

# **Facilitadores en el procesamiento cognitivo de la información rítmica. Revisión de la literatura sobre los conceptos de pulso, tempo, metro y acento**

**Facilitating factors in the cognitive processing of rhythmic information.**

**A review of the literature on the concepts of pulse, tempo, meter and accent**

José Eduardo Álamos Gómez<sup>1</sup> y Jesús Tejada Giménez<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Profesor de Música. Licenciado en Educación. Máster en Investigación en Didácticas Específicas. Doctorando en Didácticas Específicas. Departamento de Didáctica, Expresión Musical, Plástica y Corporal. Facultat de Magisteri, Universitat de València, España.

E-mail: josealamos@gmail.com

<sup>2</sup>Profesor Superior de Música. Doctor en Humanidades. Doctor en Métodos de Investigación y Diagnóstico en Educación. Instituto de Creatividad e Innovaciones Docentes, Universitat de València, España. E-mail: jesus.tejada@uv.es

Este trabajo fue financiado por el Programa Formación de Capital Humano Avanzado, sub-programa Beca de Doctorado en el Extranjero - Becas Chile, convocatoria 2018, la Comisión Nacional de Investigación Científica y Tecnológica, Gobierno de Chile, y el Ministerio de Ciencia e Innovación de España - Agencia Estatal de Investigación (código PID2019-105762GB-I00) y cofinanciado por el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER).

Universitat de València.

Valencia, España.

## **Resumen**

Los modelos de percepción del ritmo han estudiado una importante variedad de características generales de las estructuras temporales y elementos específicos del ritmo musical, y presentan un grado de heterogeneidad en los objetos de estudio. Sin embargo, la mayoría de las investigaciones convergen en el análisis de los procesos relacionados con la detección, por parte del oyente, de un pulso temporal subyacente. Estos procesos, junto con otros como la agrupación temporal, se han denominado “aspectos básicos” o “primitivos”, ya que parecen fundamentales para la percepción de secuencias rítmicas simples. En el presente trabajo se hace una revisión de la literatura en

la que se describen, sintetizan y relacionan los hallazgos de las investigaciones vinculadas con el procesamiento cognitivo de los aspectos rítmicos básicos (pulso, tempo, metro y acento) con el objeto de especificar ciertas características temporales que facilitan la comprensión psicológica del ritmo. La información presentada se ha obtenido de revistas científicas indexadas y de textos fundamentales en el estudio del procesamiento temporal y rítmico a nivel cognitivo. En relación con el pulso, parece existir consenso en que los seres humanos tienden a la isocronía y a la regularidad, y el espectro de tempo óptimo es aquel que oscila entre 60 y 120 pulsos por minuto. Los niños pequeños tendrían un tempo preferido más rápido. El metro conforma un marco

que permite la previsibilidad y organización de los eventos rítmicos futuros, y se evidencia una predisposición de las personas hacia los metros binarios por sobre los ternarios. Los hallazgos presentados en este artículo deben ser considerados en el futuro para promover la comprensión psicológica del ritmo en diversos contextos individuales y/o grupales, especialmente en educación musical.

*Palabras clave:* ritmo musical, cognición, procesamiento cognitivo, procesamiento temporal, psicología de la percepción.

### Abstract

Rhythm perception models have studied an important variety of general characteristics of temporal structures and specific elements of musical rhythm, presenting a degree of heterogeneity in study objects. However, most of the research converges in the study of processes related to the listener's detection of an underlying temporal pulse. This, along with other processes such as temporal grouping, have been referred to as basic or primitive aspects, since they seem fundamental to the perception of simple rhythmic sequences.

In the present work, a review of the literature in which research findings related to the cognitive processing of basic rhythmic aspects are described, synthesized and related: pulse, tempo, meter and accent. This review aims to specify certain temporal characteristics that facilitate the psychological understanding of rhythm. The information presented has been obtained from scientific journals indexed in Wos and Scopus; from Research Handbook on Education-Musical Cognition and; from fundamental texts in the study of temporal and rhythmic processing at the cognitive level.

Among the basic elements that make up the musical rhythm, perhaps the most intrinsic and natural is the pulse. There seems to be consensus that humans, either by processes of enculturation or by biological aspects mainly related to the nervous system, tend to isochrony and regularity. Pulse velocity, called in

musical language as *tempo*, is an important factor to consider when facilitating the processing of rhythmic structures. This is how, the preferred pulse or optimal tempo spectrum for all, regardless of musical formation, age, or personal characteristics; ranges from 60 to 120 pulses or beats per minute (bpm). In addition, recent research findings show that young children have a preferred tempo of 140–150 bpm (400 ms approximately), which is a faster rate for adults: 100 bpm (600 ms approximately). This preference for fast *tempi*, decreases with age, showing improved responses to a greater diversity of slow and fast *tempi* thanks to the increase in cognitive and motor development.

The meter is another factor that strongly influences the psychological understanding of the rhythm. The meter has been defined as a sequence of regular pulse cycles that include “strong” and “soft” impacts organized at hierarchical levels. It has been proposed that the meter forms a framework for rhythmic expectation that anticipates the central or accented pulse, allowing the predictability and organization of future rhythmic events involved in a fragment or piece of music. This process appears to be automatic and is explained by the brain constantly setting predictions by comparing the previous information accumulated with the sensory stimulus it perceives from the outside. In the context of Western music, a predisposition by listeners towards binary meters (sequences of accented pulses every two, four, etc.) has been proposed rather than to the ternaries (pulse sequences accentuated every three, six, etc.). This has led to hypothesize regarding the existence of improved processing for hierarchical binary relationships in contrast to the more complex or ternary.

Finally, the findings presented in this article should be considered in the future to promote psychological understanding of the rhythm in various individual and/or group contexts, especially in formative - musical areas.

*Keywords:* musical rhythm, cognition, cognitive processing, temporal processing, psychology of perception.

## Introducción

Gran parte de la actividad musical se basa en el ritmo, elemento que proporciona una base organizacional para la música y que es fundamental en el desarrollo musical de las personas (Tejada, Pérez y García, 2010), especialmente, si se considera que en todas las culturas del mundo los seres humanos se sincronizan y se mueven con los ritmos musicales (Kotz, Ravignani y Fitch, 2018). El ritmo es un elemento consustancial de la actividad musical que contribuye en gran medida al desarrollo cognitivo (Miendlarzewska y Trost, 2014); por ejemplo, algunas investigaciones muestran que la práctica rítmica perceptiva y productiva favorece la memoria, la atención sostenida, la flexibilidad, o la previsibilidad, aunque su desarrollo mediante la educación rítmica no es automático, sino que está supeditado a un conjunto de medidas propiciadas en los ámbitos educativos (Phillips-Silver y Trainor, 2007). En esta línea, identificar los factores que facilitan el procesamiento cognitivo de los aspectos temporales de la música resulta relevante en distintos contextos de la educación musical, especialmente porque en dichos ámbitos se dedican grandes esfuerzos por promover el desarrollo del ritmo en todos los niveles educativos, con especial énfasis en Educación Inicial y Educación Primaria (Alsina, 2006).

Los modelos de percepción del ritmo han estudiado una importante variedad de características generales de las estructuras temporales y los elementos específicos del ritmo musical, y presentan cierto grado de heterogeneidad en los objetos de estudio. No obstante, la mayoría de las investigaciones convergen en el análisis de los procesos relacionados con la detección, por parte del oyente, de un pulso temporal subyacente (Purwins, Grachten, Herrera, Hazan, Marxer y Serra, 2008). Este pulso, junto a otros procesos como la agrupación temporal, han sido denominados como “aspectos básicos” o “primitivos”, puesto que parecen fundamentales para la percepción de secuencias rítmicas simples (Drake, 1998).

