

Diego Redolar-Ripoll

Universitat Oberta de Catalunya
dredolar@uoc.edu

Recepció: 16/03/2015, acceptació: 26/05/2015

Resumen: La música es un rasgo universal de la cultura humana. Ya el cerebro de los recién nacidos es capaz de responder a la música. Asimismo, se ha podido comprobar que los niños de cinco años son capaces de disfrutar bailando en sincronía con la música. En los adultos, por ejemplo, la música es una herramienta potente que puede influir en el estado de ánimo y es capaz de evocar diferentes tipos de emociones.

En este trabajo se revisan las diferentes posibilidades de cómo la producción y la percepción musical se crean a instancias del sistema nervioso. Diferentes estudios han propuesto que la interacción entre la corteza premotora y la corteza auditiva posterior son subyacentes a las representaciones cognitivas que resultan responsables de la incorporación de la información de retroacción que tiene lugar durante la percepción y la ejecución de la música.

Esta revisión esboza las principales investigaciones que muestran la potencialidad de estudiar el sistema nervioso de los músicos como un modelo de neuroplasticidad. Numerosos estudios de neuroimagen han mostrado las diferencias funcionales y anatómicas que se han detectado en personas con entrenamiento y formación musical. Algunos estudios han demostrado que las interacciones auditivo-motor son superiores en los músicos. Por otra parte, hoy en día sabemos que el rendimiento de la música es sensible a la edad en que comienza el entrenamiento.

Son necesarias más investigaciones para poder entender completamente las interacciones entre el sistema motor y el sistema auditivo en relación a la música, y la correspondencia de dichos sistemas con los mecanismos de plasticidad cerebral.

Palabras clave: Lenguaje musical, cerebro, córtex auditivo, córtex motor, aprendizaje, plasticidad cerebral.

Cervell i llenguatge musical

Resum: La música és un tret universal de la cultura humana. Ja el cervell dels nounats és capaç de respondre a la música. Així mateix, s'ha pogut comprovar que els nens de cinc anys són capaços de gaudir ballant en sincronia amb la música. En els adults, per exemple, la música és una eina potent que pot influir en l'estat d'ànim i és capaç d'evocar diferents tipus d'emocions.

En aquest treball es revisen les diferents possibilitats de com la producció i la percepció musical es creen a instàncies del sistema nerviós. Diferents estudis han proposat que la interacció entre l'escorça premotora i l'escorça auditiva posterior són subjacents a les representacions cognitives que resulten responsables de la incorporació de la informació de retroacció que té lloc durant la percepció i l'execució de la música.

Aquesta revisió esbossa les principals investigacions que mostren la potencialitat d'estudiar el sistema nerviós dels músics com un model de neuroplasticitat. Nombrosos

estudis de neuroimatge han apuntat les diferències funcionals i anatòmiques que s'han detectat en persones amb entrenament i formació musical. Alguns estudis han demostrat que les interaccions auditivomotrius són superiors en els músics. D'altra banda, avui dia sabem que el rendiment de la música és sensible a l'edat en què comença l'entrenament.

Són necessàries més investigacions per poder entendre completament les interaccions entre el sistema motor i el sistema auditiu pel que fa a la música, i la relació d'aquests sistemes amb els mecanismes de plasticitat cerebral.

Paraules clau: llenguatge musical, cervell, còrtex auditiu, còrtex motor, aprenentatge, plasticitat cerebral.

Brain and musical language

Abstract: Music is a universal trait of human culture. Newborns display brain responses to music and infants like dancing in synchrony with music. In adults, music influence moods and evoke strong emotions.

In this paper, I review the different possibilities for how music production and perception are instantiated in the nervous system. Different studies have proposed that interactions between premotor cortex and posterior auditory cortex are underlying the cognitive representations that are responsible for incorporating feedback and feedforward information during perception and performance.

This Review merely sketches the investigations that show the value of the musician's brain as a model of neuroplasticity. More than a few neuroimaging studies have shown the functional and anatomical differences that have been detected in people with musical training. Some studies have shown that auditory-motor interactions are superior in musicians. For another hand, we know that music performance is sensitive to the age at which training commences.

More research should be done to understand completely the interactions between motor and auditory systems regarding to the music, and the relationship of these systems and mechanisms of brain plasticity.

Key words: musical language, brain, auditory cortex, motor cortex, learning, brain plasticity.

