



Grado en Psicología

Trabajo de Fin de Grado

Curso 2016/2017

Convocatoria Junio



**Modalidad:** Revisión bibliográfica

**Título:** ¿Es real todo lo que percibe nuestro cerebro? La ilusión de la mano de goma y la integración multisensorial.

**Autor:** Server Valera, Laura

**Tutora:** Gallar Martínez, Juana

Elche a 9 de Junio de 2017

## Índice

|                                                          |    |
|----------------------------------------------------------|----|
| 1. Resumen                                               | 1  |
| 2. Introducción                                          | 2  |
| 3. Métodos                                               | 3  |
| 4. Resultados y discusión                                | 4  |
| 4.1. Factores que influyen en la aparición de la ilusión | 7  |
| 4.2. Sistema somatosensitivo y visual                    | 10 |
| 4.3. Bases neuronales                                    | 14 |
| 4.4. Otros datos de interés                              | 16 |
| 4.4.1. Miembros fantasma                                 | 16 |
| 4.4.2. Realidad virtual                                  | 17 |
| 5. Conclusiones                                          | 18 |
| 6. Bibliografía                                          | 19 |



## 1. Resumen

La percepción del propio cuerpo es algo que se realiza de forma inconsciente por el cerebro día tras día, y se da por hecho que todo aquello que percibimos se ajusta completamente a la realidad. Pero esto no es así, las ilusiones corporales pueden engañar a nuestra percepción, como es el caso de la ilusión de la mano de goma. Esta ilusión permite que un sujeto sienta como propia una mano que en realidad es falsa. Los principales responsables de que se produzca la ilusión son el sistema somatosensitivo y el sistema visual, ya que el tacto fino, la propiocepción y la vista son los tres componentes básicos para que aparezca la sensación de propiedad de la mano de goma. Además, está influida por diversos factores personales y en ella intervienen diferentes estructuras cerebrales. Cabe añadir que la percepción del propio cuerpo es un campo interesante que aún no está desarrollado completamente, especialmente el tema de las ilusiones corporales, ya que en un futuro se podrían utilizar para desarrollar aplicaciones clínicas y poder así mejorar la vida de muchas personas que sufren alguna patología relacionada con las alteraciones de la integración multisensorial.

## Summary

The body self-perception is done unconsciously by the brain continuously. It is assumed that everything we perceive fits completely into reality. But on the contrary, body illusions can deceive our perception, as is the case of the rubber hand illusion. This illusion allows a subject to feel as his own a hand that is actually false. The neurobiological mechanisms responsible for the illusion include the somatosensitive system and the visual system, since fine touch, proprioception and sight are the three basic components necessary to create the feeling of ownership of the rubber hand. In addition, the illusion is influenced by various personal factors and involves different brain structures. Also, the self-body perception is an interesting field that is not yet fully developed, especially bodily illusions that in the future could be used to develop clinical applications, thus improving the lives of many people who suffer pathologies related to alterations of the multisensory integration by the brain.

**Palabras clave:** ilusión corporal, ilusión de la mano de goma, propiocepción, integración multisensorial, cerebro.

## 2. Introducción

En el presente estudio se ha realizado una revisión bibliográfica acerca de la ilusión de la mano de goma, una ilusión de identidad corporal. La información acerca de esta ilusión es escasa, entre otros motivos por ser un tema relativamente reciente que surgió por primera vez hace unos 20 años, de la mano de Botvinick y Cohen (Botvinick y Cohen, 1998). Además, debido a que está influida por diversos factores, entre ellos algunos procesos psicopatológicos, la ilusión de la mano de goma es un tema interesante que podría llegar a tener diversas aplicaciones clínicas. Por ejemplo, en pacientes esquizofrénicos es común que aparezcan distorsiones de la realidad, la ilusión de la mano de goma ayuda a comprender estas alteraciones en el procesamiento del sí mismo y en el sentido de propiedad corporal del paciente. Se ha descrito que esta ilusión aparece con mayor intensidad y rapidez en los pacientes esquizofrénicos, incluso cuando los toques a las manos se producen de forma asincrónica (Romakonar, Franz, Lind, 2011) (Villén, Martín, Pérez-Díazi, López, 2015).

Otro ejemplo sería el caso de pacientes que padecen un trastorno de la conducta alimentaria (TCA). Estos sujetos suelen tener una imagen corporal fácil de alterar, es decir, más inestable y plástica. Esto sugiere que puede existir una relación proporcional entre los trastornos y una mayor sensibilidad a la ilusión. Además, otro factor que influye en la aparición de la ilusión en estas personas, es que la temperatura de los sujetos que padecen un TCA es menor y esto, como se explicará más adelante, influye en la intensidad con la que aparece la ilusión. Por lo tanto, este fenómeno podría ser utilizado para detectar qué personas son más sensibles a las intervenciones dirigidas a corregir las percepciones erróneas del propio cuerpo (Romakonar et al., 2011) (Villén et al., 2015).

Una tercera aplicación de la ilusión de la mano de goma sería en el campo clínico de pacientes con miembros amputados, ya que puede ser de ayuda a la hora de generar sentimientos de pertenencia hacia los dispositivos artificiales implantados. Esta ilusión puede ser generada en estos sujetos cuando se toca de forma sincrónica el muñón, que está escondido, y el dedo de la mano de goma. En un futuro se podría utilizar el fenómeno para investigar aspectos funcionales del mapa corporal alterado en amputados. Además, se podrían diseñar neuroprótesis con sensores táctiles en el miembro artificial, conectados a estimuladores táctiles en el muñón, para reproducir y mantener la ilusión. Es decir, que cuando la prótesis tocara un objeto, se provocaría una estimulación táctil en el muñón; muñón que a su vez, podría transmitir una señal multisensorial que engañara al cerebro para hacerle creer que la sensación táctil proviene de la prótesis y que ésta pertenece al individuo. Este sentido de propiedad de la extremidad artificial puede hacer que la prótesis sea más fácil de utilizar y

además, puede ayudar a reducir la insatisfacción corporal que pueden sentir los sujetos que ha sufrido una amputación (Romakonar et al., 2011) (Villén et al., 2015).

Estas son algunas de las aplicaciones de la ilusión de la mano de goma, pero como se puede observar la investigación acerca de este fenómeno todavía está en desarrollo, por eso se ha decidido realizar una revisión bibliográfica que recopile los aspectos más importantes de la misma, como el proceso que genera la ilusión, las bases neuronales, los factores que influyen en la intensidad de aparición y el funcionamiento de nuestro cerebro durante este fenómeno. Profundizar en el conocimiento de esta ilusión hará más fácil que en un futuro puedan desarrollarse nuevas aplicaciones que faciliten la vida de las personas que padezcan alteraciones en las que esté implicada alguna alteración de los procesos cerebrales responsables de la integración multisensorial.

### **3. Métodos**

Para la realización del presente trabajo se ha realizado una búsqueda en diferentes bases de datos tales como Scielo, Pubmed, ScienceDirect, PLOS, NCBI, y en la biblioteca de la UMH, habiéndose consultado diferentes libros como el Manual de Neurociencia-Purves y el The New Handbook of Multisensory Processes.

