

NEURONAS ESPEJO Y LA REPRESENTACIÓN DE LA BOCA Y DE LA MANO

Sara de los Ríos Pérez
Estefanía Fuentes Jiménez
Noelia Avecilla
Héctor Ruiz Díaz

1. Introducción

Este trabajo trata sobre el papel de la representación del cuerpo en el cerebro. Y para ello, hace falta conocer la relación entre el sistema motor y un grupo de neuronas llamadas neuronas espejo.

Se denominan **neuronas espejo** a una cierta clase de neuronas que se activan cuando un animal o persona desarrolla la misma actividad que está observando ejecutar por otro individuo, especialmente un congénere.

Estas neuronas tienen un importante papel en algunas actitudes relacionadas con el comportamiento social, como por ejemplo la empatía y la imitación. Por esto, algunos científicos consideran que las neuronas espejo es uno de los descubrimientos más importante de los últimos tiempos.

Las neuronas espejo fueron descubiertas a través de estudios de mapas pragmáticos en el cerebro. Un mapa pragmático es un circuito que une áreas particulares del lóbulo parietal con áreas particulares del lóbulo frontal. Estos mapas controlan diversos movimientos corporales. Su función es así: cuando nos preparamos para ejecutar un movimiento dirigido a una meta, como mirar a alguien (mapa ocular), coger una taza (mapa manual) o alcanzar un objeto (mapa de la acción del brazo), las neuronas en el mapa pragmático correspondiente se activan, antes de la acción (preparación de la acción). De manera que, dirigir la atención hacia un lugar u objeto produce la preparación de un programa motor específico para mirar, alcanzar o coger ese objeto. La conclusión es que la atención espacial produce la activación de los circuitos «pragmáticos» que programan las actividades motoras. Atender a un punto del espacio es programar acciones sobre él (Gómez y cols., 2006).

Para comprender completamente cómo un sujeto interacciona con los elementos de su entorno a través de los movimientos, se hace a través de la teoría premotora. Las representaciones de la mano y de la boca (miembros más relevantes del ser humano) en cerebros de animales se hallan en una zona denominada F5, la que corresponde en humanos al área de Broca. Todo esto corresponde a la planificación de la acción. De esta manera, el lóbulo parietal es el que aporta la información de “Dónde”, y el lóbulo frontal la información del “Cómo”. Por tanto, el parietal establece la información espacial, y el frontal se ocupa de la acción.

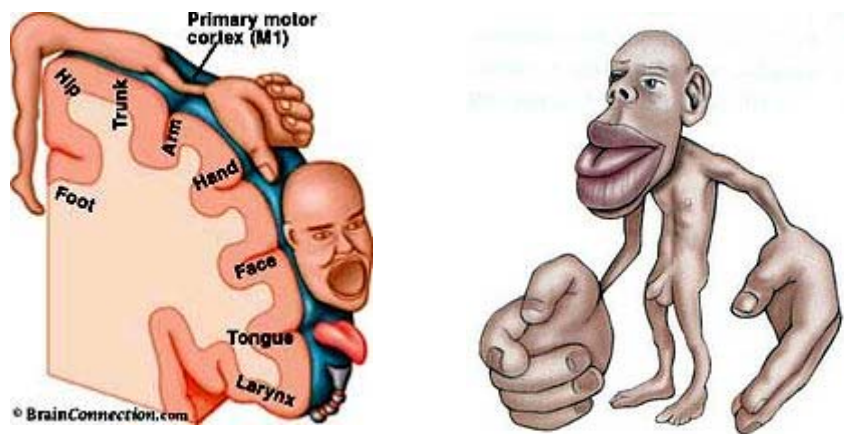
Antes de iniciar una acción determinada, nuestro cerebro tiene que realizar una serie de procesos que van desde la codificación de las relaciones espaciales entre nuestras extremidades y el objeto hasta la transformación de tales informaciones en las ordenes motoras apropiadas. Sería el circuito parietofrontal el que transforma las propiedades visuales de los objetos en movimientos de la mano.

En estudios realizados con monos, Gallese, Fadiga, Fogassi y Rizzolatti (1996) descubrieron que las mismas neuronas que se activaban cuando el mono llevaba a cabo una acción, también se activaban cuando el mono observaba una acción semejante realizada por el experimentador u otro mono. Por esta razón las denominaron neuronas «espejo». Éstas son, por tanto, un sistema de emparejamiento entre la observación y la ejecución de acciones motoras. Este sistema de emparejamiento observación-acción también existe en humanos (Fadiga, Fogassi, Pavessi y Rizzolatti, 1995; Rizzolatti, Fadiga, Matelli, Bettinardi, Paulesu, Perani y Fazio, 1996). En resumen, las neuronas espejo representan la ruta directa entre la percepción del objeto y la acción sobre el.

Así bien, el complejo entramado de neuronas espejo está estrechamente relacionado con el sistema motor cerebral; las áreas del cerebro encargadas tanto de producir movimientos como de recibir la información sensorial desde los miembros corporales están en contacto con el sistema espejo. Desde este sistema de neuronas espejo se accede a las distintas representaciones cerebrales del cuerpo, de sus múltiples miembros, con el fin de interaccionar con el medio.

¿Y por qué esta relación con el sistema motor? Desde una visión clásica, el sistema motor desempeñaría un papel periférico y eminentemente ejecutor, poniendo en marcha distintos mecanismos de acción motora; y estos mecanismos y sus efectores (brazos, manos, piernas, etc.) necesitan estar representados en el cerebro para que finalmente el acto pueda ser completado. La representación clásica de estos elementos se conoce como el *homúnculo de Penfield*.

Un **homúnculo** es una representación física de la corteza motora primaria, es decir, la parte del cerebro humano directamente responsable de la circulación y el intercambio de sentido y la información motora (es decir, tocar: la sensibilidad, el frío, calor, dolor, etc.) del resto del cuerpo. El término homúnculo se usa comúnmente para describir una figura humana distorsionada dibujada para reflejar el espacio sensorial relativo que nuestras partes corporales representan en la corteza cerebral. Los labios, manos, pies y órganos sexuales son considerablemente más sensibles que otras partes del cuerpo, por lo que el homúnculo tiene labios, manos y genitales extremadamente grandes.