El pulso es uno de los elementos más arcaicos e intuitivos dentro de la música de diversas culturas, especialmente dentro de la estructura rítmica. Snyder (2000) lo define como una serie de puntos de tiempo imaginarios idénticos recurrentes (isócronos), o *beats* (golpeteos) a un ratio estable de repetición o tempo. Esta pulsación constante e isócrona no solo es patrimonio de la música, sino que también forma parte de otros procesos vitales para la existencia y organización humana, tales como el pulso cardíaco, la respiración, la marcha o la regularidad del reloj. Además del pulso, el metro y los acentos son elementos musicales íntimamente relacionados que encontramos en la mayoría de las estructuras rítmicas y que contribuirían eficazmente a facilitar el procesamiento cognitivo de información rítmica (Levitin, Grahn y London, 2018; London, 2012). El metro de compás sirve como marco de referencia para construir el ritmo, puesto que, al parecer, corresponde a una de las percepciones iniciales que anticipa la posterior aparición de ritmos extraídos de la música (London, 2012); por su parte, la percepción de acentos permite que ciertos eventos en una secuencia rítmica se perciban más destacados que otros (Levitin et al., 2018).

En concreto, dentro del presente artículo se realiza una revisión de la literatura en la que se describen, sintetizan y relacionan hallazgos de investigación vinculados con el procesamiento cognitivo de algunos aspectos rítmicos básicos: el pulso, el tempo, el metro y el acento. Este cuerpo teórico permitirá actualizar y dar continuidad a la discusión en torno a los factores que facilitan el procesamiento de los elementos básicos del ritmo en la formación musical inicial.

## Pulso

Entre los elementos básicos que componen el ritmo musical quizá el más instintivo y natural sea el pulso. Una de las razones por las cuales el pulso es uno de los elementos más primitivos dentro de la música, y espe-

cialmente dentro de la estructura rítmica de casi todas las culturas, es porque no solo es patrimonio del arte musical, sino que también forma parte de otros procesos vitales para la existencia y organización humana tales como el pulso cardíaco, la respiración, la marcha o la regularidad del segundero y minuterio del reloj. Percutir sobre un pulso, a pesar de ser una de las actividades más básicas dentro de la práctica musical, es un proceso complejo y especializado que requiere una amplia red de áreas auditivas, motoras y prefrontales del cerebro (Chen, Penhune y Zatorre, 2008; Chen, Zatorre y Penhune, 2006).

Snyder (2000) define el *pulso* como “una serie de eventos temporales imaginarios idénticos y regularmente recurrentes (isócronos) que se encuentran espaciados en el tiempo y que subyacen a la música proporcionando un marco temporal básico”; por ejemplo, cuando una persona mueve la cabeza o el pie de forma constante e invariante (como las agujas de un reloj) mientras escucha música, se dice que está marcando el pulso. Otra denominación que homologa la temporalidad del pulso con un fenómeno sonoro es *beat*, concepto inglés más coloquial utilizado en el contexto de música popular que se refiere a unidades de igual duración percibidas a través de impulsos sonoros (Dowling y Harwood, 1986). En ambos casos, las definiciones hacen referencia a un aspecto más objetivo, pero también Lerdahl y Jackendoff (1983) hablaron de *tactus* para referirse a la velocidad más natural en la que un oyente puede tocar o aplaudir para una pieza musical. Esta velocidad se relaciona con el tempo personal, que es el pulso natural o ritmo creado por un individuo a través de movimientos con o sin desplazamiento (por ejemplo, caminar o palmear), sin ningún tipo de estímulo musical (Abril, 2011).

En relación con la isocronía, que corresponde a un pulso constante con latidos idénticos en el tiempo, se ha planteado que, a pesar de que en la música se puede transgredir la isocronía estricta por propósitos expresivos, esta es una peculiaridad generalizada de ritmo

musical presumiblemente impulsada por la necesidad de coherencia dentro de actividades o interpretaciones musicales grupales (Kotz et al., 2018). En este sentido, Ravignani y Madison (2017) presentan hallazgos de investigación que señalan que las raíces de la propensión humana a la isocronía se encuentran claramente establecidas en nuestra biología, específicamente en la preparación de nuestro sistema nervioso (Fujii y Wan, 2014; Fujioaka, Trainor, Large y Ross, 2012; Merchant, Grahn, Trainor, Rohrmeier y Fitch, 2015). Adicionalmente, los autores dan como ejemplos el trabajo de Honing, Ladinig, Háden y Winkler (2009), que indica que los bebés recién nacidos reaccionan de manera diferente a las secuencias isócronas en relación con las asíncronas, y el estudio de Eerola, Luck y Toiviainen (2006) que señala que los niños de 2 a 4 años de edad muestran una conducta isócrona motora con periodicidades claras, aunque con desajustes de tempo.

En síntesis, Ravignani y Madison (2017) muestran investigaciones recientes que sugieren que la isocronía ha sido un rasgo evolutivo seleccionado y que los humanos tienen una suerte de sesgo cognitivo hacia la isocronía en la música (Fitch, 2017; Ravignani, Delgado y Kirby, 2017). Este sesgo podría estar modulado por la enculturación (Jacoby y McDermott, 2017) o por aspectos biológicos (Bowling, Hoeschele, Gill y Fitch, 2017). Sin embargo, esta discusión escapa a los intereses del presente trabajo.

La inclinación natural del ser humano a la isocronía está de alguna forma respaldada por la Teoría de la Asistencia Dinámica (*Dynamic Attending Theory*) propuesta por Jones (1976, 1987; Jones y Boltz, 1989; Large y Jones, 1999). Esta teoría proporciona un marco que explica cómo los auditores pueden extraer regularidades desde el principio de una secuencia auditiva y luego utilizar estas regularidades para crear expectativas sobre lo que vendrá. Esto a su vez coincide con la idea de un reloj interno planteada por Povel y Essens (1985), que indica que, dada una secuencia de

eventos musicales, la mayoría de los oyentes intentan inferir un habitual subyacente (pulso constante). Tanto los planteamientos de Jones como los de Povel y Essens han sido confirmados por trabajos posteriores (Drake, 1998; Purwins et al., 2008), que coinciden en que dos elementos fundamentales dentro del procesamiento temporal de secuencias rítmicas son la extracción de una regularidad o pulso subyacente y la segmentación/agrupación de secuencias.

## Tempo

En relación con el tempo o la velocidad de la música, se revisarán algunos estudios que han discutido sobre el tempo ideal de procesamiento del ritmo. Snyder (2000) habla de la región de los tempos utilizables, que corresponde a los límites de procesamiento adecuado de información musical. Este rango de tempo se sitúa entre 30 y 300 bpm (un evento cada 2 segundos y cinco eventos por segundo) y es el rango dentro del cual los flujos de los eventos musicales pueden ser escuchados para tener un tempo en absoluto. El límite superior del rango de tempos utilizables es 300 bpm (tempo de cinco eventos por segundo) y corresponde a la medida en que el orden de los eventos musicales individuales comienza a ser poco claro o resulta casi imposible de procesar.

Sabiendo que las personas tienen dificultad para mantener un pulso más rápido que cada 200 ms y más lento que cada 1 o 2 segundos y, a su vez, que hay una preferencia por los tempos que se producen aproximadamente cada 500-700 ms (Parncutt, 1994; Van Noorden y Moelants, 1999), a los investigadores les ha resultado interesante conocer el rango de tempo preferido para la percepción del ritmo, más allá del rango de tempos correspondiente a los límites de percepción humana.

