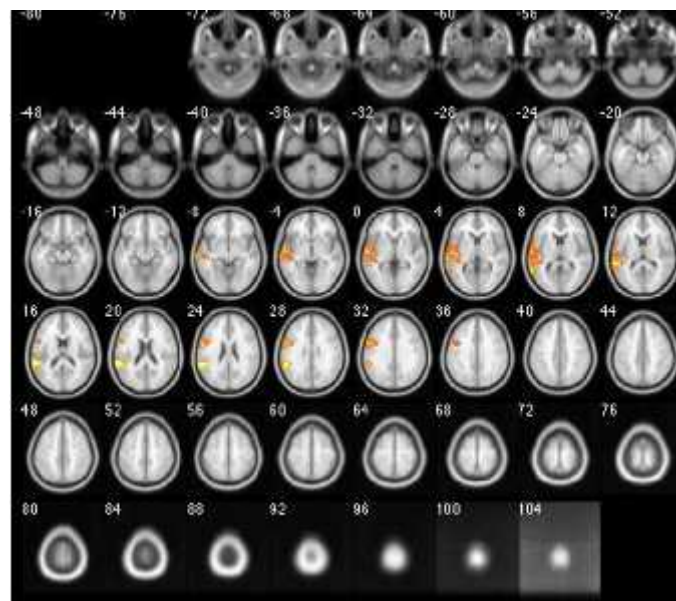


Ilustración 38. Instrumentistas melódicos.

## 5.4.2 Estímulos irregulares

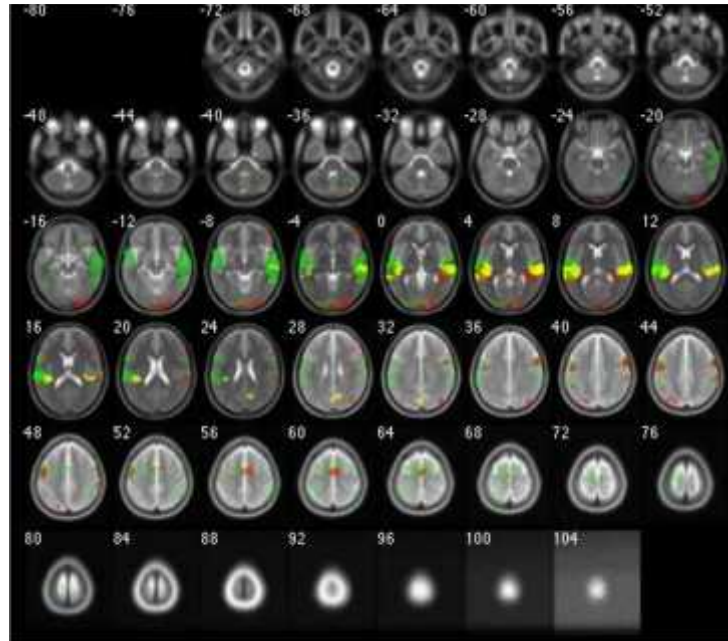


Ilustración 39. Instrumentistas armónico-melódicos.