Los términos de búsqueda empleados han sido ilusión mano de goma (rubber hand illusion), aplicaciones (application), ilusiones corporales (bodily illusions) y propiedad corporal, sentido de (body ownership, sense).

Los criterios de selección empleados para la inclusión o exclusión de los diferentes artículos empleados han sido la fecha de publicación de los mismos, excluyendo aquellos que tuvieran más de 15 años, excepto el artículo que describió por primera vez la ilusión de la mano de goma. Además, se han excluido aquellos artículos que hablaban sobre ilusiones corporales con partes del cuerpo diferentes a la mano, como por ejemplo la ilusión del pie de goma, o ilusiones con cuerpos completos.

La búsqueda ha dado como resultado un conjunto de artículos relacionados con la ilusión de la mano de goma, con las áreas cerebrales que intervienen en el procesamiento, con las diferentes variables personales que influyen, con las bases neuronales y con las posibles aplicaciones clínicas.

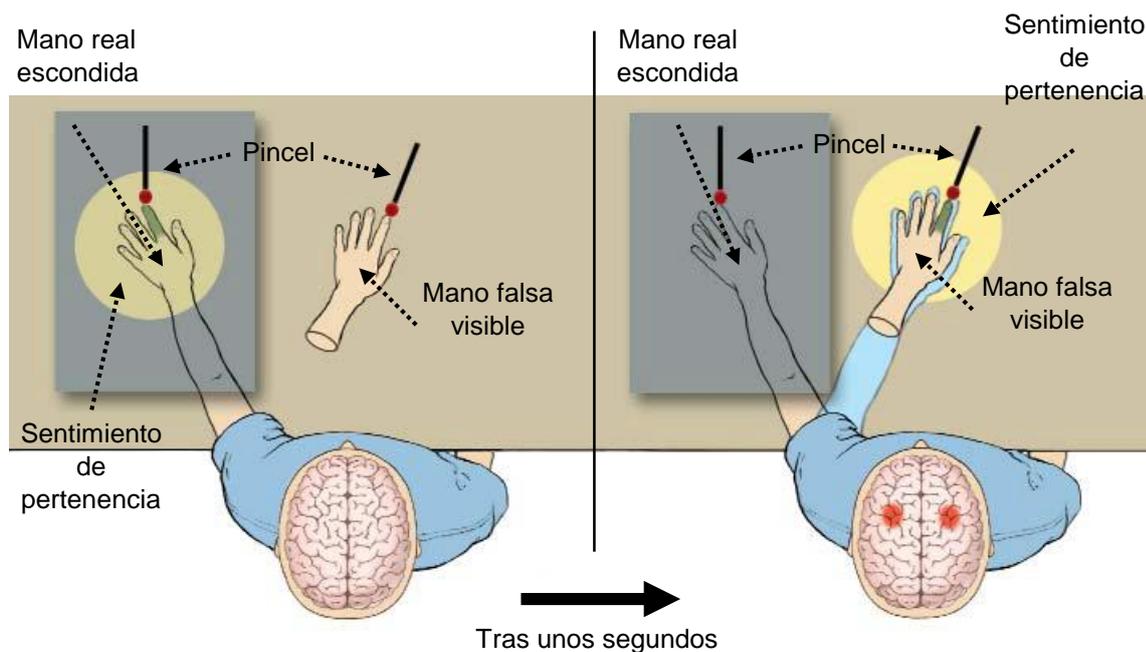
#### 4. Resultados y discusión

Para comenzar, antes de conocer el funcionamiento de la mano de goma, hay que tener claro el concepto de conciencia, en concreto el concepto de conciencia corporal. La conciencia corporal es la responsable de la correcta interacción de los sujetos con el mundo, siendo el sentimiento de pertenencia y propiedad del propio cuerpo uno de sus factores más importantes. Estos comportamientos de autorreconocimiento aparecen muy temprano en la vida (Botvinick, 2004) (Rodríguez-Melgarejo, Rodríguez-Angarita, Ávila-Campos, Avecedo-Triana, 2015) (Villén et al., 2015).

Dentro de esta conciencia corporal aparecen dos representaciones distintas que permiten dar coherencia a la autoconsciencia, el esquema corporal (representación del cuerpo que permite ajustar la postura y los movimientos, y que ayuda a ejecutar acciones motoras) y la imagen corporal (representación mental del propio cuerpo) (Botvinick, 2004) (Rodríguez-Melgarejo, Rodríguez-Angarita, Ávila-Campos, Avecedo-Triana, 2015) (Villén et al., 2015).

Se ha comprobado que el autorreconocimiento depende de la integración multisensorial, que es el proceso por el cual se interpreta la información proveniente del propio cuerpo y del medio exterior, a partir de información recogida por diferentes sistemas sensoriales. Existen diversas patologías provocadas por alteraciones en la integración multisensorial, ejemplos de estas patologías pueden ser la ilusión de los miembros fantasma o la somatoparafrenia (daño del lóbulo parietal derecho, región crucial para la integración multisensorial, causa que los individuos nieguen la propiedad de una de sus extremidades; pueden decir que su extremidad ha sido reemplazada por la de otra persona o que es falsa). Sin embargo, es posible inducir percepciones alteradas en sujetos neurológicamente sanos, un claro ejemplo sería la ilusión de la mano de goma (Botvinick, 2004) (Villén et al., 2015).

Se conoce como ilusión de la mano de goma al fenómeno que se produce cuando un sujeto percibe como propia una mano que es falsa. El procedimiento para crear esta ilusión consiste en ocultar la mano real del sujeto y colocarle a la vista una mano de goma con una tela simulando que es su mano y brazo real (**Figuras 1 y 2**). Posteriormente se tocan simultáneamente la mano real y la mano de goma y, tras un determinado periodo de tiempo realizando esta estimulación sincrónica, el sujeto comenzará a sentir como propia la mano de goma (**Figura 1**). Estudios aseguran que la ilusión normalmente suele aparecer tras 10-30 segundos de experimento, aunque en la mayoría de los individuos aparece tras 11 solo segundos de estimulación simultánea de la mano real y la de goma (Ehrsson, Spence, Passingham, 2004) (Ehrsson, 2012) (Villén et al., 2015).