1. LA MÚSICA, ¿ES UN DON DE LOS DIOSES?

Imaginémonos que nos encontramos en la ceremonia de apertura de los Juegos Olímpicos de Turín del 2006. Estamos escuchando la última actuación del ya fallecido Luciano Pavarotti, éste se encuentra cantando la aria del acto final de la ópera Turandot de Giacomo Puccini, el *Nessun dorma*. Esta aria es una composición musical pensada para una sola voz, que prosigue a la declaración de la princesa de que ninguna persona puede dormir hasta hallar el nombre del príncipe desconocido. Después de escucharla podemos pensar que la música es un don de los dioses que han tocado con su gracia a algunas personas y que nada tiene que ver con la práctica o con el trabajo duro. En contraposición a esta idea, el tarraconense Pau Casals (1876-1973), considerado uno de los mejores violonchelistas de todos los tiempos, casi a los cien años de edad, sorprendió con su respuesta a uno de sus alumnos que le planteó una cuestión acerca de su actividad como músico; cuando el alumno le preguntó: “Maestro, ¿por qué sigue practicando a estas alturas?”, el músico le respondió: “Porque estoy realizando progresos”.

Hoy sabemos que la práctica de una determinada acción puede poner en marcha cambios importantes en la reorganización de los mapas corticales. A mediados de los años noventa, el equipo de investigación de Taub demostró que personas adultas que se

dedicaban a tocar instrumentos de cuerda con los dedos presentaban un aumento considerable de la región de la corteza que respondía al contacto con los dedos, en comparación con los músicos dedicados a la práctica de otro tipo de instrumentos, por ejemplo los de viento (Elbert et al., 1995). ¿Puede una manifestación cultural como la música modificar la estructura del cerebro?

La música constituye una de las capacidades cognitivas más complejas que la mente humana puede llevar a cabo (Zatorre et al., 2007). Al contrario que otras actividades sensoriomotoras, la interpretación de la música requiere una temporización muy meticulosa de acciones organizadas jerárquicamente (Chen et al., 2006), así como un control muy preciso del intervalo de producción del tono (Schönwieserner y Zatorre, 2008), implementado mediante diversos efectores en función del instrumento utilizado (Chen et al., 2008b). Tanto si un niño pequeño canta *El patio de mi casa* o la famosa violinista Shaundra interpreta el *Concerto número 3* de Las cuatro estaciones de Antonio Vivaldi, los mecanismos neuronales implicados en la percepción y la producción de la música nos proporciona una fuente muy prolija de atrayentes aspectos en el estudio del funcionamiento del cerebro.

2. SENTIDOS Y MOVIMIENTO

En la música, las interacciones entre los sistemas motor y auditivo son de especial interés en tanto que cada acción destinada a la producción de un sonido influye en la siguiente acción, lo que permite una implicación sensoriomotora (Chen et al., 2005; Chen et al., 2008a). Cuando un músico toca un instrumento tiene lugar un determinado conjunto de cambios sensoriomotores, por ejemplo pensemos en el maestro gaditano Paco de Lucía cuando interpreta una pieza con su guitarra. Cuando este guitarrista flamenco andaluz, considerado uno de los mejores maestros de la guitarra de todos los tiempos, empieza a tocar su guitarra para interpretar uno de los movimientos –por ejemplo el adagio del *Concierto de Aranjuez* del compositor español Joaquín Rodrigo–, el sistema motor del cerebro controla los movimientos precisos necesarios para producir el sonido en los fragmentos del concierto resueltos con tranquilos arpeggios de guitarra. El sonido producido queda procesado por el sistema auditivo, el cual se utiliza para ajustar las órdenes motoras que se envían a los músculos encargados de hacer sonar la guitarra y se alcanza así el efecto deseado. Hoy en día, se cree que las señales que provienen de la corteza motora, pueden influir en la información que se procesa en la corteza auditiva, incluso en ausencia de sonido, o antes de que éste tenga lugar (Chen et al., 2008b). Además, las representaciones motoras se cree que se pueden activar, incluso en ausencia de movimiento, al escuchar el sonido (Chen et al., 2008a).

Todo esto nos indica que hay una compleja interacción entre los mecanismos sensoriales y los mecanismos de producción en lo que respecta a la música. Cuando Paco interpreta el *Adagio del Concierto de Aranjuez*, su ejecución requiere un control muy preciso de la temporización para poder seguir una estructura rítmica que resulta marcadamente jerárquica (el cronometraje del ritmo). Además, nuestro maestro gaditano debe controlar el tono para producir intervalos musicales específicos, que a pesar de ser críticos para la música, no lo son en el caso del lenguaje. De esta forma, podemos decir que la música implica unas demandas muy específicas y únicas para nuestro cerebro.