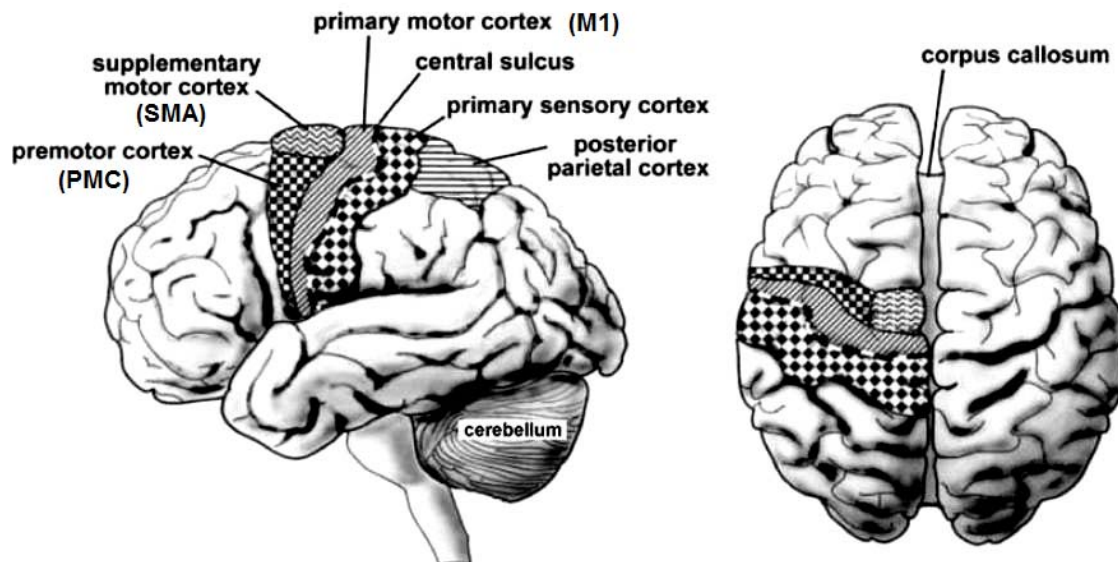
Representación de los miembros del cuerpo en el homúnculo motor y figura humana que se deriva de esta representación.

El homúnculo motor es en realidad un mapa de la asociación proporcional del córtex con los miembros del cuerpo. También refleja la propiocepción cinestésica, es decir, cómo se siente el cuerpo al moverse. Por ejemplo el pulgar, que se usa en miles de actividades complejas, aparece mucho más grande que el muslo, que tiene un movimiento relativamente simple. El homúnculo motor evoluciona con la edad y difiere de una persona a otra, a pesar de mostrarse determinados patrones comunes en toda la especie humana. Por este motivo, podremos encontrar que la mano en el cerebro de un pintor es diferente a la mano en el cerebro de un pianista.

El homúnculo motor deriva en la ejecución del plan de movimientos, para lo cual hace una ejecución a través de la *corteza motora primaria* (M1), que se ubica en el

área 4, por delante de la cisura de Rolando. Esta corteza es la principal responsable de nuestros movimientos y está asociada a los aspectos estáticos y dinámicos de ellos, es el verdadero homúnculo motor de Penfield. Pero a la hora de ejecutar el programa motor, no solo participa M1, también es necesaria la colaboración de otras áreas. Destaca el *área motora suplementaria* (SMA), que participa en la génesis de los movimientos con marco de referencia intrapersonal, como por ejemplo sostener un bolígrafo entre los dedos índice y pulgar, mas concretamente programando las secuencias motoras necesarias (en este caso, adecuar los dedos a la forma y tamaño del bolígrafo antes de dirigirse a él).

Complementariamente, la *corteza premotora* (PMC) participa en la génesis de los movimientos con marco de referencia extrapersonal, de manera que participa en las fases iniciales de los movimientos de orientación hacia el objetivo, ya sea visual o táctil. Además, la *corteza parietal posterior* también participa en este entramado de estructuras y funciones articuladas, proveyendo a la corteza. promotora información sobre el blanco visual o táctil,



Homúnculo motor: áreas corticales que implica y áreas que participan en la programación motora.

2. Representación boca-mano.

i. Etología del homúnculo actual.

¿Por qué la comunicación oral es predominante en el ser humano?

Para contestar esta pregunta, hemos de hacer en primer lugar un recorrido sobre la evolución de la comunicación manual y gestual así como de la hablada. Y para ello nos basaremos en el trabajo de Michael Corballis titulado “from mouth to hand: gesture, speech an the evolution of right-handedness” (2003).

En primer lugar, es vital la llegada del *Bipedalismo*. Culminó su desarrollo hace aproximadamente 6 millones de años, y supuso el momento en el que nuestros miembros principales (las manos y brazos) dejaron de estar involucrados en la actividad motriz para poder erguirse sobre las patas traseras.

En un primer momento, nuestros antecesores vivieron en un entorno forestal, cerca del mar, y no en condiciones similares a la selva como se le supone (Gibbons, 2002). El traslado a la selva debió ocurrir hace unos 2 millones de años, lo cual incrementó el uso de las manos para las acciones defensivas, uso de armas y herramientas y coger objetos (Wood, 1992).

El librarse de la locomoción anteriormente impuesta fue fundamental para que la mano comenzara a adquirir proporciones humanas, y así, para que pudiera especializarse en tareas evolutivamente novedosas.

Y para que esta especialización manual pudiera desarrollarse fue necesaria e imprescindible la evolución de la mano mediante el desarrollo del dedo oponente, lo que se conoce como "*la pinza de precisión*"; la talla de la piedra, entre otras actividades que requieren la manipulación de objetos con precisión, provocó cambios en la anatomía de la mano. Probablemente de aquí surgiera el dedo pulgar, de la necesidad de un dedo que se opusiera al resto y tuviera capacidad de rotar lateralmente respecto a la mano.

