



CULTURA
SECRETARÍA DE CULTURA



INAH

ESCUELA NACIONAL DE ANTROPOLOGÍA E HISTORIA
DIVISIÓN DE POSGRADO
POSGRADO EN ANTROPOLOGÍA FÍSICA

Estudio sobre la variabilidad en el tamaño del cuerpo calloso en un grupo de adultos de Leipzig, Alemania: una propuesta de análisis desde la plasticidad

TESIS

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE

MAESTRO EN ANTROPOLOGÍA FÍSICA

PRESENTA

Joab Emanuelle Isai Miranda Pineda

DIRECTOR DE TESIS: *Dra. María Eugenia Peña Reyes.*

Comité tutorial:

Dr. Carlos Arturo Hernández Dávila

Mtro. Juan Manuel Argüelles San Millán

Investigación realizada gracias al apoyo del
Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología
(CONACYT)

Agradecimientos

A la Escuela Nacional de Antropología e Historia (ENAH), que desde la licenciatura me brindó las herramientas para formarme como investigador. Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por el financiamiento otorgado. Al Instituto Max Planck de Alemania, por el grupo de participantes pertenecientes al proyecto *Leipzig Study for Mind-Body-Emotion Interactions* (LEMON), sin su modelo abierto al acceso de datos este estudio no existiría.

A la Dra. María Eugenia Peña Reyes, porque desde la licenciatura y ahora en el posgrado de Antropología Física ha creído en mí, su guía y exigencia permitieron que esto llegará a buen puerto. A la Mtra. Citlali González Álvarez por ser un faro de luz en esta travesía y estimular mi pensamiento crítico. A mis tutores el Dr. Carlos Hernández Dávila y el Mtro. Juan Argüelles San Millán, por apoyarme.

Al ilustrador Diego Morales Tapia, que generosamente dibujó las portadas de los apartados primero y cuatro. A Paulina Mundo, porque después de tantos años continuas avalando mi trabajo. A César Contreras Ángeles por ser vigía y turbina durante todo el recorrido, además de diseñar las portadas para el segundo y quinto apartado.

Por último pero no menos importante, a todos mis compañeros de generación del posgrado de Antropología Física, porque a través de sus proyectos enriquecí mi mirada sobre el quehacer de nuestra disciplina.

.

Contenido

PARTE I

INICIO

1.1 Planteamiento del problema.....	1
1.2 Objetivos.....	10
1.3 Pregunta de investigación.....	11
1.4 Hipótesis.....	12
1.5 Justificación.....	13

PARTE 2

ANTECEDENTES Y ENFOQUE TEÓRICO

2.1 Antecedentes.....	21
a) Consideraciones históricas en el estudio del cuerpo calloso.....	21
b) Morfología del cuerpo calloso.....	38
2.2 Enfoque teórico.....	46
a) Plasticidad y adaptabilidad desde la antropología física....	46
b) Períodos sensibles y periodos críticos.....	53
2.3 Esquema de los cinco componentes biológicos para el estudio de la variabilidad en el tamaño del cuerpo calloso....	57
a) Componente biológico de la edad.....	58
b) Componente biológico de la preferencia manual.....	59
c) Componente biológico del índice de masa corporal (IMC).....	61
d) Componente biológico del sexo.....	62
e) Componente biológico de la talla.....	65

PARTE 3

METODOLOGÍA

a) Diseño del estudio.....	67
b) Grupo de referencia.....	69
c) Grupo de estudio.....	71
d) Presentación del proyecto LEMON.....	72
e) Operacionalización de variables.....	73
f) Técnica de medición del cuerpo calloso.....	74
g) Procedimiento para el análisis de IRM (MP2RAGE) modalidad T1.....	75
h) Análisis estadístico.....	83

Contenido

PARTE 4

RESULTADOS

4.1 Resultados.....	85
a) Estadísticas descriptivas del grupo de estudio.....	87
4.2 Resolución del segundo objetivo específico del estudio.....	89
a) Lámina I. Análisis del área total del cuerpo calloso por grupo de edad.....	90
b) Lámina II. Análisis del área total del cuerpo calloso por preferencia manual	91
c) Lámina III. Análisis del área total del cuerpo calloso por categoría del índice de masa corporal	92
d) Lámina IV. Análisis del área total del cuerpo calloso por sexo.....	93
e) Lámina V. Análisis del área total del cuerpo calloso en relación a la talla	94
f) Lámina VI. Análisis del área total del cuerpo calloso entre sexos, controlado por talla	99
4.3 Resolución del tercer objetivo específico del estudio.....	100

PARTE 5

DISCUSIÓN Y CONSIDERACIONES FINALES

5.1 Discusión	107
a) Ausencia de diferencias entre el tamaño del cuerpo calloso y los grupos de edad.....	107
b) Ausencia de diferencias entre el tamaño del cuerpo calloso y la preferencia manual.....	109
c) Ausencia de diferencias entre el tamaño del cuerpo calloso y el índice de masa corporal (IMC).....	111
d) Presencia/ausencia de diferencias entre el tamaño del cuerpo calloso y el sexo.....	113
e) Relación entre el tamaño del cuerpo calloso y la talla.....	116
f) El tamaño del cuerpo calloso entre grupos de estudio: el componente cultural.....	118
5.2 Consideraciones finales.....	120
ANEXO.....	123

REFERENCIAS.....	127
-------------------------	------------

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1	Suposición del "Ojo de Horus" en el cerebro humano.....	21
Figura 2.2	Modelo de apraxia producida por lesión del cuerpo calloso.....	26
Figura 2.3	Discriminación visual de figuras.....	29
Figura 2.4	Representación de la integración visual de un gato..	30
Figura 2.5	Esquema operativo de la técnica de escucha dicótica.....	34
Figura 2.6	Segmentación en plano sagital del cuerpo calloso esquematizada.....	38
Figura 2.7	Representación del esquema de los cinco componentes biológicos.....	57
Figura 2.8	Secuencia de desarrollo del cuerpo calloso humano, desde un mes hasta los 25 años en IMR sagital.....	58
Figura 3.1	Técnica de medición Witelson (1989).....	74
Figura 5.1	Curvas del crecimiento humano.....	108

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 2.1	Relación de las dimensiones del cuerpo calloso entre caucásicos y negros.....	24
Cuadro 2.2	Vinculación anatómico-funcional por regiones en el cuerpo calloso.....	41
Cuadro 2.3	Diámetros mínimos verdaderos, estimación de velocidad de conducción y estimación de tiempo de transferencia interhemisférica en diferentes grupos de fibras del cuerpo calloso.....	41

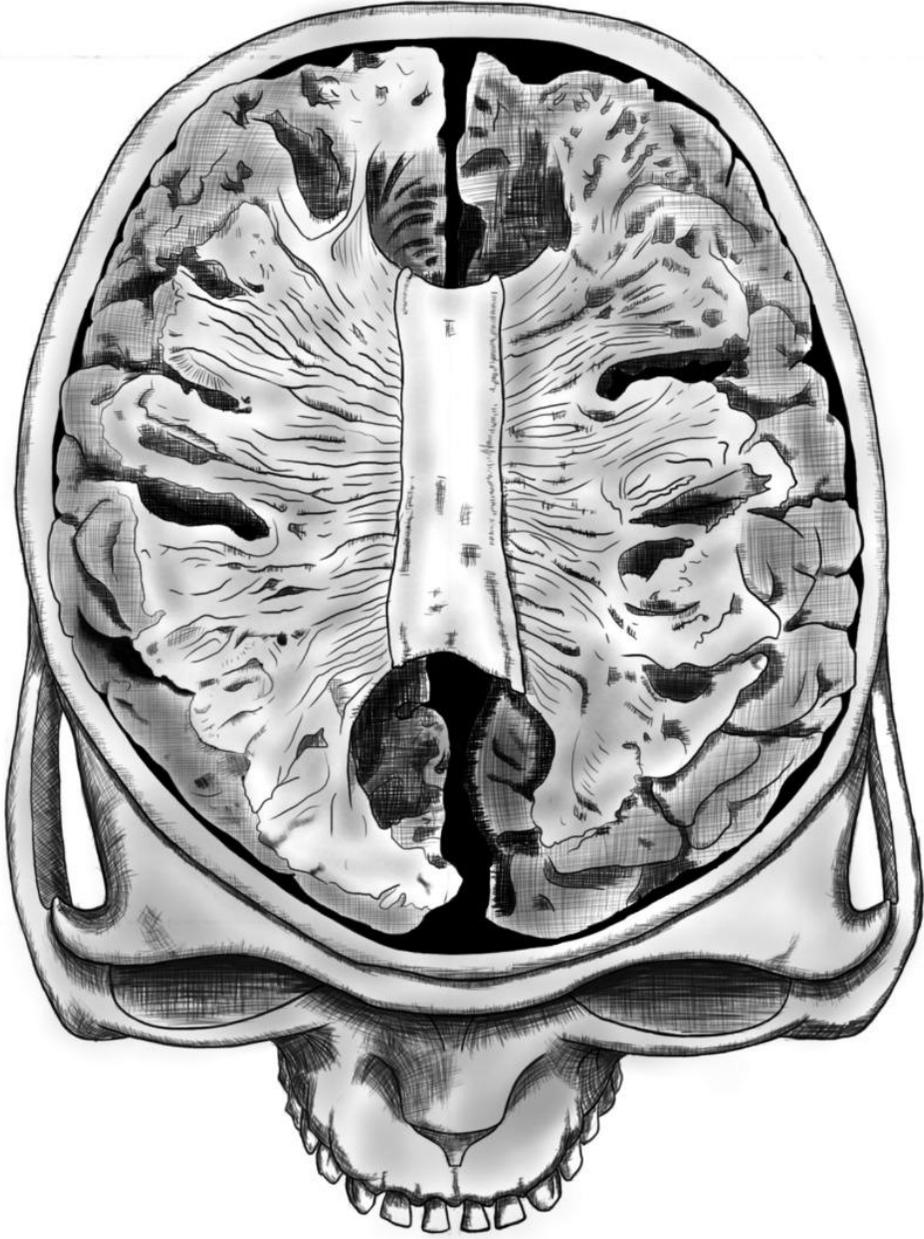
ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1	Valores para el área del cuerpo calloso en músicos y no músicos del grupo de referencia.....	70
Tabla 3.2	Características de los grupos de estudio.....	71
Tabla.4.1	Agrupación por edad y sexo para la variable peso y talla, en el grupo de estudio.....	87
Tabla 4.2	Agrupación de los participantes por edad y sexo en relación a su preferencia manual.....	88

