



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE PSICOLOGÍA**

**EFFECTOS PLÁSTICOS DE LA ESTIMULACIÓN  
SOMESTÉSICA IRRELEVANTE SOBRE LA  
REPRESENTACIÓN PERCEPTUAL DE LA MANO**

---

**T E S I S**

---

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE**

**LICENCIADA EN PSICOLOGÍA**

---

**PRESENTA:**

**RITA MARIEL RODRÍGUEZ BELLIZIA**

---

**DIRECTOR: DR. GABRIEL GUTIÉRREZ OSPINA**

---

**REVISOR: MTRO. GERARDO ORTÍZ MONCADA**

---

**COMITÉ SINODAL: DRA. MARÍA DOLORES RODRÍGUEZ ORTÍZ, DRA. ITZEL**

**GRACIELA GALÁN LÓPEZ Y DR. OCTAVIO CÉSAR GARCÍA GONZALEZ**

---

**MEXICO, CIUDAD UNIVERSITARIA D.F., 2015.**

---





Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



## **AGRADECIMIENTOS**

El trabajo experimental presentado en este documento se realizó en el Departamento de Neurociencias del Centro Canadiense para Neurociencias Conductuales (CCBN) de la Universidad de Lethbridge, Alberta Canadá bajo la supervisión de la Dra. Claudia González, durante una estancia de 3 meses auspiciada por el programa de intercambio académico Mitacs, globalink.

La elaboración de la tesis se llevó a cabo en el Departamento de Biología Celular y Fisiología del Investigaciones Biomédicas de la UNAM, bajo la supervisión del Dr. Gabriel Gutiérrez Ospina.

Agradezco al Dr. Jesús Ramírez Santos y al Mtro. Jason Flindall por su apoyo logístico y técnico para el desarrollo del análisis de los datos y a la Dra. Nazira Calleja por supervisión estadística.

Este trabajo fue financiado por el proyecto Mitacs encabezado por Brad Bennett, el gobierno de Alberta, Canadá, la Dra. Claudia González y con fondos otorgados al Dr. Gutiérrez Ospina por el Instituto de Investigaciones Biomédicas.

## **DEDICATORIAS**

Esta tesis empezó y terminó en medio de la peor crisis existencial de mi vida.

Me he cuestionado todo y enfrentado a demonios que ni sabía existían en mí. Y para comenzar a agradecer...

Principalmente a mi madre, por la vida, la comprensión incondicional y el jugo mañanero cuando no quería escribir ni continuar con nada. A toda nuestra familia Bellizia.

A mi abuelo Armando que ya es parte del cosmos, pero que algún momento fue la persona más importante en mi vida hasta que tuvo que irse.

Principalmente en lo académico a la Dra. Claudia González por la pasión combinada con disciplina que me enseñó y ser un gran ejemplo. Al Dr. Gabriel Gútiérrez por confiar en mí cuando yo no confiaba en mí misma. Y a la Dra. Nazira Calleja por su paciencia para simplificarme lo que me parecía imposible.

To all the people in Lethbridge who actually participated in the experiment, thank you so much for giving me 1 hour of your lives: Juliana, Matthew, Jason, Ana, Ines, Rio, Leonardo, Edgar, Gui, Erik, Mariana, Carissa, Jessica, Maurice, Dominic, Sergey, Adam, Jeanne....

Matthew, Ana, Leo, Monze for the good moments i will never forget!

A Ale Aguayo por introducirme al mundo de las neurociencias, gracias pingüino.

Mis compas del laboratorio Diana Esquivel y Rodrigo Islas por los ánimos incondicionales a cualquier tragedia griega que ocasione en el laboratorio. Ensuciamos nuestros karmas un poquito juntos. Jonathan Salgado por enseñarme a pipetear y otras enseñanzas esenciales del lab.

Mis amigos de toda la vida: Evelyn, César, Karelya, Gil simplemente por ser ustedes mismos, que sigamos caminando juntos, los amo y admiro de mil formas.

A mi gato Camilo, cuyos paseos por el teclado considero imprescindibles para haber continuado la redacción de este trabajo.

Al ser infernal (tu sabes quién eres) por todo el caos que causo y todo lo que me enseñó en el proceso.

A Vincent L. por tu estoica forma de ver la vida que compartimos por tan breve pero significativo instante, listo!.

## **ÍNDICE**

**Resumen.**

**Introducción.**

**Capítulo 1. Compartimentalización de la corteza cerebral**

**Capítulo 2. Ventajas funcionales de la compartimentalización cortical**

**Capítulo 3. La plasticidad de las representaciones**

**Capítulo 4. Desarrollo de la investigación**

**Capítulo 5. Resultados**

**Capítulo 6. Discusión y conclusiones**

**Referencias**

**Anexos**

## **RESUMEN**

Para su estudio, las áreas sensoriales primarias de la corteza cerebral se subdividen en regiones cuya organización espacial refleja la organización topológica de los órganos receptores sensoriales periféricos. La representación corporal en la corteza somatosensorial primaria (S1) depende directamente de la densidad de inervación periférica; a mayor densidad de inervación mayor la representación cortical del segmento corporal. Esto explica por qué las manos y la boca poseen una representación mayor que la del tronco. Si bien la función que cumplen estas representaciones en el procesamiento sensorial no está del todo definida, en fechas recientes se ha propuesto que ésta posee una relación directa con la percepción de las dimensiones del cuerpo. Un hecho que llama la atención es que la representación corporal en S1 presenta plasticidad. Por ello nos surgió la pregunta de si las representaciones perceptuales de las dimensiones corporales son también susceptibles al cambio. Para evaluar esta posibilidad instrumentamos un protocolo en el que los participantes estimarán la localización de diez puntos morfofuncionales de sus manos, en ausencia o presencia de una estimulación somestésica irrelevante. Los resultados indican que los participantes distorsionaron la representación perceptual de sus manos antes y que dicha representación se modificaba en consecuencia a la estimulación somestésica. Con base en ellos concluimos que la representación perceptual de las manos es susceptible de plasticidad similar a lo que ocurre en la representación de S1.

## INTRODUCCIÓN

La corteza cerebral está organizada en compartimentos que realizan, bajo condiciones normales, funciones específicas. Así, con relación a los sistemas sensoriales, podemos observar áreas, conocidas como sensoriales primarias, dedicadas al procesamiento de información visual, auditiva, vestibular, olfativa y somestésica (Buonomano y Merzenich, 1998). Una característica de estas áreas es que se encuentran sub-divididas en regiones cuya organización espacial refleja la organización topológica de los órganos receptores sensoriales periféricos. Por ejemplo, la corteza somatosensorial está constituida por subregiones que representan a la cabeza, al tronco y a las extremidades. A su vez, estas representaciones se encuentran divididas en sub-representaciones corporales más pequeñas que corresponden a segmentos corporales menores. Para el caso de la mano, en el humano, ésta tiene su sub-representación cortical ubicada en la representación del miembro superior. Dicha sub-representación está conformada por áreas que representan a los dígitos. De esta forma no existe una parte del cuerpo que no tenga su representación en la corteza somatosensorial primaria. Las representaciones y sub-representaciones corporales en la corteza somatosensorial primaria, sin embargo, no son proporcionales al tamaño real de los segmentos corporales que representan. La representación cortical de la mano es, por ejemplo, mucho mayor a aquella que corresponde al tronco. Estas diferencias resultan de la densidad de inervación que ambas regiones tienen, siendo ésta varias veces mayor en la mano y particularmente en los dedos.

Una pregunta central en neurociencias es ¿para qué nos sirven estas representaciones y sub-representaciones en la operación de nuestro cuerpo? Hay quienes piensan que permiten la segregación de la información sensorial mejorando la precisión del análisis de la misma (Ford, 2005). Se ha sugerido que las representaciones y sub-representaciones permiten generar coherencia espacial entre las representaciones mentales y el entorno (Giummara et al 2008). También se ha postulado que las diferencias en el tamaño de las representaciones y sub-representaciones corporales influyen en nuestra habilidad para estimar la



métrica de nuestro cuerpo y así en la ejecución de una acción motora (Linkenauger et al; 2009a). (Linkenauger et al; 2009a) (Linkenauger et al; 2011) (Linkenauger et al; 2009b). Esto no tendría mayor dificultad de ser entendido si no fuera porque las dimensiones de las representaciones y sub-representaciones corticales pueden cambiar dependiendo de la información propio- y exteroceptiva (Buonomano y Merzenich, 1998). Por lo que la percepción y la ejecución motriz deberían modificarse constantemente. De hecho se ha propuesto que la distorsión de las representaciones preexistentes en la corteza somatosensorial primaria influyen fuertemente sobre la representación perceptual de nuestro cuerpo la cual, por consiguiente, debe estar también distorsionada (Longo y Haggard, 2010). No se sabe, sin embargo, si la representación perceptual puede ser plástica, tal y como lo es la representación formal en la corteza somatosensorial primaria. Así, en este trabajo instrumentamos un protocolo que nos permitió evaluar esta posibilidad.

## **CAPÍTULO 1. COMPARTAMENTALIZACIÓN DE LA CORTEZA CEREBRAL**

La corteza cerebral en el ser humano, es una delgada capa de tejido con un área superficial promedio de  $2600 \text{ cm}^2$  entre 3-4 mm de grueso. Contiene  $28 \times 10^9$  neuronas conectadas por  $10^{12}$  de sinapsis. La corteza cerebral se divide en dos hemisferios derecho e izquierdo que se encuentran interconectados por el cuerpo calloso. Está organizada horizontalmente en seis capas y verticalmente en mini-columnas que se introducen perpendicularmente desde su superficie. Las mini-columnas están conformadas por grupos de células interconectadas entre sí y con aquellas de las mini-columnas vecinas. Las neuronas de cada mini-columna actúan como un “equipo” en el que cada célula está involucrada en el procesamiento de información relacionada con el procesamiento perceptual de los estímulos presentados en la misma ubicación. Las mini-columnas aledañas unidas por conexiones horizontales conforman módulos de procesamiento de mayor tamaño denominadas columnas. Cada columna posee propiedades fisiológicas y responden a estímulos específicos. Las columnas corticales se organizan en mapas que facilitan la ejecución de operaciones intermitentes y recursivas,

particularmente en las áreas sensoriales primarias (Mountcastle, 1997). Así, existen mapas que representan al espacio visual (i.e. mapa retinotópico), el gustativo, del olfativo, el auditivo (i.e., mapa tonotópico) y el somestésico (i.e., mapa somatotópico). Cada uno de ellos está organizado en función de la topología del ambiente del cual extraen la información correspondiente para cada modalidad sensorial (Buonomano y Merzenich, 1998).

En particular, en el ser humano, la corteza somatosensorial primaria (S1), contiene un mapa del cuerpo denominado homúnculo, descrito por vez primera por Penfield y Boldrey en la década de los 30's del siglo pasado mediante la aplicación de estímulos eléctricos a la corteza cerebral en pacientes conscientes que cursaban una neurocirugía (Penfield y Boldrey, 1937). En este mapa, los distintos segmentos corporales -la cabeza, el tronco, las cuatro extremidades- poseen una representación. Cada una de estas representaciones se divide en sub-representaciones cada vez de menor tamaño de forma tal que, al final, cada fracción minúscula de cuerpo tiene una representación a nivel cortical. En el mapa somatotópico, las distintas regiones anatómo-fisiológicas que los componen difieren en dimensiones al ser comparadas con métrica real del cuerpo.