La fuerza evolutiva de este miembro es tal que tuvo una fuerte repercusión en la formación del cerebro y en su relación con otros importantes miembros, como es la boca. Gracias a este desarrollo manual, los antiguos primates, además de elaborar instrumentos, pudieron manipular con mayor precisión los alimentos que llevaban a su boca, consolidando y reforzando la relación entre boca y mano. En el homínido de Penfield queda claramente reflejada esta herencia evolutiva; la boca y la mano (especialmente la superficie del pulgar) gozan de un privilegiado espacio encargado de su control cerebral.

Muy posterior a la evolución de brazos y manos, otras partes del cuerpo se han ido especializando paulatinamente en la comunicación. La cara es un ejemplo de esta evolución, se ha envuelto cada vez más en la comunicación; la estructura del ojo humano difiere de la de muchos animales en los que la córnea es pigmentada en lugar de blanca, de manera que disminuyen su visibilidad y ocultan la dirección de su mirada hacia otros animales o depredadores. Esto indicaría una evolución del ojo humano para su comunicación.

Pero retomando el asunto de la boca y la mano, ¿por qué utilizamos gestos cuando el habla vocal es autónoma y suficiente, y no precisamos del contacto visual? Mas adelante encontraremos la respuesta.

Cuando las manos quedaron libres, además de ser utilizadas para todas aquellas tareas que proporcionaban alimento y seguridad, comenzaron a emplearse en la comunicación. Esto ocurría unos 2 millones de años atrás, y ya por aquel entonces dejaron rastros de que predominaba el uso de la mano derecha en el manejo de útiles; Según los restos examinados en herramientas y armas fabricadas hace alrededor de entre unos 1,4 - 1,9 millones de años, igualmente la asimetría de predominancia poblacional diestros-zurdos se inclina hacia los diestros, con un ratio de 57:43 (Toth 1985).

De todas formas, el debate que no deja de quedar esclarecido es la cuestión de si la lateralización hemisférica en la comunicación es previa o posterior al uso del lenguaje. La posición más consensuada es aquella que defiende la preferencia del uso de la mano derecha previa al desarrollo del lenguaje, la defendida por Corballis (2003).

La comunicación fue incorporándose poco a poco al sistema gestual (a nivel neurológico y estructural, esto equivale a inferir que en el cerebro, primero se formó la corteza motora, luego las áreas encargadas del habla, como la 44 y 45 de Brodmann). Lo diestros tienden a gesticular con su mano derecha mientras hablan, mientras que los zurdos muestran un patrón mezclado con tendencia a gesticular con ambas manos por igual (Kimura, 1973).

Tomemos como relevante el siguiente hecho: el control manual predominante es de la mano derecha mientras que el control verbal es predominantemente en el hemisferio izquierdo. No es casualidad por tanto, que el lenguaje esté instaurado mayoritariamente en este hemisferio. Si la mano preferente (y por tanto la mas adaptada para la comunicación), era ya desde el principio la derecha, controlada por el hemisferio izquierdo, es razonable pensar que la comunicación se sirviera en mayor medida de este hemisferio; y que cuando llegara el componente hablado, éste fuera interrelacionándose y estrechándose allí donde estaba el control de la mano principal, es decir, en el hemisferio izquierdo.

¿Y cuál puede ser la razón de que la mano haya evolucionado primero?

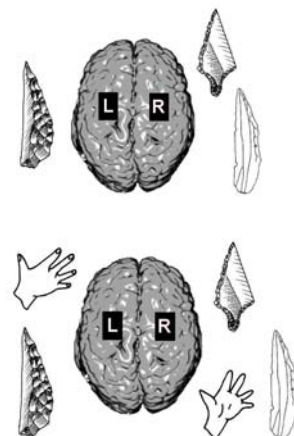
Podría ser que la mano haya permitido incluir la exterioridad en la comunicación, de manera que en una conversación entre dos individuos se pudiera hacer alusión tanto a elementos externos como internos, a través de gestos como señalar. De esta manera, ha sido el sistema gestual mas que la comunicación hablada (cosa de la que carecen los primates) lo que probablemente ha determinado en gran medida el desarrollo de una comunicación compleja y articulada.

Así pues, dado que el uso de la mano y por tanto de los gestos se supone previo al uso del lenguaje, es lógico que usemos gestos mientras comunicamos, ya que es algo primitivo que indica gran cantidad de información al receptor de nuestro mensaje.

Finalmente, gracias a que la emisión de sonido por parte de los primates añadía un valor emotivo al mensaje (Savage-Rumbaugh et al; 1998), se fue incorporando paulatinamente al sistema gesticular manual, y para que este acoplamiento se produjera fue necesaria la existencia de una zona cortical que se encargara de la emisión de sonidos, como es el área F5 en monos (con Broca como el análogo humano), que en aquel momento poseía la representación de los movimientos orofaríngeos así como de la conexión con la corteza motora adyacente y de sus propiedades espejo ya asociadas.

RECORRIDO:

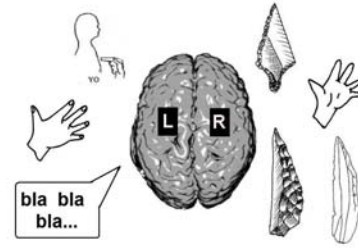
- 6 millones de años atrás: Culmina bipedalismo. Cerebro especializado en el control de las manos para el manejo de herramientas. Ambos hemisferios por igual.
- 2 millones de años atrás: uso de las manos para comunicarse. Aún no hay comunicación vocal. Comienza a existir ya preferencia por la mano derecha.



- 170.000 años atrás: comienza el surgimiento de la vocalización.

La mano mas utilizada es definitivamente la derecha, y además la comunicación se sirve de los gestos manuales, predominantemente diestros.

El lenguaje vocal se integra al manual, y lo hace allí donde predomina el control de la comunicación, es decir, en el hemisferio izquierdo que controla la mano derecha.



ii. Homúnculo y localización cerebral.

Intenta poner una de tus manos con la misma forma que pondrías si fueras a coger un alfiler y mientras abre tu boca. Ahora repite lo mismo pero en esta ocasión abre tu mano como si fueras a coger un balón.