Tabla 4.3	Agrupación de los participantes por edad y sexo, en relación a su IMC	89
Tabla 4.4	Análisis de correlación lineal entre el área media posterior del cuerpo calloso y la talla.....	97
Tabla 4.5	Análisis de tamaño del cuerpo calloso entre los grupos de estudio.....	100

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 4.1	Regresión lineal entre el área del cuerpo calloso y la talla.....	96
Gráfica 4.2	Regresión lineal del área total del cuerpo calloso y la talla con distribución por sexos.....	98
Gráfica 4.3	Distribución del área total del cuerpo calloso en participantes del proyecto LEMON, estandarizada de acuerdo a los datos de Schlaug et al. 1995.....	102
Gráfica 4.4	Distribución del área media anterior del cuerpo calloso en participantes del proyecto LEMON, estandarizada de acuerdo a los datos de Schlaug et al. 1995.....	103
Gráfica 4.5	Distribución del área media posterior del cuerpo calloso en participantes del proyecto LEMON, estandarizada de acuerdo a los datos de Schlaug et al. 1995.....	104



“No tengo dudas de que en el futuro se reconocerá cada vez más la importancia de la antropología y que con el tiempo ocupará un lugar más visible y adecuado entre las materias de estudio y enseñanza. Los fundamentos de esta ciencia deberían de ser obligatorios para educar no solo a biólogos, médicos, historiadores y filósofos, sino también a algunos académicos que reconocen su necesidad e interés”.

Anuchin, D. “Беглый взгляд на прошлое антропологии и на её задачи в России”, 1900

1.1. Planteamiento del problema

Cuando cursaba mi primer año de licenciatura en antropología física en la ENAH, leí “*On the Relationship of Intelligence to size and shape of head, and to Other Physical and Mental Characters*” del gran matemático británico y padre de la bioestadística Karl Pearson (1857-1936). Ese texto publicado en 1906 por la aún hoy prestigiosa revista *Biometrika*, me enfrentó a las trampas del pensamiento empírico. Como las buenas obras, su contenido tiene varias lecturas pero su intención medular es una crítica a las interpretaciones craneométricas tan populares de la época. Es un trabajo de aproximadamente cincuenta páginas en el que Pearson, dispara a un problema que todavía persigue a la ciencia: la técnica puede ser correcta pero la interpretación puede ser errónea. El problema no es lo que medimos sino lo que pensamos qué significa lo que medimos.

Para entender el ejercicio que realiza Pearson, hay que ir a finales del siglo XIX e inicios del siglo XX, donde la craneología europea estaba obsesionada con encontrar rasgos métricos que en el fondo justificaran la superioridad intelectual de los blancos sobre otros grupos humanos. Al paso de reafirmar la inferioridad intelectual de las mujeres. Los giros discursivos efectuados por los craneometristas eran complejos y variados, por ejemplo:

“El argumento de Broca acerca de la condición biológica de las mujeres modernas se basaba en dos conjuntos de datos: los que probaban que en las sociedades modernas el cerebro de los hombres es más grande que el de las mujeres, y los que permitían suponer que la diferencia de tamaño entre el cerebro masculino y el femenino se había ido ampliando a través del tiempo. Su estudio más extenso sobre el tema estaba basado en una serie de autopsias que realizó en cuatro hospitales parisinos. Para 292 cerebros masculinos calculó un promedio de 1.325 gramos, y para 140 cerebros femeninos un promedio de 1.144 gramos, o sea una diferencia de 181 gramos o bien de un 14 % del peso del cerebro masculino. Desde luego, Broca sabía que parte de esa diferencia debía atribuirse al mayor tamaño de los hombres... [Sin embargo] no intentó medir por separado el efecto del tamaño corporal, y de hecho afirmó que no era necesario hacerlo. Después de todo, el tamaño corporal no podía explicar toda la diferencia, porque nos consta que las mujeres son menos inteligentes que los hombres” (Gould, 1997:96).

Pearson como buen matemático, sabía que muchas de las asociaciones efectuadas en esos trabajos eran ambiguas, dado lo poco que se discutía la variabilidad en las muestras o la limitada representatividad de ciertos grupos. Pero, más allá de sugerir ajustes por variables —*por ejemplo, Broca conocía el efecto del tamaño corporal, ya lo había ocupado para salvar a los franceses de la tesis de inferioridad craneal sobre los alemanes* (Gould, 1997:79)—, Pearson avizoró lo sencillo que les resultaba conseguir interpretaciones a modo, manipulando modelos estadísticos. Quienes nos dedicamos a la investigación sabemos que el empeño de querer justificar prejuicios a través de la ciencia, es peligroso.

Es por eso que Pearson consideró que para establecer una discusión y eventualmente rebatir trabajos que usaban el dato métrico como defensa, se tenía que usar el dato métrico como ataque. En ese sentido, este trabajo de investigación es heredero de esa noble tradición intelectual.

Pearson, conocía poco de antropometría pero sabía mucho de matemáticas y dentro de su grupo de matemáticos estaba Alice Lee (1858–1939), quien fuera una de las primeras mujeres en graduarse de *London University*. Alice, estaba convencida que si bien la capacidad craneal de hombres y mujeres podía ser diferente, no tenía relación alguna con la inteligencia. Para demostrar su punto Alice, midió la capacidad craneal de tres grupos de personas. El primero, treinta mujeres estudiantes del *Bedford College*, el segundo grupo lo conformó con veinticinco docentes varones de la *University College* de Londres —*una nota interesante es que al revisar a cuáles docentes eligió, se puede ver que el número dieciocho de su lista es Karl Pearson*— y el tercer grupo lo integró por treinta y cinco reconocidos anatomistas¹. El resultado fue escandaloso: “*varios de los anatomistas más reconocidos caían en los últimos nueve sitios y J. Kolleman, uno de los antropólogos*

¹ Un dato interesante es que los treinta y cinco reconocidos anatomistas no aceptaron ser medidos por Alice. Sino que, a motivo de una reunión efectuada en Dublín el 10 de junio de 1898, ellos accedieron a dejarse medir el cráneo por personal del laboratorio antropométrico del *Trinity College*. Eso resultó mejor para Alice, porque los datos se publicaron el mismo año en *Journal of Anatomy*, de donde ella los retomó evitando la suspicacia de la intencionalidad (Love, 1979:150).

vivos más notables, resultó tener la capacidad craneal más pequeña” (Lee, 1901:255).

Ante las críticas por la osadía de Alice, Pearson no bajó la guardia y aumentó la apuesta. Diseñó un estudio para probar correlaciones estadísticas entre parámetros de inteligencia y caracteres físicos como las dimensiones de la cabeza (largo, anchura e índice cefálico), el color del cabello, el color de ojos y el tipo de cabello (lacio o chino), con el “*objetivo de convencer a anatomistas y antropólogos de la vieja escuela que las mediciones de la cabeza no eran útiles para predecir la inteligencia*” (Person, 1906:122).

Esto le tomó unos cuantos años, porque una de las tareas que valoró necesarias fue la de integrar grupos con un buen número de participantes. Conseguir el grupo de participantes adultos fue una misión relativamente sencilla. Sin embargo, conseguir un amplio grupo de participantes infantiles, requirió apoyo del gobierno y de decenas de maestros en diversas escuelas.

Al final, conformó dos grupos y eligió segmentarlos de la siguiente manera: el primer grupo con mil adultos graduados de Cambridge, clasificados por (i) primera clase con honores, (ii) segunda clase con honores, (iii) clase con honores y (iv) graduación por pase. El segundo grupo, integrado por cinco mil niños y niñas en edad escolar y clasificados por las notas escolares como (i) muy inteligente, (ii) inteligente, (iii) inteligencia lenta, (iv) lento, (v) lento torpe y (vi) muy torpe².

Para Pearson el trabajo tenía que ser minucioso. Elaboró conjeturas malintencionadas con la finalidad de mostrar su punto: los cruces de sus variables exponían que la inteligencia asociada al color de ojos o el tipo de cabello, podían arrojar correlaciones estadísticas semejantes a parear el tamaño de la cabeza con la inteligencia. Además, sus notas siguieron la técnica de análisis de Alice; al mostrar que al segmentar la variabilidad por grupos de corte, la pretensión de una

² Claramente, cada categoría de inteligencia fue puntalmente descrita en el artículo. Ahora, apuntar al hecho de que es la percepción de un maestro la que estableció la diferencia entre ser “lento” o “lento torpe”, es identificar una subjetividad cultural. Por ejemplo, la clasificación de inteligencia presentada aquí, poco tendría que ver con la realidad de un Bosquimano. Como antropólogos, es pertinente contextualizar la construcción de significados particulares.

clara diferencia biológica se desvanecía. Por ejemplo, en veinticinco por ciento de los niños clasificados como torpes existían cabezas muy grandes y en el veinticinco por ciento de los niños clasificados como inteligentes existían cabezas muy pequeñas. Su denuncia fue directa: las pretensiones ideológicas manipulan las técnicas para encontrar sustentos biológicos que no existen.

Esta referencia histórica es necesaria para problematizar el presente estudio, porque desde aquél artículo clásico de Pearson, la antropología física continúa convencida de que al cuantificar las dimensiones de distintos caracteres físicos se revelará la historia que relaciona nuestro origen con nuestro futuro: ciertamente, al estudiar nuestro cuerpo podemos reconstruir de dónde venimos y pronosticar hacia a dónde vamos. Sin embargo, detrás de esa búsqueda, la amenaza real es fomentar interpretaciones que promuevan ideas de superioridad biológica que se traduzcan en discriminaciones sociales.

Uno de los mayores compromisos que tenemos como científicos biológicos y sociales, es ser críticos ante las formulaciones que suenan peligrosas. Combatir las interpretaciones que justifiquen las desigualdades económicas y sociales a través de los determinismos biológicos, es una tarea que históricamente la antropología física abanderó como propia. Solo bastaría revisar nuestra historia para entender por qué.