Fraisse (1982) observó que tres fenómenos temporales distintos —el ritmo al caminar, el ritmo cardíaco y la tasa de succión en los recién nacidos— tienden a tener una tasa entre

60 y 120 eventos por minuto, un rango que también incluye el tempo de la mayoría de las piezas de música (Thompson y Schellenberg, 2006). Estos estudios de tempo sugieren que el pulso preferido o de resolución temporal óptima correspondería a 100 pulsaciones por minuto o alrededor de 600 ms por pulso (Fraisse, 1982), apuntando en la dirección de un ritmo natural para eventos psicológicos de 1.3 a 1.7 por segundo. Es decir, eventos espaciados entre 0.6 y 0.75 segundos o entre 80 y 100 latidos por minuto (Dowling y Harwood, 1986). Estas medidas coinciden con el tempo promedio o moderado de 100 bpm que la mayoría de las personas considera que no es ni rápido ni lento (Parncutt, 1994). Además, se encuentran dentro de la región de mayor prominencia del pulso (rango entre 60-150 bpm), que rodea el tempo moderado y que según Snyder (2000) es el rango a partir del cual los oyentes son más propensos a inferir el pulso básico de una pieza musical y pueden responder físicamente de varias maneras sencillas como marcarlo con los pies.

Actualmente, los hallazgos de investigación continúan sosteniendo la existencia de un espectro de tempo preferido que oscila entre 60 y 120 pulsos por minuto vinculado más específicamente con la medida de 100 pulsos por minuto o 600 ms (Grahn y Brett, 2007; Parncutt, 1994; Repp, 2006; Van Noorden y Moelants, 1999). Este hecho estaría relacionado con un cambio general de procesamiento basado en el procesamiento rítmico a intervalos en tempos lentos en las redes estriadas-tálamo-corticales (McAuley, Henry y Tkach, 2012), vinculado evolutivamente con el comportamiento sincronizado entre grupos de humanos primitivos (Levitinet al., 2018) a través del trabajo colectivo y ritos comunitarios.

Conjuntamente, existe evidencia de que, independientemente de la formación musical, la edad, o las características personales de los individuos, el rango entre 100 y 120 bpm (600 ms) pareciera ser común para todos. Este hecho es de algún modo sintetizado en

el trabajo de Drake y Bertrand (2001), el cual muestra que tanto músicos como no músicos se centran en el valor 600 ms, aunque los primeros presentan un mayor rango de flexibilidad de tempo óptimo (Drake y Botte, 1993). Asimismo, cuando se comparan niños de edades comprendidas entre 4 y 10 años, también se encuentra la misma zona de tempo óptimo, aunque el rango aumenta con la edad (Drake, Jones y Baruch, 2000). Adicionalmente, los bebés de dos meses de edad muestran una reacción a la novedad solo por el rango de 600 ms, demostrando la misma zona óptima desde la primera infancia (Baruch y Drake, 1997).

Independientemente de las similitudes en el rango de tempo óptimo para el procesamiento rítmico, también existe un importante cuerpo de investigación que muestra diferencias relacionadas con las etapas de desarrollo de los niños. Por ejemplo, Walters (1983) encontró que el tempo personal en estudiantes de jardín a tercer año de primaria (entre 5 y 9 años) varió de 40 a 210 pulsaciones por minuto. Otros resultados indican que las personas varían en el tempo que sincronizan con la música, y que su velocidad preferida es aquella relacionada con su pulso espontáneo. En este sentido, los niños tienen más éxito en las tareas rítmicas cuando estas tienen un tempo más próximo a su tempo personal espontáneo (Drake et al., 2000). Otros trabajos indicaron que los *tempi* más lentos, en general, eran más difíciles que los tempos rápidos para los estudiantes (Abril, 2011) y que la capacidad de sincronizar con otros en un determinado pulso está relacionada con las diferencias individuales relativas a la capacidad de anticipar un ritmo regular (Pecenka y Keller, 2011). Además, las habilidades de anticipación y ajuste predicen el éxito de la sincronización de forma independiente y en interacción (Mills, Van derSteen, Schultz y Keller, 2015).

En relación con las edades específicas de los niños, se ha planteado que alrededor del año o un año y medio, durante los primeros cantos, el pulso se mantiene constante dentro

de las frases; sin embargo, a medida que el niño crece, la regularidad del pulso se extiende durante períodos de tiempo cada vez más largos (Dowling, 1984). A partir de los tres años, los niños pueden seguir un metrónomo con intervalos de 400 a 600 ms o pulso a velocidad entre 100 y 150 bpm impactando una vez por cada pulso, aunque no necesariamente con sincronización óptima. Ya a los 7, casi todos los niños son capaces de conservar un pulso de manera destacada, y se da una tendencia de que, cuanto mayor es el niño, posee mayor precisión y conservación de la pulsación rítmica (Fraisse, 1976).

Recientemente, algunos hallazgos de investigación muestran la interesante novedad de que los niños pequeños tienen un tempo preferido más rápido que los adultos, correspondiente a 140-150 bpm (400 ms aproximadamente) y 100 bpm (600 ms aproximadamente), respectivamente (Corrigall y Schellenberg, 2015; Drake et al., 2000; Eerola et al., 2006; Levitin et al., 2018). Estos hallazgos coinciden con resultados de investigación que indican consistentemente que el aumento en la edad se corresponde con la disminución en el pulso personal para la locomoción y movimientos sin desplazamiento (Abril, 2011; Drake et al., 2000; Walters, 1983). En definitiva, el tempo preferido de los niños va disminuyendo con la edad, y se evidencia además un incremento gradual en la sincronización con una mayor gama de tempos (lentos y rápidos) gracias a las mejoras en el procesamiento cognitivo, el control motor, la coordinación y la planificación (Drake et al., 2000).

Finalmente, parece existir consenso en torno a la gran importancia del pulso en el procesamiento individual y grupal de patrones rítmicos. Así, continúan vigentes las ideas planteadas hace casi 40 años atrás por Povel (1981) y Dowling y Harwood (1986), quienes señalan que los oyentes pueden recordar y reproducir los patrones rítmicos mucho más fácilmente si se introducen en relación con un pulso regular, y procesar las duraciones de eventos rítmicos e intervalos de tiempo

con mayor precisión cuando se encuentran contextualizadas dentro de un pulso constante. Estos autores sugirieron que el pulso constante es un marco cognitivo de referencia que sirve al oyente para estructurar correctamente el tiempo musical, contribuyendo a la orientación y sentido audio-espacial.

## Metro y acento

Junto al pulso, el metro es otro de los elementos musicales que sirve como marco de referencia para construir el ritmo. Las definiciones coinciden en señalar que el *metro* corresponde a un “conjunto de pulsos isócronos en el que se pueden percibir algunos pulsos más fuertes o marcados que otros” (London, 2001). La repetición regular de pulsaciones fuertes cada cierta cantidad de pulsos genera distintos tipos de metros (por ejemplo en un ritmo de vals, uno de cada tres pulsos es percibido como fuerte y a esto se le denomina “metro de  $\frac{3}{4}$ ”). Estos pulsos fuertes y débiles se organizan en niveles jerárquicos, con los niveles más lentos en la parte superior y niveles más rápidos en la parte inferior de la jerarquía (Largey Jones, 1999; Temperley, 2000). Se ha planteado que el metro es una de las percepciones iniciales que anticipa la posterior aparición de ritmos extraídos de la música (London, 2012), ya que el metro es una derivación del pulso, puesto que su percepción implica una sensación de pulso o un patrón de latidos a intervalos isócronos (Honing, 2013). Así, algunos modelos identifican el metro como el verdadero *tactus* en el cual es más natural acompañar con el pie (Thompson y Schellenberg, 2006).

Concretamente, en la música occidental las cifras métricas predominantes son aquellas que agrupan las pulsaciones de a dos, tres y cuatro (esta última agrupación es la más frecuente). Además, el primer tiempo de cada agrupación es considerado como el tiempo fuerte (Kotz et al., 2018).