Quizás no lo hayas notado, pero lo mas seguro es que en la segunda ocasión tu boca se haya abierto algo más en la segunda que en la primera.

Existe un sistema de control doble de la boca y la mano, debido al cual los repertorios gestuales con la mano son compartidos con el control de la boca, y por tanto este control se transfiere a ella. Si este sistema (relacionado con las neuronas espejo) comparte el componente gestual de la comunicación de la mano y de la boca, la realización de acciones transitivas debe afectar al discurso (MacNeillage, 1998).

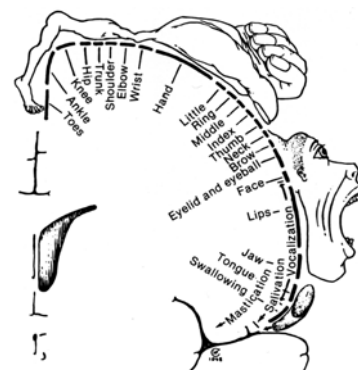
Para comprobar esta relación, Gentilucci y cols. (2001) realizaron un estudio en el que se pedía a los sujetos alcanzar y agarrar objetos mientras pronunciaban unas sílabas. Cuando agarraban objetos grandes, en comparación con los pequeños, la apertura de los labios y los parámetros de la vocalización se incrementaban. Además, se observa el mismo efecto cuando la tarea de los participantes es observar las acciones de agarrar objetos.

Estos hallazgos subrayan la existencia de la relación entre el control de la boca y la mano, por tanto que el lenguaje hablado se vale tanto de nuestra boca como de nuestros gestos en la transmisión del mensaje. Este mecanismo de control codifica las acciones del sonido en sus representaciones motoras, es decir, al mensaje acústico que recibimos o vamos a emitir es transformado paralelamente a una programación de acciones motoras (Hauk et al; 2006).

Entonces, dado que es un sistema cuya acción es compartida por dos miembros, boca y mano, ¿se trata de un mismo sistema que controla a ambos o por el contrario son dos sistemas independientes y paralelos?

La respuesta la podemos encontrar si examinamos el homúnculo. Se trata de las zonas de la circunvolución prefrontal (área 4 de Brodmann) y del giro postcentral y en su extensión medial en el lóbulo paracentral (áreas 1, 2 y 3).

Tanto el homúnculo sensorial como el motor poseen una sobre representación de la boca (conjunto boca-lengua-labios-cara) y de la mano. Es decir, el área encargada de procesar tanto la información recibida como la enviada, es desproporcionadamente mayor en el caso de



estos dos miembros, ocupando ellos solos mas del 50% de la corteza motora y sensorial, dedicándose únicamente un pequeño porcentaje al resto de partes del cuerpo. La imagen corresponde al homúnculo motor.

Pero no sólo estas áreas son las encargadas de controlar el habla y los gestos. El área de Broca humana (área 44 de Brodmann) y área F5 frontal en monos, es la responsable de la producción lingüística, al menos esta es la función que se le ha atribuido desde su localización. Aunque estudios más recientes han demostrado que Broca no sólo se restringe a la producción del habla, ya que también se observa un incremento de activación de esta área cuando es necesaria la representación de los movimientos de la mano y brazo, como por ejemplo en la acción de llevarse la comida a la boca con la mano.

Los estudios unicelulares realizados en el área F5 mediante microestimulación muestran que en esta área están representados los movimientos de la mano y de la boca. En los monos, F5 juega un papel crucial en la organización del movimiento de agarre. Rizzolatti mostró que estas neuronas disparan cuando los monos van a alcanzar objetos de distinta forma y tamaño; Algunas de las neuronas de esta zona se activan justo antes del contacto de la mano con el objeto, otras paran de disparar inmediatamente después del contacto y otras lo hacen durante y después (Rizzolatti et al; 1998).

El descubrimiento mas importante de Rizzolatti, es que algunas de estas neuronas prefrontales responden a demás de a una tarea motora, a la presentación de estímulos visuales asociados (es decir, son neuronas visomotoras); esto quiere decir que estas neuronas incrementan su actividad en condiciones en las que el sujeto es expuesto a determinados estímulos visuales, para iniciar la programación de un acto motor. Dentro de éstas podrían distinguirse dos tipos: las que se activan cuando ven un objeto “agarrable” y las que lo hacen cuando se observa a otro individuo realizando una acción delante de él (estas son propiamente las neuronas espejo).

Es destacable que todas estas neuronas tanto las primeras como las segundas, se activan cuando el individuo observa la boca de un semejante interactuando con objetos, como por ejemplo mordiendo un lápiz.

Entonces esto podría suponer la certidumbre de la convergencia entre producción/observación del habla y de los gestos. Dicho de otra manera, un sistema único que controla a ambos miembros y los articula y sincroniza dentro del sistema de la comunicación.

Así pues, ¿qué relación guarda todo este sistema con la red de neuronas espejo? Este sistema se activa igualmente cuando observamos a una persona realizando una acción. Ver las manos de una persona cortando una hortaliza con el cuchillo activaría nuestro cortex motor, y aún mas, si esta persona falla y vemos como se corta uno de sus dedos, nuestro cortex sensorial se activará reflejándonos el dolor del sujeto.

Entonces, dentro del complejo sistema de neuronas espejo relacionado con la empatía, la representación motora y sensorial cortical juegan un papel crucial en nuestras acciones.

iii. Homúnculos atípicos.

Ya hemos visto anteriormente cómo el cerebro se ha encargado de dedicar un mayor porcentaje de tejido cerebral a aquellos miembros que son más relevantes para el

ser humano, en este caso la boca y la mano. Pero, ¿este homúnculo es equivalente para todos los humanos o pueden existir ligeras variaciones?

Unos profesionales que los científicos se han interesado en estudiar son los pianistas, dado que su labor se lleva a cabo a través de los dedos y las manos, y por supuesto del control que el cerebro ejerce sobre ellos.