Por desgracia, vincular capacidades y comportamiento a estructuras corporales sigue vigente en el quehacer científico contemporáneo. Hoy ya no se habla de estudiar las dimensiones externas de la cabeza como a finales del siglo XIX e inicios del XX, para buscar la inteligencia, sino que ahora se estudian las dimensiones de estructuras internas, para hallarla.

Así, la idea de justificar que a mayor capacidad craneal, mayor inteligencia, con el tiempo migró a otra estructura anatómica. Esta vez, la estructura elegida fue el cuerpo calloso, este tracto de sustancia blanca con forma de diadema ubicado en medio de los hemisferios cerebrales, protagonizaría la entidad física dónde residiría la inteligencia.

Como sabemos, una de las posturas más trabajadas sobre la complejidad cerebral humana deviene de su conectividad. Se ha defendido que a través de la

evolución, los humanos nos diferenciamos de otros primates por el aumento desproporcionado en el volumen de sustancia blanca (Schoenemann, et al. 2005). Y dado que el cuerpo calloso es la estructura anatómica de sustancia blanca más grande del cerebro, al tener más de 190 millones de axones que transfieren información entre los dos hemisferios cerebrales (Paul, et al. 2007:288), resultaría “razonable” elegirlo como candidato para interpretar que su tamaño se asocia a la inteligencia.

Así, Sandra Witelson, neurocientífica canadiense y actual catedrática en *McMaster University*, se propuso identificar el sustrato neurobiológico de la inteligencia del famoso físico alemán Albert Einstein (1879-1955). Su “necesaria” contribución se fundamentó en que “*desde la muerte de Einstein, no se había informado sobre la anatomía macroscópica de su cerebro.* [Su grupo de investigadores] *serían los primeros en hacerlo*” (Witelson, et al. 1999:2149).

Witelson, heredera del paradigma de la mente atomizada³, consideró que medir las regiones parietales era importante por su asociación a la cognición visoespacial y el pensamiento matemático, por tanto, dichas regiones tendrían que ser más grandes. De igual forma, se planteó que la velocidad de comunicación entre ambos hemisferios tendría que ser mayor, por tanto, el tamaño del cuerpo calloso de Einstein sería mayor.

Para hacer el comparativo, Witelson⁴ y sus colaboradores usaron cerebros de donadores sanos, pertenecientes a la *Witelson Normal Brain Collection* con sede en la *McMaster University*. Los grupos elegidos fueron 35 cerebros masculinos y 56 cerebros femeninos, con edades variadas. Como Einstein, murió a los 76 años, pusieron especial énfasis en un subgrupo de 8 cerebros masculinos cuya característica era que correspondían a individuos mayores de 65 años.

³ La mente atomizada es una propuesta que nació al identificar que existen áreas específicas del cerebro encargadas de funciones ejecutoras específicas. Su origen se remonta a los estudios del médico francés Paul Broca (1824-1880), quien estableció un vínculo entre daños en el lóbulo frontal izquierdo y el habla. Actualmente esa área del cerebro se le conoce como área de Broca (Rippon, 2019).

⁴ Un dato pertinente es que el presente trabajo retomó la técnica de medición del cuerpo calloso propuesta por Sandra Witelson en 1989.

Los resultados reportados en ese estudio exponían que el cerebro de Einstein era diferente porque la fisura de Silvio estaba ubicada en una posición “más anterior” —en comparación a los otros cerebros del estudio—, sugiriendo que Einstein tuvo un desarrollo temprano en los lóbulos parietales⁵. El cuerpo caloso de Einstein resultó medir 6.8cm², mientras que el promedio de tamaño del cuerpo caloso en el grupo contraste de hombres (n=35) fue de 7cm² ± 0.9mm². Para descalabro del grupo de científicos liderados por Witelson, el tamaño del cuerpo caloso de Einstein, resultó muy cercano al promedio.

Por el contrario a un pronóstico sensato, la búsqueda de la inteligencia en el cuerpo caloso siguió. Si bien, Witelson migró su interés para medir las diferencias de tamaño entre el cuerpo caloso de “*hombres homosexuales*” frente al de “*hombres heterosexuales*” (Witelson, et al. 2008), el deseo por medir la inteligencia en las dimensiones del cuerpo caloso se enraizó y las aproximaciones se sofisticaron, porque la tecnología permitió medir dicha estructura anatómica en sujetos vivos y de manera ambulatoria (mediante resonancia magnética⁶), con ello la pretensión del tamaño vinculado a la inteligencia creció, véase: Luders, et al. 2007, Luders, et al. 2009, Hutchinson, et al. 2009, Moreno, et al. 2014., Strauss, et al. 1994., Wolf, et al. 2014, por mencionar algunos estudios.

Como se ha mostrado el problema no radica en que el cuerpo caloso de los seres humanos presente dimensiones variables dentro de un rango estadístico normal y un sustrato biológico plausible. Eso se sabe, como a finales del siglo XIX e inicios del siglo XX, se sabía que existía variabilidad en el tamaño de las cabezas de hombres respecto a mujeres o de ciertos grupos étnicos frente a otros grupos étnicos. El problema es lo que le atribuimos a esas diferencias. Interpretar que

⁵ Los resultados no estuvieron libres de controversia, para conocer las críticas sobre la interpretación de ese estudio, recomiendo revisar Men, et al. 2014.

⁶ Es una técnica no invasiva que permite reconstruir imágenes internas del cuerpo, al exponer tejidos a una radiofrecuencia de campo. La emisión de radiofrecuencia alinea en cierta dirección los protones (normalmente de hidrogeno) que se encuentran en los átomos de diferentes tejidos del cuerpo humano. Mediante la suma del espectro de secuencias las radiofrecuencias se transforman en imágenes (véase transformadas de Fourier en Gallagher, et al. 2008).

biológicamente, uno es frente al otro; más “civilizado”, más “inteligente” o más “avanzado”, provee argumentos al racismo, al sexismo y la xenofobia.

De acuerdo a la revisión del estado del arte en estos temas, uno de los posicionamientos críticos frente a esas posturas surgió al estudiar cómo la plasticidad biológica⁷ influía en el tamaño de estructuras como el cuerpo calloso. Particularmente, se estableció que componentes culturales como el entrenamiento de habilidades musicales en edades tempranas influía en las dimensiones que alcanza el cuerpo calloso durante el crecimiento.

De manera consensuada por el gremio neurocientífico occidental, el trabajo “*Increased corpus callosum size in musicians*” (Schlaug, et. al.1995), fue uno de los pioneros, en describir esas relaciones. En ese estudio, se reportó que 21 músicos profesionales (15 hombres y 6 mujeres) con estatura promedio de 1.78m ± 10cm y edades entre 21 y 36 años, cuyo entrenamiento musical comenzó antes de los 7 años de edad, presentaban mayores dimensiones en el área anterior del cuerpo calloso (en promedio 40mm²), en comparación con 30 adultos sanos sin entrenamiento en música.

La importancia de este tipo de estudios asienta en el contenido empírico contrario a los planteamientos de las ideologías *científico-sociales* que abogan por el determinismo biológico de ciertos grupos humanos. Mostrar el alcance de la plasticidad biológica ligada a momentos específicos del crecimiento, invita a analizar el contexto en el que viven y se desarrollan las personas. Señalando que hay condiciones ambientales y sociales que pueden promover o limitar la expresión del potencial biológico de los organismos. En ese sentido, esto lleva a una discusión política por demás necesaria, donde posibilitar el acceso a bienes y servicios, que mejoren el entorno donde se desarrollan los individuos, es algo que se debería de hacer.

Afortunadamente, en la actualidad realizar este tipo de estudios es más sencillo que hace veinte años, debido a que en muchos países la neurociencia ha entrado

⁷ De manera general, el concepto de plasticidad biológica significa que los organismos vivos pueden ser influenciados por el medioambiente. Cada vez que se mide la respuesta de un estímulo ambiental sobre el desarrollo o la conducta de un individuo, se está midiendo la plasticidad (Sigman, 1982:98).

a la era del “*paradigma del descubrimiento*”, que promueve el modelo abierto al acceso de datos (Milham, 2012: 214); donde centros de investigación clínica y formación universitaria, comparten en mayor o menor medida los datos que generan con el interés de incentivar la cantidad de análisis exploratorios, la confrontación de hallazgos y el enriquecimiento de las interpretaciones desde múltiples disciplinas. Gracias a ello, estudios científicos como el aquí planteado son posibles.

La simple acción de compartir, facilita que investigadores de cualquier parte del mundo realicemos distintos proyectos de investigación. En mi caso, esa posibilidad fue la que me permitió estudiar datos y neuroimágenes, de grupos alemanes. Así, después de un escrutinio minucioso entre el contenido distintos programas de investigación, encontré la serie de participantes que integraron mi estudio: un grupo de 153 alemanes adultos sanos (108 hombres y 45 mujeres), con edades entre 20 y 35 años, con estatura promedio de $1.77\text{m} \pm 10\text{cm}$ y sin entrenamiento musical profesional, tomados de la “*Leipzig Study for Mind-Body-Emotion Interactions*” (LEMON) del Instituto Max Planck de Ciencias Cognitivas y Cerebrales Humanas, que fueron recolectados durante los años 2013 a 2015.

Ahora, es importante señalar que la base de datos del proyecto LEMON, cuenta con una extensa información de los participantes⁸, de la que únicamente se eligió: resonancias magnéticas en modalidad *T1-weighted (MP2RAGE)*⁹ cuantitativa, ficheros por edad y sexo, datos antropométricos, preferencia manual y perfil escolar. Debido a que se consideró que el análisis de estos componentes podría aportar información valiosa sobre la variación en las dimensiones del cuerpo caloso. Sin

⁸ Solo por mencionar algunas de las pruebas existentes: test psicométricos, cuestionarios clínicos, muestras sanguíneas, muestras de cabello, perfiles nutricionales, información antropométrica, perfil escolar, resonancias magnéticas en diferentes modalidades: FLAIR, T1map, T1w, Bold, T2w, dwi, field map.