Así las representaciones de los segmentos corporales que están densamente inervados por terminales nerviosas, ocupan una mayor porción del territorio destinado al mapa corporal. En el caso del homúnculo, la mano y la boca son las representaciones más relevantes (Figura 1). Tan solo en una mano existen aproximadamente 150 000 mecanorreceptores que están conectados al sistema nervioso central por 30 000 fibras aferentes primarias (Gardner, 2010). La densidad de receptores es mayor en la punta de los dedos (2500 por  $\text{cm}^2$ ); cada punta de los dedos es inervada por 250-300 fibras mecanoreceptoras (Gardner, 2010). Las fibras primarias aferentes que transmiten la información a la corteza contienen un área receptiva de 10-25 terminales nerviosas, tanto en la punta de los dedos como los labios, poseen el mayor número de receptores en la piel, pero las áreas receptoras son finas. Este arreglo permite al nervio muestrear la

actividad de múltiples receptores, y localizar exactamente en donde está siendo estimulado la mano. Por el contrario, áreas grandes como el tronco o la pierna están menor densamente inervadas y además sus áreas receptoras son más grandes por lo que no sirven para precisar detalles táctiles finos (Sur et al 1980) (Gardner, 2010) Finalmente se piensa que la formación del mapa somático se debe a la existencia de correlaciones temporales de aferencias tales que aquellas asociadas con áreas vecinas, por ejemplo, de la piel, deben en general estar más correlacionadas que áreas no adyacentes (Buonomano y Merzenich, 1998).

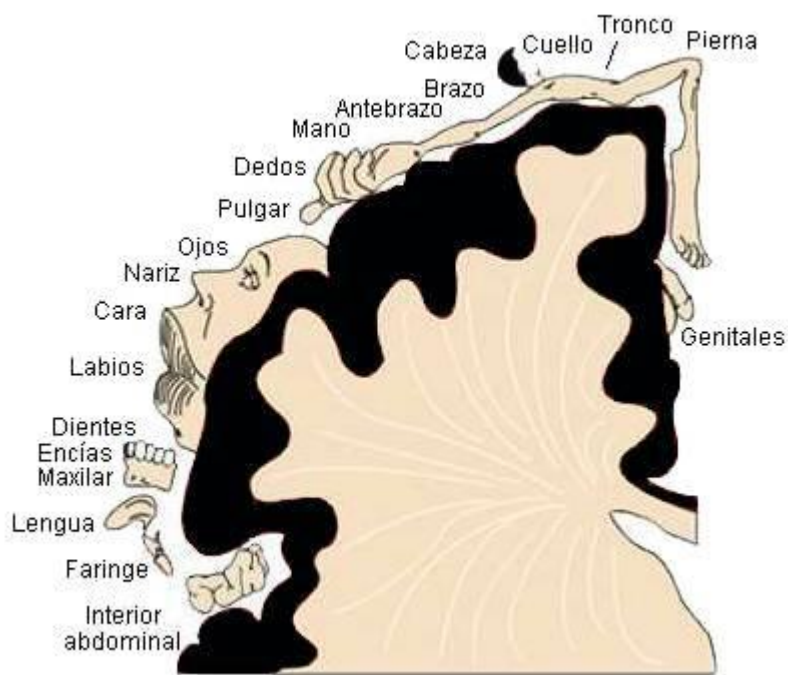


Figura 1. Homúnculo Sensorial. Esquema tomado de <http://www.fisioenap.com/la-propiocepcion-y-el-homunculo/>

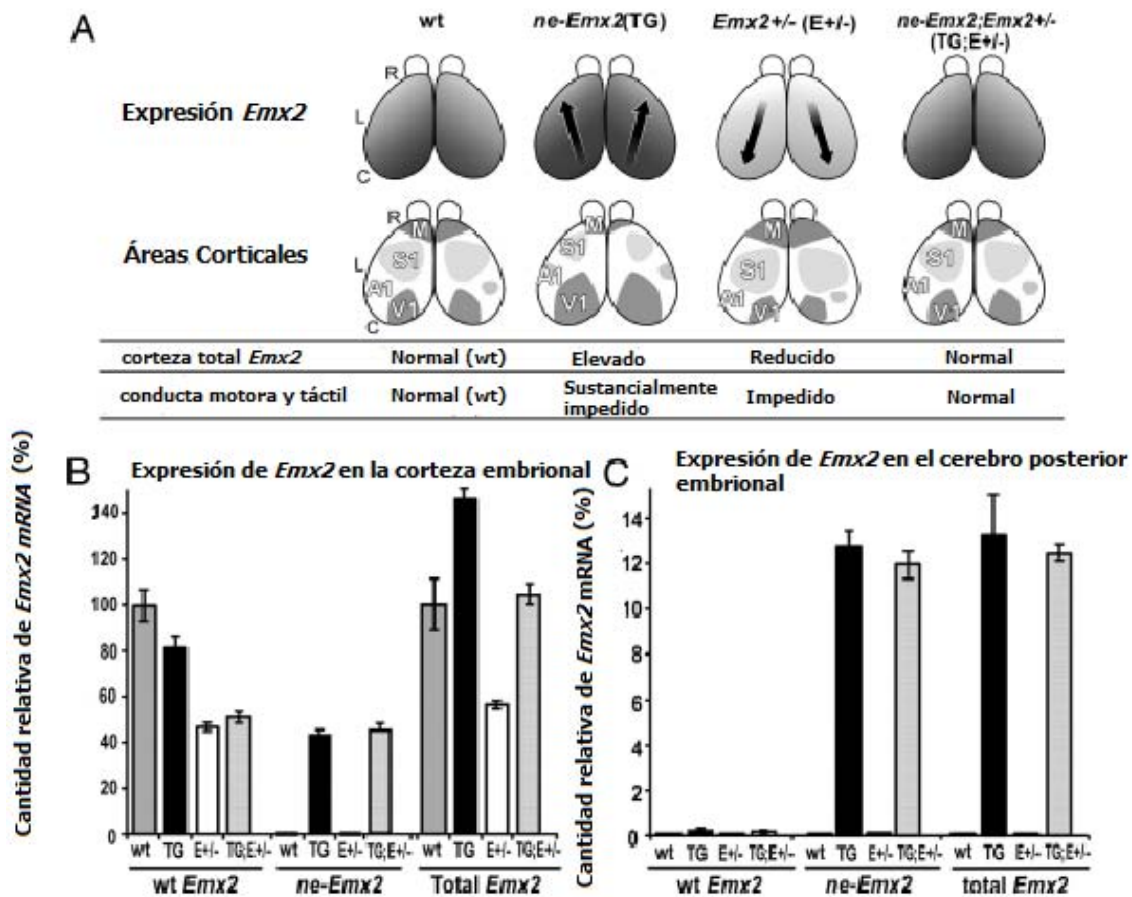
## CAPÍTULO 2. VENTAJAS FUNCIONALES DE LA COMPARTAMENTALIZACIÓN CORTICAL

Si bien la organización topológica de los mapas sensoriales está bien establecida, la función de dichas representaciones aún es motivo de controversias. No obstante ello, de acuerdo con Diamond (2005), los módulos y sus sub-compartimentos permiten preservar las relaciones espacio-temporales cuando la

información recabada está siendo procesada, debido a segregación de neuronas que comparten o no áreas receptoras. Este autor estima que la organización columnar permite la pérdida de un 1% de la información en comparación con los arreglos no columnares cuya pérdida se estima en un 25%-55%. En apoyo a esta posibilidad Diamond et al (2003) establecieron que los grupos de neuronas registradas simultáneamente en columnas diferentes de la corteza somatosensorial mostraban dos tipos de respuesta poblacionales. En sus experimentos, estos autores muestran que la respuesta poblacional de las neuronas ubicadas en la columna que recibe directamente el estímulo codifica mejor los cambios en la posición del bigote estimulado causando solamente una pérdida de 1% de información entrante. En cambio, aquellas células registradas que se ubican en columnas aledañas a la estimulada muestran una pérdida poblacional de la información posicional de 25 a 55% (Diamond y Petersen, 2003).

Por otro lado el tamaño de las representaciones corticales primarias se ha asociado con la eficiencia en la ejecución de la conducta. En apoyo a esto, se mostró que la reducción del tamaño del mapa somestésico se asocia con una baja en el rendimiento de la coordinación motora (Figura 2). Esto fue mostrado por Leingäster et al (2007) en un experimento llevado a cabo en cuatro grupos de ratones. El grupo 1 estuvo formado por ratones control. El grupo 2 se conformó por ratones que mostraban una sobre expresión del gene *Emx2* y como resultado el tamaño de la S1 fue sustancialmente menor. En el grupo 3, los ratones tuvieron una sub-expresión del gene *Emx2* lo que condujo a un incremento del área de la S1. Finalmente, en el grupo 4, se conjuntaron aquellos ratones que presentaron alteración de la expresión subcortical del mismo gene *Emx2* pero en una segunda generación resultado de la cruce entre una camada de sub-expresión del gene y sobre-expresión del gene. En estos ratones los niveles de expresión del gene *Emx2* corticales fueron normales y el área de la S1 presentó dimensiones normales. De manera interesante, aquellos ratones que tenían una dimensión de la S1 reducida como resultado de la sobre expresión del gene *Emx2*, consistentemente mostraron déficits motores en la pruebas de coordinación de la

marcha sobre una red, sobre un rodillo giratorio y sobre un “parche adhesivo”. Las deficiencias motoras descritas no fueron adscritas a problemas de coordinación ni ejecución motora de manera primaria. Éstas resultaron de la inadecuada integración de la información sensorial probablemente asociada a la disminución del tamaño de la S1 (Leingärtner et al 2007).