Según los propios pianistas, cuando escuchan atentamente una buena partitura de piano, pueden sentir involuntariamente el movimiento de los dedos encargados de tocar esas notas (Haueisen y Knösche, 2001). Este hecho puede hacernos formular las siguientes preguntas: ¿existe actuación cortical (del homúnculo, por ejemplo) sin movimiento de los efectores responsables?;

En el estudio de Bangert, Parlitz y Altenmüller (1999) registraron mediante electroencefalograma (EEG) la relación entre percepción y producción de piezas musicales de piano mientras los sujetos aprenden a tocar la pieza. Encontraron los mismos patrones espaciales de actividad cerebral en ambas condiciones, lo cual sugiere un acoplamiento entre ambos procesos. Aunque no está claro si esta activación del cortex motor es involuntaria o no, debido a la existencia de las *imágenes motoras*, la activación voluntaria del sistema motor sin ejecutar los movimientos de los miembros efectores. Es decir, que es posible que durante la etapa de percepción los participantes estén reproduciendo los movimientos mentalmente.

Los estudios de imagen funcional (fMRI) mediante los que se toman imágenes de la actividad del cerebro en tiempo real, muestran implicación no solo de M1, sino también del área motora suplementaria (SMA) y el cortex promotor (PMC).

Pero aún seguimos sin dar respuesta a si la activación cortical tanto a la hora de percibir como a la de producir es similar.

Para dar respuesta, Haueisen y Knösche (2001) diseñaron un experimento con un sistema de toma de imágenes de la actividad del cerebro llamado MEG (magnetoencefalografía) en el que se comparó la actividad cerebral de pianistas frente a la de no pianistas mientras se escuchaban partituras de piano. Esta técnica ofrece la ventaja de poder medir la actividad diferencial entre varias regiones cerebrales.

Su tarea eliminaba la implicación de movimientos de dedos y manos en relación a las notas escuchadas, de manera que la implicación del área motora primaria, en caso de producirse, no se debiera a la producción de estos movimientos. Debían mantener el dedo gordo de su mano dominante en un botón que debían pulsar en caso de escuchar una nota errónea, y el resto de la mano encima de su muslo.

Además se llevó a cabo un segundo registro en el área M1 mediante BSCD (brain surface current density), otro sistema de toma de imágenes de actividad cerebral, en los pianistas para intentar observar si había correspondencia espacial entre notas escuchadas y el área cerebral encargada del dedo ejecutor que se activaba.

Se encontraron dos resultados muy interesantes; por un lado, en los pianistas se observó un foco de actividad en la región por encima del área rolándica izquierda que no mostraron los no pianistas; esta área se corresponde con M1, es decir, con el homúnculo motor.

En segundo lugar, mediante BSCD, se observó la media entre las notas preferiblemente ejecutadas por el dedo pequeño y por el dedo gordo (los cuales en un principio deben estar más separados en su representación cortical). Se observó una separación cortical de unos 8 milímetros en la dirección superior-inferior en el área M1. Es decir, cuando los sujetos escuchan notas que ejecutan con el dedo pequeño hace activarse una zona

distinta a la que se activa cuando escuchan notas que ejecutan con el dedo gordo. Estos resultados también están en consonancia a las propiedades del homúnculo. Así, podemos confirmar que existe actividad cortical del homúnculo sin que se den movimientos de los efectores responsables. Y algo de especial relevancia es el hecho de que los individuos no pianistas no reflejan esta activación del homúnculo.

Por tanto, podemos deducir que en el caso de ciertos profesionales, como los pianistas en esta ocasión, han desarrollado propiedades distintas en la representación motora de algunas de las partes de su cuerpo, y que a su vez no solo se aplican en la ejecución de un movimiento, sino a la actividad evocada en el momento de la percepción y procesamiento de éstas notas.

Tengamos en cuenta que estamos ante profesionales de un alto nivel de habilidad y es posible que la programación motora sea completamente automática, de manera que no requiere la participación de las áreas de programación mientras que sí dedica un mayor espacio a la representación de cada uno de los posibles movimientos, duración, o fuerza aplicada en los dedos implicados en tocar las teclas, para lo cual es responsable el área motora primaria.

Así pues, durante estos párrafos anteriores nos hemos venido ocupando de todos aquellos aspectos que directa o indirectamente establecen relaciones entre el complejo sistema de comunicación boca-mano y la red de neuronas espejo. Hemos visto cómo gracias a las actividades de adaptación emprendidas desde nuestros antepasados hasta la actualidad, estos miembros tan importantes gozan de determinados “privilegios” cerebrales. Y también hemos visto cómo todo esto ha desembocado en ciertas funciones motoras, sensoriales, y también algunas mas complejas y avanzadas como la empatía, funciones todas ellas que de alguna manera u otra está conectando al sujeto con su entorno.

Precisamente por este último motivo, el de la conexión del individuo con su entorno, podemos decir que el conjunto boca-mano y su representación cerebral se conjugan con el sistema de neuronas espejo, de manera que, cuando acontecen eventos en el entorno, estas neuronas espejo son en gran parte responsables de iniciar una respuesta por parte del sujeto. Dan cuenta de estos cambios estimulares y suponen una de las chispas que ponen en marcha la maquinaria que ha de enviar una respuesta.

Y para ello se valen del homúnculo motor así como del sensorial (y por tanto de los efectores que de ellos se derivan, como boca, extremidades, gestos faciales, etc.), y mas allá, valiéndose del sistema de comunicación derivado de la articulación de toda esta maquinaria.

3. Curiosidades.

a. *Neuronas Espejo y Tartamudez:*

La tartamudez consiste en un desorden del lenguaje crónico, son interrupciones en el flujo del discurso. No existe un tratamiento definitivo que la elimine, solo se puede atenuar.

Existen diferentes perspectivas con respecto a las causas de la tartamudez. Vamos a ver en qué consiste según el artículo sobre un caso único de tartamudez de Gómez, E., Pérez

y cols , *Estudio de Caso único sobre los déficit atencionales en tartamudez y sus efectos colaterales.*)

Una es la perspectiva conductista, la cual defiende que la tartamudez surge de un problema adquirido de coordinación en el discurso motor, desde este punto de vista, la tartamudez se atenúa a través de correcciones conductuales durante la producción del discurso, como enlentecer la velocidad del habla, utilizando las técnicas del condicionamiento operante y clásico.