3. ‘HACER’ MÚSICA

Vamos a analizar qué sucede en los mecanismos de producción de la música. Cuando un músico interpreta una pieza, como mínimo necesita tres sistemas básicos de control motor: la temporización o cronometraje, la secuenciación y la organización espacial del

movimiento.

La temporización precisa de los movimientos se relaciona con la organización del ritmo musical, mientras que la secuenciación y los aspectos espaciales del movimiento se relacionan con la ejecución de notas individuales en el instrumento. Actuales trabajos con técnicas de neuroimagen parecen indicar que la temporización y cronometraje motor no se encuentran bajo el control de una única estructura cerebral, sino por un sistema formado por varias regiones que controlan parámetros específicos del movimiento y que dependen de la escala temporal de la secuencia rítmica (Zatorre et al., 2007). Por lo que se refiere a la temporización, la capacidad para proyectar la información temporal al movimiento se ha atribuido a un reloj neural o a un mecanismo de cronometraje, en el cual el tiempo se representa a través de pulsos u oscilaciones (Gavazzi et al., 2013; Wittmann, 2013). No obstante, también se ha sugerido que podría resultar de una propiedad emergente de la cinemática del propio movimiento (Mauk y Buonomano, 2004).

En relación a la secuenciación y a la organización espacial del movimiento, debemos tener presente que se trata de dos aspectos críticos del estudio de cómo regula el cerebro la ejecución de la interpretación musical. Cuando Paco de Lucía interpreta una pieza requiere de una secuenciación motora en relación a la ordenación de los movimientos individuales y una organización espacial muy precisa de los movimientos (Bangert et al., 2006; Chen et al., 2006).

4. MARCANDO EL RITMO

Otro aspecto importante es la percepción que el músico tiene del sonido mientras está tocando. Tal como especificábamos anteriormente, el sonido producido por un instrumento se procesa en la corteza auditiva y se utiliza para ajustar las órdenes motoras que se envían a los músculos encargados de hacer sonar el instrumento musical. Además del tono o la melodía de una canción, la música también depende del ritmo. Diferentes estudios han mostrado que el tono y el ritmo se pueden percibir de forma separada. No obstante, ambos interactúan para crear la percepción musical (Chen et al., 2008a; Johnsrude et al., 2000). Pacientes con daño cerebral pueden ser incapaces de procesar la melodía sin mostrar problemas con la percepción del ritmo, y lo mismo puede ocurrir en sentido contrario (Zatorre et al., 2007).

Tal como estamos viendo, la música es una fuente de ricas interacciones entre los sistemas auditivo y motor. ¿Podría el sistema auditivo influir de una forma predictiva sobre los componentes motores? Imaginemos que hace unos años tuvimos la magnífica oportunidad de asistir al Festival Internacional de Jazz de Montreal, donde pudimos ver tocar el piano al gigante del Jazz, Oscar Peterson. Cuando estábamos en plena actuación de Peterson, automáticamente nuestro pie izquierdo comenzó a moverse al son de la música, marcando con suaves golpes sobre el asfalto el ritmo trepidante que imprimía el pianista. ¿Quién no ha marcado con su pie el ritmo de una canción capaz de despertar una amalgama de emociones musicales? Esta capacidad de marcar a lo largo de un pulso repetitivo identificable se encuentra presente para muchos estilos de música. Se trata de un período de pulsos que suele coincidir con las sacudidas fuertes de la métrica del ritmo. Cuando en Montreal marcábamos el ritmo de la música de Peterson, anticipábamos los acentos del ritmo casi sin darnos cuenta.

Si al escuchar una pieza musical llena de ritmo nuestro sistema motor se pone en marcha (Haslinger et al., 2005; Husein y Knösche, 2001), es lógico pensar que la música podría ayudar a personas que presentan alteraciones del movimiento, por ejemplo en personas con la enfermedad de Parkinson. Las personas que padecen la enfermedad de

Parkinson presentan alteraciones motoras que incluyen rigidez de las extremidades y del cuello, enlentecimiento de los movimientos, presencia de temblor cuando se encuentran en reposo y mínimas expresiones faciales. Se ha podido comprobar que estímulos auditivos rítmicos podrían ayudar a mejorar la capacidad de andar en pacientes con esta enfermedad (McIntosh et al., 1997).