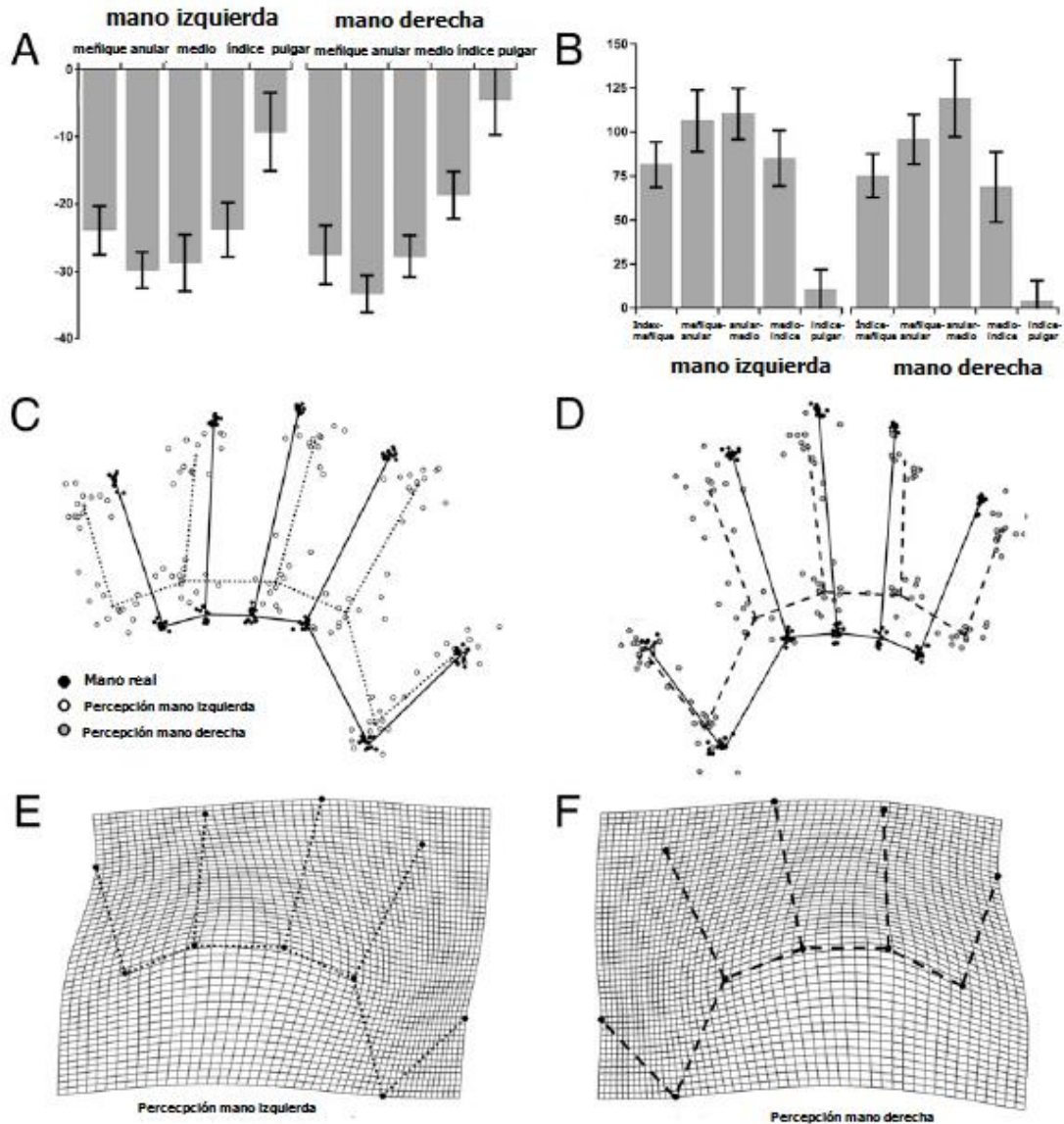
**Figura 2. Experimentos de modificación genética y cuantificación de *Emx2*** (A) Se muestra el gradiente de expresión relativo de *Emx2*. El desempeño conductual táctil y motor están resumidos. La relación entre el tamaño del área y el desempeño conductual es evidente entre más anormal el área cortical de S1 peor era el desempeño conductual. (B) y (C) El nivel de expresión de *Emx2* en los días embrionales 12.5 la edad pico de la expresión *Emx2*, determinado por PCR cuantitativo en tiempo real. (D) Cerebro posterior y otras áreas subcorticales ejemplo: medula espinal (Modificado de Leingärtner et al., 2007)

Finalmente, otros grupos sugieren que las representaciones somestésicas nos permiten calibrar y re-calibrar el tamaño real del cuerpo, lo que conduce a la ejecución de movimientos dirigidos más precisos (Giummara et al 2008). En apoyo a estas ideas Gallagher y cols. (1998), mencionan que la correcta coordinación boca-mano en humanos o el conocimiento de las crías de gato acerca de la posición de sus extremidades que les permite rascar o excavar, ambas acciones evidentes desde etapas muy tempranas del desarrollo postnatal, recae sobre la

interacción orquestada entre las representaciones corporales y los otros sistemas sensoriales que ayudan percibir el tamaño real corporal.

Aunque las explicaciones anteriormente referidas en torno a las posibles funciones de las representaciones somestésicas corticales son perfectamente entendibles, existe un fenómeno que todas ellas no contemplan y que pudiera afectar significativamente la función de las mismas. A saber, las dimensiones de las representaciones se modifican en respuesta a la experiencia.

El dinamismo de la relación estructura-función de los módulos corticales podría modificar profundamente la percepción y la ejecución motriz constantemente. De hecho, se ha propuesto que la distorsión de las representaciones preexistentes en la corteza somatosensorial primaria influyen fuertemente sobre nuestra percepción corporal la cual, por consiguiente, debe estar también distorsionada (Longo y Haggard, 2010). En el trabajo mostrado en la Figura 3, los autores solicitaron a participantes diestros que localizaran 10 puntos de sus manos; la base y punta de los dedos, con el objetivo de cuantificar el mapa resultante de la percepción. Como resultado del ensayo, estos autores encontraron que la longitud de los dedos era sistemáticamente subestimada en 7.2% de un dígito a otro (pulgares, índice, medio, anular, meñique;  $t(17)=-7.79$ ,  $P<0.0001$ ). Dicho gradiente de subestimación mostraba patrones parecidos al territorio cortical que ocupan los dedos en S1 y al decremento que presenta la agudeza táctil. En cuanto a la distancia intercarpal de la mano, ellos encontraron una fuerte sobreestimación de hasta 69.9% [ $t(17)=7.92$ ,  $P<0.0001$ ]. Esta sobre-representación del eje medio-lateral sobre el próximo-distal del eje de la mano, se asemeja a la agudeza táctil del dorso de la mano siguiendo aquella un gradiente medio-lateral y próximo-distal.

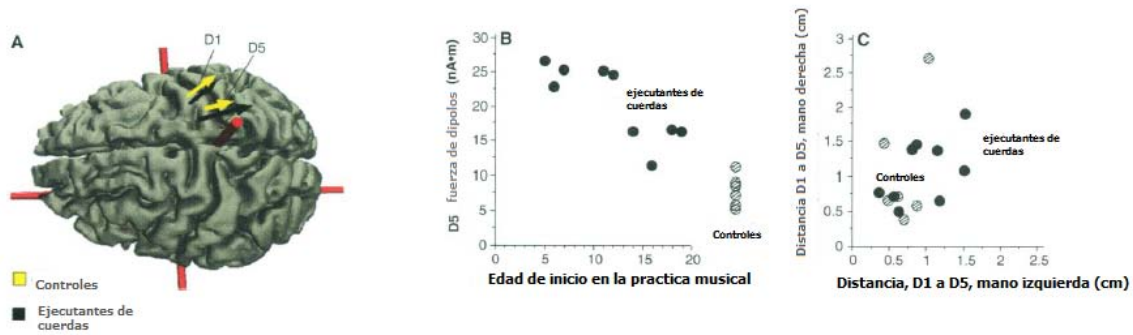


**FIGURA 3 Resultados de experimentos de localización corporal. (A)** Porcentaje de subestimación de la longitud de dedos para la mano izquierda y derecha **(B)** Porcentajes de sobreestimación de espacio entre nudillos en ambas manos. **(C)** Comparación entre la métrica real de la mano izquierda (puntos negros/líneas negras) y la representación perceptual izquierda (puntos blancos/líneas blancas) **(D)** Comparación entre la métrica real derecha (puntos negros/líneas negras) y la representación corporal derecha (puntos grises/líneas discontinuas) **(E)** Modelo representativo perceptual distorsionado con respecto a la mano real izquierda. **(F)** Modelo representativo perceptual distorsionado con respecto a la mano derecha. **(Modificado de Longo y Haggard ,2010).**



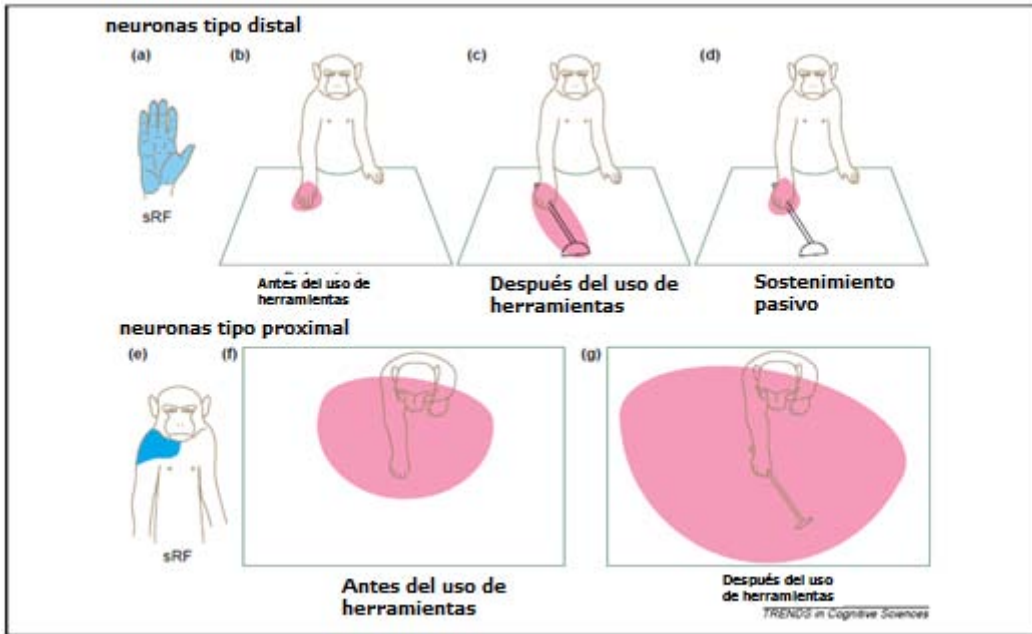
### **CAPÍTULO 3 LA PLASTICIDAD DE LAS REPRESENTACIONES**

En condiciones normales, la plasticidad de las representaciones corporales en la S1 ocurre en respuesta a la estimulación periférica (p.j. experiencia sensorial). Existen diversos estudios que apoyan esta noción fundamental. Por citar algunos ejemplos, se ha documentado que los músicos diestros ejecutantes de instrumentos de cuerda poseen una representación dactilar izquierda en la S1 de mayor tamaño al compararlos con sujetos control (Elbert et al,1995) (Figura 4). También se ha observado que individuos invidentes expertos en la lectura Braille tienen expandida la representación del dedo índice; dígito que utilizan durante su lectura (Hernández-Muela et al., 2004). Experimentos en los que se han fusionado los dedos o cortado selectivamente grupos específicos de nervios, demuestran cambios en la configuración de S1 en simios adultos (Clark et al 1986). La separación de los dedos en pacientes humanos con sindactilia también conduce a la segregación de las representaciones corticales de los dedos que estaban fusionadas antes de la cirugía (Merzenich 1990). Los ejemplos mencionados muestran que la S1 se modifica de acuerdo a la exterocepción.



**Figura 4. Comparación entre ejecutantes de cuerdas y controles entre la representación cortical basada en MEG. Modificado de Elbert et al 1995.** (A) Se suscitaron dipolos equivalentes tras la estimulación del pulgar (D1) y el quinto dedo (D5) de la mano izquierda están sobrepuestos sobre una imagen de resonancia magnética de reconstrucción de la corteza cerebral de un control. (B) La magnitud del momento dipolo como una función de la edad de inicio de práctica musical, el dipolo es mayor para los músicos que iniciaron antes de la edad de 12 años. (C) La distancia euclidiana en centímetros entre la representación cortical de D1 y D5. La distancia para los músicos zurdos fue mayor que en los controles, pero no fue estadísticamente significativo.

Adicionalmente, la propiocepción también puede ser fuente de información para inducir cambios en las dimensiones de las representaciones corporales. Esto es ilustrado por el fenómeno conocido como el miembro fantasma; la sensación de que un miembro anteriormente amputado ocupa el espacio corporal verídico (tamaño particular, forma y postura) e incluso puede presentar dolor (Giummarra et al., 2007), (Maravita y Iriki, 2004). En estudios electrofisiológicos con macacos reportan que el campo receptivo de neuronas bimodales (visuales y táctiles), en la corteza parietal, premotora y en putamen puede extenderse temporalmente mediante el uso de herramientas (Figura 5). Finalmente, la plasticidad del mapa corporal no es un fenómeno restringido a primates. Se ha observado, en la rata lactante, por ejemplo, una expansión de casi el doble de la representación cortical del área del tronco (Buonomano y Merzenich, 1998) (Xerri et al., 1994).