Otra perspectiva es la neurolingüística (en la que nos centraremos), la cuál dice que el origen de la tartamudez está en un fallo neurológico, en la planificación del discurso o en la integración sensorio-motora, a partir de esta idea, la tartamudez se corrige promoviendo la fluidez del lenguaje al modificar los patrones de activación neuronal relativos al lenguaje.

Además, también existe una perspectiva la cual dice que la tartamudez surge por un problema de ansiedad y, por último, existe la posibilidad de que la tartamudez sea un problema de origen multifactorial, es decir, que puede haber distintas causas que provoquen la tartamudez.

Aunque la tartamudez es considerada, también, un desorden genético, por su mayor incidencia familiar y con mayor frecuencia en hombres.

Desde el punto de vista neurológico, sabemos que el hemisferio izquierdo es el dominante en el lenguaje, ya que interviene en la producción y comprensión del lenguaje. Y a través de técnicas de imagen cerebral se ha comprobado que el cerebro de una persona tartamuda presenta una mayor activación del hemisferio derecho, del área de Broca (producción del lenguaje), del área de Wernicke (comprensión del lenguaje), del área suplementaria (planificación del discurso) y en las áreas de asociación auditiva. Por tanto, las personas con tartamudez “hablan” con el hemisferio derecho.

El hemisferio derecho es el encargado del procesamiento del pensamiento por imágenes, las emociones negativas y la atención dividida, por eso se piensa que las personas que padecen de tartamudez intentan convertir muchas de las imágenes a la vez en discurso y hablan con un modo de procesamiento controlado, en vez de un modo automático y rápido. Otra perspectiva, desde es punto de vista neurológico, dice que el origen de la tartamudez es una interrupción en la maquinaria neurológica asociada al lenguaje en el hemisferios izquierdo, por tanto, podemos concluir que las personas tartamudas tienen un hemisferio izquierdo deficiente en la planificación y producción del habla y un hemisferio derecho sobre-activado que interfiere con la producción del lenguaje.

A partir de la Teoría promotora de Rizzolatti, se planteó la existencia de múltiples rutas directas entre estímulo-respuesta, denominados “mapas pragmáticos”, son circuitos parieto-frontales. En cada mapa pragmático se planifican movimientos de efectores. Existe el mapa pragmático ocular (permite mirar), el mapa del brazo (permite planificar y alcanzar) y el mapa de la mano (permite coger).

El mapa de la mano y de la boca, que producen movimientos del aparato bucofonatorio, están muy relacionados entre sí, y entre el área de Broca, denominado también *Neuronas Espejo*. Se llaman así ya que la activación se asocia con la imitación produciendo activación en el observador. Esto puede ser la causa del contagio de la tartamudez.

Los mapas pragmáticos tienen un mecanismo comparador, sistema que compara la acción planificada con la retroalimentación sensorial de la acción. El comparador, en el caso de los movimientos de la boca, ocurre con mucha rapidez y en varios niveles

jerárquicos, y un factor esencial es la sincronización, para que no haya error entre la copia de la acción y la retroalimentación. Si la retroalimentación se demora, es decir, tarda más de lo debido, se rompe la cadena automática de producción de coarticulaciones, se produce una repetición corregida y controlada de la palabra, generando la tartamudez.

Una persona que previamente tartamudea, deja de hacerlo cuando recibe retroalimentación auditiva demorada, ya que en la sincronía en la tartamudez, la temporalidad de la copia va con lentitud y la retroalimentación sensorial con normalidad.

b. *Neuronas Espejo y su relación con el bostezar y estirarse:*

La combinación de bostezar y estirarse se denomina pandiculaciones. Son procesos homeostáticos adaptativos e indispensables para la vida. Se trata de composiciones (Kinesias) unitarias de actividad neuromuscular.

Todos los vertebrados compartimos la aptitud particular de ser receptivos al contagio del bostezo. Dicho contagio refleja nuestra capacidad de ser influenciados por el comportamiento de otro de manera automática e involuntaria. Es una forma de empatía que pone en funcionamiento estructuras neurofuncionales corticales compartidas.

Los bostezos y pandiculaciones ocurren sobre todo en las transiciones entre los estados de sueño-vigilia y, en ocasiones, cuando surge el hambre o saciedad.

El descubrimiento de las Neuronas Espejo por Rizzolatti y Gallese (1996), aporta una explicación de los elementos neurofisiológicos en la Teoría de la Mente (TOM) con respecto al bostezo. El bostezo en este contexto sería la preparación de la acción general, en la mayoría de los vertebrados, a la activación de las neuronas espejo en las áreas motrices corticales. Este automatismo motor es el resultado de respuestas adaptativas evolutivamente seleccionadas.

Schürmann et al. (2005), han comprobado, a través de resonancia magnética nuclear funcional (fRMN), la ausencia de actividad de neuronas espejo del área de Broca en la ecokinesia del bostezo, por tanto, la ecokinesia del bostezo no es una imitación motriz.

También, dichos autores, mostraron la activación del área del surco temporal superior (STS) en dicha ecokinesia, automática e involuntaria, y su tramitación hacia la amígdala izquierda, el córtex singular posterior y el precúneo. Estas estructuras se asocian a la discriminación de emociones expresadas por el rostro humano. Los sujetos empáticos o muy sensibles a la ecokinesia (imitación gestual) del bostezo muestran un incremento de activación de la amígdala y el córtex cingular, mientras que los sujetos esquizoides o insensibles a la replicación del bostezo, no experimentan activación en estas estructuras. El estudio de los elementos neurofisiológicos en la empatía muestran una similaridad de las áreas activadas excepto del lóbulo frontal en la ecokinesia del bostezo, por tanto, la ecokinesia del bostezo carece de la capacidad de inhibición involuntaria, al no tener participación intermedia de los lóbulos frontales.

Anderson (2003) también descubrió que los niños no son sensibles a la ecokinesia del bostezo antes de los 6 años, ya que solo se tiene dicha capacidad cuando se puede reflexionar sobre lo que el otro piensa. Por tanto, es necesaria la maduración neurocognitiva de orden funcional para tener sensibilidad sobre la ecokinesia del bostezo.