La música suele estructurarse rítmicamente en una jerarquía basada en la métrica. Esta estructura crea expectativas musicales que le permiten tanto al músico como a la persona que se deleita con la interpretación de éste llevar a cabo predicciones sobre aspectos futuros de esa estructura. La capacidad que tenemos de marcar el ritmo parece exclusiva de la música y constituye una conducta natural que puede darse en cualquier persona, sin necesidad de haber estudiado música en un conservatorio. Cuando nos encontrábamos delante del ya fallecido Oscar Peterson en el Festival Internacional de Jazz de Montreal, para poder marcar el ritmo de su música debíamos extraer la información temporal relevante de un estímulo auditivo muy complejo: la música. Con esta información, debíamos ser capaces de hacer las predicciones oportunas que posibilitaran la planificación y la ejecución de una secuencia de movimientos muy precisos en el tiempo: nuestros golpes de pie sobre el asfalto. Diferentes evidencias experimentales indican que las secuencias musicales son planificadas y ejecutadas en términos de una estructura métrica. La precisión temporal es esencial en la ejecución musical, pues es capaz de llevar la estructura métrica para crear expectativas musicales correctas.

5. RETROALIMENTÁNDOSE DE LA MÚSICA

¿Qué sucedería si se modificara la retroalimentación auditiva que recibe el sistema motor de un músico cuando interpreta una determinada pieza? Cuando la violinista Shaundra interpreta el *Concerto número 3* de Las cuatro estaciones de Antonio Vivaldi, el tono es variable y debe ser controlado de forma continua. Shaundra debe escuchar cada nota producida por su violín e implementar los ajustes motores de forma ajustada en el tiempo. Si pusiéramos unos cascos aislantes en las orejas de Shaundra para bloquear la retroalimentación auditiva, la violinista podría ejecutar correctamente el *Concerto*, no obstante los aspectos expresivos de su interpretación se verían notablemente afectados. Se ha podido comprobar que cuando se manipula experimentalmente la retroalimentación auditiva, introduciendo retrasos o distorsiones, la ejecución motora se ve significativamente alterada (Kilgard and Merzenich, 1998). Estos estudios sugieren que esas alteraciones ocurren dado que las acciones y percepciones dependen de una única representación mental. Autores como Zatorre y colaboradores de la Universidad McGill de Montreal sugieren que los circuitos que enlazan los sistemas auditivo y motor podrían constituir el sustrato neural de esta representación cognitiva (Zatorre et al., 2007). Por otro lado, se ha estudiado la actividad cerebral que muestran pianistas profesionales cuando escuchan piezas musicales que les resultan familiares y cuando ellos las interpretaban al piano. Estos trabajos analizaban la actividad que mostraba el cerebro de los pianistas cuando escuchaban las piezas y no llevaban a cabo ningún tipo de movimiento con las manos y cuando las interpretaban y no recibían retroalimentación auditiva. Los resultados han mostrado que las regiones cerebrales que se activan en ambas condiciones se solapaban (Bargert et al., 2006). Otros trabajos han observado que cuando pianistas profesionales escuchan melodías que conocen se activa su corteza motora, mientras que cuando observan a alguien tocar el piano lo hace su corteza auditiva (Haslinger et al., 2005).