⁹ T1-weighted, es una modalidad de resonancia magnética ideal para el análisis anatómico. Su modalidad usa tiempos de repetición cortos y tiempos de eco cortos (un tiempo eco se entiende como el tiempo transcurrido entre la emisión del pulso de ondas de radiofrecuencias y el momento en que esa señal emitida retorna). Una definición más técnica es “constante de tiempo específica del tejido que describe la pérdida de la magnetización longitudinal al estado de equilibrio (63% de su valor máximo)” (Gálvez, et al. 2005).

embargo, en sus series existe una vasta información que permitiría tratamientos desde diversos enfoques y distintas disciplinas.

Para el estudio de la plasticidad del cuerpo calloso, se retomaron los perfiles de los 21 músicos profesionales, quienes iniciaron un entrenamiento musical antes de los 7 años de edad, reclutados por el estudio de Schlaug y colaboradores (1995), y se compararon con los perfiles de los participantes del proyecto LEMON.

Antes de entablar un diálogo entre los valores de área del cuerpo calloso de ambos grupos, fue necesario establecer un diseño que considerara la similitud entre las características de los grupos a contrastar. Por lo tanto, los valores reportados para las variables de sexo, talla, edad y preferencia manual, en el grupo de músicos profesionales (Schlaug, et al.1995), fueron considerados para elegir el perfil de los participantes retomados del proyecto LEMON. El siguiente requisito consistió en emplear la misma técnica de medición del cuerpo calloso implementada en el estudio de los músicos profesionales (Schlaug, et al.1995). La técnica en cuestión resultó ser una metodología desarrollada por Sandra Witelson (1989) y valga justicia científica mencionar que su técnica es un referente estándar de medición, por lo que se decidió utilizarla para medir el cuerpo calloso de los participantes del proyecto LEMON. Cumplidos ambos requisitos se comparó a los participantes del proyecto LEMON contra los 21 músicos profesionales, con la finalidad de observar si existían diferencias en el tamaño de la parte anterior del cuerpo calloso en los segmentos del A1 a A4.

Por último, al construir la base de datos con los participantes del proyecto LEMON (n=153), se exploró mediante diferentes análisis estadísticos si la edad, el sexo, la talla, el índice de masa corporal (IMC) y la preferencia manual, tenían relación con el tamaño del cuerpo calloso. La finalidad de este ejercicio consistió en mostrar que la variabilidad en las dimensiones del cuerpo calloso está ligada a diferentes componentes biológicos y por tanto, su explicación requiere un análisis teórico más amplio.

1.2. Objetivo general

Mostrar que la variabilidad en el tamaño del cuerpo calloso está vinculada a componentes biológicos y culturales, que permiten discutir interpretaciones sobre su significado.

1.3. Objetivos específicos

- i. Estimar las dimensiones del cuerpo calloso del grupo de 153 personas adultas sanas, pertenecientes a la "*Leipzig Cohort for Mind-Body-Emotion Interactions*" (LEMON), mediante el análisis de imágenes de resonancia magnética en modalidad *T1-weighted*, implementando la técnica de medición Witelson (1989).
- ii. Analizar la contribución de componentes como la edad, sexo, talla, índice de masa corporal y preferencia manual en la variación de las dimensiones del cuerpo calloso.
- iii. Contrastar las dimensiones del área anterior del cuerpo calloso (A1A4) del grupo seleccionado del proyecto LEMON con lo reportado por Schlaug y colaboradores (1995), para los 21 alemanes adultos sanos y músicos profesionales que iniciaron un entrenamiento instrumental antes de los 7 años de edad.

1.4. Preguntas de investigación

¿Existe una relación entre el tamaño del cuerpo calloso y los componentes biológicos de la edad, el sexo, la talla, el índice de masa corporal y la preferencia manual, en los 153 individuos del proyecto LEMON?

¿Existen diferencias en las dimensiones observadas en el cuerpo calloso del grupo de alemanes sin entrenamiento musical y quienes recibieron entrenamiento antes de los 7 años de edad?

1.5. Hipótesis

- i. El área anterior del cuerpo calloso (subáreas A1-A4) presenta menores dimensiones en el grupo de adultos sanos seleccionado del proyecto LEMON que los adultos, pianistas y tañedores de cuerdas profesionales quienes iniciaron su entrenamiento musical antes de siete años de edad.
- ii. No se encontrarán diferencias en el tamaño del área total del cuerpo calloso (subáreas A1 a A7) por grupo de edad, debido a que el periodo de 20 a 35 años corresponde a una meseta en el crecimiento y ésta precede a las modificaciones propias del proceso de envejecimiento.
- iii. Los participantes ambidiestros y zurdos, tendrán el área total del cuerpo calloso (subáreas A1 a A7) más grande respecto de los participantes diestros. Es probable que las tareas de integración motriz que se realizan en los espacios diseñados para las personas diestras tuvieran alguna influencia en el desarrollo del área que se analiza.
- iv. Los participantes con un mayor índice de masa corporal (IMC) tendrán un área total del cuerpo calloso (subáreas A1 a A7) de menor tamaño respecto de los participantes con un menor índice de masa corporal.
- v. Habrá diferencias en el tamaño del área total del cuerpo calloso (subáreas A1 a A7) entre las mujeres y los hombres seleccionados del proyecto LEMON. Las mujeres tendrán menores dimensiones en comparación con los hombres. Es probable que esas diferencias estén relacionadas con el tamaño corporal (talla).

1.6. Justificación

Previamente, se señaló que a finales del siglo XIX e inicios del siglo XX, existió un discurso de segregación donde las interpretaciones de las diferencias en las dimensiones del cuerpo humano, se relacionaron con las capacidades intelectuales de las personas. También, se presentó que la búsqueda de la inteligencia migró hacia medir el cuerpo calloso bajo la premisa de a mayor tamaño, mayor inteligencia. Por otro lado, se mostró que el presente estudio difiere de esas interpretaciones, principalmente porque partir de esos supuestos presupondría argumentos peligrosos.

Las presentes líneas exponen dos sucesos recientes que muestran como al reducir o no comprender la existencia de la variabilidad biológica, se producen discursos de segregación y racismo. El objetivo, es señalar que las consecuencias en este tipo de interpretaciones van más allá del terreno científico, impactando en la realidad de las personas.

Agustín Fuentes (1966~), primatólogo y antropólogo biológico norteamericano, en mayo de 2014 escribió una reseña en el *Huffington Post* criticando el reciente lanzamiento del libro “*A Troublesome Inheritance: Gene, Race and Human History*”, escrito por Nicholas Wade¹⁰ (1942~), periodista y divulgador científico británico, donde se defiende la existencia de razas humanas. Wade, expone en su libro que entre los seres humanos hay grupos genéticamente identificables que se pueden describir y etiquetar como razas biológicas. A pesar de que la evidencia científica lo contradice: Blakey, 1999., Lewontin, 1970., Feldman y Lewontin, 2008., Marks, 1995., Hochman, 2013., Caspari, 2018, por mencionar algunos, Wade sostiene que “*ciertos datos científicos*” —principalmente de ancestría genética— muestran que los genetistas estudian “razas” pero evitan usar el término, debido a un veto impuesto por las ciencias sociales:

¹⁰ Nicholas Wade, además de ser divulgador científico, fungió como editor en revistas como *Nature* (1967-1971), *Science* (1972-1982) y el *New York Times* (1982-2012) (Consultado en: ecured.cu/Nicholas_wade).

“El análisis de los genomas de todo el mundo establece que las razas tienen una base genética, a pesar de que importantes organizaciones en las ciencias sociales sostengan lo contrario” (Wade, 2015:11).

Wade, aborda muchos tópicos provocadores a lo largo de su libro y la inteligencia entre “razas” es uno de ellos. Desde su interpretación, la inteligencia humana es el resultado de nuestra historia evolutiva pero la inteligencia como otros tantos rasgos tiene una expresión diferencial entre los grupos humanos, por tanto, tiene una justificación genética. Esto, advierte, lo saben los científicos y lo estudian. Wade menciona que para algunos rasgos ventajosos los científicos no temen hallar genes que demuestren que una “raza” sea mejor que otra pero para otros rasgos sí, por ser socialmente controvertibles pero legítimamente científicos:

“Es inevitable que la ciencia establezca ventajas relativas en algunos rasgos. Debido a variantes genéticas, tibetanos y habitantes de las tierras altas andinas son más capaces que otros de vivir a gran altitud... no supondría ninguna sorpresa si se encontrara algún factor genético que contribuyera a esta ventaja” (Wade, 2015:15).

Por ese tipo de exposiciones incendiarias, el libro de Wade se posicionó como un éxito de ventas en diferentes lenguas. Esa amplia difusión atrajo la atención de muchos científicos que rápidamente atacaron sus interpretaciones. La polémica creció a tal punto que 139 genetistas de diferentes países firmaron una carta pública con eco en diarios y revistas, donde enfatizaban que a pesar de que Wade había leído y citado muchas de sus investigaciones, las había mal interpretado porque *“las razas humanas no existen”* (Balter, 2014). A pesar del altercado, Wade no se retractó de sus dichos y en 2015 ofreció una entrevista al diario EL PAÍS donde dio respuesta a la polémica carta sentenciando que las denuncias eran una acción política más que científica:

“En las décadas de 1920 y 1930 se produjo un movimiento eugenésico muy potente en EE.UU, dirigido por genetistas punteros de Harvard y Stanford. Los científicos actuales cargan con ese peso, saben que tienen ese legado negativo y están resueltos, con razón a que nunca se repita. Me habría

gustado, eso sí, que leyera mi libro atentamente. No creo que lo hayan hecho” (Jimenez, 2015).

Contrario a su defensa pública sobre el trasfondo político, leer su libro es un salto al pasado. Wade, ejemplifica el resurgimiento de las ideas disparatadas de aquellos craneometristas de inicio del siglo XX, a los que Alice evidenció comparando su propia capacidad craneal. En síntesis, el error científico que plaga todo su libro es su poca comprensión de la variabilidad: Wade, propone que hay razas humanas “*homogéneas*” en paquetes genéticos perfectamente definidos pero en los seres humanos “*la variación genética tiende a distribuirse de manera continua y superpuesta entre las poblaciones*” (Jorde, et al. 2004), por tanto, en términos genéticos, hablar de razas humanas 100% puras o perfectamente diferenciadas por paquetes genéticos, no tiene mucho sentido. Nadie es 100% Chino, 100% Alemán, 100% Africano, 100% Árabe, 100% Judío... porque al interior de cada grupo humano; políticamente, religiosamente o socialmente definido, existe mucha variabilidad genética. De modo que cualquier alemán podría tener una proporción de genes de origen árabe, judío, chino y más... a la vez que todo ser humano posee un porcentaje de genes africanos —*porque ahí surgió nuestra especie*—. En suma, es un despropósito minimizar el papel de la variabilidad, más cuando ésta es la norma y no la excepción.