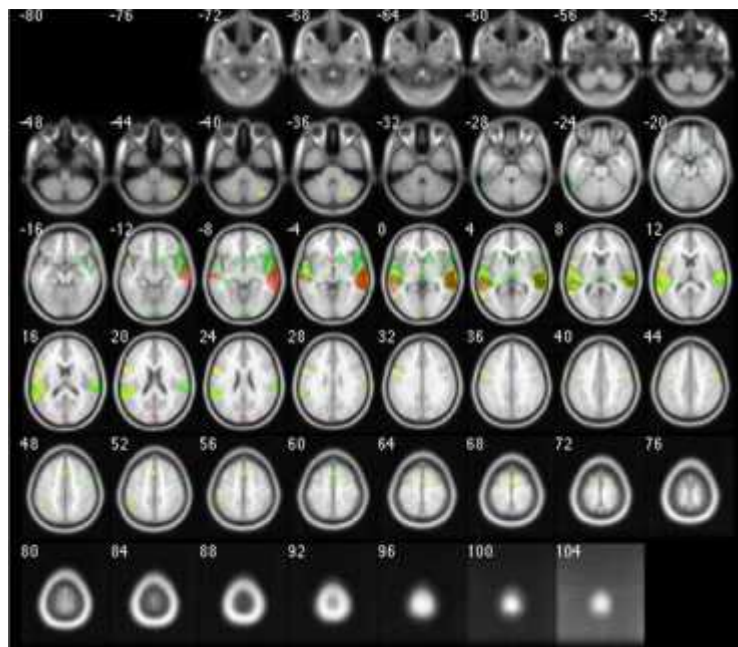
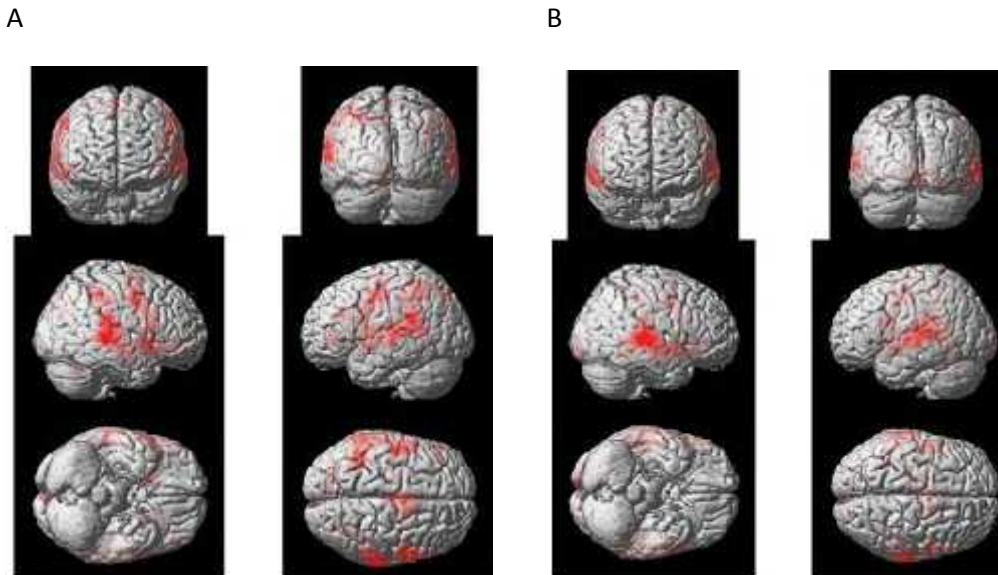


Ilustración 40. Instrumentistas melódicos.

## 5.5 Comparación del total de sujetos

### 5.5.1 Estímulos regulares (A) contra irregulares (B)



### 5.5.2 Comparación regulares contra irregulares vista por cortes transversales

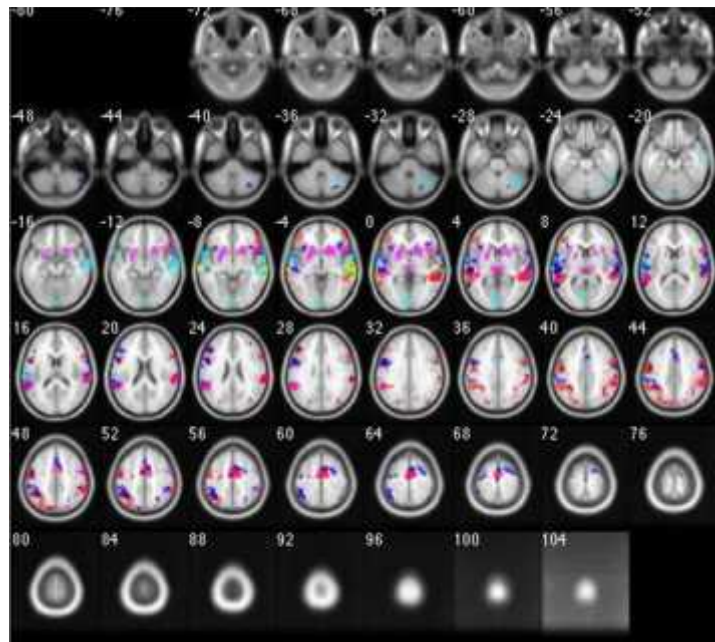


Ilustración 41. Grupo estímulos regulares vista corte transversal (todos los sujetos).