La percepción de acentos es un componente importante dentro de la percepción rítmica,

puesto que permite que ciertos eventos, en una secuencia rítmica, se perciban más destacados que otros (Levitin et al., 2018), lo cual le otorga más peso o énfasis a un determinado pulso y, por lo tanto, más importancia o centralidad que los pulsos que se encuentran alrededor (Snyder, 2000). Aunque generalmente los acentos están asociados a la intensidad del sonido, estos pueden estar dados por múltiples factores que han sido claramente definidos y agrupados por Lerdahl y Jackendoff (1983) y, posteriormente, revisados por Snyder (2000). Estos autores señalan que existen tres tipos de acentos: 1) fenoménicos, que son todos aquellos que sobresalen de la superficie musical (puntos de ataque, *sforzando*, cambios repentinos de intensidad o timbre, notas largas y cambios armónicos); 2) estructurales, que están causados por puntos de gravedad armónicos o melódicos (por ejemplo, cambios de acordes, modulaciones armónicas, y cambios de tonalidad), y 3) métricos, que corresponde a cualquier pulso que sea fuerte de acuerdo a su contexto métrico.

Considerando el procesamiento rítmico jerarquizado en torno a las agrupaciones en niveles más pequeños y más grandes con respecto al pulso de referencia (dos, tres o cuatro pulsos generalmente), los acentos métricos parecen adquirir mayor importancia que los acentos fenoménicos y estructurales. Esta relación se encuentra, por ejemplo, cuando a las personas se les presentan sonidos regulares isócronos con la misma intensidad y dividen subjetivamente estos eventos en grupos recurrentes de dos o tres (Fraisse, 1982), o cuando escuchan secuencias tonales isócronas con una misma altura y perciben espontáneamente algunos tonos acentuados (Brochard, Abecasis, Potter, Ragot y Drake, 2003). Estos principios son explicados y desarrollados ampliamente por la Teoría Generativa de la Música Tonal, consolidada por un gran número de investigaciones, y sugiere que el oyente organiza naturalmente las señales sonoras en estructuras grupales (motivos, temas, frases, períodos, etcétera). Además,

deduce instintivamente tiempos fuertes y débiles (Jackendoff y Lerdahl, 2006).

En referencia a cifras métricas particulares y su aparente facilidad de procesamiento, se sabe que los metros de la música occidental son dominados por la organización en múltiplos de dos y tres en cuanto a las pulsaciones que constituyen una unidad básica de medida y las subdivisiones de cada pulso (Patel, 2008). Por otra parte, se ha sugerido que existe un predominio perceptivo subjetivo de las agrupaciones binarias sobre las ternarias. Por ejemplo, un estudio pionero (Vos, 1978) mostró que los oyentes presentaban un sesgo en la audición de fragmentos rítmicos binarios, incluso cuando las secuencias eran ternarias. Este hallazgo coincide con Drake y Bertrand (2001), quienes propusieron la idea de un mejor procesamiento de las relaciones binarias en intervalos temporales con proporción 2:1 comparado con agrupaciones ternarias o más complejas. También coincide con algunos estudios que sugieren una ventaja para las relaciones binarias jerárquicas sobre las no binarias (Bergeson y Trehub, 2006; Drake, 1993; Gerry, Faux y Trainor, 2010). Del mismo modo, se ha dicho que los compases de 4/4 y 2/4 son fáciles para caminar, bailar o marchar, porque al ser números pares siempre el mismo pie golpea en el tiempo fuerte, no así con el 3/4 que es menos natural al caminar: “nunca verás a un equipo militar o una división de infantería en marcha a 3/4” (Levitin, 2006, p. 66).

Como ya se ha dicho, uno de los metros de más frecuente uso en la música occidental es el 4/4. Es quizás por este motivo que algunos estudios han descrito las características propias de este metro (Lerdahl y Jackendoff, 1983; Levitin, 2006; Snyder, 2000). Estos indican que existe una jerarquización de acentos métricos en cada compás, en la que el tiempo más fuerte es el primero, seguido por el tercero, luego el segundo y el cuarto, luego los contra-tiempos de corchea y, finalmente, el segundo y cuarto tiempo del grupo de cuatro semi-corcheas en cada pulso (Snyder, 2000). Esto

coincide con las expectativas de los oyentes, quienes esperan que los pulsos impares sean fuertes y que los pulsos pares sean débiles, ya que prefieren metros binarios comunes en la música occidental y coincidentes con las características del metro de 4/4 (Haumann, Vuust, Bertelsen y Garza-Villarreal, 2018). Adicionalmente, otras investigaciones señalan que la discriminación y reproducción del ritmo son mejores para los ritmos en un metro con subdivisión binaria del pulso, que para los ritmos en un metro con subdivisión ternaria del pulso (Bergeson y Trehub, 2006; Drake, 1993; Gerry et al., 2010). Esto último podría explicarse desde una perspectiva fisiológica por el caminar de la mujer embarazada, que otorga naturalmente un ritmo binario al nonato (Parncutt, 1994).

Los hallazgos expuestos hasta aquí llevan a pensar que la tendencia a las relaciones métricas binarias pareciera ser universal. Sin embargo, al considerar aspectos culturales, algunas investigaciones sugieren que esta tendencia podría estar relacionada con procesos de enculturación de las estructuras métricas occidentales, en lugar de un sesgo de procesamiento universal (Hannon y Trehub, 2005; Soley y Hannon, 2010). Por ejemplo, Yamamoto (1996) señala que las canciones infantiles basadas en metros triples (con división ternaria como 6/8) son extrañas en Japón, pero comunes en Gran Bretaña, y propone que esto se debe a las diferencias en el ritmo del habla entre ambos idiomas. Corrigal y Schelenberg (2015) plantean que en culturas no occidentales con otros sistemas musicales los metros complejos con características no isócronas son comunes, que contienen pulsos acentuados periódicamente, pero no con intervalos espaciados regularmente. Adicionalmente, ellos presentan hallazgos que sugieren que los bebés nacieron igualmente preparados para procesar cualquier tipo de metro y esa especialización perceptiva de los metros dada por aspectos culturales comienza durante el primer año de vida (Soley y Hannon, 2010). En síntesis, parece que los procesos de enculturación y eventualmente la



adquisición del lenguaje hacen que lo binario no sea universal. Sin embargo, en Occidente existe una tendencia hacia relaciones métricas binarias.

Más allá de la prevalencia binaria, el metro es importante para facilitar el procesamiento rítmico. Ya en la década de 1980 se planteaba que, así como las tonalidades y escalas son un marco referencial importante para la percepción del tono, el pulso y las estructuras métricas son facilitadores de la percepción temporal (Dowling y Harwood, 1986). Los oyentes son capaces de percibir y recordar los patrones rítmicos de manera mucho más eficiente cuando se presentan dentro de la estabilidad de un sistema métrico (Summers, Hawkins y Mayers, 1986). Además, el metro influye en la interpretación instrumental, puesto que una misma sucesión de notas es tocada de forma distinta dependiendo de la cifra métrica (Sloboda, 1983). Esto sugiere que la percepción del metro activa señales que ayudan a establecer un esquema mental temporal-acental por parte del intérprete (Patel, 2008).

Todos los hallazgos expuestos han sido respaldados sistemáticamente por estudios teóricos y empíricos que indican que la distinción del metro es fundamental para una correcta comprensión psicológica del ritmo, el movimiento y el lenguaje (Hauman et al., 2018; London 2012; McAuley, 2010; Patel, 2008). Por ejemplo, Wu, Westanmo, Zhou y Pan (2013) presentan hallazgos que indican que la discriminación y la reproducción del ritmo son mejores para los ritmos métricos que para los no métricos (Chen et al., 2008) debido a que la mayoría de los ritmos musicales, especialmente en la música occidental, tienen una estructura métrica jerárquica subyacente con múltiples niveles de periodicidad temporal (Grahn y Rowe, 2009; Iversen, Repp y Patel, 2009; Patel, Iversen, Chen y Repp, 2005; Zatorre, Chen y Penhune, 2007).