6. ENTRENANDO AL CEREBRO PARA LA MÚSICA

¿Modifica el entrenamiento musical la estructura del cerebro? Antes de contestar esta pregunta directamente vamos a analizar algunos trabajos pioneros en este campo. En los años noventa, Jenkins y colaboradores analizaron la corteza de monos adultos (Jenkins et al., 1990). Estos autores utilizaron la tarea de un rotor de persecución para entrenar a los primates en una habilidad sensomotora específica. Esta tarea consistía en apuntar un disco giratorio con la punta de un dedo. La ejecución correcta de la tarea se encontraba reforzada con la administración de un premio para el animal: un plátano. Para ganarse el plátano, los monos debían tocar el disco sólo ejerciendo la presión adecuada con la punta del dedo. Una presión mayor o menor de la demandada por los investigadores acarrearía la pérdida del refuerzo. De esta forma, lo que Jenkins y colaboradores estaban enseñando a los monos era una habilidad sensomotora muy fina. Llevaron a cabo cientos de ensayos con los animales. Una vez acabado todo el período de entrenamiento, volvieron a analizar su corteza. La sorpresa fue que el área que se correspondía con la punta del dedo en la corteza había aumentado a medida que los sujetos experimentales comenzaban a presentar la habilidad de presionar el disco sólo con una determinada presión. Así mismo, estos investigadores mostraron que el refuerzo tenía un papel crítico en la facilitación del aprendizaje de la tarea. Si el mono estaba motivado para llevar a cabo correctamente la tarea, debido a que recibiría el plátano, su sistema nervioso se comportaba de una manera más plástica y así facilitaba la reorganización de las conexiones neuronales y aumentaba la efectividad de la comunicación entre las neuronas que procesaban la información del dedo. Con este trabajo se pusieron de manifiesto dos propiedades subyacentes a los mecanismos de plasticidad neural: por un lado la eficiencia de las conexiones y por otro lado la selectividad neuronal. Jenkins y sus colaboradores se dieron cuenta de que, a medida que los monos se entrenaban en esta tarea, la representación de la punta del dedo en la corteza se iba haciendo cada vez mayor. No obstante, después de un tiempo aumentaba en gran medida la efectividad de las neuronas, lo cual implicaba que se necesitaba un menor número de ellas para llevar a cabo el mismo trabajo. A medida que se practicaba la habilidad, las neuronas se volvían más selectivas y aumentaban la precisión de la función. Al principio del experimento, cuando un mono tocaba el disco con el dedo, una neurona recogía información de una región concreta de la punta del dedo (es lo que se denomina 'el campo receptor de una neurona', es decir, qué zona abarca de nuestro cuerpo para recibir la información). A medida que practicaba la tarea, la información de esa región era recogida por más de una neurona, lo cual aumentaba la precisión del sentido del tacto. Los campos receptores de las neuronas se hacían más pequeños, pese a que el tamaño de la representación de la punta del dedo en la corteza aumentaba.

Esta plasticidad puede aplicarse directamente a la música (Watanabe et al., 2007). Si una persona empieza a aprender a tocar un instrumento, a medida que practica su ejecución se producirá una serie de cambios en su sistema nervioso. Conductualmente también se dan una serie de modificaciones que podemos ir observando en función de la práctica del instrumento. Imaginemos un niño que empieza a estudiar música en el conservatorio y escoge el piano como el instrumento en el que le gustaría especializarse. En un principio, al tocar las notas musicales, el niño utiliza los dedos pero también las muñecas, los brazos, los antebrazos y los hombros. Incluso la ejecución puede ir acompañada de ciertas expresiones faciales. Conforme va adquiriendo práctica, el novel músico comienza a desprenderse de los movimientos y gestos superfluos y se centra tan sólo en los músculos que necesariamente han de acompañar su ejecución. Por último logra utilizar únicamente los dedos específicos para interpretar cada nota. Algo parecido

sucede con la destreza deportiva. Cuando nos iniciamos, por ejemplo, en la práctica del esquí, primero intentamos mantenernos sobre las tablas usando los pies, espinillas, rodillas y muslos. Incluso se intentan complejos giros del torso para intentar cambiar la dirección de los esquís o para mantenernos erguidos sobre el plano. Al final de cada una de las primeras jornadas de práctica del esquí, es bastante frecuente toparnos con un desagradable dolor en las rodillas. Se fuerzan las articulaciones debido a que estamos utilizando partes de nuestro cuerpo que no aportan el componente sensomotor crítico para una buena ejecución. A medida que vamos entrenando, la mejora de nuestros movimientos se hace patente, para terminar casi exclusivamente dependiendo de la posición de los pies para poder realizar un buen descenso.

Además de la eficiencia, la selectividad y la precisión que produce el entrenamiento sobre nuestros circuitos neurales, es lógico pensar que la velocidad de procesamiento de la información fuera otro de los parámetros sometidos a los mecanismos de plasticidad cerebral. Experimentos llevados a cabo en el laboratorio de Merzenich pusieron de manifiesto que las neuronas que se tornaban más eficientes debido al entrenamiento presentaban un tiempo de procesamiento de la información óptimo (Kilgard y Merzenich, 1998a, 1998b). Para llegar a esta conclusión, estos investigadores utilizaron una tarea de discriminación auditiva en primates no humanos. Se trataba de enseñar a los monos a identificar sonidos en tiempos progresivamente inferiores. Al analizar las neuronas individuales de las cortezas de los monos, observaron que a medida que las neuronas se entrenaban, se activaban de forma más rápida ante los sonidos, llevaban a cabo el procesamiento de la información en un intervalo más corto y requerían menos tiempo para poder volverse a activar en presencia de nuevos sonidos. Además, las células más rápidas normalmente eran más susceptibles a responder de forma sincronizada y a formar agrupaciones neuronales para poner en marcha señales conjuntas de una forma consistente y sin margen de error. Asimismo, estos autores mostraron que los cambios plásticos, fruto del entrenamiento, que podían persistir en el tiempo eran los que habían tenido lugar cuando el animal prestaba atención. Si se ejercitaba a un mono en una tarea de entrenamiento en la que no tenía que prestar atención, había cambios pero no perduraban a largo plazo.