4. Conclusiones.

¿Por qué es tan importante la representación de la boca y de la mano dentro del sistema de neuronas espejo?

Hemos visto cómo la representación de la boca y de la mano son cruciales en la comunicación interpersonal, viéndose implicadas además en la red de neuronas espejo. Son de esta manera, una puerta de tanto de entrada como de salida de nuestras relaciones personales con el mundo exterior; de esta manera es un sistema útil tanto en la percepción de la intenciones de segundas personas, como en la producción de una pieza musical con un piano (dicho sea de paso, una forma a través de la cual comunicamos también sentimientos), por decir algunos ejemplos.

Así, gracias a este sistema de neuronas espejo se desarrolla la empatía en los seres humanos y la capacidad de interacción con los demás, cosa que falla en las personas con autismo. Y esto se debe a que estas personas tienen deteriorado este sistema de comunicación.

En relación a este hecho, a la base de la teoría de la mente, hemos visto también como parece existir un vínculo entre la capacidad de atribuir un estado mental a otro y la ecokinesia del bostezo, ya que el bostezo es una forma de empatía instintiva e involuntaria.

Del mismo modo, al igual que pueden servir para “contagiar” a una segunda persona una emoción o un bostezo, existe la posibilidad de examinar cómo las neuronas espejo pueden contribuir, en cierta medida, a disminuir las interrupciones habituales en el habla de una persona con tartamudez.

Por último, es importante la idea de que el desarrollo de la boca y la mano ha contribuido en gran medida a la evolución del ser humano actual, un complejo ser emocional y conductual que depende enormemente de los individuos de su entorno; dicho de otra manera, el ser humano es un ser que vive en sociedad y en estrecha relación con el resto de seres humanos, para lo cual ha evolucionado a lo largo de la historia hasta llegar a los niveles de funcionamiento tanto social como en el entorno, para lo cual debió desarrollar la red de neuronas espejo.

En principio han sido y siguen siendo la boca y la mano cruciales en la evolución humana para transvasar información con el entorno, para el intercambio de la comunicación y por supuesto con el fin último de asegurar la supervivencia de la especie.

La boca y la mano han sido por tanto durante estos siglos de desarrollo humano parte de los ejes y ruedas sobre las que se ha transportado el vehículo de la evolución.

5. Aplicaciones prácticas.

- **Homúnculo de un pianista.**

Como hemos visto en la parte teórica del trabajo el homúnculo de un pianista difiere ligeramente del de una persona no pianista, en cuanto a la representación de la mano en el cerebro. Ahora bien, también hemos visto que la mano se encuentra estrechamente relacionada con la boca dada su relevancia filogenética, ya que de la coordinación entre ambas, la especie humana ha desarrollado un completo sistema de comunicación y se ha adaptado mejor a su entorno.

Teniendo en cuenta todo esto, es razonable querer comprobar si el desarrollo del córtex motor de un pianista puede conllevar un desarrollo de la representación de la boca en el córtex adyacente. Esto es, si esta relación existiera, al tener estos profesionales un cortex motor para los dedos-manos especialmente desarrollado, formulamos el interrogante de si el cortex encargado del control de la boca experimentaría del mismo modo un desarrollo especial, debido a su proximidad y relevancia ontogenética con el cortex de la mano,

Para dar respuesta al interrogante, podemos desarrollar un método mediante el cual comparar la sensibilidad de los labios de un sujeto pianista con los labios de un sujeto no pianista, poniéndoles un objeto a diferentes temperaturas en distintas partes de los labios.

Se pasará dicho objeto en determinadas partes de los labios (por ejemplo, sobre una cuadrícula imaginaria que los divida en 5 partes tanto el labio superior como el inferior) de 10 sujetos pianistas y de 10 sujetos no pianistas.

A su vez, se variará la temperatura de este objeto gradualmente y se pedirá al sujeto que verbalice en qué momento siente el cambio de temperatura. Así, se establecerán varias medidas discriminativas que nos informarán de las partes de los labios más sensibles a las variaciones de temperatura, y el dato más importante, si estas capacidades difieren en conjunto entre los sujetos pianistas y en los no pianistas.

Téngase en cuenta que mediante este método estamos tomando medidas del homúnculo sensorial (cortex somatosensorial primario), no del motor. No obstante, cabe esperarse del mismo modo un incremento de las capacidades de este homúnculo dada su estrecha relación con el homúnculo motor.

- **Lenguaje de signos en personas tartamudas.** Por el mismo motivo que en el primer punto (la relación boca – mano), sería interesante comprobar si se dan los mismos patrones de tartamudez o interrupción de la comunicación a la hora de gesticular con las manos en una persona tartamuda.
- **Bailador de flamenco y representación de las extremidades inferiores en el cerebro.** Para comprobar la representación de las extremidades inferiores en el homúnculo de un bailador y una persona que no baila. Podríamos llevarlo a la práctica midiendo la sensibilidad en diferentes partes de las extremidades

inferiores como son la rodilla, el tobillo, el muslo, etc. pasándole una pluma y viendo su reacción.

- **Facilitación del aprendizaje por el homúnculo.**

Como ya hemos visto, con el entrenamiento de determinados miembros del cuerpo, el cerebro modifica parte de su estructura para satisfacer las nuevas demandas del entorno;

Dicho esto, queremos comprobar si un homúnculo al que se le suponen determinadas áreas mas desarrolladas por algún tipo de aprendizaje, como por ejemplo un sujeto que toque la guitarra, puede llegar a facilitar un posterior aprendizaje que implique esas mismas zonas sobre-desarrolladas.

Con el ejemplo de un sujeto con alto dominio de la guitarra, podemos comparar si hay mas facilidad a la hora de aprender mecanografía entre varias de estas personas que tocan la guitarra y otro grupo de personas sin ningún tipo de experiencias con este instrumento ni ningún otro parecido.

Teniendo en cuenta que ninguno de ellos supiera escribir a ordenador, se establecerían sesiones de entrenamiento de igual duración y frecuencia y se evaluaría el dominio pasado un intervalo temporal suficiente. Se debe controlar que ningún sujeto practique la mecanografía autónomamente fuera de las sesiones de entrenamiento.