**Figura 1.** Procedimiento empleado para crear la ilusión de la mano de goma (Adaptada de Botvinick, 2004).



**Figura 2.** Ejemplo del procedimiento para crear la ilusión (Luyat, 2014).

Aunque esta ilusión fue descrita por primera vez por Botvinick y Cohen en 1998, fue en 1937 cuando Tastevin publicó un artículo que se reconoce como el primer estudio de una sensación extracorporal, provocada en este caso por un dedo artificial. Botvinick y Cohen también descubrieron que tras la aparición de la ilusión, los sujetos padecían una distorsión de la información propioceptiva, ya que se les preguntaba que si con los ojos cerrados sabrían señalar con la mano (que no había sido utilizada en el experimento), cuál era la posición actual de su mano real y los sujetos indicaban que su mano real estaba cerca o incluso en la misma posición que la mano de goma. Otros autores como Armel y Ramachandran observaron, después del descubrimiento inicial, que los pacientes podían experimentar la ilusión incluso

cuando la mano falsa se reemplazaba por una superficie de madera era similar a la mano (Armel y Ramachandran, 2003). Estos autores afirmaban que la ilusión se producía cuando los toques vistos y sentidos se vinculaban, debido a su sincronía temporal, sin ser necesario que el objeto fuera similar o tuviera alguna relación postural con la mano real, oponiéndose así a Botvinick y Cohen que afirmaban que la ilusión se había producido debido a una resolución del conflicto entre la posición vista y la posición sentida de la mano. Otros autores, entre ellos Tsakiris y Haggard (2005), afirmaron que la fuerza de la ilusión dependía de si la mano de goma tenía una postura congruente y similitud física con la mano real, demostraron que al contrario que en los resultados de Armel y Ramachandran, la fuerza de la ilusión disminuía cuando la mano que se colocaba ante el sujeto era de madera, del lado opuesto, o no similar a la mano real. Esto sugiere que el procesamiento de abajo a arriba influye (se demostró que la correlación visual y táctil puede generar la ilusión), pero no es suficiente, ya que al parecer están involucrados procesos cognitivos superiores, como demostraron Tsakiris y Haggard. La similitud de la mano de goma con la mano real influye en la fuerza de aparición de la ilusión, por lo tanto, la cognición de arriba abajo también afecta a la ilusión, ya que la percepción visual esperada es más importante según estos resultados que la sensación táctil. Estos resultados no son exclusivos, ya que hay autores que defienden la idea de Armel y Ramachandran al afirmar que han podido crear la ilusión con un globo en vez de con una mano de goma, lo que implica que no es necesario que el objeto externo se compare con la representación corporal interna para que se dé la ilusión, pero sí es necesario que exista la correlación visual y táctil entre los toques de ambas manos. Además, algunos estudios demuestran que si la mano de goma es acariciada con un pedazo de algodón suave y la mano real con una esponja áspera, la ilusión continua apreciando a pesar de la diferencias de textura (Moseley, Gallace, Spence, 2011) (Romakonar et al., 2011) (Villén et al., 2015).

Otro aspecto importante que se ha observado durante la aparición de la ilusión, es que los estímulos presentados en la mano de goma, o cerca de la misma, provocan respuestas conductuales y neurales que normalmente aparecen cuando esos estímulos son presentados en la mano real. Por ejemplo, mover un cuchillo o aguja hacia la mano falsa suele provocar la retirada de la mano real, además, percibir que la mano falsa es amenazada por un estímulo doloroso aumenta la respuesta en la conductancia de la piel y activa regiones cerebrales que están relacionadas con la preservación del cuerpo (en concreto las zonas relacionadas con el sistema nervioso autónomo, lo que produce un aumento de la sudoración y, consecuentemente, un aumento de la conductancia de la piel). Estudios recientes afirman que durante la ilusión, el sujeto puede llegar a experimentar los sentimientos que son característicos de la acupuntura cuando se realiza ésta en la mano de goma que el sujeto está viendo (Ehrsson, 2012) (Moseley et al., 2011) (Romakonar et al., 2011).

Este fenómeno se utiliza para investigar la propiedad del cuerpo, la conciencia y la imagen corporal. Durante esta ilusión, la información sobre la propiedad corporal se distorsiona de tal manera que la posición de la mano real se resigna a la posición de la mano de goma visible; por lo tanto, los campos receptivos visuales centradas en la mano experimentan un cambio similar, ya que se redirigen a la mano artificial, lo que provoca que al ver un objeto que se aproxima a la mano de goma se activen las neuronas motoras responsables de mover la mano real de la corteza premotora. En el mismo sentido, cuando la ilusión comienza se produce un cambio en las representaciones táctiles y propioceptivas de la mano, para que así la información somática de la mano real escondida concuerde con la información visual que tenemos de la mano falsa. Cuando nuestra mano cambia de posición, el sistema visual sigue a la mano y representan un espacio cercano ésta que forma la referencia corporal. Lo que sucede cuando la ilusión comienza es que esta referencia corporal cambia de la mano real a la mano falsa. Todo esto sugiere que el sentimiento de propiedad está asociado con la reubicación del espacio corporal (Botvinick, 2004) (Ehrsson et al. 2004) (Whals et al., 2015).

Finalmente cabe añadir, que hay algunas personas que son capaces de experimentar una ilusión de tres brazos. En este caso, el experimento se realiza con dos manos de goma, colocadas una al lado de otra y ambas son estimuladas de forma sincrónica, a la vez que se toca la mano real del sujeto. Aparece la ilusión de que ambas manos que el sujeto ve son suyas y siente los toques de ambas manos. Esto podría sugerir que el cerebro es capaz de representar la mano en dos lugares simultáneamente (Ehrsson, 2012).

#### 4.1. Factores que influyen en la aparición de la ilusión de la mano de goma

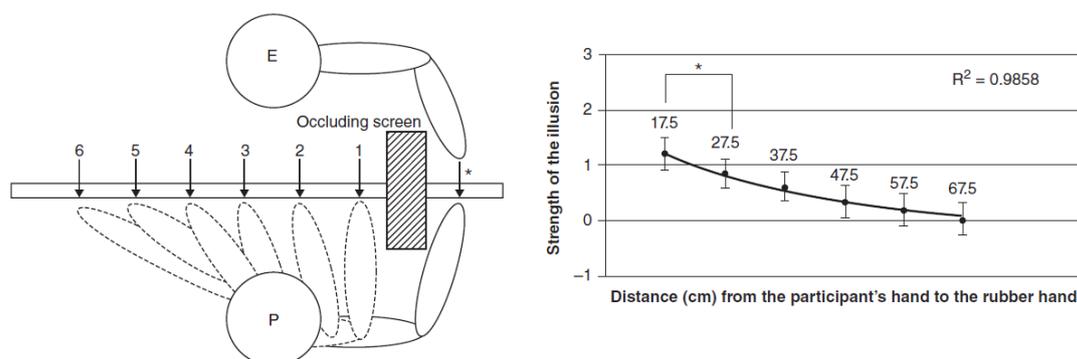
Este fenómeno sucede debido a varios factores que influyen en su intensidad de aparición debido a que, para incorporar un objeto que es externo a la propia imagen personal, en este caso la mano de goma, es necesario que se den una serie de condiciones relacionadas con la estimulación visual, táctil y propioceptiva (Villén et al., 2015).

Una condición importante es que los toques que recibe la mano de goma tienen que darse de forma sincrónica con los que recibe la mano real y, además, han de ser en la misma localización. Un estudio realizado, en el cual se daban cuatro condiciones diferentes (sincrónico congruente, sincrónico incongruente, asincrónico congruente y asincrónico incongruente), demostró que la ilusión aparecía con más intensidad en la condición sincrónica congruente en relación a las otras tres, es decir, cuando los toques se daban a la vez y la posición de la mano de goma era la misma que la posición de la mano real. Una diferencia de menos de 300 ms entre la estimulación visual de la mano falsa y la estimulación táctil de la mano real ya puede influir considerablemente en el proceso de integración multisensorial y

afectar a la aparición de la ilusión. Esto demuestra que la congruencia temporal de los estímulos táctiles y visuales de la ilusión de la mano de goma presentan similitudes con el principio de congruencia temporal necesario para la integración multisensorial (Ehrsson et al. 2004) (Ehrsson, 2012) (Romakonar et al., 2011) (Villén et al., 2015).