<sup>1</sup>En inglés, Snyder utiliza la expresión *listened forward to* para referirse al pulso acentuado (tiempo fuerte) que se repite cíclicamente. Este pulso acentuado es inferido por el oyente y, una vez establecido, tiende a permanecer de forma constante.

Además, es mejor para ritmos con métricas muy marcadas que al contrario (Chen et al., 2008; Drake, 1993; Grahn y Rowe, 2009; Patel et al., 2005).

En el contexto musical occidental, el metro de compás es una estructura que, por lo general, funciona como un marco referencial establecido previamente y no presenta mayores variaciones durante un fragmento musical. Esta característica otorga la posibilidad al oyente de anticiparse a cierta información musical, puesto que el cerebro constantemente predice a partir de la comparación entre el conocimiento procedente de los esquemas cognitivos del sujeto y la información sensorial real (Friston, 2005). En este sentido, se ha afirmado que la predicción y la anticipación juegan roles clave para la percepción de la música y, particularmente, el ritmo (Huron, 2006; Vuust y Witek, 2014).

La regularidad y la previsibilidad del metro hacen que los eventos rítmicos futuros se organicen y conformen un marco para la expectativa rítmica en la que el pulso principal o acentuado se “escucha hacia adelante”<sup>1</sup> (Snyder, 2000, p. 160); este proceso pareciera ser automático (Brochard et al., 2003). En este sentido, Haumann et al. (2018) muestran hallazgos en los que se señala que, ante la imposibilidad de escuchar acentos métricos regulares de una secuencia objetiva (una secuencia irregular, sincopada o no métrica por ejemplo), el oyente aún puede esperar ciertos acentos métricos como consecuencia de las expectativas adquiridas a través de los procesos de enculturación (Temperley, 2000). Adicionalmente, experimentos de comportamiento y electroencefalogramas muestran que los sonidos no acentuados se perciben de forma más inesperada cuando se ubican en posiciones métricas correspondientes a los pulsos principales o naturalmente acentuados (Brochard et al., 2003; Parncutt, 1994; Potter, Fenwick, Abecasis y Brochard, 2009).

En relación con la edad, estudios de la década de 1970 sugerían que la percepción métrica no se desarrolla hasta los 7 años y se estabiliza a los 9 años (Jones, 1976; Zenatti, 1976); sin embargo, hallazgos más recientes muestran que los niños de 5 años ya pueden mantener un metro dado (Gembris, 2002). Este aumento de las habilidades rítmicas podría explicarse, por una parte, por un proceso de enculturación acelerado debido a una influencia cada vez más fuerte y temprana de los medios de comunicación, y por otra, por la sofisticación de los instrumentos de medición aplicados (Gembris, 2002). Con todo, es sabido que el uso de organizaciones métricas jerárquicas aumenta con la edad, y es alrededor de los 7 años la edad en que los niños usan un pulso acentuado de referencia y un nivel jerárquico superior o inferior a dicho pulso (Drake, 1993).

Considerando las inclinaciones personales hacia un metro determinado y la edad en que estas se manifiestan, se ha sugerido que las preferencias pueden modificarse por el aprendizaje o la exposición a corto plazo a cifras métricas binarias o ternarias, incluso en fetos durante determinados períodos de su desarrollo intrauterino, por ejemplo a través del caminar de la madre, (Parncutt, 1994) y en bebés (Phillips-Silver y Trainor, 2005). Bergeson y Trehub (2006) encontraron que a los 9 meses se discriminan de mejor forma los ritmos binarios predominantes en la estructura musical occidental que los ritmos ternarios, quizás, más lejanos a las experiencias musicales previas de los bebés. Estos estudios fueron realizados a partir del movimiento de cabeza de los participantes, lo cual apunta hacia un acoplamiento sensorio-motor recíproco y apoya los hallazgos que sugieren que el acoplamiento de la música y el movimiento –sobre todo el movimiento de la cabeza– es esencial para el desarrollo de la percepción del metro (Demorest, 2015). En este sentido, la entrada vestibular, relacionada con el equilibrio, el control espacial e infor-

mante de la posición de la cabeza en relación con el suelo,<sup>2</sup> tiene un papel clave en la percepción del ritmo (Phillips-Silver y Trainor, 2008; Todd y Cody, 2000).

Sintetizando y relacionando los hallazgos presentados en esta revisión, se puede concluir que la interacción entre pulso y metro es fundamental para una comprensión adecuada de los patrones rítmicos. En el contexto occidental, los oyentes de todas las edades y culturas están constantemente expuestos a la música métrica, por lo que el metro se convierte en un contexto sumamente necesario para que la información rítmico-musical pueda organizarse.

## Conclusiones

El objetivo de este trabajo fue describir, sintetizar y relacionar hallazgos de investigación vinculados con el procesamiento cognitivo de cuatro aspectos rítmicos básicos (pulso, tempo, metro y acento) con el propósito de identificar los factores que facilitan el procesamiento de la información rítmica y que podrían repercutir en el mejoramiento del desarrollo musical en contextos educativos iniciales.

En relación con el pulso, parece existir consenso en que los seres humanos tienden a la isocronía y a la regularidad. La propensión humana a la isocronía encuentra explicación en aspectos biológicos, específicamente relacionados con el sistema nervioso (Fujii y Wan, 2014; Fujioka et al., 2012; Merchant et al., 2015). En este sentido, se ha especulado que existiría un sesgo cognitivo hacia la isocronía en la música (Fitch, 2017; Ravignani et al., 2017) y que este sesgo podría estar dado por procesos de enculturación (Jacoby y McDermott, 2017) o por aspectos biológicos (Bowling et al., 2017). Con todo, un aspecto fundamental en el procesamiento rítmico es la existencia de una regularidad o un pulso subyacente (Dowling y Harwood, 1986; Drake, 1998; Povel, 1981; Purwins et al., 2008). Esto lleva a pensar que

<sup>2</sup>El sistema vestibular es responsable de detectar el movimiento de la cabeza en el espacio y es crucial para el funcionamiento en el entorno, puesto que contribuye a la percepción espacial y a mantener una orientación corporal adecuada (Gdowski y McCrea, 1999).

posiblemente el uso de metrónomo, u otros elementos que marquen un pulso constante durante actividades de percepción y producción rítmica, facilitarían el aprendizaje de los elementos que componen el lenguaje rítmico y, por ende, el desarrollo musical del alumnado. Con todo, aún está por determinarse si es específicamente el metrónomo u otros mecanismos de marcación del pulso –como pueden ser algunos instrumentos musicales– los que favorecen el aprendizaje rítmico.

La velocidad del pulso denominada “tempo” es otro factor importante a considerar al momento de facilitar el procesamiento de estructuras rítmicas. El pulso preferido o espectro de tempo óptimo para todos, independientemente de la formación musical, la edad, u otras características personales (Drake y Bertrand, 2001), oscila entre 60 y 120 pulsos por minuto y se vincula específicamente con la medida de 100 pulsos por minuto o 600 ms (Fraise, 1982; Grahn y Brett, 2007; Parncutt, 1994; Repp, 2006; Van Noorden y Moelants, 1999). Estas medidas se asocian con el comportamiento sincronizado entre grupos de humanos primitivos (Levitin, Grahn y London, 2018), quienes evolutivamente han tenido la necesidad de llevar a cabo actividades comunitarias y colectivas. En relación con estos hallazgos y considerando que muchas de las actividades realizadas dentro del contexto musical escolar son grupales, se podría especular que el alumnado vería beneficiado su aprendizaje y mejorada su coordinación con el grupo al utilizar como referencia el rango de tempo descrito, especialmente la medida de 100 pulsos por minuto. Por otra parte, se ha señalado que los niños pequeños tendrían un tempo preferido más rápido que las personas adultas (Drake et al., 2000; Eerola et al., 2006) por lo que el profesorado debiera considerar la utilización de *tempi* diferenciados que se adecuen a la edad del alumnado, y hacer más rápido el tempo en niveles educativos menores. También debiera aumentarse el espectro de *tempi* utilizados en cursos superiores de enseñanza, puesto que el incremento en el desarrollo cognitivo y motor

permiten el rendimiento mejorado dentro de una mayor diversidad de tempos lentos y rápidos (Drake et al., 2000).