Diferentes técnicas de neuroimagen han mostrado la existencia de cambios estructurales en el cerebro humano que coinciden, y probablemente son subyacentes, con diferentes capacidades cognitivas especializadas, entre ellas la música (Giroux et al., 2001). El entrenamiento musical parece asociarse con características diferenciales tanto en las regiones auditivas como en las motoras del cerebro (Bengtsson et al., 2005; Bermudez y Zatorre, 2005; Bermudez et al., 2008; Blood and Zatorre, 2001; Schlaug et al., 1995). En relación a los sistemas auditivos, se ha podido comprobar que los músicos profesionales presentan un mayor volumen en la corteza auditiva, en comparación con personas que no tocan instrumentos ni han estudiado música (Schneider et al., 2002). Además, este hallazgo correlaciona con la capacidad que muestran los sujetos en la percepción del tono (Schönwieserner y Zatorre, 2008). Por lo que se refiere a los sistemas motores, se ha puesto de manifiesto que los músicos presentan más concentración de sustancia gris en la corteza motora (Bermudez y Zatorre, 2005). Estos datos son consistentes con los experimentos de Elbert y colaboradores que mostraban que los músicos expertos en tocar instrumentos de cuerda presentan unas representaciones corticales más amplias de los dígitos de la mano izquierda (Elbert et al., 1995). Este efecto correlacionaba con la edad en la que el músico comenzó su entrenamiento musical: aquellos que llevaban más años practicando presentaban mayores representaciones de los dedos en la corteza (Watanabe et al., 2007). De igual forma, a mediados de los años noventa, Schlaug y colaboradores mostraron que los músicos profesionales presentaban

una mayor densidad de las conexiones que comunican los dos hemisferios cerebrales (Schlaug et al., 1995).

7. ¿QUÉ FUE ANTES EL HUEVO O LA GALLINA?

Todos los trabajos comentados en el apartado anterior parecen indicar que el cerebro de los músicos difiere estructuralmente del cerebro de las personas que no tocan instrumento alguno. Esas diferencias podrían estar relacionadas con cuándo empieza el entrenamiento musical en los músicos y/o con la cantidad de entrenamiento que reciben. No obstante, lo que debemos preguntarnos es si esas diferencias estructurales se deben exclusivamente al entrenamiento musical, o bien si podrían deberse a diferencias preexistentes en las capacidades motoras o auditivas que predispusieran a los sujetos a interesarse por la música y a recibir el entrenamiento. ¿Qué fue antes el huevo o la gallina?

Desde un punto de vista funcional, distintas investigaciones han puesto de manifiesto que los músicos profesionales muestran unos niveles de actividad más bajos en las regiones motoras del cerebro, en comparación con sujetos controles, durante la ejecución de tareas simples motoras (Haslinger et al., 2005). Estos datos sugieren que los músicos presentan un patrón más eficiente de utilización de su cerebro para llevar a cabo este tipo de tareas. Siguiendo la línea del pensamiento de Pau Casals, va quedando claro, por lo expuesto hasta el momento, que para progresar se ha de practicar. Llegados a este punto, es necesario plantearse una serie de cuestiones que podrían resultar muy interesantes: ¿toda la práctica tiene que ser real para producir los cambios plásticos en el cerebro?, ¿no podríamos practicar mentalmente? Para contestar a estas cuestiones, el equipo de investigación del valenciano Álvaro Pascual-Leone, profesor de neurología de la Escuela Médica de Harvard, diseñó un curioso experimento (Pascual-Leone et al., 1995). Estos investigadores ejercitaron a un grupo de personas para que llevaran a cabo una tarea de práctica con el piano. Ninguno de los sujetos del experimento tenía conocimientos de interpretación musical con este instrumento, así que les instruyeron en la interpretación de una secuencia concreta de notas musicales, indicándoles qué movimientos debían realizar con sus dedos e instándoles a prestar atención a las notas que interpretaban. Los sujetos experimentales fueron asignados aleatoriamente a una de dos posibles condiciones: un grupo de sujetos interpretó en un piano la secuencia de notas durante cinco días, practicando dos horas diarias, y el otro grupo estuvo el mismo tiempo sentado delante del piano pero en lugar de interpretar la secuencia se imaginaba que tocaba el instrumento. Todos los días que duró la práctica (real para unos e imaginada para otros) se analizó la corteza de ambos grupos antes, durante y al finalizar la sesión. Al finalizar el entrenamiento, los sujetos de ambos grupos debían interpretar la secuencia, mientras un programa informático analizaba la calidad de su ejecución musical. El equipo de Pascual-Leone mostró que hubo una mejora en la precisión de las interpretaciones de ambos grupos y que en ambos casos se dio una reorganización de la corteza cerebral. No obstante, el grado de mejora se mostró superior en el grupo de práctica real. Lo realmente sorprendente fue que los sujetos que habían llevado a cabo la práctica imaginada podían ponerse al mismo nivel que los sujetos que se habían entrenado tocando físicamente el piano. Para ello tan sólo necesitaban una única sesión de dos horas interpretando físicamente en el piano la secuencia de notas. Este hallazgo pone de manifiesto que la práctica imaginada de una habilidad determinada, como es la interpretación de una secuencia de notas musicales en el piano, puede resultar tan efectiva como la práctica real, para adquirirla y para mejorar en la precisión de su propia ejecución.