**Figura 5 cambios en las propiedad del área receptiva de neuronas bimodales después del uso de herramientas modificado de Maravita y Atsushi, (2004).**

El área receptiva somatosensorial (sRF) de células en esta región fue identificada por toques de luz, manipulaciones pasivas de articulaciones y uso de la mano activo. El área visual receptiva (vRF) fue definida como el área en que las respuestas celulares fueron evocadas por estímulos visuales (los más efectivos fueron aquellos que se desplazan hacia el sRF **(a)** sRF (área azul) del tipo distal de las neuronas bimodales y vRF (áreas rosas) **(b)** antes del uso de herramientas **(c)** inmediatamente después del uso de herramientas y **(d)** justo cuando pasivamente tomaban la herramienta **(e)** sRF (área azul) de tipo proximal de neuronas bimodales y su vRF (áreas rosas) **(f)** antes **(g)** inmediatamente después del uso de herramientas.

Pero ¿Es este fenómeno unidireccional de la periferia a centro o existe la posibilidad de que las modificaciones de las representaciones centrales se vean reflejadas en una plasticidad de la percepción corporal? La respuesta a esta pregunta parece ser positiva. En un experimento similar al de Maravita y Iriki, (2004), pero llevado a cabo en sujetos humanos, encuentran una expansión de la representación del brazo, pero en este caso sobre la representación perceptual. (Sposito et al 2012). Adicionalmente, Cohen et al., (1997), han mostrado que la inactivación del área visual que procesa información somestésica en individuos

invidentes mediante magneto-estimulación, impide que estos sujetos lean adecuadamente Braille (Cohen et al, 1997). Estas evidencias sugieren que la plasticidad central pudiera generar un proceso de plasticidad periférica perceptual. Con esto en mente, en el presente trabajo se evaluó si la representación perceptual periférica de las manos medidas en 10 puntos morfo-funcionales presenta plasticidad después de una estimulación somestésica, lo que sugeriría plasticidad de las representaciones centrales.

## **CAPÍTULO 4 DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN**

### **Justificación**

La representación perceptual de la métrica corporal posee una injerencia fundamental en la eficiencia motora y se ha sugerido que está regulada por las dimensiones del mapa en S1. La plasticidad de las representaciones corporales de S1 es un fenómeno bien reconocido. Sin embargo desconocemos aún si las dimensiones de la representación perceptual de nuestro cuerpo pueden estar sujetas a plasticidad. Debido a que nuestro cuerpo es la herramienta para interactuar con el ambiente, se encuentra en constante estimulación somestésica. Es posible, por tanto, que si la representación perceptual corporal en respuesta a la estimulación somestésica, esto nos permita desarrollar procedimientos que favorezcan la restauración de las funciones sensorio-motoras en individuos con déficits de la percepción de las dimensiones corporales (e.g., *Anorexia Nervosa*).

### **Pregunta de investigación**

¿Es la representación perceptual de las manos en el humano susceptible de modificarse en respuesta a una estimulación somestésica?

### **Objetivos**

General

Determinar si la representación perceptual de las manos en el humano es susceptible de modificarse en respuesta a una estimulación somestésica.

## Específicos

1. Evaluar cuantitativamente si la representación perceptual de las manos (base punta de los dedos: longitud de dedo) y la distancia intercarpal (base-base), es similar a la métrica corporal de las mismas.
2. Evaluar si la representación perceptual de la mano se modifica de manera consecutiva a la aplicación de un estímulo táctil.

## Hipótesis

H1.: La representación perceptual de la distancia entre la base y punta de los dedos (longitud de dedo) y entre la base y base de los dedos (distancia intercarpal) de la mano derecha será significativamente mayor antes y después de una estimulación somestésica en la mano derecha, con relación a la métrica real de la mano derecha.

H2.: La representación perceptual de la distancia entre la base y punta de los dedos (longitud de dedo) y entre la base y base de los dedos (distancia intercarpal) de la mano izquierda será similar antes y después de una estimulación somestésica en la mano derecha, con relación a la métrica real de la mano izquierda.

## Variables

Variable independiente:

Estimulación somestésica con pelotas de 15 cm de diámetro, durante 15 minutos

Variable dependiente:

La dimensión de la representación perceptual de las manos

## Diseño

Diseño del estudio: Experimental Intra-sujetos

## Participantes

Se solicitó la participación de 20 sujetos corroborados como diestros mediante un cuestionario de preferencia del uso de las manos (Anexo 1; Cuestionario de

preferencia manual de Edimburgo) entre 20 y 40 años de edad, de nacionalidades: canadiense, brasileña, venezolana, ucraniana, inglesa y mexicana de los cuales 9 de ellos fueron mujeres (M) y 11 hombres (H). Nueve de los participantes (4M y 5H) realizaron el experimento en el plano vertical (ver abajo) y 11 de ellos (6 H y 5 M) lo ejecutaron en el plano horizontal (ver abajo). Todos los participantes fueron informados sobre el objetivo del estudio y el tipo de pruebas que éste contemplaría. Los participantes firmaron el formato de consentimiento informado. Se cuenta con la formas de aceptación.

## **Procedimiento**

### Experimento 1: Sin entrenamiento

Los experimentos se llevaron a cabo de forma individual en el Laboratorio “Brain in action” de la Universidad de Lethbridge, Alberta, Canadá. Cada evaluación tuvo una duración de 50 minutos por participante. Una vez en el laboratorio de pruebas, y con la finalidad de estimar el tamaño percibido de las manos con relación a su tamaño real, se llevó a cabo un experimento en el que se solicitó a los participantes señalar 10 puntos de referencia sobre la palma de la mano izquierda o de la mano derecha. En los experimentos, la mano a estimar, se colocó debajo (plano horizontal) o detrás (plano vertical) de una barrera sólida que impedía su observación por parte del sujeto. Entonces, se solicitó al sujeto que indicara, mediante un instrumento piezo-eléctrico operado por la mano contra lateral, el sitio en el que él estimaba la ubicación de las distintas referencias (ANEXO 3).

La ubicación relativa de cada una de estas referencias sobre la superficie de la barrera quedó registrada en un mapa espacial adquirido a través del uso de una computadora equipada con el sistema de grabación Optotrack (Parámetros: 1126 mmx 200 mm x 161 mm; sistema de captura de movimiento 3D con exactitud de 0.1 mm; frecuencia de marcadores= 4600 Hz y el programa NDI First principles (Northern Digital, Waterloo, ON, Canada). Este mapa nos permitió obtener una imagen esqueletonizada de cada dedo a partir de la articulación metacapo-falange proximal y la distancia inter-metacarpiana para estimar las dimensiones percibidas

de la mano oculta. La prueba se aplicó cinco veces para cada punto de manera aleatoria para genere un total de 50 ensayos por mano para cada uno de los sujetos. Esto permitió evaluar la consistencia de la respuesta para cada mano en cada individuo.

#### Experimento 2: Con entrenamiento

Con el objeto de evaluar los efectos de una estimulación somestésica irrelevante sobre las habilidades de estimación de la longitud de los dedos y de la distancia inter-metacarpal solamente de la mano derecha, se realizó una segunda medición en la que se solicitó a los participantes señalar 10 puntos de referencia sobre la palma de la mano izquierda o de la mano derecha. En los experimentos, la mano a estimar, se colocó por debajo y detrás de una barrera sólida que impedía su observación por parte del sujeto (Figura 6). Entonces, se solicitó al sujeto que indicará, mediante un instrumento piezo-eléctrico operado por la mano contra lateral, el sitio en el que él estimaba la ubicación de las distintas referencias. La ubicación relativa de cada una de estas referencias sobre la superficie de la barrera quedó registrada en un mapa espacial generado por la computadora. Este mapa nos permitió obtener una imagen esqueletonizada de cada dedo a partir de la articulación metacarpo-falange proximal y la distancia inter-metacarpiana para estimar las dimensiones percibidas de la mano oculta.

La estimulación somestésica consistió en dos tareas. La primera consistía en la construcción de plantillas (anexo 2) utilizando pelotas de 15 cm de diámetro utilizando únicamente la mano derecha durante 10 minutos y los siguientes 5 minutos los participantes realizaban el juego “tic tac toe” únicamente con la mano derecha (Figura 6 c).

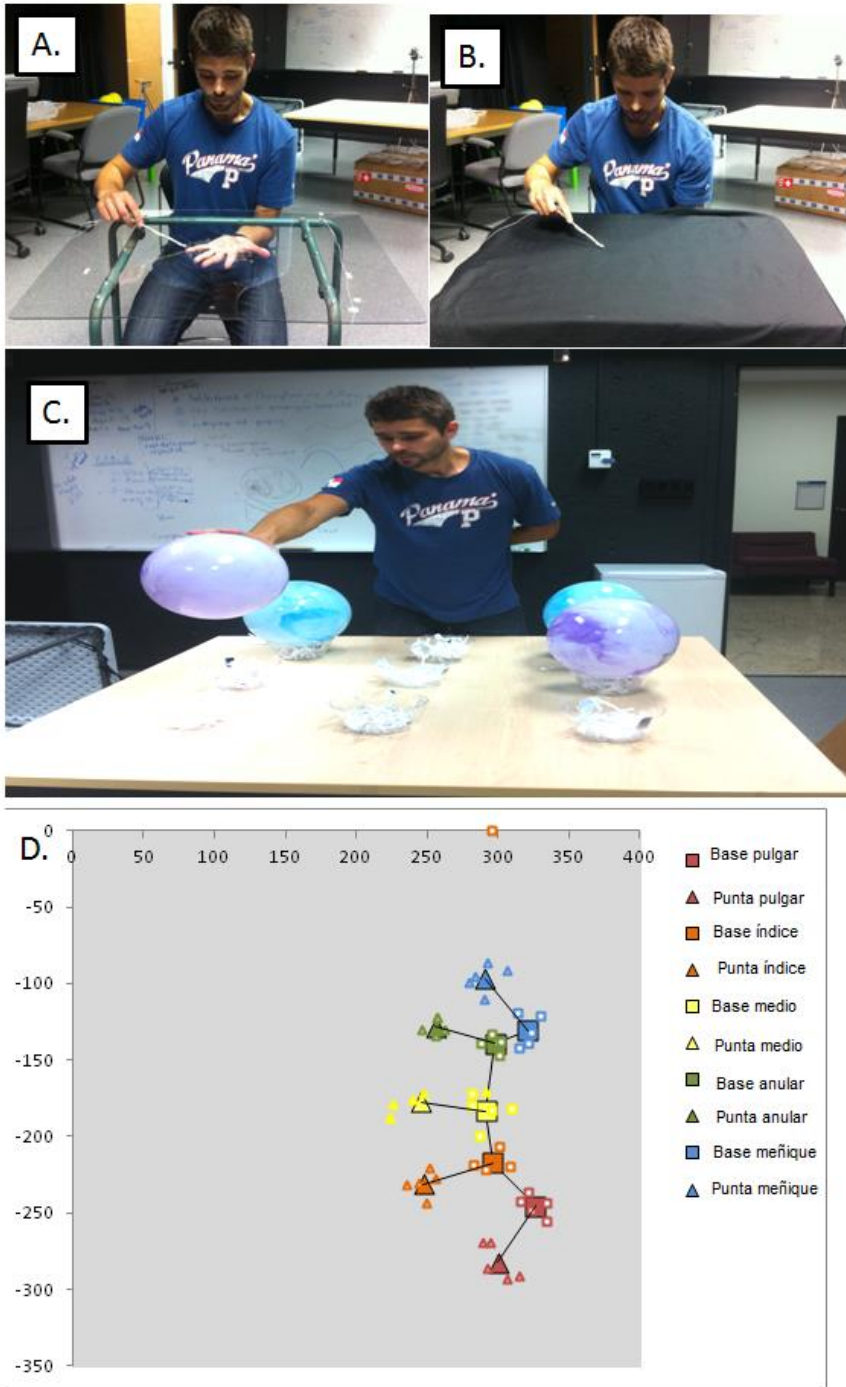


Figura 6. Fotografías que ilustran el protocolo experimental. (A) Medición de la mano real, (B) medición de la representación perceptual de la mano (C) ejercicio estimulación somestésica irrelevante llevada a cabo por la mano derecha. (D) ejemplo de la imagen esqueletonizada analizada mediante Optotrack y Excel.