También es importante que la mano real esté oculta para el sujeto y éste solo pueda ver la mano de goma. Se realizó un estudio dónde se comprobó que la ilusión disminuía cuando mientras se estaban realizando los toques de forma sincrónica en ambas manos, la mano real no estaba oculta de la vista del sujeto (Romakonar et al., 2011).

Otra condición que influye en la aparición del fenómeno es la distancia de las manos, ya que si se encuentran muy separadas la ilusión no se produce. Se ha descubierto que es necesario que la mano de goma se encuentre dentro de un espacio conocido como espacio peripersonal. Este espacio comprende el área que rodea al cuerpo de una persona y está representado por el sistema cerebral especializado en integración multisensorial. En otras palabras, la corteza premotora tiene la capacidad de activar campos neuronales ante objetos que se encuentran cerca del propio cuerpo y neuronas bimodales que responden ante la estimulación táctil y visual. Para algunos autores, este espacio tiene el objetivo de planificar y ejecutar movimientos cuyo propósito es el de proteger al cuerpo de una amenaza física. El cerebro tiene que establecer que el espacio que rodea la mano de goma está dentro del espacio peripersonal para que se pueda producir la ilusión (las limitaciones espaciales de esta ilusión están aproximadamente a unos 30 cm de la mano real del participante) (**Figura 3**), cuando esto sucede la información visual de la mano falsa y la información táctil de la mano verdadera se integran y ocurre un solo evento visuo-táctil en la mano falsa (Moseley et al., 2011) (Romakonar et al., 2011) (Villén et al., 2015).



**Figura 3.** Relación inversamente proporcional de la ilusión y la distancia a la que se encuentra la mano de goma (Ehrsson, 2012).

También se ha observado que la temperatura de la mano real influye a la hora de que aparezca la ilusión. Estudios comprobaron que la temperatura de la mano durante la ilusión disminuye (aproximadamente  $0,27^{\circ}\text{C}$ ), otro estudio manipuló la temperatura de la mano real y se observó que al disminuir la temperatura de forma artificial la ilusión aparecía con mayor intensidad, pero al aumentarla, la ilusión aparecía con más dificultad. Por lo tanto, la termorregulación se asocia con el sentido de propiedad del cuerpo, es decir la temperatura está inversamente correlacionada con la fuerza de la ilusión. Cabe destacar, que la disminución de la temperatura ocurre únicamente en la mano que está formando parte del experimento y cuando el sentido de propiedad de la mano falsa está presente (Ehrsson, 2012) (Romakonar et al., 2011) (Villén et al., 2015)

Otra de las condiciones que afectan a la ilusión son las señales intero-ceptivas (determinan el movimiento y la orientación del cuerpo) ya que se ha comprobado que una estimulación del sistema vestibular produce un aumento en la ilusión (Villén et al., 2015).

Finalmente hay estudios que demuestran que la sugestibilidad hipnótica de los sujetos contribuye a las diferencias individuales que influyen en la intensidad de la ilusión. Se conoce como sugestibilidad hipnótica la habilidad de responder de manera automática a las sugerencias y a experimentar alteraciones en la percepción, en la fisiología, en las sensaciones, en las emociones y en los pensamientos o comportamientos. Los individuos con sugestibilidad hipnótica se caracterizan por focalizar la atención y bloquear fuentes de distracción, estas características facilitan la aparición de ilusiones corporales, como es en este caso la ilusión de la mano de goma (Whals et al., 2015).

En este punto cabe destacar que se ha observado que no todo el mundo experimenta la ilusión, alrededor de un 30% de las personas parecen ser inmunes a esta inducción. No se sabe la razón exacta de por qué sucede esto, pero se cree que se debe fundamentalmente a las diferencias individuales para inducir cambios en la imagen corporal. Esto sugiere que las personas que han trabajado con su cuerpo como bailarines, gimnastas o guitarristas confían más en su información somatosensorial propioceptiva y deberían ser más resistentes a la aparición de la ilusión (Ehrsson, 2012).

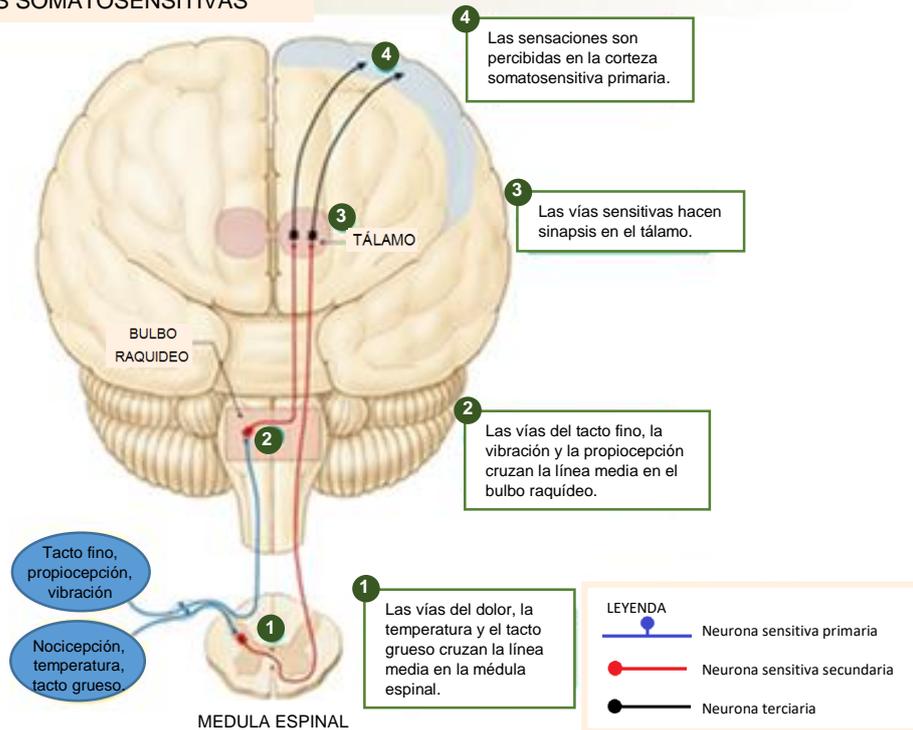
#### 4.2. Sistemas somatosensitivo y visual

La ilusión de la mano de goma aparece como resultado de la interacción de la visión, del tacto y de la sensación de propiocepción. Para comprender como se produce esta ilusión es necesario conocer previamente cómo funciona el cerebro a la hora de ver y de percibir, es decir, conocer el funcionamiento del sistema somatosensitivo y del sistema visual.