8. REFERÈNCIES BIBLIOGRÀFIQUES

- BANGERT, MARC; PESCHEL, THOMAS; SCHLAUG, GOTTFRIED; ROTTE, MICHAEL; DRESCHER, DIETER; HINRICHS, HERMANN; HEINZE, HANS-JOCHEN; ALTENMÜLLER, ECKART (2006). «Shared networks for auditory and motor processing in professional pianists: evidence from fMRI conjunction». *Neuroimage*, 30(3), 917-26.
- BAUMANN, SIMON; KOENEKE, SUSAN; MEYER, MARTIN; LUTZ, KAI; JÄNCKE, LUTZ (2005). «A network for sensory-motor integration: what happens in the auditory cortex during piano playing without acoustic feedback?». *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1060, 186-188.
- BENGTSSON, SARA L.; NAGY, ZOLTÁN; SKARE, STEFAN; FORSMAN, LEA; FORSSBERG, HANS; ULLÉN, FREDRIK (2005). «Extensive piano practicing has regionally specific effects on white matter development». *Nature Neuroscience*, 8(9), 1148-1150.
- BERMUDEZ, PATRICK; LERCH, JASON P.; EVANS, ALAN C.; ZATORRE, ROBERT J. (2008). «Neuroanatomical Correlates of Musicianship as Revealed by Cortical Thickness and Voxel-Based Morphometry». *Cerebral Cortex*, 19(7), 1583-1596.
- BERMUDEZ, PATRICK; ZATORRE, ROBERT J. (2005). «Differences in gray matter between musicians and nonmusicians». *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1060, 395-399.
- BLOOD, ANNE J.; ZATORRE, ROBERT J. (2001). «Intensely pleasurable responses to music correlate with activity in brain regions implicated in reward and emotion». *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 98(20), 11818-11823.
- CHEN, JOYCE L.; PENHUNE, VIRGINIA B.; ZATORRE, ROBERT J. (2005). «Tapping in synchrony to auditory rhythms: effect of temporal structure on behavior and neural activity». *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1060, 400-403.
- (2008a). «Listening to musical rhythms recruits motor regions of the brain». *Cerebral Cortex*, 18(12), 2844-2854.
- (2008b). «Moving on time: brain network for auditory-motor synchronization is modulated by rhythm complexity and musical training». *Journal Cognitive Neuroscience*, 20(2), 226-39.
- (2006). «Interactions between auditory and dorsal premotor cortex during synchronization to musical rhythms». *Neuroimage*, 32(4), 1771-1781.
- ELBERT, THOMAS; PANTEV, CHRISTO; WIENBRUCH, CHRISTIAN; ROCKSTROH, BRIGITTE; TAUB, EDWARD (1995). «Increased cortical representation of the fingers of the left hand in string players». *Science*, 270(5234), 305-307.
- GAVAZZI, GIOELE; BISIO, AMBRA; POZZO, THIERRY (2013). «Time perception of visual motion is tuned by the motor representation of human actions». *Scientific Reports*, 3, 1168.
- GIRAUX, PASCAL; SIRIGU, ANGELA; SCHNEIDER, FABIEN; DUBERNARD, JEAN-MICHAEL (2001). «Cortical reorganization in motor cortex after graft of both hands». *Nature Neuroscience*, 4(7), 691-692.
- HASLINGER, B.; ERHARD, P.; ALTENMÜLLER, E.; SCHROEDER, U.; BOECKER, H.; CEBALLOS-BAUMANN, A. (2005). «Transmodal sensorimotor networks during action observation in professional pianists». *Journal Cognitive Neuroscience*, 17(2), 282-293.
- HAUEISEN, JENS; KNÖSCHE, THOMAS R. (2001). «Involuntary motor activity in pianists evoked by music perception». *Journal Cognitive Neuroscience*, 13(6), 786-792.