## CAPÍTULO 5 Resultados

### III. Resultados

#### **SIN ENTRENAMIENTO**

##### **Observaciones Generales**

Bajo las condiciones experimentales descritas, se observó una sobreestimación del ancho de la mano (p.j., la distancia intercarpal total, eje medio lateral de la mano) en ambos sexos (Cuadro 1). No obstante ello, la distancia intercarpal entre el pulgar y el índice fue consistentemente subestimada por hombres y mujeres (Figura 7B y 8B). En cuanto a la longitud de los dedos (i.e., eje próximo-distal de la mano), de manera general, éstos fueron subestimados por ambos sexos (Figura 7A Y 8A), siendo el dedo medio el más subestimado y el meñique el estimado con mayor precisión. Con base en estos datos observamos que la población estudiada percibe a la mano como más ancha que larga.

##### **Mano Derecha de los Hombres**

###### **Longitud de dedos.**

La longitud de los dedos de la mano derecha es subestimada siguiendo un gradiente radio-ulnar hasta alcanzar el dedo medio (Figura 7A). En este gradiente, los dedos pulgar, índice y medio se percibieron 18, 19 y 24 por ciento más pequeños, respectivamente, con relación a sus dimensiones reales. En contraste, los dedos anular y meñique son sobrestimados un 17 y un 5 por ciento, respectivamente con relación a su dimensión real (Cuadro 1).

###### **Distancia intercarpal.**

El ancho de la mano derecha se sobreestimó consistentemente en la población evaluada de hombres (Figura 7B). La distancia intercarpal entre los dedos índices-medio, medio- anular y anular- meñique se sobrestimó un 38, 45 y 19 por ciento, respectivamente. A diferencia de lo observado previamente, la distancia intercarpal entre los dedos pulgar e índice se subestimó en un 35 por ciento (Cuadro 1).

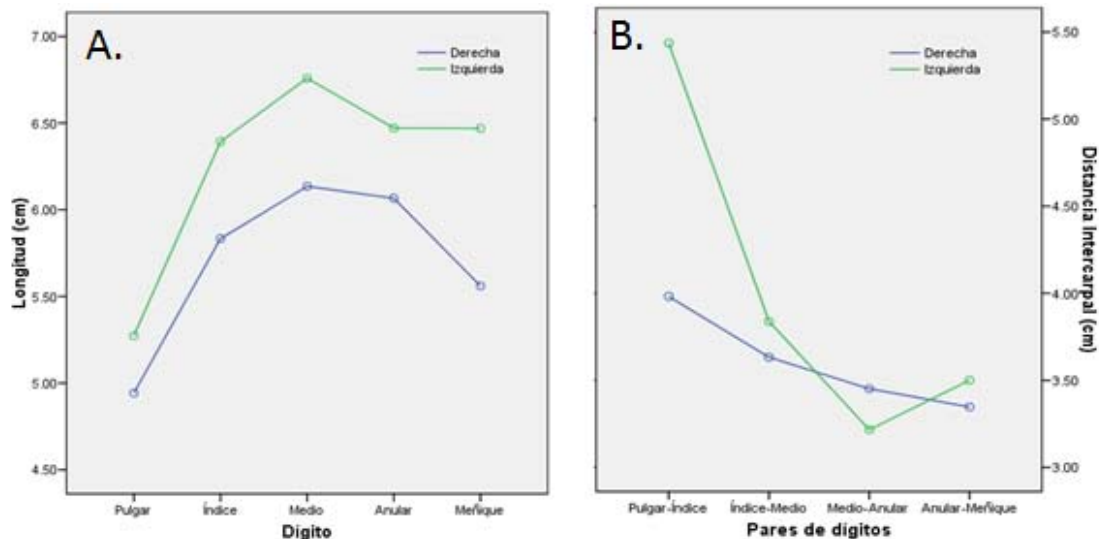
## Mano Izquierda de los hombres

### Longitud de dedos.

La longitud de los dedos es subestimada hasta alcanzar el dedo anular (Figura 7A). En este gradiente, los dedos pulgar, índice, medio y anular se subestimaron 11, 11, 17 y 14 por ciento más pequeños, respectivamente, con relación a sus dimensiones reales. En contraste, el dedo meñique fue sobrestimado 7 por ciento, con relación a su dimensión real (Cuadro 1).

### Distancia Intercarpal.

El ancho de la mano izquierda se sobreestimó consistentemente en la población evaluada de hombres. La distancia intercarpal entre el dedo índice y medio, medio y anular y anular y meñique se sobrestimó un 41, 33 y 24 por ciento respectivamente. A diferencia de lo observado previamente, la distancia intercarpal entre los dedos pulgar e índice se subestimó en un 14 por ciento con respecto a su dimensión real (Figura 7B) (Cuadro 1).



**Figura 7.** Dimensiones estimadas para ambas manos en la población masculina, previo a la estimulación somestésica. **A.** Representación gráfica que ilustra la longitud estimada para los dedos de la mano derecha e izquierda. Nótese la clara sobreestimación de los dígitos izquierdos. **B.** Representación gráfica que ilustra la distancia intercarpal estimada entre pares de dedos consecutivos, estimada al nivel de las eminencias tenar. En general se observa una clara sobreestimación de las distancias intercarpales izquierdas.

## **Mano Derecha de las Mujeres**

### **Longitud de dedo.**

La longitud de los dedos de la mano derecha fue subestimada. Para los dedos pulgar, índice y medio esta subestimación alcanzó el 11, 10 y 12 por ciento, respectivamente, con relación a sus dimensiones reales (Figura 8A). Para los dedos anular y meñique la subestimación fue mucho menor tomando un valor de 6 y 2 por ciento respectivamente (Cuadro 1).

### **Distancia intercarpal.**

El ancho de la mano derecha se sobreestimó consistentemente en la población evaluada de mujeres. Así, la distancia intercarpal entre los dedos: índice y medio, medio y anular y anular y meñique se sobrestimó en un 21, 22 y 14 por ciento respectivamente. En contraste, la distancia intercarpal entre los dedos pulgar e índice se subestimó en un 11 por ciento (Figura 8B) (Cuadro 1).

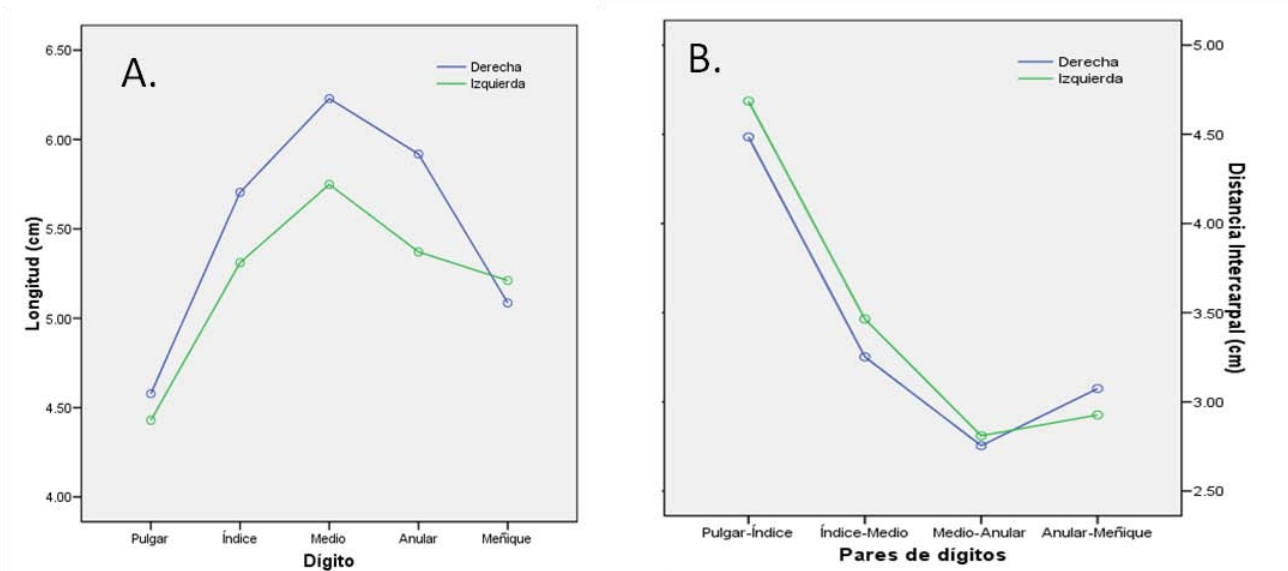
## **Mano Izquierda de las mujeres**

### **Longitud de dedos.**

La longitud de los dedos de la mano izquierda fue subestimada siguiendo un gradiente radio-ulnar hasta alcanzar el dedo medio (Figura 8A). En este gradiente, los dedos pulgar, índice y medio se subestimaron 14, 16, 19 por ciento más pequeños, respectivamente, con relación a sus dimensiones reales. Adicionalmente, el dedo anular fue subestimado 14 por ciento, mientras que el meñique fue sobre-estimado 0.3 por ciento (Cuadro 1).

### **Distancia intercarpal.**

El ancho de la mano izquierda se sobreestimó consistentemente en la población de mujeres evaluada (Figura 8B). La distancia intercarpal entre los dedos: índice y medio, medio y anular y anular y meñique se sobrestimó un 32, 28 y 11 por ciento, respectivamente. A diferencia de lo observado previamente, la distancia intercarpal entre los dedos pulgar e índice se subestimó en un 7 por ciento con respecto a la dimensión real (Cuadro 1).



**Figura 8.** Dimensiones estimadas para ambas manos en la población femenina, previo a la estimulación somestésica. **A.** Representación gráfica que ilustra la longitud estimada para los dedos de la mano derecha e izquierda. Nótese la clara sobreestimación de los dígitos derechos. **B.** Representación gráfica que ilustra la distancia intercarpal estimada entre pares de dedos consecutivos, estimada al nivel de las eminencias tenar. Nótese la ausencia de sobreestimación de este parámetro al comparar ambas manos.

### CON ENTRENAMIENTO DE LA MANO DERECHA

Bajos estas condiciones experimentales, los hombres presentaron una estimación de la longitud de los dedos más precisa, sobre todo de la mano derecha, ya que en general esta aumenta en un 10 por ciento (Figura 9A; ver también Figura 11). La distancia intercarpal se continúa sobreestimando en especial la mano derecha, incluso aumenta la sobreestimación en todas las Distancias Intercarpales con excepción de pulgar-índice que consistentemente se subestima. La principal diferencia fue entre todas las mediciones previas a la estimulación con las mediciones posteriores a la estimulación lo que sugiere que esta tuvo un efecto en la percepción ( $p=0.000$ ,  $t= -5.247$ ; cuadro 1 y figura 11)

En las mujeres no se encontraron diferencias estadísticamente significativas, únicamente se encontró que la estimación mejora entre las mediciones previas a la estimulación y las mediciones posteriores a la estimulación ( $p=.141$ ,  $t=-1.546$ , a  $p=.552$ ,  $t=.60$ ; cuadro 1 y figura 11).