El sistema somatosensitivo es el encargado de traducir y transmitir todo tipo de sensaciones (el tacto, la presión, la vibración, la propiocepción -posición de las extremidades-, la temperatura y el dolor). Este sistema está dividido en tres subsistemas: un subsistema se encarga de transmitir la información desde los mecanorreceptores cutáneos de sensaciones de tacto fino, vibración y presión, el siguiente subsistema se encarga de la propiocepción, transmite la información proveniente de los receptores especializados que se asocian con los músculos y los tendones, y por último el subsistema que se encarga de transmitir el dolor, los cambios de temperatura y el tacto grueso (**Figura 4**). En este caso hay que centrarse en el tacto fino y la propiocepción, las cuales intervienen en la aparición de este fenómeno (Fitzpatrick, Mooney, 2016).

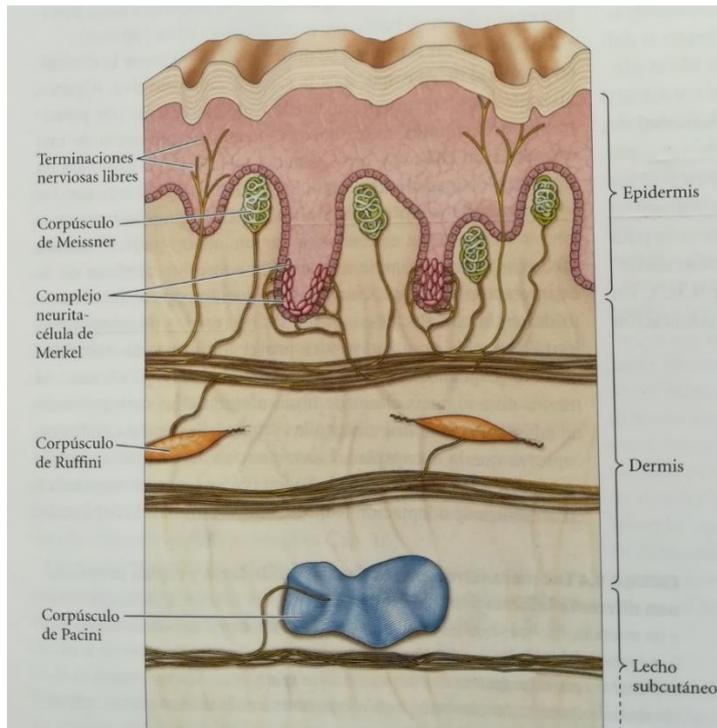
En la ilusión de la mano de goma, cuando se toca la superficie de la mano real escondida, las fibras nerviosas aferentes se activan y generan potenciales de acción que se propagan por los cuerpos celulares (situados en los ganglios raquídeos a lo largo de la médula espinal) hasta hacer sinapsis con las neuronas sensoriales secundarias, en el tronco del encéfalo. Este potencial surge cuando, como respuesta a un estímulo, se altera la permeabilidad de los canales catiónicos generando una corriente despolarizante. Estas fibras nerviosas están encapsuladas en mecanorreceptores (a excepción de las terminaciones nerviosas libres que se encargan del dolor, pero que en este caso no nos atañen), lo que provoca que los umbrales para la generación de potenciales sean más bajos, es decir, estas fibras serán más sensibles (Fitzpatrick, Mooney, 2016).

## VÍAS SOMATOSENSITIVAS



**Figura 4.** Vías del sistema somatosensorial, procesando separadamente la información sobre tacto fino y propiocepción, y la información sobre dolor y temperatura.

Hay cuatro tipos de mecanorreceptores cutáneos del sistema somatosensorial: las células de Merkel (información sobre forma y textura), los corpúsculos de Meissner (información sobre vibraciones de baja frecuencia, texturas y control de la presión), los corpúsculos de Pacini (más profundos, umbral de respuesta bajo, vibraciones a altas frecuencias) y los corpúsculos de Ruffini (profundos, información del estiramiento de la piel y de estímulos generados internamente) (**Figura 5**). Existen otro tipo de mecanorreceptores que dan información sobre la posición del cuerpo, se denominan propioceptores y se ubican en los husos musculares y en los tendones que unen los músculos a los huesos (Fitzpatrick, Mooney, 2016). A partir de los datos disponibles en la literatura, probablemente sean los corpúsculos de Meissner y los propioceptores los que se ven implicados en la ilusión.



**Figura 5.** Posición de los mecanorreceptores en las diferentes capas de la piel (Fitzpatrick, Mooney, 2016).

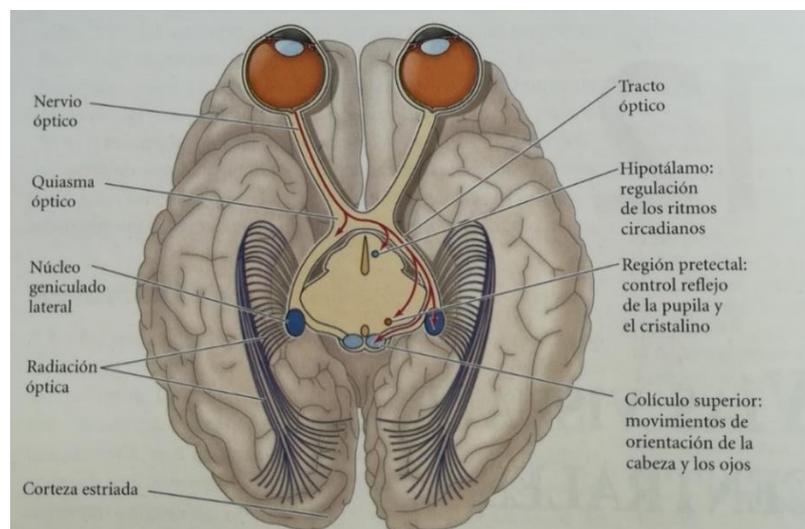
Cabe destacar que son los husos musculares los que se encargan de proporcionar un conocimiento más detallado sobre la posición del cuerpo. Estos husos se encuentran en los músculos estriados y están formados por ocho fibras musculares intrafusales que están distribuidas a su vez entre las extrafusales (que son las verdaderas productoras de fuerza). Cuando las intrafusales perciben un estímulo se activan y generan potenciales de acción, pueden ser del grupo Ia (dan información del movimiento de las extremidades), del grupo II (dan información sobre la posición de las extremidades) o del grupo Ib (dan información de la tensión que existe en el músculo). Se realizaron experimentos para comprobar que la estimulación de estos husos musculares provocaban sensaciones de movimiento en los sujetos a pesar de estar inmóviles; el resultado fue que la vibración sobre los husos provocaba en los sujetos sensaciones de movimiento que eran incluso imposibles anatómicamente. Estas ilusiones ocurrían tan solo si se tapaba la vista de los sujetos para que no pudieran ver la posición real de su extremidad (Fitzpatrick, Mooney, 2016). Por lo tanto, se podría decir que son las fibras del grupo II las que intervienen en la ilusión.