IVRY, RICHARD B.; SPENCER, REBECCA MC. (2004). «The neural representation of time». *Current Opinion in Neurobiology*, 14, 225–232.

JENKINS, WILLIAM M.; MERZENICH, MICHAEL M.; OCHS, MARLENE T.; ALLARD, TERRY; GUÍC-ROBLES, ELIANA (1990). «Functional reorganization of primary somatosensory cortex in adult owl monkeys after behaviorally controlled tactile stimulation». *Journal of Neurophysiology*, 63(1), 82-104.

JOHNSRUDE, INGRID S.; PENHUNE, VIRGINIA B.; ZATORRE, ROBERT J. (2000). «Functional specificity in the right human auditory cortex for perceiving pitch direction». *Brain*, 123 (Pt 1), 155-163.

KILGARD, MICHAEL P.; MERZENICH, MICHAEL M. (1998a). «Cortical map reorganization enabled by nucleus basalis activity». *Science*, 279(5357), 1714-1718.

— (1998b). «Plasticity of temporal information processing in the primary auditory cortex». *Nature Neuroscience*, 1(8), 727-731.

MAUK, MICHAEL D.; BUONOMANO, DEAN V. (2004). «The neural basis of temporal processing». *The Annual Reviews Neuroscience*, 27, 307–340.

MCINTOSH, GERALD C.; BROWN, SUSAN H.; RICE, RUTH R.; THAUT, MICHAEL H. (1997). «Rhythmic auditory-motor facilitation of gait patterns in patients with Parkinson's disease». *Journal of Neurology, Neurosurgery and Psychiatry*, 62, 22–26.

PASCUAL-LEONE, A.; Nguyet, D.; COHEN, L.G.; BRASIL-NETO, J.P.; CAMMAROTA, A.; HALLETT, M. (1995). «Modulation of muscle responses evoked by transcranial magnetic stimulation during the acquisition of new fine motor skills». *Journal of Neurophysiology*, 74(3), 1037-1045.

PASCUAL-LEONE, ALVARO; WASSERMANN, ERIC M.; SADATO, NORIHIRO; HALLETT, MARK (1995). «The role of reading activity on the modulation of motor cortical outputs to the reading hand in Braille readers». *Annals of Neurology*, 38(6), 910-915.

SCHLAUG, GOTTFRIED; JÄNCKE, LUTZ; HUANG, YANXIONG; STAIGER, JOCHEN F.; STEINMETZ, HELMHUTH (1995). «Increased corpus callosum size in musicians». *Neuropsychologia*, 33(8), 1047-1055.

SCHNEIDER, P.; SCHERG, M.; DOSCH, H.G.; SPECHT, H.J.; GUTSCHALK, A.; RUPP, A. (2002). «Morphology of Heschl's gyrus reflects enhanced activation in the auditory cortex of musicians». *Nature Neuroscience*, 5(7), 688-694.

SCHÖNWIESNER, MARC; ZATORRE, ROBERT J. (2008). «Depth electrode recordings show double dissociation between pitch processing in lateral Heschl's gyrus and sound onset processing in medial Heschl's gyrus». *Experimental Brain Research*, 187(1), 97-105.

WATANABE, DONALD; SAVION-LEMIEUX, Tal; PENHUNE, VIRGINIA B. (2007). «The effect of early musical training on adult motor performance: evidence for a sensitive period in motor learning». *Experimental Brain Research*, 176(2), 332-340.

WITTMANN, MARC (2013). «The inner sense of time: how the brain creates a representation of duration». *Nature Reviews Neuroscience*, 14(3), 217-23.

ZARATE, JEAN MARY; ZATORRE, ROBERT J. (2008). «Experience-dependent neural substrates involved in vocal pitch regulation during singing». *Neuroimage*, 40(4), 1871-1887.

ZATORRE, ROBERT J.; CHEN, JOYCE L.; PENHUNE, VIRGINIA B. (2007). «When the brain plays music: auditory-motor interactions in music perception and production». *Nature Reviews Neuroscience*, 8(7), 547-558.