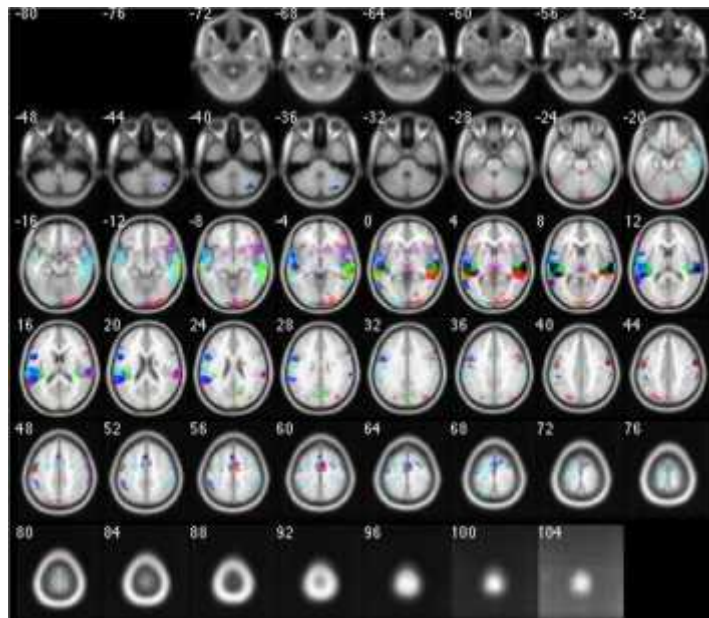


Ilustración 42. Grupo estímulos irregulares vista corte transversal (todos los sujetos).

## Discusión

Aunque se sabe que cada músico tiene sus propias estrategias y formas de procesar el ritmo, dependiendo de su área de especialidad, en la revisión bibliográfica no encontraron evidencias previas de estas diferencias, ni de cómo la especialización en un aspecto en particular de la música podría modificar dichos procesos.

Esta investigación abre el panorama para comprender de mejor forma cómo se procesa la percepción del ritmo a nivel cerebral, sabiendo que los sujetos de estudio son profesionales y que ciertamente conocen los diferentes elementos del ritmo y la aplicación de los mismos dentro de un contexto musical occidental. Una de las incógnitas que se abordaron es saber si las operaciones cognitivas son modulares o si están distribuidas a través de dominios. La comprensión de su funcionamiento puede ayudar a fundamentar las teorías cognitivas y de percepción de la música.

El uso de patrones rítmicos provenientes de un contexto musical distinto, como en este caso los que se tomaron de la cultura flamenca, puede ayudar a comprender los procesos relacionados con la adaptabilidad y analizar el uso de las áreas cerebrales reportadas anteriormente. Sin embargo, se considera necesario el empleo de una muestra mayor para corroborar estos resultados.

Limb y sus colaboradores proponen que al escuchar el ritmo, existe una lateralización hacia el hemisferio izquierdo, sin embargo, surgió la incógnita de si esta lateralización se debía a que los músicos eran capaces de anticipar la acentuación y la comprensión de la agrupación de los elementos en los estímulos, es decir, a su comprensión de la "Gramática M" (Lerdahl y Jackendoff, 1983). Otra de las conclusiones parciales a las que se había llegado anteriormente, indicaba que la lateralización hemisférica no se debía al pensamiento lógico, sino a la percepción rápida y no holística que se lleva a cabo en el hemisferio izquierdo de las personas con entrenamiento musical avanzado (Zatorre RJ, Belin P Spectral

and temporal processing in human auditory cortex. *Cereb Cortex* 2001; 11:946.953). Sin embargo, se considera que dichas conclusiones no son aplicables a los resultados obtenidos en esta investigación debido a las diferencias en los tipos de estímulos empleados por Zatorre y sus colaboradores.

Al realizar la comparación de patrones rítmicos regulares contra irregulares, incluyendo ritmos de otras regiones, hemos observado tanto similitudes como algunas diferencias sutiles en el procesamiento. Los estímulos rítmicos irregulares cambian las formas usuales de agrupación a las que están familiarizadas los sujetos y se ven forzados a adaptarse a estas estructuras en tiempo real.

En ambos tipos de instrumentistas (melódicos y armónico-melódicos) se presenta la activación de áreas motoras, aunque de diversa índole.