### **Mano Derecha de los hombres**

#### **Longitud de dedos.**

La mano derecha disminuyó la subestimación de la longitud de los dedos con respecto a la mano percibida previamente al entrenamiento (Figura 9A): 10 por ciento para el dedo pulgar, 17 por ciento para el dedo índice, 15 por ciento para el dedo medio, 14 por ciento para el dedo anular, y la percepción del dedo meñique parece menos susceptible al cambio ya que solo cambió en .4 por ciento. La percepción de la longitud de los dedos al compararlo con la mano derecha real, continúa subestimándose: pulgar 7 por ciento, índice 2 por ciento, dedo medio 9 por ciento, dedo anular 3 por ciento, dedo meñique 5 por ciento (Cuadro 1).

#### **Distancia intercarpal.**

La percepción con respecto a la mano percibida previamente al entrenamiento la percepción aumentó de la siguiente manera (Figura 9B): pulgar-índice: 13 por ciento, índice-medio: 22 por ciento, medio-anular: 10 por ciento, anular-meñique: 7 por ciento. Con respecto a la mano real de nuevo se sobreestima índice-medio, medio-anular y anular-meñique: 60, 55, 30 por ciento. Con excepción de la distancia pulgar índice que se subestimó en un 23 por ciento (Cuadro 1).

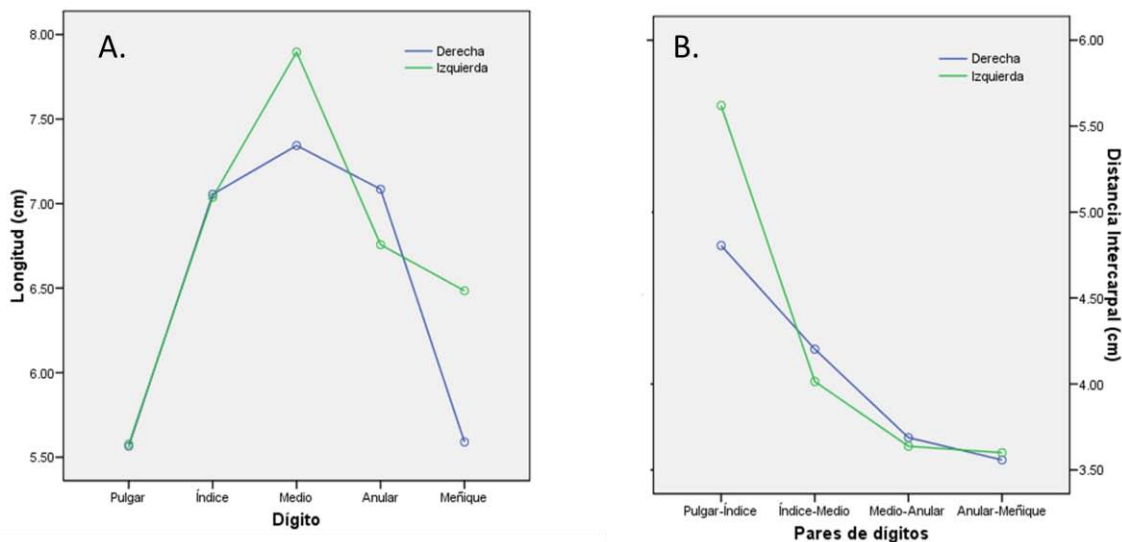
### **Mano Izquierda de los hombres**

#### **Longitud de dedos.**

La mano izquierda disminuyó la subestimación de la longitud de los dedos con respecto a la mano percibida previamente al entrenamiento (Figura 9A): 5 por ciento, dedo índice 9 por ciento, dedo medio 14 por ciento, dedo anular: 4 por ciento, dedo meñique parece menos susceptible al cambio ya que solo aumentó 0.2 por ciento. La percepción de la longitud de los dedos al compararlo con la mano derecha real, continúa subestimándose pulgar: 6 por ciento, índice: 2 por ciento, medio: 3 por ciento, anular 10 por ciento, con excepción de el meñique que se sobreestima en: 7 por ciento (Cuadro 1).

### Distancia intercarpal.

La percepción con respecto a la mano percibida aumento (Figura 9B): pulgar-índice en un +3 por ciento, índice-medio: 6 por ciento medio-anular, 17 por ciento en 3 por ciento para el anular-meñique. Con respecto a la mano real de nuevo se sobreestima índice-medio, medio-anular y anular-meñique: 48, 50, 28 por ciento. Con excepción de la distancia pulgar índice que se subestimo en un 11 por ciento.



**Figura 9.** Dimensiones estimadas para ambas manos en la población masculina, posterior a la estimulación somestésica. **A.** Representación gráfica que ilustra la longitud estimada para los dedos de la mano derecha e izquierda. Nótese la tendencia a perder la sobreestimación de los dígitos izquierdos con relación a los derechos, observada previa a la estimulación. **B.** Representación gráfica que ilustra la distancia intercarpal estimada entre pares de dedos consecutivos, estimada al nivel de las eminencias tenar. Nótese la tendencia a perder la sobreestimación de la distancia intercarpal izquierda con relación a la derecha, observada previa a la estimulación.

### Mano derecha de las mujeres

#### Longitud de dedo.

Con respecto a la mano percibida previa al entrenamiento se observó que a diferencia de los hombres disminuyó la longitud de los dedos (Fig. 10A). Se observa una subestimación en todos los dedos: Pulgar 13 por ciento índice 12 por ciento, medio 20 por ciento, anular: 1 por ciento, con excepción de el meñique que

se sobreestima por 9 por ciento. Con respecto a la diferencia con la estimación previa al entrenamiento, disminuyo la percepción del dedo pulgar en 2 por ciento, dedo índice: 1 por ciento, dedo medio: 8 por ciento, dedo índice aumento en: 4 por ciento, dedo meñique: 12 por ciento (Cuadro 1).

#### **Distancia intercarpal.**

Se subestiman el pulgar-índice: 6 por ciento, índice-medio 20 por ciento, medio-anular: 51 por ciento anular-meñique: 21 por ciento (Fig. 10B). Con respecto al entrenamiento previo, las diferencias encontradas fueron las siguientes: pulgar-índice: aumento 6 por ciento, índice-medio se subestimo en 1 por ciento, medio-anular: aumento en 29 por ciento, anular-meñique: aumento en 6 por ciento (Cuadro 1).

#### **Mano Izquierda de las mujeres**

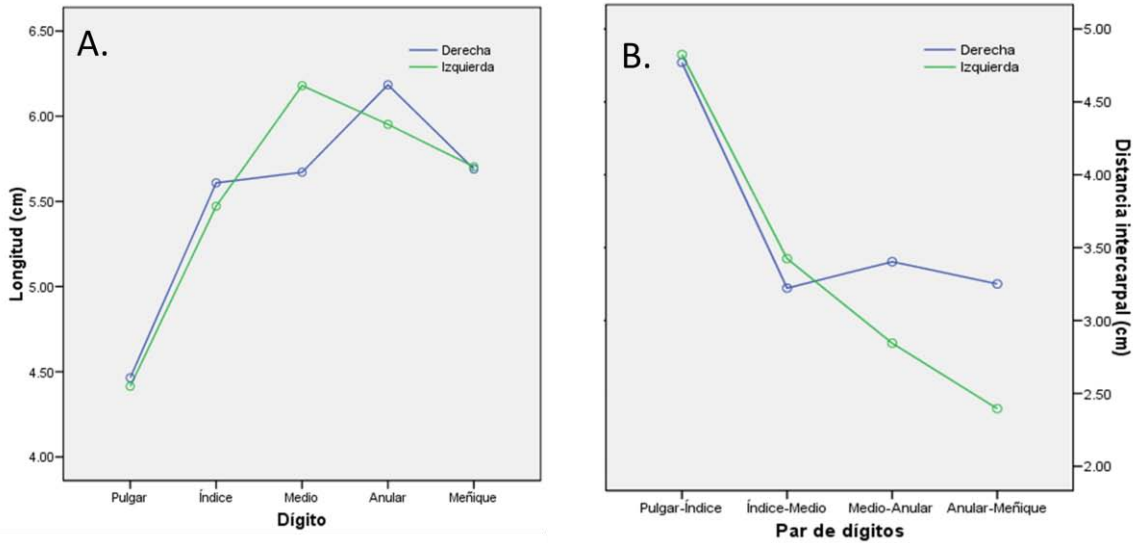
##### **Longitud de dedo.**

Con respecto a la mano percibida previa al entrenamiento se observó un aumento de: índice 1 por ciento, dedo medio 4 por ciento, dedo anular 6 por ciento, dedo meñique: 4 por ciento, con excepción del pulgar que disminuyo en 3 por ciento (Fig. 10A). Con respecto a la mano real se observó: subestimación pulgar 17 por ciento, índice: 15 por ciento, medio: 15 por ciento, anular 8 por ciento, con excepción del dedo meñique que se sobreestima en 5 por ciento (Cuadro 1).

##### **Distancia intercarpal**

Con respecto a la mano percibida (Fig. 10B) se muestran los siguientes resultados: pulgar-índice aumento en 3 por ciento, dedo índice-medio disminuyo en 1 por ciento, dedo medio-anular aumento en 1 por ciento, dedo anular-meñique disminuyo en 20 por ciento.

Con respecto a la mano real la distancia pulgar-índice: se subestimo en 4 por ciento, se sobrestiman: índice-medio: 31 por ciento, medio-anular: 30 por ciento y se subestima anular-meñique: 9 por ciento (Cuadro 1).