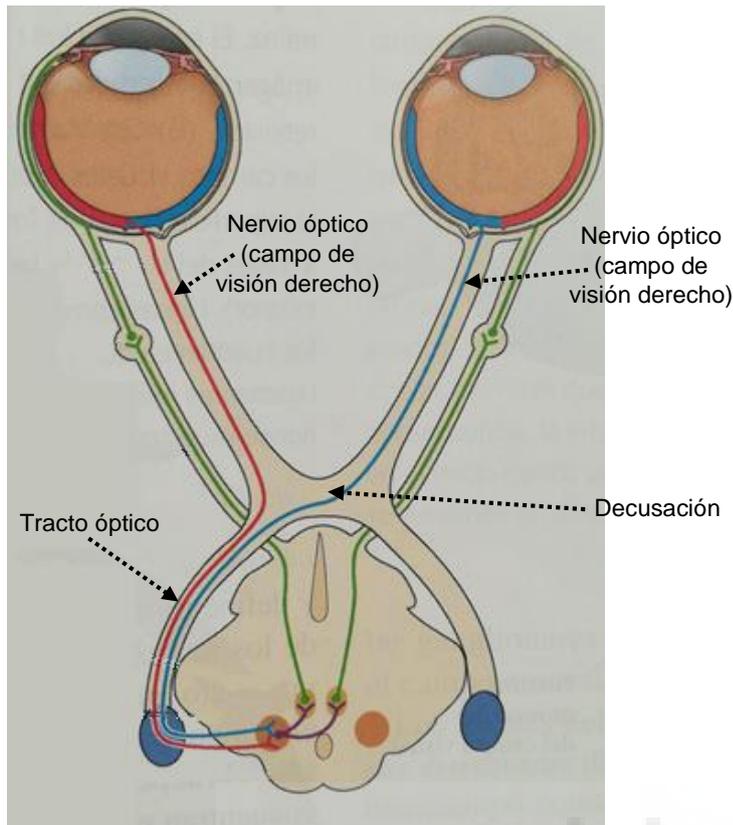
Como bien se ha dicho anteriormente, para que la ilusión de la mano de goma sea posible, también es necesaria la participación del sistema visual. Este sistema es el encargado de transmitir la información proporcionada por la retina al encéfalo para finalmente obtener una percepción consciente de la imagen que se está viendo (Fitzpatrick, Mooney, 2016).

Centrándonos en la ilusión de la mano de goma, cuando el sujeto observa que tocan la superficie de la mano de goma, las células ganglionares de la retina se activan y generan potenciales de acción que se propagan por sus axones; éstos abandonan la retina a través de una región denominada disco óptico formando lo que se conoce como nervio óptico. Este nervio continúa su recorrido hasta alcanzar el quiasma óptico en la base del diencefalo (aquí alrededor de un 60% de las fibras cruzan el quiasma, el resto continua hacia el tálamo y el mesencéfalo). El porcentaje de axones que cruzan el quiasma se unen a los axones provenientes del quiasma del ojo contrario, para formar así el tracto óptico. Este tracto óptico por lo tanto, está formado por axones con información proveniente de ambas retinas, este cruzamiento se denomina decusación y permite que la información de una mitad del campo visual recogida por ambas retinas sea procesada en un mismo hemisferio cerebral. La estructura diana principal de todos estos axones en el diencefalo es el núcleo geniculado dorsolateral del tálamo. Aquí hacen sinapsis con las neuronas del núcleo geniculado y éstas envían sus axones hacia la corteza cerebral a través de una cápsula interna denominada radiación óptica. Estos axones terminan en la corteza visual primaria (o corteza estriada) donde finalmente se procesa la información visual (**Figuras 6 y 7**) (Fitzpatrick, Mooney, 2016).

Aunque no influyan directamente en la ilusión, cabe destacar que, como se ha dicho anteriormente, no todas las fibras se dirigen hacia el tálamo, sino que lo hacen hacia el mesencéfalo, en concreto a una región conocida como región pretectal. Esta región se encarga de coordinar el reflejo fotomotor (es decir, la reducción del diámetro pupilar que ocurre cuando incide bastante luz sobre la retina). Otras estructuras diana de estos axones son el núcleo supraquiasmático del hipotálamo (esta vía retinohipotalámica es la responsable de registrar las variaciones en los niveles de luz que influyen en las funciones viscerales que se relacionan con el ciclo día/noche) y el colículo superior (que se encarga de coordinar los movimientos de la cabeza y de los ojos a los puntos diana visuales) (Fitzpatrick, Mooney, 2016).

**Figura 6.** Proyecciones de las células ganglionares de la retina hasta el tálamo y la corteza visual primaria (Fitzpatrick, Mooney, 2016).





**Figura 7.** Decusación de los axones de las células ganglionares de la retina nasal en el quiasma óptico, pasando el tracto óptico contralateral. Algunos axones se dirigen al mesencéfalo, participando en el control del diámetro pupilar (Adaptado de (Fitzpatrick, Mooney, 2016).

Por lo tanto, tras los datos obtenidos en la literatura se puede decir que la ilusión sucede cuando, tras unos segundos, la activación del sistema somatosensitivo ocurre de forma simultánea a la activación del sistema visual, y ambas informaciones se procesan a la vez, el cerebro comienza a creer que esa mano que ve es la suya.

#### 4.3. Bases neuronales

Durante la aparición de la ilusión intervienen y se activan diferentes áreas cerebrales para lograr la integración multisensorial. Son las áreas de asociación las que se encargan de integrar los diferentes estímulos, en concreto se observa un incremento de actividad cerebral durante la ilusión en la corteza premotora y la corteza parietal (que están involucradas en la representación multisensorial de la posición de las extremidades), en el cerebelo y en la ínsula posterior derecha. Diversos estudios han empleado la técnica de la resonancia magnética funcional o fMRI para investigar los diversos mecanismos del cerebro que intervienen en el sentimiento de pertenencia de las partes del cuerpo (Ehrsson et al. 2004) (Villén et al., 2015).