## **6.1 Estímulos regulares**

### **6.1.1 Instrumentistas Armónico-Melódicos**

En el análisis de activación cerebral del grupo de instrumentistas armónico-melódicos ante un estímulo regular destaca la activación de:

- Corteza pre motora (preparación y ejecución de movimientos).
- Sistema Límbico (emociones y memoria).
- Área de Wernicke (comprensión del lenguaje).
- Área de Broca (producción del lenguaje BA 44 y 45).
- Giro supra marginal (comprensión del lenguaje hablado, aprendizaje de vocabulario nuevo y lectura).

Hay predominancia en la actividad del hemisferio izquierdo.

El Área de Broca es un área motriz (Área F5) en otros primates superiores, como el chimpancé, y se activa cuando realizan movimientos significativos (con carga semántica) con los brazos o las manos (Hecht, Murphy y colaboradores. 2012).

Los movimientos de los brazos, manos y dedos de los tecladistas son, evidentemente, significativos, por lo que no están necesariamente relacionados con el habla, sino con la actividad motriz con significado que también se localiza en el área de Broca. (Hecht EE, Murphy LE, Gutman DA, Votaw JR, Schuster DM. Preuss TM, Orban GA, Stout D, Parr LA. Differences in neural activation for object directed grasping in chimpanzees and humans. J Neurosci 2012; 33:14117-14134).

Su activación en este caso, a pesar de ser un procesamiento pasivo, puede deberse a que los sujetos de estudio pudieron haber imaginado cómo se tocan los estímulos rítmicos.

### **6.1.2 Instrumentistas melódicos**

En el análisis de activación cerebral del grupo de instrumentistas melódicos ante un estímulo regular destaca la activación de ganglios basales:

- Tálamo (presente en muchos procesos incluyendo percepción, atención y anticipación).
- Núcleo rojo (coordinación motora).
- Putamen (habilidades motrices y memoria de procedimiento).
- Área 42 de Brodmann (localizada en el hemisferio derecho, reportada como más sensible a la tonalidad).

Igualmente ante estímulos regulares, predomina la actividad del hemisferio izquierdo.

## **6.2 Estímulos irregulares**

### **6.2.1 Instrumentistas armónico-melódicos**

En el análisis de activación cerebral del grupo de instrumentistas armónico-melódicos ante un estímulo irregular destaca la activación de:

- Área 6 de Brodmann (localizada en la corteza pre motora, sus funciones incluyen: secuencia motora, sensorial y espacial).
- Área 9 de Brodmann (localizada en el lóbulo frontal, sus funciones incluyen: memoria de trabajo, recuperación de datos y categorización semántica).
- Área 21 de Brodmann (localizada en la corteza temporal, sus funciones incluyen: lenguaje, procesamiento selectivo de texto o hablado, procesamiento semántico).
- Cerebelo (sincronización de movimientos rítmicos).

En la imagen por cortes transversales, no se aprecia dominancia del hemisferio izquierdo.

### **6.2.2 Instrumentistas melódicos**

En el análisis de activación cerebral del grupo de instrumentistas melódicos ante un estímulo irregular destaca la activación de:

- Hipocampo (memoria a corto plazo, formación de memoria largo plazo, navegación espacial).
- Claustro (movimiento)
- Precúneo (memoria episódica)
- Cerebelo (sincronización de movimiento).

Tampoco se aprecia la dominancia del hemisferio izquierdo en los cortes transversales.

Los resultados sugieren que cuando se procesa un patrón rítmico regular, se presenta una dominancia del hemisferio izquierdo. A pesar de esta dominancia para los 2 tipos de instrumentistas, hay una diferencia de las zonas de activación. En el caso de los instrumentistas armónico-melódicos, hay una participación de las zonas propias de lenguaje. En los instrumentistas melódicos hay una activación mayor de los ganglios basales.

Este análisis sugiere que el procesamiento pasivo de un patrón rítmico regular favorece una lateralización del hemisferio izquierdo y que dependiendo de la formación del músico, se puede involucrar la participación de los ganglios basales para realizar este procesamiento. Una posible explicación sería que los ganglios basales se asocian con movimientos voluntarios realizados de forma inconsciente, es decir, el imaginar cómo se marcaría el pulso para encontrar un patrón de pulsos, podría explicar su activación (Wicht Helmut, 2007). Se puede corroborar el resultado en la comparación de las imágenes y en el análisis de la muestra de sujetos de estudio.