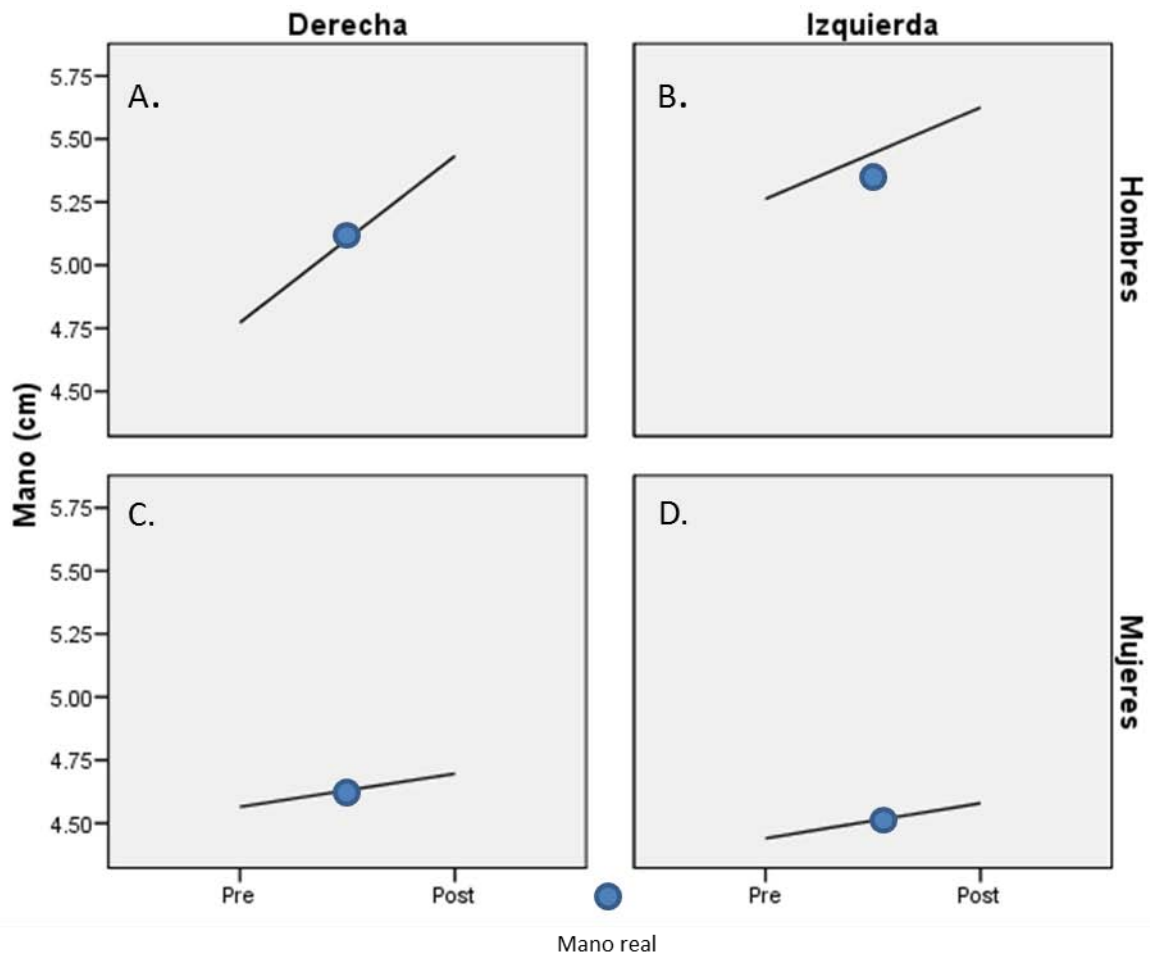


**Figura 10.** Dimensiones estimadas para ambas manos en la población femenina, posterior a la estimulación somestésica. **A.** Representación gráfica que ilustra la longitud estimada para los dedos de la mano derecha e izquierda. Nótese la tendencia a perder la sobreestimación de los dígitos derechos con relación a los izquierdos, observada previa a la estimulación. **B.** Representación gráfica que ilustra la distancia intercarpal estimada entre pares de dedos consecutivos, estimada al nivel de las eminencias tenar. Nótese la tendencia a perder la sobreestimación de la distancia intercarpal derecha con relación a la izquierda, observada previa a la estimulación.



**Cuadro 1.** Diferencias porcentuales de las dimensiones estimadas con relación a las dimensiones reales para ambas manos en ambos sexos.

Longitud de dedos		Hombres		Mujeres	
		Derecha	Izquierda	Derecha	Izquierda
<b>Pre estimulación</b>					
	pulgar	-18	-11.44	-11.18	-14.07
	índice	-19.34	-11.08	-10.29	-16.47
	medio	-24.1	-16.77	-12.44	-19.19
	anular	-17.13	-13.85	-5.66	-14.39
	meñique	-5.33	6.52	-2.11	0.3
<b>post estimulación</b>					
	pulgar	-7.67	-6.35	-13.38	-16.98
	índice	-2.45	-2.13	-11.79	-15.31
	medio	-9.15	-2.77	-20.28	-14.99
	anular	-3.21	-10.05	-1.43	-8.56
	meñique	-4.84	6.76	9.51	4.84
<b>Distancia intercarpal</b>		Hombres		Mujeres	
		Derecha	Izquierda	Derecha	Izquierda
<b>Pre estimulación</b>					
	pulgar-índice	-35.85	-13.78	-11.35	-6.78
	índice-medio	38.03	41.34	21.3	32.17
	medio-anular	45.14	33.15	22.05	28.5
	anular-meñique	19.85	24.34	14.38	11.37
<b>post estimulación</b>					
	pulgar-índice	-22.58	-10.87	-5.73	-4.04
	índice-medio	59.68	47.84	20.18	30.64
	medio-anular	55.08	50.62	50.81	30.08
	anular-meñique	27.4	27.86	20.95	-8.83



**Figura 11.** Dimensiones totales estimadas de ambas manos en la población masculina y femenina antes y después de la estimulación somestésica. **A.** Representación gráfica que ilustra la dimensión estimada promedio para la mano derecha. El cambio más pronunciado se observa en esta gráfica **B.** Representación gráfica que ilustra la dimensión estimada de la mano izquierda. **C.** Representación gráfica que ilustra las dimensiones estimada para la mano derecha. **D.** Representación gráfica que ilustra la dimensión estimada de la mano izquierda.

## CAPITULO 6 DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La S1 contiene una representación del cuerpo cuyas dimensiones son desproporcionadas con respecto a la métrica del cuerpo real. Esta disyunción métrica pudiera ser el resultado de diferencias en la densidad relativa de innervación destinada para cada segmento corporal. Así los segmentos corporales más inervados, tendrán representaciones de mayor tamaño. Por ejemplo, en el caso del ser humano, las representaciones de las manos y la cara en su conjunto tienen mayores dimensiones que las del tronco. Las dimensiones de las representaciones corporales en la S1, sin embargo, no son fijas sino que pueden cambiar en función de la información exteroceptiva y propioceptiva que a ellas llegan. En general, cuando se experimenta un estímulo somatosensorial novedoso, la representación de la parte del cuerpo que es estimulada, incrementa sus dimensiones. Con la pérdida de la novedad, aunque el estímulo se mantenga presente, dichas dimensiones se reducen.

En fecha recientes se ha propuesto que las dimensiones de las representaciones centrales determinan la precisión de la percepción de la métrica real del cuerpo (Longo y Haggard, 2010). Además, la percepción de los estímulos somatosensoriales parece estar en función de tamaño relativo de las representaciones corporales en S1 (Linkenauger et al 2011). Sin embargo, no sabemos aún si la percepción de la métrica corporal es susceptible a ser modificada. De acuerdo a ello, en este trabajo mostramos que la percepción de la métrica corporal es plástica. En nuestros experimentos, bajo condiciones basales, los hombres subestimaron las dimensiones reales de los dedos de ambas manos, más notoriamente de aquellos de la mano izquierda. La distancia intercarpal fue, en contraste, sobreestimada dando como resultado una percepción distorsionada de las manos, siendo estas anchas y con dedos cortos. Algo semejante fue observado en las mujeres aunque la subestimación de la longitud de los dígitos fue menor. En ambos grupos, el dedo meñique fue el estimado con mayor precisión. La validez de nuestras observaciones queda constatada al observar la

similitud de ellas con lo reportado por (Longo y Haggard, 2010), quienes muestran que el mapa perceptual presenta patrones similares al central como el gradiente radio-ulnar de los dedos, acentuación del eje medio-lateral sobre el próximo-distal y la tendencia a la similitud entre los dedos índice y medio, así como anular y meñique.

Ahora bien, en contraste a lo observado bajo condiciones basales, después de la estimulación somatosensorial, en ambos grupos la percepción de las dimensiones del ancho de las manos fue mayor que la reportada en condiciones basales, siendo este fenómeno significativo en los hombres, esto puede tener relación con el entrenamiento ya que el movimiento generado por la estimulación irrelevante requería estirar la mano lo más “ancho” posible. Con relación a los dedos, la magnitud de la subestimación disminuye en ambos sexos, siendo solo significativa en los hombres. Estos resultados indican que la percepción de la métrica corporal es susceptible de modificarse incluso en respuesta a estímulos somestésicos poco relevantes.

Uno de los hallazgos que llaman la atención es que existe un gradiente de estimación de la métrica de los dedos. En general, en ambos sexos, el dedo meñique y el anular, fueron los mejor estimados y de los que sus percepciones fueron menos plásticas. La precisión de la estimación y la plasticidad de la percepción incrementó conforme las estimaciones se dirigen hacia el pulgar siendo éste, y el dedo índice, los dígitos estimados con menor precisión y de los que su percepción fue más plástica. Aunque no tenemos una explicación clara para este fenómeno, pensamos que es el resultado de un principio de organización relacionado con la densidad de inervación. Los dígitos más inervados poseen mayor discriminación, al compararlos con los dígitos con menor densidad de inervación (Gardner, 2010). Quizás en un intento por mejorar la discriminación háptica, se disminuye la posibilidad de dimensionar el dígito en el espacio. En nuestro caso la estimación de los dedos pulgar e índice es menos precisa quizás como resultado de que estos poseen una más alta inervación que el resto de la mano (Lederman y Jones, 2006).

Otro dato importante que merece ser comentado se relaciona con la subestimación de la longitud de los dígitos. Aunque no sabemos a ciencia cierta el proceso que la subyace, es importante recordar al respecto que la corteza somatosensorial primaria recibe no solo información cutánea relacionada con el sentido del tacto, si no también aferencias propioceptivas provenientes de los receptores en tendones, órganos del golgi en tendones y husos musculares. La interacción de ambas modalidades somestésicas pudiera generar la subestimación de la longitud de los dígitos, como lo sugiere Chapman et al., 1996. Adicionalmente debido a que la punta de los dedos tiene una mayor densidad de mecanoreceptores en la punta y la región media de los mismos una menor densidad de éstos, esta combinación pudiese llevar a desarrollar una imagen perceptual de los dedos más corta (Gardner, 2010).

Por otro lado no se encontró en la literatura diferencias en la percepción corporal en cuanto al sexo. Sin embargo es ampliamente reconocido que trastornos alimentarios como la anorexia nerviosa cuya sintomatología incluye la alteración de la imagen corporal como criterio diagnóstico, es padecida principalmente por mujeres (Favaro, et al 2012) (Striegel-Moore, et al 2009). En nuestros resultados las mujeres fueron mejores para dimensionar su mano. En un futuro sería interesante comparar mediante el mismo protocolo a mujeres normales y mujeres diagnosticadas con anorexia nerviosa. Otra aplicación clínica es que estos datos podrían ser normalizados en una población para proporcionar una herramienta de diagnóstico o rehabilitación neuropsicológica estandarizada para los trastornos de la percepción y de la imagen corporal, como el trastorno dismórfico corporal en el que los pacientes se obsesionan con una parte de su cuerpo que perciben distorsionada o la percepción del miembro fantasma.

Una pregunta que falta por responder es si el cambio en la percepción de la métrica de las manos después de experimentar con los estímulos táctiles es resultado de modificaciones en las representaciones corporales correspondientes a nivel central. Aunque no se demuestra en este trabajo, pensamos que debe

haber una relación directa entre el cambio en las representaciones centrales con las perceptuales debido a que existe una comunicación bidireccional entre el cuerpo y el cerebro. En apoyo a esta posibilidad en un experimento realizado por (Linkenauger et al., 2009a) con personas diestras, encontraron que la asimetría de las representaciones corporales correlacionaba con una mayor estimación de la dimensión del brazo derecho.

En conclusión mostramos que la percepción de la métrica corporal es susceptible de modificarse en respuesta a la estimulación táctil, en condiciones normales hombres y mujeres tienden a subestimar la longitud digital y a sobreestimar la distancia intercarpal. En contraste después de aplicada una estimulación somestésica la estimación de las dimensiones de la mano mejora.

En el futuro será interesante indagar si dichas modificaciones perceptuales se relacionan con una reorganización de las representaciones centrales somestésicas en el sistema nervioso y como éstas permiten una funcionalidad motora óptima en el espacio a pesar de su distorsión.