Probablemente, Wade buscó voces contrarias para incitar al escándalo¹¹ y vender muchos libros pero por desgracia este tipo de pronunciamientos ofrecen ideas que la gente consume como ciertas. Asimismo, la interpretación a estos fenómenos ofrecida desde una narrativa segregacionista, goza de una aceptación social más grande de lo que nos gustaría aceptar.

¹¹ Un dato adicional a la obra de Wade, es que a mediados de la década de los 90’s, siendo editor de la sección de ciencia del *New York Times*, escribió una nota en referencia a las diferencias entre el cuerpo calloso de hombres y mujeres. Desacreditando las “ideologías feministas” que promulgaban por la igualdad de capacidades intelectuales. Aludiendo que las diferencias anatómicas cerebrales justificaban el hecho de que los hombres fueran innatamente superiores en matemáticas, respecto a las mujeres (Wade, 1994).

En esa misma ruta, es importante prestar atención a quienes desde la ciencia todavía comulgan con la existencia de grupos humanos definidos por ciertos atributos propios a su “raza”: durante una entrevista para la revista *Times* en su edición de octubre del 2007, James Watson (1928~), premio Nobel de fisiología y medicina 1962, señaló que uno de los mayores problemas sobre las políticas sociales en el África sub sahariana radicaba en asumir que la inteligencia de los negros (africanos) era igual a la inteligencia de los blancos (europeos), cuando todos los test de inteligencia han mostrado que los negros (africanos) son inferiores (Hunt-Grubbe, 2007). Este tipo de interpretaciones resultan claramente peligrosas: catalogar a una “raza” como intelectualmente inferior es exculpar al abuso histórico de estos grupos humanos por ser menos capaces. Esto por ejemplo, consagra al colonialismo justificando el porqué algunos países han sometido al pueblo africano.

Por otro lado, las opiniones de Watson son una interpretación sobre algunos trabajos que mediante pruebas de inteligencia han reportado que “*algunos grupos africanos*” tienen puntajes inferiores respecto a otros grupos —como los europeos— véase: Martin, et al. 2004, Jarotimi, et al. 2007., Neumann, et al. 2007., Wilson, et al. 1990., Rushton, et al. 2004, por mencionar algunos. Esto a mi parecer, más que visibilizar la inferioridad intelectual de los grupos africanos, señala que la malnutrición, el poco acceso a la salud y los altos índices de marginalidad, ofrecen un ambiente poco favorable para el desarrollo de cualquier ser humano. Afortunadamente, aceptar que las condiciones de vida influyen en el desarrollo, es aceptar que hay cosas que sí podemos cambiar.

Los sucesos de Wade y Watson, muestran que las interpretaciones *científico-sociales* germinadas desde el determinismo biológico, siguen presentes y creciendo como verdades. Resulta fácil para alguien versado en estos temas identificar el error en el extremismo de sus argumentos. Sin embargo, hay zonas grises donde aún desconocemos el significado de esas diferencias que encontramos cuando estudiamos la variabilidad humana. En ese sentido, este estudio es un ejemplo de zona gris:

Cuando inicié el estudio de la estructura del cuerpo calloso a través de resonancias magnéticas, una de las preguntas más frecuentes que recibía era *¿para qué los mides?*, Usualmente respondía que quería contrastar unos datos que sostenían que el entrenamiento de habilidades musicales antes de los siete años, producía que los músicos tuvieran el área anterior del cuerpo calloso más grande. El siguiente punto en la conversación solía llegar a expresiones del tipo: *“ah por eso los músicos son más inteligentes”*... después de meditar por un momento respondía *“no lo sé”*.

Sin embargo, la configuración científica de este estudio no está encaminada a medir test de inteligencia y menos a pensar que midiendo las dimensiones del cuerpo calloso se encontrará el sustrato biológico de la inteligencia:

“Se cree que la morfología del cuerpo calloso refleja la capacidad de comunicación interhemisférica y por tanto, además de otras características cerebrales, puede servir como sustrato neuroanatómico de la capacidad intelectual general” (Luders, et al. 2007:1457).

Ya que avanzar presuponiendo eso, lleva a interpretar un resultado y no las causas o condiciones que lo generan. Asimismo, en muchos casos al leer con cautela se revela que la interpretación de los sustratos neuroanatómicos, genéticos y craneométricos, guardan determinismos biológicos muy nocivos. Por eso, hay que estar alerta a interpretar cosas maniqueas; así como ocurrió cuando algunos estudios reportaron que ciertos grupos africanos tenían menores puntajes en las pruebas de inteligencia y eso resultó en interpretaciones tergiversadas sobre su inferioridad intelectual. Interpretar que un cuerpo calloso grande es sinónimo de mayor inteligencia, compromete a pensar que un cuerpo calloso pequeño responde a inferioridad intelectual.

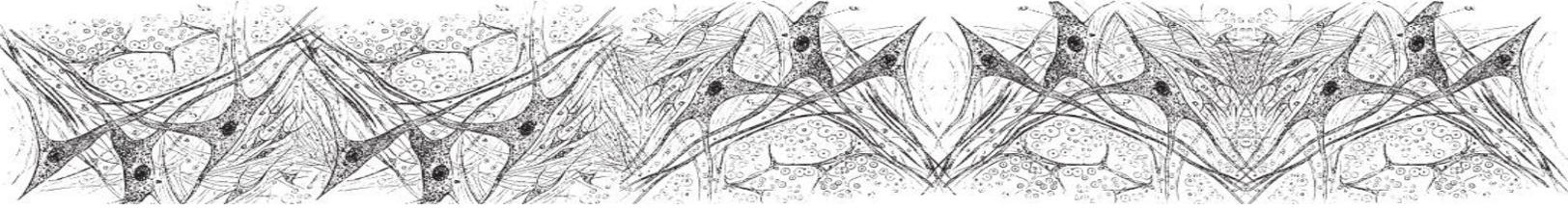
En ningún sentido esa postura crítica se opone a negar que el entrenamiento de habilidades musicales antes de los siete años puede influir en el tamaño del cuerpo calloso, pero también hay que ser reflexivo; *¿bajo qué condiciones económico-culturales un niño menor de siete años, tendría acceso a estímulos ambientales como el entrenamiento musical?*

Contestar esa pregunta me llevó a asistir a espacios destinados a la enseñanza de música a niños de entre cinco y diez años de edad, en la Ciudad de México durante 2019, porque quería apreciar bajo qué condiciones un niño tiene acceso a esa experiencia. Al correr de las semanas, percibí una sutileza reveladora: nunca vi llegar a un niño solo. Siempre la madre, el padre, los hermanos, las nanas iban a dejarlos y luego a recogerlos. Sumo otro dato evidente: los niños y niñas de esas edades no decidían estudiar piano sobre violín, flauta travesera sobre saxofón, sino que eran sus cuidadores tanto en casa como en aulas quienes pautaban lo “mejor” para cada caso y lo “mejor” atravesaba por aspectos de horarios, costos, cupo, oferta, inclinaciones, en fin... a esas edades lo “mejor” lo decide nuestra familia y en el “mejor” de los casos, al menos en sus palabras, “es para nuestro bien”.

Visto de esa forma, promover la realización del potencial biológico de los niños y niñas responde a estar en entornos que así lo favorezcan. Así, desde mi perspectiva el entrenamiento de habilidades musicales en niños y niñas de algunas zonas de la Ciudad de México, es más un privilegio en términos socio-económicos que una posibilidad generalizada (claramente, como en todo hay excepciones pero de manera general ocurre así).

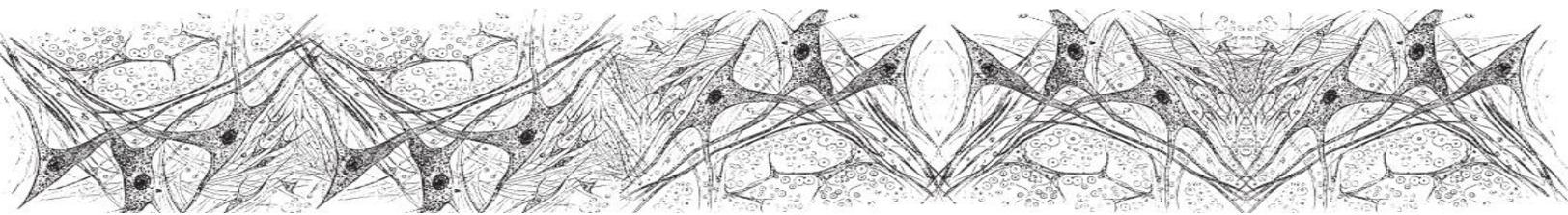
A la par de esa apreciación, también considero que el reto de este estudio es argumentar que si bien el entrenamiento de habilidades musicales en edades tempranas puede influir el tamaño del cuerpo calloso —a través de la plasticidad en el desarrollo—, ésto no debería interpretarse como diagnóstico de ser “mejor” o “más inteligente”, sino únicamente como el resultado de una respuesta biológica “normal” ante un contexto específico. Esto, de manera general invita a plantear que bajo esas mismas condiciones la mayoría de individuos experimentaría esa misma adecuación en el desarrollo del cuerpo calloso.





UN BREVE REPASO...

“Los dos componentes principales del sistema nervioso central son la sustancia gris y la sustancia blanca. Mientras que la sustancia gris principalmente contiene cuerpos celulares neuronales, la sustancia blanca consiste primariamente en axones mielinizados, cuyo objetivo principal es la transferencia de información entre diferentes áreas del cerebro. La sustancia blanca resulta ser blanca por el alto contenido de grasa en la mielina, ese tipo de grasa es construida por los oligodendrocitos (un tipo de células gliales). La mielina aísla los axones como el revestimiento de goma que recubre el alambre de cobre, lo que permite una conducción de información neuronal mucho más rápida que en los axones no mielinizados (hasta 100 veces más rápido)”. (Ocklenburg y Güntürkün, 2017:59).