En el caso de un patrón rítmico irregular no se observó una lateralización. En el caso de los instrumentistas armónicos melódicos, se involucraron zonas cuyas funciones principales son motoras, de memoria y de procesamiento semántico. En los instrumentistas melódicos las zonas activas son diferentes, pero con funciones similares a las observadas en el grupo de instrumentistas armónico melódicos.

Los resultados obtenidos proporcionan evidencia que puede confirmar la hipótesis propuesta, el uso de secuencias rítmicas irregulares, favorece la activación de áreas cerebrales distintas a las observadas en estudios previos durante la percepción pasiva de secuencias rítmicas regulares. Asimismo, se reporta que el uso de otras áreas, como los ganglios basales y zonas relacionadas con la memoria, están involucradas en la percepción pasiva de patrones rítmicos irregulares en músicos.

La obtención de estos resultados, abren una nueva línea de investigación dentro del área de la inteligencia artificial y redes neuronales. Entre sus aplicaciones más importantes podemos destacar: resolución de problemas de clasificación, técnicas de reconocimiento de patrones<sup>8</sup>, auto organización, etc.

---

<sup>8</sup> Área de investigación que estudia el funcionamiento y diseño de sistemas que reconocen patrones en la información. Incluye sub disciplinas como el análisis discriminante, extracción de características, estimación de errores, análisis de conglomerados (a veces llamado reconocimiento estadístico de patrones), la inferencia gramatical y su análisis (a veces llamado reconocimiento sintáctico de patrones).

## Conclusiones

Las imágenes obtenidas muestran que la formación musical formal favorece una lateralización hemisférica izquierda del cerebro al procesar patrones rítmicos regulares. Esta lateralización izquierda puede deberse a que la música y el lenguaje comparten características muy similares, por ejemplo:

	<b>Lenguaje</b>	<b>Música</b>
Estructura jerárquica	Sintaxis	Armonía
Vocabulario	Palabras	Acordes e intervalos
Propiedades de la tonalidad	Inflexión	Timbre
Registro temporal	Prosodia	Ritmo

Por otra parte, el procesamiento de patrones rítmicos irregulares no disminuye esta lateralización, sino que involucra la activación de nuevas áreas cerebrales (ganglios basales y cerebelo), las cuales han sido observadas en investigaciones previas que involucran la reproducción del ritmo. En este sentido, resalta que la activación de estas nuevas áreas varía dependiendo del tipo de instrumento que tocan los sujetos de estudio, ya que en el caso de los instrumentistas armónico-melódicos se observó activación del cerebelo, mientras que en los instrumentistas melódicos se presentó una activación de los ganglios basales. La diferencia en la activación cerebral en ambos grupos sugiere que el desarrollo de las habilidades necesarias para poder interpretar cada instrumento genera una especialización en la percepción del ritmo.

En el procesamiento de ambos tipos de estímulo se observó una activación de las regiones motoras, a pesar de que esta percepción fue pasiva y de que no hubo algún movimiento visible (movimiento del pie o algún dedo) durante la obtención de imágenes. La activación de zonas motoras, sugiere que, independientemente del tipo de estímulo, el imaginar cómo se toca un ritmo facilita su comprensión.



Al realizar el paradigma para la investigación, se presentaron los patrones rítmicos de forma aleatoria para evitar la anticipación de los mismos, aunque cabe la posibilidad de que al presentarlos de una forma no aleatoria, en dos grupos de patrones rítmicos, regulares e irregulares, se facilite la saturación de las áreas que presentaron activación y se puedan observar con mayor claridad.

Los datos reportados en esta investigación corresponden al análisis de ocho imágenes, por lo que se considera necesario realizar una prueba con una muestra más robusta para confirmar los resultados obtenidos.