El metro es otro de los factores que influye fuertemente en el procesamiento del ritmo. Se ha planteado que la cifra de compás conforma un marco para la expectativa rítmica que anticipa el pulso central o acentuado, lo que permite la previsibilidad y organización de los eventos rítmicos futuros involucrados en un fragmento o pieza musical (London, 2012; Snyder, 2000). Este proceso parece ser automático (Brochard et al., 2003) y se explica porque el cerebro establece constantemente predicciones comparando la información anterior acumulada con el estímulo sensorial que percibe desde el exterior (Friston, 2005). Además, como consecuencia de las expectativas adquiridas por los procesos de enculturación, se evidencia una búsqueda por acentos métricos, incluso ante la audición de secuencias no métricas (Haumann et al., 2018; Temperley, 2000). Esta búsqueda natural de regularidades lleva a pensar que la utilización de cifras métricas durante actividades escolares de producción y percepción rítmica, independientemente de que el alumnado sepa que las está usando, beneficiaría el procesamiento rítmico y el aprendizaje musical. Esto de algún modo está respaldado por hallazgos que muestran que los oyentes perciben y recuerdan patrones rítmicos más eficientemente cuando estos se presentan dentro de un sistema métrico (Summers et al., 1986). Además, la reproducción del ritmo es mejor para los ritmos métricos que para los no métricos (Chen et al., 2008) y para los fuertemente métricos que para aquellos débilmente métricos (Chen et al., 2008; Drake, 1993; Grahn y Rowe, 2009; Patel et al., 2005). Con todo, es importante confirmar estos resultados empíricamente y en contextos escolares, puesto que, exceptuando el estudio de Drake (1993), los trabajos citados han sido realizados con personas adultas.

En relación con la edad, se ha señalado que los niños de 5 años ya son capaces de mantener un metro determinado (Gembris, 2002), lo cual no necesariamente implica que sean capaces de

representar la cifra métrica a través del lenguaje musical convencional (con una fracción). Esto plantea la necesidad de encontrar formas alternativas de representación del metro en contextos educativos infantiles y primarios, por ejemplo, a través de imágenes, gestos o expresión corporal. Además, en etapas de formación infantil y primaria, en las que la adquisición del lenguaje verbal y el control psicomotor aún están en proceso de maduración, el metro podría convertirse en un elemento propedéutico importante, dado que su discriminación es fundamental no solo para un procesamiento mejorado del ritmo, sino también para una correcta comprensión psicológica del movimiento corporal y del lenguaje verbal (Hauman et al., 2018; London, 2012; McAuley, 2010, Patel, 2008).

En la música occidental, existe un predominio de la organización en múltiplos de dos y tres (Patel, 2008), y las principales cifras métricas están agrupadas en dos, tres y cuatro pulsos; por su parte, el metro más frecuente parece ser el 4/4 (Kotz et al., 2018). Se ha propuesto una predisposición por parte de los oyentes hacia los metros binarios más que hacia los ternarios (Haumann, et al., 2018; Vos, 1978) y la existencia de un procesamiento mejorado para las relaciones binarias jerárquicas que para las ternarias o más complejas, con lo cual sería superior la discriminación y la reproducción para los ritmos en un metro con subdivisión binaria del pulso que para los ritmos en un metro con subdivisión ternaria del pulso (Bergeson y Trehub, 2006; Drake, 1993; Drake y Bertrand, 2001; Gerry et al., 2010; Gordon, 2012). Estos hallazgos llevan a sugerir al profesorado de Educación Inicial y/o Primaria que seleccione repertorio musical o actividades que contengan métricas binarias (acentuadas cada dos o cuatro pulsos), ya sea para desarrollar en el alumnado habilidades de producción (ejecutar un instrumento, cantar y otras semejantes) o percepción (discriminación auditiva de cualidades del sonido). Finalmente, una deficiencia dentro de la presente revisión se relaciona con la exposición insuficiente de

trabajos empíricos realizados en contextos escolares de formación primaria. Esto se debe, principalmente, a que se han encontrado escasos estudios implementados en aulas escolares, que aborden los procesos didácticos-musicales desde una perspectiva neurocognitiva. Futuros trabajos debieran apuntar a la realización de estudios empíricos que consoliden las teorías y hallazgos expuestos en esta revisión, y confirmen posibles relaciones causales vinculadas con la adquisición mejorada de aprendizajes rítmicos en la formación musical inicial.

Algunos interrogantes que surgen de la presente revisión y que aún quedan por resolver, son: ¿existen diferencias significativas en el rendimiento rítmico con la utilización de un metrónomo? ¿Se registran diferencias significativas en el rendimiento rítmico al utilizar otros elementos o mecanismos de marcación del pulso implementados por el profesorado? ¿Se debe considerar el tempo espontáneo o natural que posee cada estudiante para facilitar su procesamiento y práctica rítmica mejorada, a pesar de la existencia de un tempo óptimo para todas las personas? ¿Es la cifra métrica de 4/4 (que predomina en la música occidental) la que mayormente favorece el aprendizaje rítmico-musical en etapas iniciales? ¿En qué actividades y para qué elementos musicales favorecería el aprendizaje la cifra de 4/4? ¿Existen diferencias significativas en el logro de aprendizajes entre cifras métricas binarias, por ejemplo, al utilizar un metro de 2/4 en comparación con un 4/4?

## Referencias bibliográficas

- Alsina, P. (2006). *El área de educación musical. Propuestas para aplicar en el aula*. Barcelona: Graó.
- Abril, C.R. (2011). "Music, movement, and learning". En R.Collwell y P. Webster (Eds.), *MENC Handbook of Research on Music Learning, Applications* (pp. 92-129). New York: Oxford University Press.
- Baruch, C. y Drake, C. (1997). Tempo discrimination in infants. *Infant Behavior and Develop-*