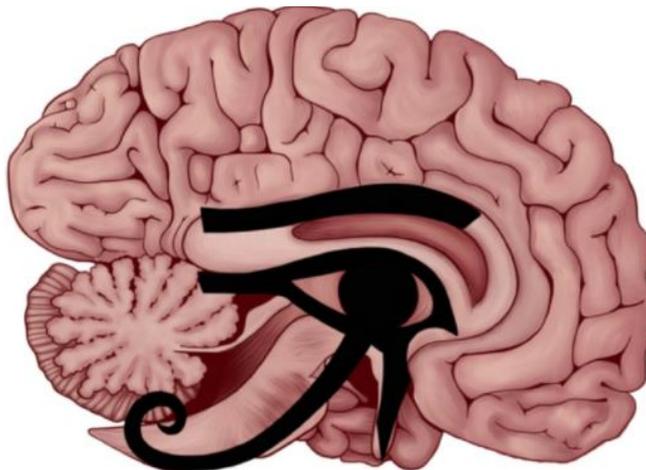


2.1. Antecedentes

a) Consideraciones históricas en el estudio del cuerpo caloso

En medio de la fisura longitudinal que divide al cerebro en dos mitades (hemisferios), se encuentra el cuerpo caloso. El estudio de ese haz de fibras nerviosas cubiertas de mielina ha estado presente a lo largo de la historia de nuestra humanidad. En diferentes épocas se especuló e investigó sobre sus características y funcionamiento, por ejemplo, en la antigua civilización egipcia, la representación anatómica del cerebro humano visto desde un corte sagital, escondía el “Ojo de Horus” (Fig. 2.1). Bajo esa perspectiva, el cuerpo caloso se encontraría en la ceja del “Ojo de Horus”, como el Heqat¹² 1/8, representado con ello la sabiduría:

Figura 2.1. Superposición del “Ojo de Horus” en el cerebro humano



Fuente: “La sabiduría está representada por la ceja del “Ojo de Horus”, con correspondencia a la fracción 1/8 Heqat (Gillings, et al. 1972., Gardner, 2014., Zaslavsky, et al. 1993). La ceja humana a menudo se asocia con la acción de pensar, por ejemplo movemos nuestras cejas para expresar varias emociones. [La ceja humana] Se asemeja al cuerpo caloso desde un corte anatómico sagital” (ReFaey, et al. 2019:8).

¹² El Heqat refiere a uno de los sistemas de medición egipcios más antiguos en el que los valores se perciben como un patrón consecuente (Zaslavsky, et al. 1993).

Ya en el siglo II, el filósofo griego Galeno de Pérgamo (129-201), especuló que el cuerpo calloso solo cumplía una función mecánica manteniendo unidos ambos hemisferios cerebrales. Mientras que el color blanco y reluciente que lo caracteriza, sumado a su dureza superficial motivó a los antiguos griegos a llamarlo “*tulus*”, mote que a la traducción latina pasaría como “*callosus*” (Singer, 1956).

Bajo la relatoría científica occidental, el cuerpo calloso pasó de la simplicidad mecanicista a la exacerbación animista, así, en la Europa del siglo XVI, Andrés Vesalio (1514-1564), gran anatomista flamenco, en su libro “*De humanis corporis fabrica*” de 1543, coincidió con Galeno sobre que las funciones del cuerpo calloso se reducían a la acción mecánica de unir el hemisferio izquierdo con el derecho y mantener la integridad de los ventrículos cerebrales (Chiarello, 1980). Mientras que dos siglos más tarde; Giovanni Maria Lancisi (1654-1720), médico italiano, en su libro “*Dissertatio de sede cogitantis animae*” de 1712, propondría que las funciones psíquicas superiores, así como el asiento del alma residía en el cuerpo calloso.

Dentro del mismo discurso animista, el médico francés Francois Gigot de La Peyronne (1678-1747), en su artículo “*Observations par lesquelles on tâche de découvrir la partie du cerveau ou l’âme exerce ses fonctions*” de 1741, infirió que dado que el cuerpo calloso no presentaba alteraciones visibles en las autopsias de individuos con gangrena, era probable que el cuerpo calloso fuera el asiento del alma.

Sin embargo, sería hasta los siglos XVIII y XIX con los estudios quirúrgicos efectuados en animales, que el cuerpo calloso revelaría más pistas sobre su funcionamiento: Johann Gottfried Zinn (1727-1759), anatomista alemán, en su disertación doctoral “*Experimenta quaedam circa corpus callosum, cerebellum, duram meningem, in vivis animalibus instituta*” de 1749, detalló que al seccionar el cuerpo calloso de perros mediante una cirugía ambulatoria, estos no morían ni experimentaban alteraciones en sus sentidos pero sí se percibía su apatía y aletargamiento motriz, lo que le llevó a formular especulaciones sobre las implicaciones del cuerpo calloso como un puente de información corporal: aportando que si bien su ausencia no comprometía la sobrevivencia orgánica de los perros, sí afectaba su motricidad.

En el año de 1837, llegaría un giro decisivo sobre la relevancia del cuerpo calloso a través de la publicación “*On the structure of the brain in marsupial animals*” del anatomista comparativo inglés Richard Owen (1804-1892), donde mediante la disección comparativa entre el cerebro de un castor y el cerebro de un marsupial dripodonto (vombátido), se concluiría que solo los mamíferos contaban con cuerpo calloso. Por tanto, la ausencia de dicha estructura en otros vertebrados se interpretaría como signo de su inferioridad¹³:

“La ausencia de cualquier tipo de primordios callosos en mamíferos no placentarios implicaba un origen evolutivo repentino del cuerpo calloso, sin estructuras ancestrales. Esto fue inesperado según el concepto de evolución de Darwin por la acumulación sucesiva de pequeños cambios. De hecho, incluso Huxley, un defensor del gradualismo, admitiría en 1863 que el origen del cuerpo calloso significó un salto importante en la evolución” (Aboitiz y Montiel, 2003:410).

Contrario a las apreciaciones sobre la relevancia del cuerpo calloso e interesado en refutar el trabajo de Zinn, el médico húngaro Friederich von Korányi (1828-1913), también experimentó con cortes al cuerpo calloso en perros, su trabajo “*Über die Folgen der Durchschneidung des Hirnbalkens*” de 1890, encontró que si las escisiones eran efectuadas sin dañar la corteza cerebral los perros mantenían sensación y movimiento normales pero si al hacer escisiones éstas dañaban la línea media adyacente de la corteza cerebral, los perros quedaban con discapacidad visual. Korányi advirtió que el cuerpo calloso podía ser prescindible siempre y cuando la cirugía no dañara otras estructuras cerebrales. Esta idea sería bien recibida, debido a que los perros sin cuerpo calloso parecían comportarse normalmente.

Por otro lado, no todos fueron escépticos de su relevancia; la oleada de racismo a inicios del siglo XX, arrastró la discusión sobre la importancia de las dimensiones

¹³ Erradicar este tipo de apreciaciones ha llevado mucha investigación de por medio. Por ejemplo, un reciente estudio identificó que la comisura anterior del cerebro de las palomas realiza las funciones que en mamíferos placentarios desempeña el cuerpo calloso, ver Letzner, et al. 2016.

del cuerpo calloso entre distintos grupos humanos; al asociar que a mayor dimensión de la capacidad craneal, mayor tamaño del cuerpo calloso, por tanto mayor inteligencia. Entonces investigar *¿Cómo era el cuerpo calloso de los “negros”?*, motivó diversos estudios, así, por ejemplo en 1905 el trabajo “*Some racial peculiarities of the negro brain*” escrito por el anatomista Robert Bennett Bean (1874-1944) en el *American Journal of Anatomy*, dedicó un apartado a la confrontación de las medidas del cuerpo calloso entre caucásicos (54 hombres y 14 mujeres) y negros (50 hombres y 26 mujeres). Los resultados ahí presentados muestran que el cuerpo calloso de los negros tenía menores dimensiones (Cuadro 2.1). De acuerdo a su interpretación; “*un tamaño excepcional del cuerpo calloso podía significar una actividad intelectual excepcional*”¹⁴ (Bean, 1905:384).

Cuadro 2.1. Relación de las dimensiones del cuerpo calloso entre caucásicos y negros

Integrantes	Número de cerebros	Largo del cuerpo calloso (cm)	Peso del cerebro (gr)	Radio
Hombres caucásicos	54	7.02	1302	54
Hombres negros	50	6.27	1208	52
Mujeres caucásicas	14	6.40	1087	59
Mujeres negras	26	5.68	1064	53

Fuente: Cuadro traducido y retomado de Bean, 1905:386.

El trabajo de Bean es interesante porque señala que antes de conocer las funciones del cuerpo calloso, ya existía el interés de asociar su tamaño con la inteligencia. El *American Journal of Physical Anthropology*, también sumó a este tipo de estudios, en 1938 G.W.H. Schepers publicó “*The corpus callosum and the related structures in the south african negro brain*”, donde se presentó el análisis de las dimensiones del cuerpo calloso de 56 “negros” sudafricanos –de diversas

¹⁴ Conviene precisar que parte de esas apreciaciones siguen vigentes: “*Investigamos la relación entre la morfología del cuerpo calloso y el coeficiente intelectual en jóvenes sanos...nuestros resultados sugieren que la morfología del cuerpo calloso está relacionada con el rendimiento cognitivo, lo que puede tener implicaciones para las poblaciones clínicas en las que la morfología del cuerpo calloso es atípica*” (Hutchinson, et al. 2009:455)

tribus-, con la finalidad de hallar una posible relación entre la morfología del cuerpo calloso y la conducta de los “negros”, en el cierre del artículo se apunta: “*explicar satisfactoriamente todas las variaciones en el tamaño del cuerpo calloso, es actualmente imposible*” (Schepers, 1938:181), vaya formulación tan interesante.