## TABLA DE ILUSTRACIONES

<i>Ilustración 1. Principio de proximidad</i> .....	9
<i>Ilustración 2. Principio de Semejanza</i> .....	10
<i>Ilustración 3. Principio de la buena continuidad</i> .....	10
<i>Ilustración 4. Principio de cerramiento</i> .....	10
<i>Ilustración 6. Sistema de agrupación desarrollado por Franco de Colonia.</i> .....	13
<i>Ilustración 7. Ejemplo de agrupación.</i> .....	14
<i>Ilustración 8. Organización posible “a” e imposible “b”</i> .....	15
<i>Ilustración 9. Representación de una secuencia de tiempos</i> .....	18
<i>Ilustración 10. Representación de una estructura métrica</i> .....	19
<i>Ilustración 11. Modelo de cómo se genera una predicción de un evento</i> .....	20
<i>Ilustración 12. Niveles de pulso en un compás compuesto.</i> .....	26
<i>Ilustración 13. Ejemplo de compás aditivo en la rítmica balcánica. Bela Bartok, Mikrokosmos VI.</i> .....	29
<i>Ilustración 14. Tihais - Tintal</i> .....	42
<i>Ilustración 15. Chartal Ki Sawari</i> .....	43
<i>Ilustración 16. Jhaptal</i> .....	44
<i>Ilustración 17. Chaturasra Gati</i> .....	45
<i>Ilustración 18. Ritmo africano</i> .....	46
<i>Ilustración 19. Palos flamencos</i> .....	47
<i>Ilustración 20. Conteo de 6 en 2 distintas agrupaciones</i> .....	48
<i>Ilustración 21. Conteo de 12</i> .....	49
<i>Ilustración 22. Bulerías</i> .....	49
<i>Ilustración 23. Activación con los estímulos regulares en instrumentistas armónicos melódicos</i> .....	59
<i>Ilustración 24. Lóbulo Frontal</i> .....	60
<i>Ilustración 25. Lóbulos Temporales</i> .....	62
<i>Ilustración 26. Vista por cortes de la activación por estímulos regulares en instrumentistas armónico melódicos. Los diferentes colores (rojo, rosa, verde y amarillo) corresponden a 4 sujetos de estudio.</i> .....	65
<i>Ilustración 27. Corteza Pre Frontal</i> .....	66
<i>Ilustración 28. Áreas de Brodmann activas con los estímulos irregulares en instrumentistas armónico-melódicos</i> .....	69
<i>Ilustración 29. Cerebelo</i> .....	70
<i>Ilustración 30. Área de activación con estímulos irregulares en instrumentistas armónico-melódicos.</i> .....	70
<i>Ilustración 31. Vista por cortes de la activación con estímulos irregulares en instrumentistas armónico-melódicos. Los diferentes colores (rojo, rosa, verde y amarillo) corresponden a 4 sujetos de estudio.</i> .....	71
<i>Ilustración 32. Ganglios Basales</i> .....	73
<i>Ilustración 33. Áreas de Brodmann activas durante la percepción de patrones rítmicos regulares en instrumentistas melódicos.</i> .....	75
<i>Ilustración 34. . Áreas de activación con estímulos regulares en instrumentistas melódicos.</i> .....	77
<i>Ilustración 35. Vista por cortes de la activación con estímulos regulares en instrumentistas melódicos. Los diferentes colores (rojo, rosa, verde y amarillo) corresponden a 4 sujetos de estudio.</i> .....	78
<i>Ilustración 36. Áreas de activación con estímulos irregulares en instrumentistas melódicos</i> .....	82
<i>Ilustración 37. Vista por cortes de la activación con estímulos irregulares en instrumentistas melódicos. Los diferentes colores (rojo, rosa, verde y amarillo) corresponden a 4 sujetos de estudio</i> .....	83
<i>Ilustración 38. Instrumentistas armónico-melódicos</i> .....	85
<i>Ilustración 39. Instrumentistas melódicos</i> .....	85
<i>Ilustración 40. Instrumentistas armónico-melódicos</i> .....	86

<i>Ilustración 41. Instrumentistas melódicos.....</i>	<i>86</i>
<i>Ilustración 42. Grupo estímulos regulares vista corte transversal (todos los sujetos).....</i>	<i>87</i>
<i>Ilustración 43. Grupo estímulos irregulares vista corte transversal (todos los sujetos). ....</i>	<i>88</i>

## Referencias

Arvaniti, A. (2009). Rhythm, timing and the timing of rhythm. *Phonetica*, 66(1-2), 46–63.

Bahrack, L. E., Lickliter, R. (2004). Infants' perception of rhythm and tempo in unimodal and multimodal stimulation: a developmental test of the intersensory redundancy hypothesis. *Cognitive Affective Behaviour Neuroscience*, 4, 137–147.

Belin, P., Zatorre, R. J., Lafaille, P., Ahad, P., Pike, B. (2000). Voice-selective areas in human auditory cortex. *Nature*, 403, 309–312.