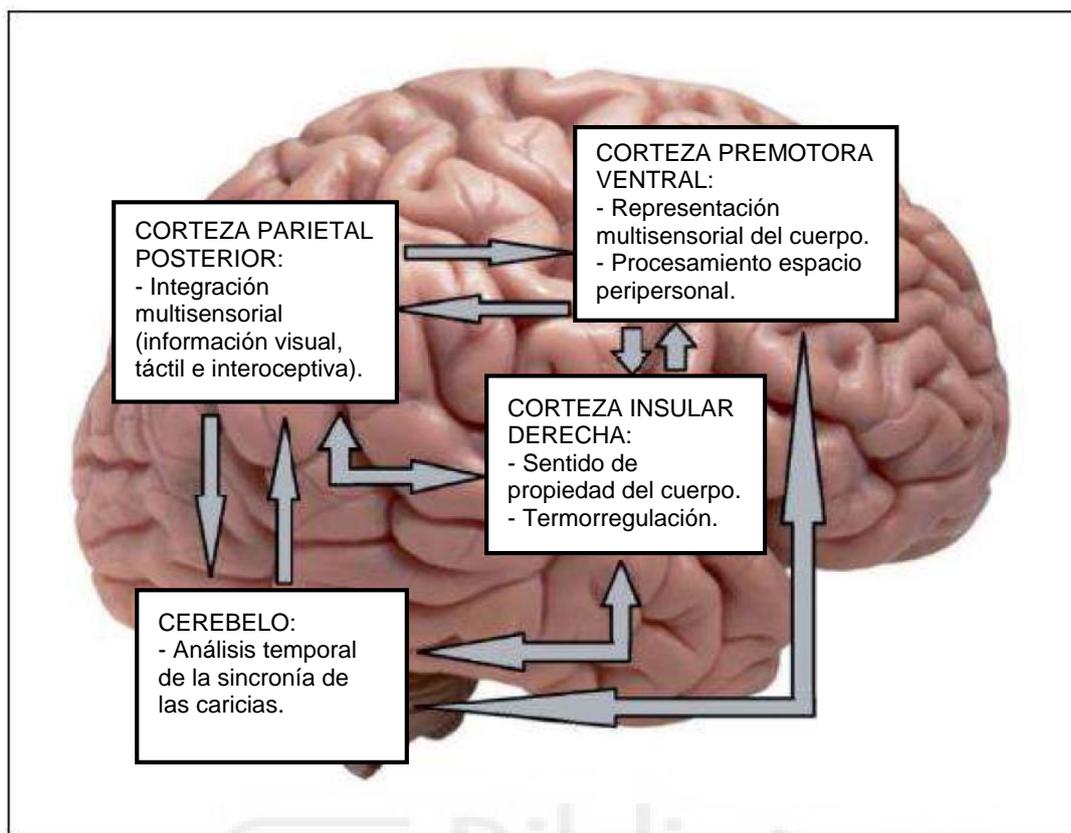
El circuito neuronal que regula la ilusión de la mano de goma se representa esquemáticamente en la **Figura 8** y se puede sintetizar de la siguiente manera:

La corteza premotora ventral se encarga de procesar los estímulos que se encuentran dentro del espacio peripersonal, es decir, esta corteza refleja el sentimiento de pertenencia de la mano vista. Se ha descartado que su activación se deba meramente al procesamiento visual de la mano de goma cerca del cuerpo ya que se han realizado estudios en los cuales se retiraba la estimulación visual y aun así la corteza se activaba selectivamente en función de la integración multisensorial (es decir, aunque desaparezca una de las entradas sensoriales, en este caso la visión, sigue apareciendo la ilusión). Esta corteza es idónea para la representación multisensorial del propio cuerpo ya que está conectada a áreas visuales y somatosensoriales de la corteza parietal posterior y de áreas motoras frontales. Además, contiene neuronas que combinan campos receptivos visuales y táctiles; estas neuronas visuo-táctiles responden cuando un área específica del cuerpo es tocada o cuando se ve un objeto aproximarse a esta área. Un estudio demostró que los sujetos que decían sentir la ilusión con más fuerza eran también los que mostraban mayor nivel de oxígeno en sangre en la corteza premotora bilateral; además, se observó la existencia de una relación lineal entre sentimiento subjetivo de la ilusión y el nivel de actividad en la corteza premotora (Botvinick, 2004) (Ehrsson et al. 2004) (Villén et al., 2015).

La corteza parietal se encarga de la integración de la estimulación visual, táctil y propioceptiva. Se han encontrado evidencias de que la inhibición de la corteza ínfero-posterior del lóbulo parietal mediante estimulación magnética transcraneal, produce una disminución en la aparición de la ilusión. Es una de las áreas más importantes para la generación de la ilusión ya que ésta depende de la integración de la información de la orientación de la mano y de la información de los eventos visuo-táctiles (Ehrsson et al. 2004) (Villén et al., 2015).

El cerebelo se relaciona con el análisis temporal de las entradas sensoriales, es decir se encarga de analizar la sincronía con que la mano de goma y la mano real reciben la estimulación táctil; además, está unido a las cortezas premotora y parietal. Algunos estudios observaron una relación entre la actividad del cerebelo lateral derecho y la fuerza con la que se producía la ilusión (Ehrsson et al. 2004) (Villén et al., 2015).

Por último, la corteza insular derecha se encarga del sentido de propiedad de la mano en la ilusión, además también participa en la termorregulación, por lo que como se ha dicho anteriormente, se cree que es probable que la temperatura influya en el sentido de propiedad de la mano, ya que puede modificar la actividad neuronal de la ínsula (Villén et al., 2015).



**Figura 8.** Circuito neuronal que regula la ilusión de la mano de goma (Villén et al., 2015).

Se ha descubierto que el principal neurotransmisor de este circuito responsable de la ilusión de la mano de goma es la dopamina, ya que hay estudios que demuestran que la administración de un agonista dopaminérgico hace que aumente la intensidad de la ilusión; es más, se ha descubierto que incluso cuando las estimulaciones son asincrónicas, la ilusión continúa apareciendo (Villén et al., 2015).

#### 4.4. Otros datos de interés

##### *4.4.1. Miembros fantasma*

Otra alteración de la percepción corporal que aparece en sujetos que han sufrido una amputación o que carecen de una extremidad, son los *miembros fantasma*. Esta ilusión consiste en sentir que el miembro ausente sigue presente y demuestra que la maquinaria central para el procesamiento de la información somatosensitiva no está inactiva en ausencia de estímulos periféricos, si no que los sistemas de procesamiento siguen operando de forma independiente de la periferia para organizar estas sensaciones extrañas. Cuando una persona sufre una amputación desarrolla una reorganización funcional de los mapas somatotópicos en la corteza somatosensitiva primaria y va evolucionando durante años (es decir, una región

que se activa invade zonas contiguas que no se activan normalmente debido a la falta de estimulación). Uno de los efectos es que las neuronas que perdieron sus aferencias originales responden a la estimulación táctil de otras partes del cuerpo; por ejemplo, si se toca el rostro el sujeto puede experimentar como si le hubiera tocado el miembro amputado. Además, un aspecto importante a destacar es que las personas que nacieron sin una extremidad experimentan también este tipo de ilusiones fantasma. Esto sugiere que hay una representación completa del cuerpo independientemente de los elementos externos que nuestro cerebro registre. Según el autor Ronald Melzack, la pérdida de una extremidad genera un desequilibrio interno entre la representación del cuerpo que tenemos en el encéfalo y el patrón de aferencias periféricas táctiles que alcanzan la neocorteza; esto tendría como consecuencia la sensación de que la parte del cuerpo faltante sigue estando ahí y es funcional (Fitzpatrick, Mooney, 2016) (Villén et al., 2015).