Sumando conjeturas, a la par de sus colegas pero investigando sobre las apraxias en humanos, el neurólogo alemán Hugo Liepmann (1863-1925), dio seguimiento a un hombre de cincuenta años que al ser diagnosticado con demencia murió en un manicomio. El sujeto en cuestión fue un oficial alemán que comenzó a experimentar un deterioro gradual de control sobre su cuerpo; incapaz para llevar a cabo los movimientos que ordenaba a sus manos buscó ayuda. Así, previo a su internamiento en el manicomio, Liepmann lo trató por apraxias e hipotetizó que sus conductas errantes se originaban por desconexiones en la neocorteza cerebral. Una vez muerto, Liepmann examinó aquel cerebro y comprobó que su hipótesis era cierta: “*el cuerpo calloso tenía un pequeño quiste en el rostrum (segmento anterior) y la integridad en todo el cuerpo calloso estaba totalmente atrofiada*”¹⁵ (Liepmann, 1904:284).

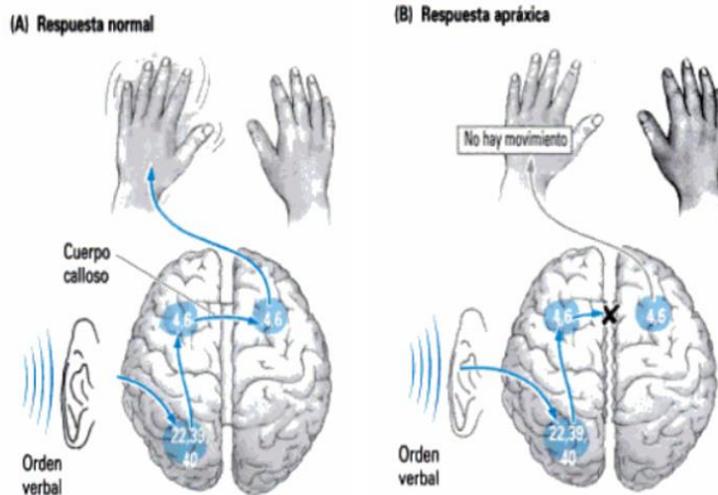
El estudio de los síndromes de desconexión abarcó gran parte de la obra de Liepmann y sus contribuciones serían ignoradas por buena parte del gremio académico debido a que su traducción al inglés tardó décadas. Además, tenía en contra que sus resultados eran opuestos al canon establecido en estudios previos que situaban al cuerpo calloso como accesorio. Sin embargo, sus casos clínicos le permitieron establecer conjeturas acertadas sobre la comunicación interhemisférica:

“[Liepmann] escribió mucho acerca del principio de la desconexión, particularmente en torno a la idea de que ciertas apraxias podrían deberse a la desconexión... para mover la mano izquierda, una señal tendría que dirigirse desde el hemisferio izquierdo a través del cuerpo calloso hasta la región hemisférica derecha que controla los movimientos de la mano

¹⁵ Un dato interesante es que el primer caso reportado en la literatura clínica del conflicto “*alien hand síndrome*”/“*le main étrangère*” entre ambas manos fue descrito por Liepmann en su artículo de 1900 “*Das Krankheitsbild der Apraxie (Motorische asymbolie): Auf Grund eines Falles von einseitiger Apraxie*” (Caplan y Van Gijn 2012:237).

izquierda. La interrupción de la parte del cuerpo calloso que conduce la orden del hemisferio izquierdo al derecho debería desconectar la región motora del hemisferio derecho de la orden (Fig.2.2). Por lo tanto, aunque el sujeto comprendiera la orden, la mano izquierda no sería capaz de obedecerla” (Kolb y Whishaw, 2009:431)

Figura 2.2. Modelo de apraxia producida por lesión del cuerpo calloso



Fuente: “Teoría de Liepmann: A. Respuesta normal a una orden verbal de mover la mano izquierda. La orden es procesada por la zona posterior del habla (áreas 22, 39 y 40) de la corteza del hemisferio izquierdo a través del cuerpo calloso hacia la corteza motora (área 4 y 6) del hemisferio derecho para mover la mano izquierda. B. Respuesta apráxica. La orden verbal no tiene modo de informar a la corteza motora del hemisferio derecho de que mueva la mano izquierda” (Kolb y Whishaw, 2009:431).

Contrario a las premisas de Liepmann, en 1936 la publicación “Operative experience in cases of pineal tumors” del cirujano norteamericano Walter Dandy (1886-1946), señaló la veracidad de lo anteriormente reportado en los estudios con animales; cuando un niño de diez años se recuperó sin visibles afectaciones después de la extirpación de la mitad posterior del cuerpo calloso. El procedimiento quirúrgico fue realizado para remover un tumor en la glándula pineal y dentro de las conclusiones se puede leer: “Ningún síntoma sigue a su división. A la vez, este simple experimento elimina las extravagantes afirmaciones sobre la función del cuerpo calloso” (Dandy, 1936:40).

Con estudios arrojando resultados tan opuestos, queda de manifiesto que la controversia no era menor; mientras unos trabajos mostraban que no ocurría nada al cortar el cuerpo calloso otros trabajos inferían su asociación con síndromes de desconexión como las apraxias y unos cuantos aventuraban su asociación con la inteligencia. Sin duda, la respuesta estaba velada ante los hechos empíricamente probados: el cuerpo calloso no era una estructura indispensable para sobrevivir pero sí resultaba necesaria para la integración de algunos tipos de información sensorial.

En ese mismo sentido, la experiencia de los investigadores había topado con otro enorme problema; en los cadáveres la extirpación del cuerpo calloso no resultaba compleja pero el trabajo experimental en animales vivos había demostrado un peligro real, donde un corte por equivocación podía provocar desde la ceguera hasta la muerte. Asimismo, la técnica en los procesos de corte del cuerpo calloso albergaba distintas implicaciones; no era lo mismo retirar o cortar segmentos anteriores del cuerpo calloso que retirar o cortar segmentos posteriores del cuerpo calloso, sin embargo, esa apreciación llegaría años después, al identificar que cada segmento del cuerpo calloso transfiere información de acuerdo a los diámetros de sus fibras y las diferentes áreas a las que irradian.

A pesar de que a inicios del siglo XX, en diferentes círculos académicos se corría una controversia entre las diferentes líneas narrativas sobre el funcionamiento del cuerpo calloso, un científico ruso había conseguido revelar parte del misterio de su funcionamiento; a través de estudios experimentales con perros sometidos a procesos de condicionamiento estímulo-respuesta, concluyó que el cuerpo calloso era el responsable de integrar información táctil, visual y auditiva entre la lateralidad izquierda y derecha del cuerpo.

Konstantin Bykov (1886-1959), fisiólogo ruso y alumno de Ivan Pavlov, durante la década de 1920, ejecutó una serie de experimentos con perros acondicionados a respuestas aprendidas de estímulos táctiles, auditivos y de reconocimiento visual frente al espejo, a los que les hacía escisiones en el cuerpo calloso. Sus estudios comparativos establecieron el vínculo entre el cuerpo calloso y la modificación en la percepción de la lateralidad, al probar que el cuerpo calloso establecía un tipo de comunicación entre los segmentos izquierdos y derechos del cuerpo:

“Los experimentos consistían en el establecimiento de un reflejo alimentario [salival] condicionado a la estimulación mecánica de la piel en el lado izquierdo del cuerpo en dos perros con el cuerpo calloso previamente extirpado. A continuación, se estimulaban áreas de piel en el mismo lado pero más lejanas. La estimulación de estas otras áreas de la piel siempre provocaba un arco reflejo [salival]. Sin embargo, las áreas correspondientes de piel en el lado opuesto [derecho] del cuerpo se probaron de la misma manera y no se produjeron respuestas reflejas [los perros con el cuerpo calloso intacto siempre salivaban]. Pruebas adicionales no cambiaron los resultados. Por lo tanto, en ausencia del cuerpo calloso, cierta estimulación que se origina en un hemisferio no se transfiere al hemisferio opuesto, como se observa en perros normales” (Kanne y Finger 1999: 581)

Algunas de sus publicaciones -traducidas del ruso al inglés- como *“Observations on dogs with transections of the corpus callosum”* de 1924, serían difundidas en algunos círculos académicos internacionales, aunque, de acuerdo a la investigación historiográfica de Kanne y Finger (1999), Bykov sería omitido y menoscabado públicamente por la comunidad científica norteamericana, a pesar de que en sus círculos intelectuales sí fuera leído, entendido y estudiado. Probablemente, la omisión por parte del gremio científico norteamericano respondió a factores políticos e históricos de la época, donde sencillamente los avances rusos no eran bien vistos por la comunidad norteamericana.

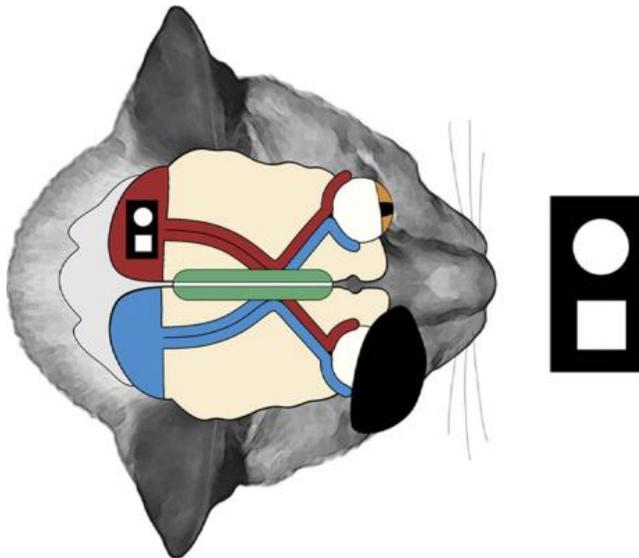
Así, Roger Sperry (1913-1994), del Instituto de Tecnología de California en Pasadena y Ronald E. Myers del Departamento de Anatomía de la Universidad de Chicago, conseguirían el reconocimiento internacional¹⁶ por el descubrimiento del funcionamiento del cuerpo calloso, gracias a sus estudios realizados en gatos

¹⁶ Un ejemplo de la intencionada omisión por parte de científicos norteamericanos es que Sperry, nunca citó los trabajos de Bykov en sus artículos públicos, a pesar de que cuando dirigió la tesis doctoral de Ronald Myers (1955) para la Universidad de Chicago, en la página 18 y 19 del texto se encuentran referencias a la obra de Bykov, esa tesis doctoral de treinta y tres páginas con los resultados de a la postre famosos experimentos con gatos callosotomizados, prueba que Sperry conocía los descubrimientos previos en perros y decidió omitirlos públicamente. Al final, los experimentos "innovadores" de Sperry, le hicieron ganar el premio Nobel de medicina en 1981.

callosotomizados. Los contundentes estudios de Myers y Sperry, probaron que en la ausencia del cuerpo calloso, cuando uno de los ojos aprende algo mientras el otro ojo es imposibilitado para ver, la información no se puede transmitir al otro hemisferio (Myers, 1956., 1957., Myers y Sperry, 1958., Sperry, et al.1956).