Belin, P., Zatorre, R. J., Ahad, P. (2002). Human temporal-lobe response to vocal sounds. *Brain Res Cogn Brain Res*, 13, 17–26.

Bever, T. G., Chiarello, R. J. (1974). Cerebral dominance in musicians and nonmusicians. *Science*, 185, 537–539.

Bringas Hidalgo, A. (2008). *Psicología: una ciencia con sentido humano*. Ed. *Esfinge*.

Dawe, L. A., Platt, J. R., & Racine, R. J. (1995). Rhythm perception and differences in accent weights for musicians and nonmusicians. *Percept Psychophys*, 6, 905-14.

Koffka, K. (1935). *The principles of Gestalt Psychology*. Ed. *Routledge*

Lerdahl, F. (2001). The sounds of poetry viewed as music. *Ann NY Acad Sci* 930, 337–354.

Lerdhal, F., Jackendoff, R. (1983). *A Generative Theory of Tonal Music*. *MIT Press*.

Liberman, M., Prince, A. (1977). On stress and linguistic rhythm. *Ling Inquiry*, 8, 249–336.

Liegeois-Chauvel, C., de Graaf, J. B., Laguitton, V., Chauvel, P. (1999). Specialization of left auditory cortex for speech perception in man depends on temporal coding. *Cereb Cortex*, 9, 484–496.

Limb C. J., Kemeny S., Ortigoza E. B., Rouhani S., Braun A.R. (2006). Left hemispheric lateralization of brain activity during passive rhythm perception in musicians. *Anat Rec A Discov Mol Cell Evol Biol*. (4) 382-9.

- Longuet-Higgins, H. C., Lee, C. S. (1984). The rhythmic interpretation of monophonic music. *Music Perception*, 1, 424–441.
- Malbrán, S. (2007). *El oído de la mente*. Ediciones Akal.
- Jones, M. R., Moynihan, H. & Puente, J. (2002). Temporal Aspects of Stimulus-Driven Attending in Dynamic Arrays. *Psychol Science*, 13(4), 313-9.
- Large, E. (2008). Resonating to Musical Rhythm: Theory and Experiment. In: Grondin, S. (Ed.), *The Psychology of Time*. Emerald, West Yorkshire pp. 189-232
- Maess, B., Koelsch, S., Gunter, T. C., Friederici, A. D. (2001). Musical syntax is processed in Broca's area: an MEG study. *Nat Neurosci*, 4, 540–545.
- Marinoni, M., Grassi, E., Latorraca, S., Caruso, A., Sorbi, S. (2000). Music and cerebral hemodynamics. *J Clin Neurosci*, 7, 425–428.
- Miller, G. (1956). The magical number seven, plus or minus two: some limits on our capacity for processing information. *The Psychological Review*, 63, 81-97.
- Montfort, M. (1985). *Ancient traditions--future possibilities: rhythmic training through the traditions of Africa, Bali, and India*. Panoramic Press.
- Murray, J. (1971) *The Compact Edition of the Oxford English Dictionary (2 Volume Set)*. Oxford University Press.
- Nazzi, T., Bertoncini, J., Mehler, J. (1998). Language discrimination by newborns: toward an understanding of the role of rhythm. *J Exp Psychol Hum Percept Perform*, 24, 756–766.
- Ohnishi, T., Matsuda, H., Asada, T., Aruga, M., Hirakata, M., Nishikawa, M., Katoh, A., Imabayashi, E. (2001). Functional anatomy of musical perception in musicians. *Cereb Cortex*, 11, 754–760.
- Papathanassiou, D., Etard, O., Mellet, E., Zago, L., Mazoyer, B., Tzourio-Mazoyer N. (2000). A common language network for comprehension and production: a contribution to the definition of language epicenters with PET. *Neuroimage*, 11, 347–357.
- Patel, A. D., Peretz, I., Tramo, M., Labreque, R. (1998). Processing prosodic and musical patterns: a neuropsychological investigation. *Brain Lang*, 61, 123–144.
- Patel, A. D., Daniele, J. R. (2003). An empirical comparison of rhythm in language and music. *Cognition*, 87, B35–B45.