Como se dijo anteriormente en la introducción, la ilusión puede aparecer en estos sujetos cuando se toca de forma sincrónica el muñón, que está escondido, y el dedo de la mano de goma. Cabe destacar que hay autores que afirman que la ilusión que se produce en estos sujetos es menos intensa que la ilusión tradicional, en cambio, otros afirman que la ilusión aparece con más intensidad cuando no existe la mano real. Se han realizado estudios en personas amputadas usando un espejo y una mano de goma colocada de forma que se reflejara en el espejo. Los sujetos amputados afirmaban tener más sensaciones ilusorias que los sujetos sanos del grupo control, sin importar si la mano de goma o la mano real habían sido estimuladas. Esta ilusión no es la única que aparece en sujetos amputados, otra puede ser la sinquiritia, en la que se percibe un toque en el miembro fantasma al ver como se toca la extremidad intacta que está reflejada en el espejo (Moseley et al., 2011) (Romakonar et al., 2011) (Villén et al., 2015).

#### *4.4.2. Realidad virtual*

Actualmente existen nuevas tecnologías que permiten ampliar el campo de investigación de estos fenómenos, como por ejemplo la realidad virtual. Se ha conseguido recrear la ilusión de la mano de goma en un ambiente virtual, creando así la ilusión de la mano de goma virtual. En este caso la mano de goma es reemplazada por una réplica digital de una mano real. Lo que sucede es que cuando el sujeto mueve su mano real con el dispositivo robótico enganchado, la mano virtual se mueve al mismo tiempo de forma sincrónica. Además, cuando el sujeto toca con la mano virtual un objeto, el robot emite una fuerza en la mano del sujeto y siente que es su mano real la que está tocando dicho objeto (Christ, Reiner, 2014).

Otro ejemplo para crear la ilusión de la mano de goma virtual, consiste en crear una realidad virtual montada con unas gafas en la cabeza. Los estímulos táctiles que aparecen en la realidad virtual son producidos en la realidad por una varita, por lo tanto, cuando el sujeto en la realidad virtual tocaba por ejemplo una pelota, la varita tocaba la mano real. Además de esta sincronía, cuando el sujeto con las gafas miraba hacia abajo podía ver representadas virtualmente sus piernas. Se descubrió que esta continuidad del cuerpo influía en la fuerza de la ilusión (Christ, Reiner, 2014).

## **5. Conclusiones**

Tras esta revisión bibliográfica, conocemos mejor el funcionamiento de nuestro cerebro a la hora de percibir y cómo influye la integración multisensorial en nuestra percepción; conocemos cómo se produce la ilusión de la mano de goma, qué bases neuronales están implicadas y qué factores personales determinan su intensidad. Por lo tanto, tras la lectura de este trabajo, si volvemos a la pregunta inicial, ¿es real todo lo que percibe nuestro cerebro?, la respuesta es no. No podemos confiar en que toda la información que nos ofrece el cerebro es real, nuestro cerebro tiene la capacidad de engañarnos con más facilidad de la que creemos, y la ilusión de la mano de goma puede ser un claro ejemplo de esto, ya que a pesar de que sabemos que nuestra mano está escondida y la que vemos no es real, acabamos confundidos sintiendo que esa mano que vemos es nuestra. Y no solo eso, sino que sentimos que la estimulación somatosensitiva que se hace en la mano de goma nos la están haciendo a nosotros mismos, en la mano propia. Estos engaños o ilusiones perceptivas son interesantes no solo por su capacidad de hacernos dudar de la realidad, sino también porque se pueden desarrollar una gran variedad de aplicaciones clínicas dirigidas a mejorar la vida de las personas con alguna patología, porque sería maravilloso que una persona que ha sufrido una amputación pudiera volver a sentir que toca, que coge, que acaricia, gracias a una prótesis que engaña a nuestro cerebro para que se piense que es suya. A pesar de que esta no es la única de sus aplicaciones como bien se ha explicado antes, si es una de la más relevantes a mi parecer.

## 6. Bibliografía

- Armell, K.C., Ramachandran, V.S. (2003) Projecting sensations to external objects: evidence from skin conductance response. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 270(1523), 1499–1506.
- Botvinick, M. (2004). Probing the neural basis of body ownership. *Science*, 305, 782-783.
- Botvinick M, Cohen J. (1998) Rubber hands 'feel' touch that eyes see. *Nature*, 391, 756.
- Christ, O., Reiner, M. (2014). Perspectives and possible applications of the rubber hand and virtual hand illusion in non-invasive rehabilitation: technological improvements and their consequences. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 44, 33-44.
- Ehrsson, H. H., Spence, C., Passingham, R. E. (2004). That's my hand! Activity in premotor cortex reflects feeling of ownership of a limb. *Science*, 305, 875-877.
- Ehrsson, H. H. (2012). The concept of body ownership and its relation to multisensory integration., En B. E. Stein (Ed.), *The New Handbook of Multisensory Processes* (pp. 775-792), Cambridge: Brand: The MIT Press.
- Fitzpatrick, D., Mooney, R. D., (2016). Dolor, En D. Purves, J. A. Augustine, D. Fitzpatrick, W. C. Hall, A. S. LaMantia, L. E. White (Eds.), *Neurociencia* (pp.222), Madrid: Panamericana.
- Fitzpatrick, D., Mooney, R. D., (2016). Sistema somatosensitivo: Tacto y propiocepción, En D. Purves, J. A. Augustine, D. Fitzpatrick, W. C. Hall, A. S. LaMantia, L. E. White (Eds.), *Neurociencia* (pp. 189-208), Madrid: Panamericana.
- Fitzpatrick, D., Mooney, R. D., (2016). Vías visuales centrales, En D. Purves, J. A. Augustine, D. Fitzpatrick, W. C. Hall, A. S. LaMantia, L. E. White (Eds.), *Neurociencia* (pp. 258-276), Madrid: Panamericana.
- Luyat, M. (2014). Les apports de la psychologie cognitive et de la neuropsychologie dans la compréhension de l'anorexie mentale. *Thérapie Comportementale et Cognitive*, 24(3), 114-121. – bibliografía de la imagen 3
- Moseley, G. L., Gallace, A., Spence, C. (2012). Bodily illusions in health and disease: physiological and clinical perspectives and the concept of a cortical 'body matrix'. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 36(1), 34-46.
- Ramakonaar, H., Franz, E. A., Lind, C. R. (2011). The rubber hand illusion and its application to clinical neuroscience. *Journal of Clinical Neuroscience*, 18(12), 1596-1601.

- Rodríguez-Melgarejo, G., Rodríguez-Angarita, O., Ávila-Campos, J. E., Avededo-Triana, C. A. (2015). Relación entre el fenómeno de la ilusión de la mano falsa y variables personales. *Suma psicológica*, 22, 110-119.
- Tsakiris, M., Haggard, P. (2005). The rubber hand illusion revisited: visuotactile integration and self-attribution. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance*, 31(1):80-91.
- Villén, J. A., Martín, A. C., Pérez-Díazi, F. J., López, J. C. (2015). La ilusión de la mano de goma: factores implicados, bases neurales y aplicaciones clínicas. *Revista chilena de neuro-psiquiatría*, 53(4), 277-285.
- Walsh, E., Guilmette, D. N., Longo, M. R., Moore, J. W., Oakley, D. A., Halligan, P. W., Mehta, M. A., Deeley, Q. (2015). Are you suggesting that's my hand? The relation between hypnotic suggestibility and the rubber hand illusion. *Perception*, 44(6), 709-723.