- ment, 20(4), 573-577. [https://doi.org/10.1016/S0163-6383\(97\)90049-7](https://doi.org/10.1016/S0163-6383(97)90049-7)
- Bergeson, T. R. y Trehub, S. E. (2006). Infants' perception of rhythmic patterns. *Music Perception, 23*(4), 345-360. <https://doi.org/10.1525/mp.2006.23.4.345>
- Bowling, D. L., Hoeschele, M., Gill, K. Z. y Fitch, W. T. (2017). The nature and nurture of musical consonance. *Music Perception: An Interdisciplinary Journal, 35*(1), 118-121. <https://doi.org/10.1525/mp.2017.35.1.118>
- Brochard, R., Abecasis, D., Potter, D., Ragot, R. y Drake, C. (2003). The "Ticktock" of our internal clock. *Psychological Science, 14*(4), 362-366. <https://doi.org/10.1111/1467-9280.24441>
- Chen, J. L., Penhune, V. B. y Zatorre, R. J. (2008). Moving on time: Brain network for auditory-motor synchronization is modulated by rhythm complexity and musical training. *Journal of Cognitive Neuroscience, 20*(2), 226-239. <https://doi.org/10.1162/jocn.2008.20018>
- Chen, J. L., Zatorre, R. J. y Penhune, V. B. (2006). Interactions between auditory and dorsal premotor cortex during synchronization to musical rhythms. *Neuroimage, 32*(4), 1771-1781. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2006.04.207>
- Corrigall, K. A. y Schellenberg, E. G. (2015). "Music cognition in childhood". En G. McPherson (Ed.), *The child as musician* (pp. 81-101). Oxford: Oxford University Press.
- Demorest, S. M. (2015). "Biological and environmental factors in music cognition and learning". En R. Collwell y P. Webster (Eds.), *MENC Handbook of Research on Music Learning*: (pp. 173 - 215). Oxford: Oxford University Press.
- Dowling, W. J. (1984). Development of musical schemata in children's spontaneous singing. *Advances in Psychology, 19*, 145-163. [https://doi.org/10.1016/S0166-4115\(08\)62350-X](https://doi.org/10.1016/S0166-4115(08)62350-X)
- Dowling, W. J. y Harwood, D. L. (1986). *Music cognition*. San Diego: Academic Press.
- Drake, C. (1993). Reproduction of musical rhythms by children, adult musicians, and adult nonmusicians. *Perception & Psychophysics, 53*(1), 25-33. <https://doi.org/10.3758/BF03211712>
- Drake, C. (1998). Psychological processes involved in the temporal organization of complex auditory sequences: Universal and acquired processes. *Music Perception: An Interdisciplinary Journal, 16*(1), 11-26. <https://doi.org/10.2307/40285774>
- Drake, C. y Bertrand, D. (2001). The quest for universals in temporal processing in music. *Annals of the New York Academy of Sciences, 930*(1), 17-27. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.2001.tb05722.x>
- Drake, C. y Botte, M. (1993). Tempo sensitivity in auditory sequences: Evidence for a multiple-look model. *Perception & Psychophysics, 54*(3), 277-286. <https://doi.org/10.3758/BF03205262>
- Drake, C., Jones, M. R. y Baruch, C. (2000). The development of rhythmic attending in auditory sequences: Attunement, referent period, focal attending. *Cognition, 77*(3), 251-288. [https://doi.org/10.1016/S0010-0277\(00\)00106-2](https://doi.org/10.1016/S0010-0277(00)00106-2)
- Eerola, T., Luck, G. y Toiviainen, P. (2006). An investigation of pre-schoolers' corporeal synchronization with music. *Paper presented at the Proceedings of the 9th International Conference on Music Perception and Cognition*, 472-476. <https://bit.ly/2kLFdEI>
- Fitch, W. T. (2017). Cultural evolution: Lab-cultured musical universals. *Nature Human Behaviour, 1*(1), 1-2. <https://doi.org/10.1038/s41562-016-0018>
- Fraisse, P. (1976). *Psicología del ritmo*. Madrid: Morata.
- Fraisse, P. (1982). "Rhythm and tempo". En D. Deutsch (Ed.), *The Psychology of Music* (pp. 149-180). Orlando, FL: Academic Press.
- Friston, K. (2005). A theory of cortical responses. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences, 360*(1456), 815-836. <https://doi.org/10.1098/rstb.2005.1622>
- Fujii, S. y Wan, C. Y. (2014). The role of rhythm in speech and language rehabilitation: The SEP hypothesis. *Frontiers in Human Neuroscience, 8*, 1-15. <https://doi.org/10.3389/>

- fnhum.2014.00777
- Fujioka, T., Trainor, L. J., Large, E. W. y Ross, B. (2012). Internalized timing of isochronous sounds is represented in neuromagnetic beta oscillations. *The Journal of Neuroscience: The Official Journal of the Society for Neuroscience*, 32(5), 1791-1802. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.4107-11.2012>
- Gdowski, G. T. y McCrea, R. A. (1999). Integration of vestibular and head movement signals in the vestibular nuclei during whole-body rotation. *Journal of Neurophysiology*, 82(1), 436-449. <https://doi.org/full/10.1152/jn.1999.82.1.436>
- Gembris, H. (2002). The development of musical abilities. En R. Colwelly y C. Richardson (Eds.), *The new Handbook of Research on Music Learning* (pp. 487-508). Oxford: Oxford University Press.
- Gerry, D. W., Faux, A. L. y Trainor, L. J. (2010). Effects of kindermusik training on infants' rhythmic enculturation. *Developmental Science*, 13(3), 545-551. <https://doi.org/10.1111/j.1467-7687.2009.00912.x>
- Grahn, J. A. y Brett, M. (2007). Rhythm and beat perception in motor areas of the brain. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 19(5), 893-906. <https://doi.org/10.1162/jocn.2007.19.5.893>
- Grahn, J. A. y Rowe, J. B. (2009). Feeling the beat: Premotor and striatal interactions in musicians and nonmusicians during beat perception. *Journal of Neuroscience*, 29(23), 7540-7548. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.2018-08.2009>
- Hannon, E. y Trehub, S. (2005). Metrical categories in infancy and adulthood. *Psychological Science*, 16(1), 48-55. <https://doi.org/10.1111/j.0956-7976.2005.00779.x>
- Haumann, N. T., Vuust, P., Bertelsen, F. y Garza-Villarreal, E. A. (2018). Influence of musical enculturation on brain responses to metric deviants. *Frontiers in Neuroscience*, 12, 1-15. <https://doi.org/10.3389/fnins.2018.00218>
- Honing, H. (2013). Structure and interpretation of rhythm in music. En D. Deutsch (Ed.), *The Psychology of Music* (pp. 369-404). New York: Elsevier.
- Honing, H., Ladinig, O., Haden, G. P. y Winkler, I. (2009). Is beat induction innate or learned? *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1169(1), 93-96. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.2009.04761.x>
- Huron, D. (2006). *Sweet anticipation: Music and the psychology of expectation*. Massachusetts: MIT press.
- Iversen, J. R., Repp, B. H. y Patel, A. D. (2009). Top-down control of rhythm perception modulates early auditory responses. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1169(1), 58-73. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.2009.04579.x>
- Jackendoff, R. y Lerdahl, F. (2006). The capacity for music: What is it, and what's special about it? *Cognition: International Journal of Cognitive Science*, 100(1), 33-72. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2005.11.005>
- Jacoby, N. y McDermott, J. H. (2017). Integer ratio priors on musical rhythm revealed cross-culturally by iterated reproduction. *Current Biology*, 27(3), 359-370. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2016.12.031>
- Jones, M. R. (1976). Time, our lost dimension: Toward a new theory of perception, attention, and memory. *Psychological Review*, 83(5), 323-355. <http://doi.org/10.1037/0033-295X.83.5.323>
- Jones, M. R. (1987). Dynamic pattern structure in music: Recent theory and research. *Perception & Psychophysics*, 41(6), 621-634. <https://doi.org/10.3758/BF03210494>
- Jones, M. R. y Boltz, M. (1989). Dynamic attending and responses to time. *Psychological Review*, 96(3), 459-491. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.96.3.459>
- Jones, R. L. (1976). The development of the child's conception of meter in music. *Journal of Research in Music Education*, 24(3), 142-154. <https://doi.org/10.2307/3345157>
- Kotz, S. A., Ravignani, A. y Fitch, W. T. (2018). The evolution of rhythm processing. *Trends in Cognitive Sciences*, 22(10), 896-910. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2018.08.002>
- Large, E. W. y Jones, M. R. (1999a). The dynamics of attending: How people track time-varying events. *Psychological Review*, 106(1), 119-159.