- Patel, A. D., Iversen, J. R., Chen, Y., Repp, B. H. (2005). The influence of metricality and modality on synchronization with a beat. *Exp Brain Res*, 163, 226–238.
- Penhune, V. B., Zatorre, R. J., Feindel, W. H. (1999). The role of auditory cortex in retention of rhythmic patterns as studied in patients with temporal lobe removals including Heschl's gyrus. *Neuropsychologia*, 37, 315–331.
- Peretz, I. (1985). Hemispheric asymmetry in amusia. *Rev Neurol (Paris)*, 141, 169–183.
- Peretz, I. (1990). Processing of local and global musical information by unilateral brain-damaged patients. *Brain*, 113(Pt 4), 1185–1205.
- Perry, D. W., Zatorre, R. J., Petrides, M., Alivisatos, B., Meyer, E., Evans, A. C. (1999). Localization of cerebral activity during simple singing. *Neuroreport*, 10, 3979–3984.
- Platel, H., Price, C., Baron, J. C., Wise, R., Lambert, J., Frackowiak, R. S., Lechevalier, B., Eustache, F. (1997). The structural components of music perception: a functional anatomical study. *Brain*, 120 (Pt 2), 229–243.
- Poeppl, D., Yellin, E., Phillips, C., Roberts, T. P., Rowley, H. A., Wexler, K., Marantz, A. (1996). Task-induced asymmetry of the auditory evoked M100 neuromagnetic field elicited by speech sounds. *Brain Res Cogn Brain Res*, 4, 231–242.
- Phillips-Silver, J. & Keller, P. E. (2012). Searching for roots of entrainment and joint action in early musical interactions. *Front Hum Neurosci*, 6,,26.
- Phillips-Silver, J. & Trainor, L. J. (2005). Feeling the beat: movement influences infant rhythm perception. *Science*, 308(5727), 1430.
- Phillips-Silver, J. & Trainor, L. J. (2008). Vestibular influence on auditory metrical interpretation. *Brain and Cognition*, 67(1), 94–102.
- Sessions, R. (1950). The musical experience of composer, performer, listener. *Princeton, NJ: Princeton University Press*.
- Robin, D. A., Tranel, D., Damasio, H. (1990). Auditory perception of temporal and spectral events in patients with focal left and right cerebral lesions. *Brain Lang*, 39, 539–555.
- Seashore, C. E. (1936). Psychology of Music. *Music Educators Journal*, 22(5).

Sakai, K., Hikosaka, O., Miyauchi, S., Takino, R., Tamada, T., Iwata, N. K., Nielsen, M. (1999). Neural representation of a rhythm depends on its interval ratio. *J Neurosci*, 19, 10074–10081.

Samson, S. (2003). Cerebral substrates for musical temporal processes. *The cognitive neuroscience of music*. Oxford: Oxford University Press. p 204–230.

Sansavini, A., Bertoncini, J., Giovanelli, G. (1997). Newborns discriminate the rhythm of multisyllabic stressed words. *Dev Psychol*, 33, 3–11.

Schlaug, G., Jancke, L., Huang, Y., Steinmetz, H. (1995). In vivo evidence of structural brain asymmetry in musicians. *Science*, 267, 699–701.

Selkirk, E. O. (1984). Phonology and syntax: the relation between sound and structure. Cambridge, MA: MIT

Sherwin, I., Efron, R. (1980). Temporal ordering deficits following anterior temporal lobectomy. *Brain Lang*, 11, 195–203.

Tan, S. L., Pfordresher, P. & Harré, R. (2010). *Psychology of Music: From Sound to Significance*.

Trehub, S. E., Thorpe, L. A. (1989). Infants' perception of rhythm: categorization of auditory sequences by temporal structure. *J Psychol*, 43, 217–229.

Vollmer-Haase, J., Finke, K., Hartje, W., Bulla-Hellwig, M. (1998). Hemispheric dominance in the processing of J.S. Bach fugues: a transcranial Doppler sonography (TCD) study with musicians. *Neuropsychologia*, 36, 857–867.

Xu, J., Kemeny, S., Park, G., Fratalli, C., Braun, A. R. (2005). Language in context: emergent features of word, sentence, and narrative comprehension. *Neuroimage*, 25(3), 1002-15.

Zatorre, R. J., Evans, A. C., Meyer, E. (1994). Neural mechanisms underlying melodic perception and memory for pitch. *J Neurosci*, 14, 1908–1919.

Zatorre, R. J., Belin, P., Penhune, V. B. (2002). Structure and function of auditory cortex: music and speech. *Trends Cogn Sci*, 6, 37