## Referencias

- Berlucci, & Aglioti. (n.d.). Review the body in the brain: neural bases of corporeal awareness.
- Brugger, P., Kollias, S., Müri, R., Crelier, G., Hepp-Raymond, M.-C., & Regard, M. (2000). Beyond re-remembering: Phantom sensations of congenitally absent limbs. *PNAS*, 6167-6172.
- Buonomano, D. V., & Merzenich, M. M. (1998). Cortical Plasticity; From Synapses to Maps. *Annu. Rev. Neurosci.* , 21: 149-86.
- Byl, N. N. (2005). Behavioral Basis of Focal Hand Dystonia: Aberrant learning in the somatosensory cortex. In F. F. Ebner, *Neural plasticity in adult somatic sensory systems*. Boca Raton, FL: Taylor & Francis G.
- Cohen, L. G., Celnik, P., Pascual-Leone, A., Corwell, B., Faiz, L., Dambrosía, J., & Honda, M. (1997). Functional relevance of cross-modal plasticity in blind humans. *Nature*.

- Das, A., Franca, J., Kaas, J., Nicoletis, M., Timo-Iaria, Vargas, C., . . . Volchan, E. (2001). The brain decade in debate: VI Sensory and motor maps: dynamics and plasticity. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research* .
- Diamond, M. E. (2005). Spatian and Temporal Rules Underlying Rat Barrel Cortex Plasticity. In F. F. Ebner, *Neural Plasticity In Adult Somatic Sensory-motor systems*. Florida: Taylor & Francis group.
- Diamond, M., Panzeri, S., Petroni, F., & Petersen, R. S. (2003). Decoding Neuronal Population Activity in Rat Somatosensory Cortez: Role of Columnar Organization. *Cerebral Cortex*, 45-52.
- Elbert, T., Pantev, C., Wienbruch, C., Rockstroh, B., & Taub, E. (1995). Increased cortical representation of the fingers of the left hand in string players. *Science*, 305-307.
- Ford, E. F. (2005). Neural plasticity in adult somatic sensory-motor systems. In F. F. Ebner, *Neural plasticity in adult somatic sensory-motor systems* (p. Preface). Boca Raton Florida: Taylor & Francis Group.
- Gallagher, S., Butterworth, G. E., Lew, A., & Cole, J. (1998). Hand-Mouth Coordination, Congenital Absence of Limb, and Evidence for innate Body Schemas. *Brain and Cognition*, 53-65.
- Gardner, E. P. (2010). Touch. *Encyclopedia of Life Sciences*.
- Giummara, M. J., Gibson, S. J., Georgiou- Karistianis, N., & Bradshaw, J. L. (2008). Mechanisms underlying embodiment, disembodiment and loss of embodiment. *Neuroscience and biobehavioral reviews*, 143-160.
- Giummarra, M. J., Gibson, S. J., Georgiou-Karistianis, N., & Bradshaw, J. L. (2007). Central mechanisms in phantom limb perception: the past, present and future. *BRAIN RESEARCH REVIEWS*, 219-232.
- Gutierrez-Ospina, G., Baez-Saldaña, A., Fetter Pruneda, I., Fuentes Farías, A. L., Granados Rojas, L., Martínez Mendez, R., . . . Sandoval Velasco, M. (2009). Brain Plasticity, signal transduction and epigenesis: a missing link revealed. *ARBS Annual Review of Biomedical sciences*.
- Henriette, v. P., Kempermann, G., & Gage, F. H. (2000). Neural consequences of enviromental enrichment. *Nature reviews Neuroscience*.

- Hernández-Muela, S., Mulas, F., & Mattos, L. (2004). Plasticidad neuronal funcional. *Revista de Neurologia*, S58-S68.
- Jackson, G., Jackson, J., Newport, R., & Harvey, M. (2002). Co-ordination of bimanual movements in a centrally deafferented patient executing open loop reach to grasp movements. *Acta Psychologica*, 231-246.
- Kammers, M., Van der Jam, J., & Dijkerman, H. (2006). Dissociating body representations in healthy individuals: Differential effects of a kinaesthetic illusion on perception and action. *Neuropsychologia*, 2430-2436.
- Leingärtner, A., Thuret, S., Kroll, T. T., & Chou, S. J. (2007). Cortical area size dictates performance at modality-specific behaviors. *PNAS*, 4153-4158.
- Linkenauger, S. A., Proffitt, D. R., & Witt, J. K. (2011). Taking a Hands-On Approach: Apparent grasping ability scales the perception of object size. *Journal of experimental psychology*, 1432-1441.
- Linkenauger, S. A., Witt, J. K., Bakdash, J. Z., Stefanucci, J. K., & Proffitt, D. R. (2009). Asymmetrical Body perception: A possible Role for Neural Body Representations. *Psychological Science*.
- Linkenauger, S. A., Witt, J. K., Bakdash, J. Z., Stefanucci, J. K., & Proffitt, D. R. (2009a). Asymmetrical Body perception: A possible Role for Neural Body Representations. *Psychological Science*.
- Linkenauger, S. A., Witt, J. K., Stefanucci, K. J., & Bakdash, J. K. (2009b). The Effects of Handedness and Reachability on Perceived Distance. *J Exp Psychol Hum Percept Perform*, 1649-1660.
- Longo, M. R., & Haggard, P. (2010). An implicit body representation underlying human position sense. *PNAS*, 11727-11732.
- Longo, M. R., Azañon, E., & Haggard, P. (2010). More than skin deep: Body representation beyond primary somatosensory cortex. *Neuropsychologia* 2010, 655-668.
- Lotze, M., Flor, H., Grodd, W., Wolfgang, L., & Birbaumer, N. (2001). Phantom movement and pain. An fMRI study in upper limb amputees. *Brain*, 2268-2277.



- Lynette, J. A., & Lederman, S. J. (2006). *Human hand function*. Oxford University Press.
- Maguire, E. A., Woollett, K., & Spiers, H. J. (2006). London Taxi drivers and Bus drivers: A structural MRI and Neuropsychological Analysis. *HIPPOCAMPUS* 16:, 1091-1101.
- Maravita, A., & Atsushi, I. (2004). Tools for the body schema. *Trends in Cognitive science*.
- Maravita, A., & Iriki, A. (2004). Tools for the body schema. *Trends in Cognitive science*.
- Mountcastle, V. B. (1997). the columnar organization of the neocortex. *Brain*, 701-722.
- Nakamura, A., Takako, Y., Atsuko, G., Takashi, k., kengo, I., Teruhiko, K., & Ryusuke, K. (1998). Somatosensory Homuculus as Drawn by MEG. *Neuroimage*, 377-386.
- Nico, D., Daprati, E., Nighoghossian, N., Carrier, E., Duhamel, J.-R., & Sirigu, A. (2010). The role of the right parietal love in anorexia nervosa. *Psychological Medicine*, 1531-1539.
- Penfield, W., & Boldrey, E. (1937). Somatic motor and sensory representation in the cerebral cortex of man by eletrical stimulation. *Brain: a journal of neurology*.
- Purves, D. (1989). *Body and brain*.
- Ramachandran, V., Brang, D., Paul, M., & William, R. (2009). Sexual and food preference in apotemnophilia and anorexia: interactions between beliefs and needs regulated by two way connections between body image and limbic structures. *Perception*, 775-777.
- Riddle, D. R., & Purves, D. (1995). Individual variation and lateral asymetry of the rat prmary somatosensory cortex. *The Jorunal of neuroscience*, 4184-4195.
- Rochat, P., & Wraga, M. (1997). An account of the systematic error in judging what is reachable. *Journal of experimental psychology*, 199-212.
- Serino, A., & Haggard, P. (2010). Touch and the body. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 224-236.

- Snell, R. S. (2010). *Neuroanatomía Clínica*. Barcelona: Lippincott Williams.
- Sposito, A., Bolognini, N., Vallar, G., & Maravita, A. (2012). Extension of perceived arm length following tool use: cues to plasticity of body metrics. *Neuropsychologia*, 2187-2194.
- Sur, M., Merzenich, M., & Kaas, J. (1980). Magnification, receptive-field area, and hypercolumn size in areas 3b and 1 of somatosensory cortex in monkeys. *Journal of Neurophysiology*, 295-311.
- Vaynman, S., Ying, Z., & Gomez-Pinilla, F. (2004). Hippocampal BDNF mediates the efficacy of exercise on synaptic plasticity and cognition. *European Journal of Neuroscience*, 2580-2590.
- Xerri, C., Stern, J. M., & Merzenich, M. M. (1994). Alterations of the cortical representation of the rat ventrum induced by nursing behavior. *The Journal of Neuroscience*, 1710-1721.

## ANEXO 1

### Waterloo / Endinburgh Handedness Questionnaire

Each of the questions below offers five possible responses:

-2 (left always), -1 (left usually), 0 (equal), +1 (right usually), and +2 (right always).

1. Which hand would you use to spin a top?

-2                  -1                  0                  +1                  +2

2. With which hand would you hold a paintbrush to paint a wall?

-2                  -1                  0                  +1                  +2

3. Which hand would you use to pick up a Cheerio?

-2                  -1                  0                  +1                  +2

4. With which hand would you use a spoon to eat soup?

-2                  -1                  0                  +1                  +2

5. Which hand would you use to pick up a piece of paper?

-2                  -1                  0                  +1                  +2

6. Which hand would you use to insert and turn a key in a lock?

-2                  -1                  0                  +1                  +2

7. Which hand would you use to insert a plug into an electrical outlet?

-2                  -1                  0                  +1                  +2

8. Which hand would you use to throw a ball?

-2                  -1                  0                  +1                  +2

9. Which hand would you use to pick up a marble?

-2                  -1                  0                  +1                  +2

10. Which hand would you use to saw a piece of wood with a hand saw?

-2                  -1                  0                  +1                  +2

11. Which hand would you use to open a drawer?

-2                  -1                  0                  +1                  +2

12. Which hand would you turn a doorknob with?

-2                  -1                  0                  +1                  +2

13. Which hand would you use to hammer a nail?

-2                  -1                  0                  +1                  +2

14. Which hand do you use for writing?

-2                  -1                  0                  +1                  +2

15. Which hand would you turn the dial of a combination lock with?

-2                  -1                  0                  +1                  +2

16. Which hand would you use to sign your name?

-2                  -1                  0                  +1                  +2

17. With which hand would you use scissors?

-2                  -1                  0                  +1                  +2

18. With which hand would you use a toothbrush?

-2                  -1                  0                  +1                  +2

19. With which hand would you use a broom (upper hand)?

-2                  -1                  0                  +1                  +2

20. Which hand would you use to strike a match?

-2                  -1                  0                  +1                  +2

21. Which foot would you use to kick a ball?

-2                  -1                  0                  +1                  +2

22. Which hand would you use to swing a bat (upper hand)?

-2                  -1                  0                  +1                  +2

21. Is there any reason (e.g. injury) why you have changed your hand preference for any of the above activities?

YES (Explain)                  NO

22. Have you ever been given special training or encouragement to use a particular hand for certain activities?

YES (Explain)                  NO

1. Do you consider yourself:

Right-handed

Left-handed

Ambidextrous (both hands)

2. Is there anyone in your immediate family who is Left-handed? Yes or No

If yes, who \_\_\_\_\_

3. Did you ever change handedness? Yes or No

If yes, please explain \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

4. Is there any activity not on this list that you do consistently with your left hand? If so, please explain:

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

ANEXO 2 PLANTILLAS DE ESTIMULACIÓN SOMÉSTESICA