- <https://doi.org/10.1037/0033-295X.106.1.119>
- Lerdahl, F. y Jackendoff, R. (1983). *A generative theory of tonal music*. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press.
- Levitin, D. J. (2006). *This is your brain on music*. New York, NY: Dutton.
- Levitin, D. J., Grahn, J. A. y London, J. (2018). The psychology of music: Rhythm and movement. *Annual Review of Psychology*, *69*(1), 51-75. <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-122216-011740>
- London, J. (2001). *Rhythm*. Grove Music Online. <https://bit.ly/3hUZnFt>
- London, J. (2012). *Hearing in time* (2. ed.). Oxford: Oxford University Press.
- McAuley, J. D. (2010). *Music perception: Springer handbook in auditory research (SHAR)*. New York, NY: Springer.
- McAuley, J. D., Henry, M. J. y Tkach, J. (2012). Tempo mediates the involvement of motor areas in beat perception. *Annals of the New York Academy of Sciences*, *1252*(1), 77-84. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.2011.06433.x>
- Merchant, H., Grahn, J., Trainor, L., Rohrmeier, M. y Fitch, W. T. (2015). Finding the beat: A neural perspective across humans and non-human primates. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, *370*(1664), 1-16. <https://doi.org/10.1098/rstb.2014.0093>
- Miendlarzewska, E. y Trost, W. (2014). How Musical Training Affects Cognitive Development: Rhythm, Reward and Other Modulating Variables. *Frontiers in Neuroscience*, *7*(8), 1-18. <https://doi.org/10.3389/fnins.2013.00279>
- Mills, P. F., van der Steen, M. C., Schultz, B. G. y Keller, P. E. (2015). Individual differences in temporal anticipation and adaptation during sensorimotor synchronization. *Timing & Time Perception*, *3*(1-2), 13-31. <https://doi.org/10.1163/22134468-03002040>
- Parncutt, R. (1994). A perceptual model of pulse salience and metrical accent in musical rhythms. *Music Perception: An Interdisciplinary Journal*, *11*(4), 409-464. <https://doi.org/10.2307/40285633>
- Patel, A. (2008). *Music, language, and the brain*. US: Oxford University Press.
- Patel, A., Iversen, J., Chen, Y. y Repp, B. (2005). The influence of metricality and modality on synchronization with a beat. *Experimental Brain Research*, *163*(2), 226-238. <https://doi.org/10.1007/s00221-004-2159-8>
- Pecenka, N. y Keller, P. (2011). The role of temporal prediction abilities in interpersonal sensorimotor synchronization. *Experimental Brain Research*, *211*(3), 505-515. <https://doi.org/10.1007/s00221-011-2616-0>
- Phillips-Silver, J. y Trainor, L. J. (2005). Feeling the beat: Movement influences infant rhythm perception. *Science*, *308*(5727), 1430-1430. <https://doi.org/10.1126/science.1110922>
- Phillips-Silver, J. y Trainor, L. J. (2007). Hearing what the body feels: Auditory encoding of rhythmic movement. *Cognition*, *105*, 533-546. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2006.11.006>
- Phillips-Silver, J. y Trainor, L. J. (2008). Vestibular influence on auditory metrical interpretation. *Brain and Cognition*, *67*(1), 94-102. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2007.11.007>
- Potter, D. D., Fenwick, M., Abecasis, D. y Brochard, R. (2009). Perceiving rhythm where none exists: Event-related potential (ERP) correlates of subjective accenting. *Cortex*, *45*(1), 103-109. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2008.01.004>
- Povel, D. (1981). Internal representation of simple temporal patterns. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *7*(1), 3-18. <https://doi.org/10.1037/0096-1523.7.1.3>
- Povel, D. y Essens, P. (1985). Perception of temporal patterns. *Music Perception: An Interdisciplinary Journal*, *2*(4), 411-440. <https://doi.org/10.2307/40285311>
- Purwins, H., Grachten, M., Herrera, P., Hazan, A., Marxer, R. y Serra, X. (2008). Computational models of music perception and cognition II: Domain-specific music processing. *Physics of Life Reviews*, *5*(3), 169-182. <https://doi.org/10.1016/j.pprev.2008.03.005>
- Ravignani, A., Delgado, T. y Kirby, S. (2017).

- Musical evolution in the lab exhibits rhythmic universals. *Nature Human Behaviour*, 1(1), 1-7. <https://doi.org/10.1038/s41562-016-0007>
- Ravignani, A. y Madison, G. (2017). The paradox of isochrony in the evolution of human rhythm. *Frontiers in Psychology*, 8, 1-13. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.01820>
- Repp, B. (2006). Rate limits of sensorimotor synchronization. *Advances in Cognitive Psychology*, 2(2), 163-181. <https://doi.org/10.2478/v10053-008-0053-9>
- Sloboda, J. A. (1983). The communication of musical metre in piano performance. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology Section A*, 35(2), 377-396. <https://doi.org/10.1080/14640748308402140>
- Snyder, B. (2000). *Music and memory: An introduction*. Cambridge: The MIT Press.
- Soley, G. y Hannon, E. E. (2010). Infants prefer the musical meter of their own culture. *Developmental Psychology*, 46(1), 286-292. <https://doi.org/10.1037/a0017555>
- Summers, J., Hawkins, S. y Mayers, H. (1986). Imitation and production of interval ratios. *Perception & Psychophysics*, 39(6), 437-444. <https://doi.org/10.3758/BF03207072>
- Tejada, J., Pérez, M. y García, R. (2010). Tactus: Didactic design and implementation of a pedagogically sound-based rhythm-training computer program. *Journal of Music, Technology & Education*, 3(2-3), 155-165. [https://doi.org/10.1386/jmte.3.2-3.155\\_1](https://doi.org/10.1386/jmte.3.2-3.155_1)
- Temperley, D. (2000). Meter and grouping in African music: A view from music theory. *Ethnomusicology*, 44(1), 65-96. <https://doi.org/10.2307/852655>
- Thompson, W. y Schellenberg, E. (2006). Listening to music. En R. Collwell, *MENC Handbook of Musical Cognition and Development* (pp. 72-123). Oxford: Oxford University Press.
- Todd, N. P. M. y Cody, F. W. (2000). Vestibular responses to loud dance music: A physiological basis of the “rock and roll threshold”? *The Journal of the Acoustical Society of America*, 107(1), 496-500. <https://doi.org/10.1121/1.428317>
- Van Noorden, L. y Moelants, D. (1999). Resonance in the perception of musical pulse. *Journal of New Music Research*, 28(1), 43-66. <https://doi.org/10.1076/jnmr.28.1.43.3122>
- Vos, P. G. (1978). *Identification of meter in music (internal report 78 ON 06)*. Nijmegen, The Netherlands: University of Nijmegen.
- Vuust, P. y Witek, M. A. G. (2014). Rhythmic complexity and predictive coding: A novel approach to modeling rhythm and meter perception in music. *Frontiers in Psychology*, 5, 1-14. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.01111>
- Walters, D. L. (1983). *The relations between personal tempo in primary-aged children and their ability to synchronize movement with music* (Unpublished doctoral dissertation). University of Michigan, Ann Arbor. <https://bit.ly/2miwk61>
- Wu, X., Westanmo, A., Zhou, L. y Pan, J. (2013). Serial binary interval ratios improve rhythm reproduction. *Frontiers in Psychology*, 4, 1-13. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2013.00512>
- Yamamoto, F. (1996). English speech rhythm studied in connection with British Traditional Music and dance. *The Journal of the College of Foreign Languages, Himeji Dokkyo University* 9, 224-243. <https://doi.org/110000511330>
- Zatorre, R. J., Chen, J. L. y Penhune, V. B. (2007). When the brain plays music: Auditory-motor interactions in music perception and production. *Nature Reviews Neuroscience*, 8(7), 547-558. <https://doi.org/10.1038/nrn2152>
- Zenatti, A. (1976). Jugement esthétique et perception de l'enfant, entre 4 et 10 ans, dans des épreuves rythmiques. *L'année Psychologique*, 76(1), 93-115. <https://doi.org/10.3406/psy.1976.28129>

Recibido: 25 de septiembre de 2019

Aceptado: 12 de febrero de 2021