Estableciendo unas adecuadas medidas de control, cabría esperarse un aprendizaje mas temprano del grupo de sujetos con alto dominio de la guitarra, como consecuencia de una transferencia de las habilidades digitales dedicadas a tocar este instrumento hacia las habilidades mecanográficas.

- **¿Insensibilidad ante el dolor?**

Cuándo un profesional de enfermería pincha una vena de un paciente, ¿siente la incomodidad o dificultad que sentimos muchas personas?, si no la siente, ¿a que se debe?, ¿podría estar implicada la representación corporal de su homúnculo?.

Podemos hacer una comprobación del homúnculo en el área correspondiente al la zona antebrazo interior en profesionales de enfermería.

Debido a que estas personas están expuestas constantemente a la acción de pinchar y atravesar las venas de los pacientes con las jeringuillas y vías, en principio cabría esperarse que este acto despertara la representación del dolor (en quien pincha) correspondiente al miembro del paciente, de acuerdo con la lógica de las neuronas espejo. De lo contrario, podría interpretarse, en un principio una infra-representación de esta zona corporal en el homúnculo sensorial de éstos profesionales.

La comprobación puede realizarse mediante tareas de psicofísica de estímulos, mediante por ejemplo variaciones de temperatura en distintos puntos del área en cuestión (antebrazo interior) o mediante los clásicos pinchazos con compás y las variaciones espaciales de los mismos.

6. Referencias.

- Anderson, JR, Meno P (2003). *Psychological influences on yawning in children*. Current Psychology Letters Behaviour, Brain, & Cognition. 2(11).
- Bangert, M., Parlitz, D., & Altenmüller, E. (1999). *An interface for complex auditory–sensorimotor integration: Where the pianist’s cortex maps perception to action*. Neuroimage, 9, S419.
- Corballis, M. (2003). *From mouth to hand: gesture, speech and the evolution of right handedness*. Behavioral and brain science, 26, 199-260.
- Fadiga, L. y Craighero, L. (2003). *New insights on sensorimotor integration: from hand action to speech perception*. Brain and cognition. 53, 514-524.
- Fadiga, L., Fogassi, L., Pavesi, G., & Rizzolatti, G. (1995). *Motor facilitation during action observation: A magnetic stimulation study*. Journal of Neurophysiology, 73, 2608–2611.
- Gallese, V., Fadiga, L., Fogassi, L. & Rizzolatti, G. (1996). *Action recognition in the premotor cortex*. Brain 119 (Pt. 2):593–609.
- Gentilucci, M., Benuzzi, F., Gangitano, M., Grimaldi, S., (2001). *Grasp with hand and mouth: a kinematic study on healthy subjects*. J. Neurophysiol. 86, 1685–1699.
- Gentilucci, M., Dalla Volra, R. y Gianelli, C. (2008). *When the hands speak*. Journal of Physiology-Paris. 102, 21-30.
- Gibbons, A. (2002) *In search of the first hominids*. Science, 295:1214–19.
- Gómez Milán, E., Pérez, M., López, A., Rodríguez Artacho, M.A., González, A., Iborra, O. y Hochel, M. (2006). *Estudio de caso único sobre los déficits atencionales en tartamudez y sus efectos colaterales*. En VV.AA.: RECA5 (Libro de la 5ª reunión científica de atención). Disponible en: http://www.ugr.es/~setchift/esp/publicaciones_articulos.htm
- Haueisen, J. y Knösche T. (2001). *Involuntary motor activity in pianist evoked by music perception*. Journal of cognitive neuroscience. 136, 786-792.
- Hauk, O., Shtyrov, Y., Pulvermuller, F., 2006. *The sound of actions as reflected by mismatch negativity: rapid activation of cortical sensory-motor networks by sounds associated with finger and tongue movements*. Eur. J. Neurosci. 23 (3), 811–821.
- Kimura, D. (1973) *Manual activity while speaking: II. Left-handers*. Neuropsychologia. 11:51–55

- MacNeilage, P.F., 1998. *The frame/content theory of evolution of speech*. Behav. Brain. Sci. 21, 499–546.
- Rizzolatti, G., Camarda, R., Fogassi, L., Gentilucci, M., Luppino, G., & Matelli, M. (1988). *Functional organization of inferior area 6 in the macaque monkey: II. Area F5 and the control of distal movements*. Experimental Brain Research, 71, 491–507.
- Rizzolatti G, Fadiga L, Gallese V, Fogassi L. *Premotor cortex and the recognition of motor actions*. Brain Res Cogn Brain Res. 1996;3(2):131- 141.
- Rizzolatti, G., Fadiga, L., Matelli, M., Bettinardi, V., Paulesu, E., Perani, D., y Fazio, F. (1996). *Localization of grasp representations in humans by PET. Observation versus execution*. Experimental Brain Research, 111, 246-252.
- Rizzolatti, G. y Sinigaglia, C. (2006). “*Las neuronas espejo: los mecanismos de empatía emocional*”. Ediciones Paidós. Barcelona.
- Savage-Rumbaugh, S., Shanker, S. G. & Taylor, T. J. (1998) *Apes, language, and the human mind*. Oxford University Press.
- Schürmann M, Hesse MD, Stephan KE, Saarela M, Zilles K, Hari R, Fink GR. *Yearning to yawn: the neural basis of contagious yawning*. Neuroimage. 2005; 24 (4): 1260-1264.
- Toth, N. (1985) *Archeological evidence for preferential right handedness in the lower and middle Pleistocene and its possible implications*. Journal of Human Evolution 14:607–14.
- Walusinski. O. (2006). *Neurofisiología del bostezar y estirarse: su ontogenia y filogenia*. Electroneurobiología, 14 (4), 175 – 202.
- Watson, A. (2006). *What musicians tell us about motor control of the hand*. Journal of anatomy. 208, 527-542.
- Wood, B. A. (1992) *Evolution of australopithecines*. In: The Cambridge encyclopedia of human evolution, ed. S. Jones, R. Martin & D. Pilbeam. Cambridge University Press.