El ingenioso diseño experimental consistió en seccionar por la mitad y micro quirúrgicamente el cuerpo calloso y el quiasma óptico de gatos, para posteriormente entrenarlos en una tarea de discriminación visual sencilla, que exigía la identificación de cuadrados y círculos en una tabla. El aprendizaje de discriminación visual de figuras, debía cumplir la condición de que uno de los ojos permaneciera tapado con un parche durante todo el entrenamiento/aprendizaje visual. El resultado arrojó que cuando el parche se invertía al otro ojo, el gato no podía discriminar lo previamente aprendido (Fig.2.3). Este experimento mostró que el cuerpo calloso jugaba un rol decisivo en la integración visual de ambos ojos.

Figura 2.3. Discriminación visual de figuras

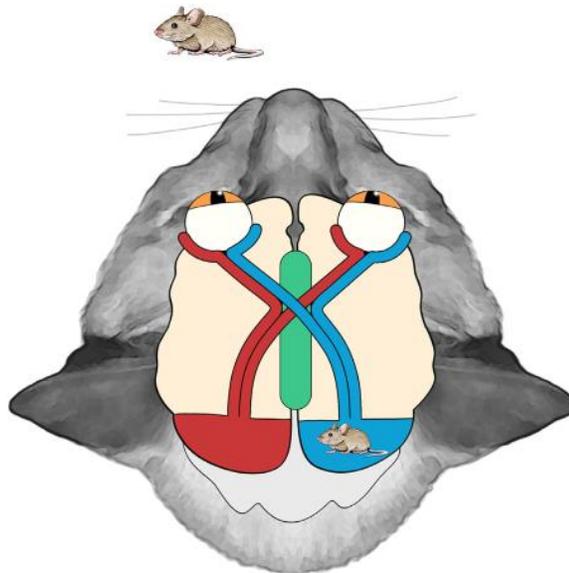


Fuente: No existe conducción de aprendizaje entre los hemisferios cerebrales cuando los gatos aprenden una tarea de discriminación visual con un parche en un ojo. Debido a que los cortes del cuerpo calloso y el quiasma óptico, impiden la integración de la información (Ocklenburg y Güntürkün, 2017:66).

Esto se explica debido a que anatómicamente las fibras de la retina cruzan por el quiasma óptico en una disposición cruzada que asemeja la letra “X”, así, parte de las fibras ópticas derechas cruzan al lado izquierdo y parte de las fibras ópticas izquierdas cruzan al lado derecho. Entonces, si una discriminación visual es aprendida únicamente por el ojo izquierdo, impidiendo la percepción del ojo derecho (para el caso del experimento con gatos fue con un parche), cuando se invierte la condición, el ojo derecho es incapaz de replicar dicha tarea.

Este proceso, resulta así porque en los mamíferos el sentido de la vista se construye mediante la integración de la información que por separado recibe cada ojo (Fig.2.4). Por tanto, el trayecto para la integración visual de las fibras ópticas cruza dos caminos: si las fibras ópticas trasladan información del campo visual más próximo a la porción nasal, las fibras cruzan el quiasma óptico en dirección contralateral al campo visual al que se percibe su entrada. Asimismo, si las fibras ópticas llevan información del campo visual más distal, las fibras no cruzan al hemisferio opuesto y su procesamiento ocurre en el mismo hemisferio donde se presentó la entrada visual (Ocklenburg y Güntürkün, 2018:65).

Figura 2.4. Representación de la integración visual de un gato



Fuente: “En el sistema visual de los mamíferos, la información en el campo visual izquierdo, es procesada en la corteza visual derecha y viceversa” (Ocklenburg y Güntürkün, 2017:65).

La integración visual no es el único caso de contralateralidad de los sentidos, la percepción acústica comparte una conexión semejante a la de los nervios ópticos, al cruzar transferencias interhemisféricas de información a través del cuerpo calloso:

“Cada oído recibe ondas sonoras únicamente de un lado de la cabeza, pero envía la información a ambos lados del cerebro, porque cualquier parte del cerebro que contribuya a localizar sonidos debe recibir entrada de ambos oídos. Sin embargo cuando los dos oídos reciben información distinta, cada hemisferio presta más atención al oído en el lado opuesto (Hugdahl, 1996)¹⁷” (Kalat, 2004:382).

De hecho, en los estudios de Bykov hay anotaciones de la dificultad en los perros callosotomizados para distinguir la ubicación del emisor de un silbido. Apreciaciones que a la luz de lo que hoy conocemos tienen mayor sentido:

“El hemisferio izquierdo procesa buena parte de los sonidos que capta el oído derecho, y a la inversa, aun cuando parte de la información auditiva es tratada en el mismo lado de recepción, o sea, sonidos que, por ejemplo, capta el oído izquierdo y que son procesados en el hemisferio izquierdo. El sentido del olfato surgido en una fase evolutiva anterior¹⁸, no presenta este entrecruzamiento funcional; así el olor que detecta la fosa nasal izquierda es procesado en su totalidad por el hemisferio correspondiente. En cambio, la información entre el cerebro y los miembros es de tipo cruzado” (Sagan, 1993:56)

¹⁷ La cita a Hugdahl (1996), refiere al artículo *“Brain Laterality - Beyond the Basics”*, donde se presenta una revisión selecta de estudios de laboratorio sobre el tópico de la lateralidad cerebral, así, en el segmento dedicado a los trabajos sobre la percepción auditiva aparecen las ideas que Kalat (2004:382) citó, pero sin la simplificación con la que él lo resumió.

¹⁸ Como sabemos, en el cerebro humano existen otras comisuras interhemisféricas; una de ellas es la comisura anterior ubicada bajo el *rostrum* del cuerpo calloso. La comisura anterior es anatómicamente más pequeña en relación al cuerpo calloso y filogenéticamente más antigua –*está presente también en peces-*, y dentro de sus funciones; *“se le ha vinculado con la integración interhemisférica del sentido del olfato”* (Risse, et al. 1978).

Ciertamente, a pesar de que la función olfatoria es bilateral, su proyección es predominantemente ipsilateral, por tanto, se considera que el entrecruzamiento funcional en el sentido del olfato es mínimo (Powell, et al. 1965., Homewood y Stevenson, 2001). Por otro lado, el procesamiento lingüístico en los seres humanos está ligado a áreas corticales en el hemisferio izquierdo y esa condicionante biológica, tiene una peculiar relación con el cuerpo calloso; si el hemisferio izquierdo es el encargado de efectuar la mayoría de tareas relacionadas con el procesamiento lingüístico, la integración contralateral dicta que el oído derecho evidenciaría algún tipo de compromiso diferencial en relación al oído izquierdo. Este supuesto, conocido como “*right ear advantage (REA)*” (Kimura, 1961), es un importante principio funcional para estudiar la lateralidad en el cerebro humano.

De acuerdo a la neurocientífica canadiense Doreen Kimura (1967), la información auditiva que se envía a lo largo de las vías ipsilaterales puede ser suprimida o bloqueada por la información contralateral. Esto sugiere que las vías auditivas cruzadas son más fuertes que las no cruzadas. Mientras que la causa de la superioridad auditiva entre un oído u otro, está supeditada a la ubicación de las áreas corticales donde se procesen los sonidos del habla:

“La relativa superioridad del oído toma direcciones opuestas, dependiendo de qué hemisferio sea dominante para el habla... cuando no se conoce la representación del habla, como ocurre invariablemente en los sujetos normales, uno esperaría que el patrón del oído esté relacionado con la preferencia manual [diestro/zurdo]” (Kimura, 1967:166).

Debido a que en la mayoría de los seres humanos el procesamiento lingüístico ocurre en el hemisferio izquierdo¹⁹, esto reflejaría una ventaja auditiva con el oído derecho. Así, los estudios sobre la ventaja del oído derecho (REA) en la percepción diferencial auditiva, han propuesto que si el oído izquierdo reduce su ventaja en

¹⁹ Por ejemplo, Branch y colaboradores (1964), en su artículo “*Intracarotid Sodium Amytal for the Lateralization of Cerebral Speech Dominance*”, estiman que aproximadamente el 90% de los diestros y el 60% de los zurdos sanos, tienen las funciones de habla mayoritariamente representadas en el hemisferio izquierdo.

relación con el oído derecho, entonces se presentará una condición de discriminación acústica más eficiente y por lo tanto una conexión de información auditiva superior (Liederman, 2003., Foundas, et al. 2006., Hiscock, et al. 2005). Sin embargo, las explicaciones sobre la especialización hemisférica son escurridizas, porque si bien, normalmente los sonidos del habla se procesan en las áreas corticales auditivas izquierdas, también se ha estudiado que la ventaja REA es dinámica y modificable (Hiscock y Kinsbourne, 2011).

Esta discusión impacta en la manera en como se ha estudiado la relación entre el cuerpo calloso y la transferencia interhemisférica del sonido; bajo esos planteamientos, si el cuerpo calloso es la estructura que permite el entrecruzamiento de información auditiva, entonces el estudio morfométrico de sus fibras podría revelar alguna relación con la especialización auditiva. Así, por ejemplo, en un estudio realizado en 60 universitarios (equiparados por edad, sexo y preferencia manual) de la Universidad de California en Los Ángeles, se investigó si un mayor tamaño en algún segmento –principalmente *medio posterior*²⁰- del cuerpo calloso podría tener vinculación con una mejora en la transferencia de la información auditiva y se encontró que:

“Las variaciones en la medidas morfométricas del tamaño del cuerpo calloso en sujetos sanos, no predicen diferencias individuales en la efectividad de la transferencia de información auditiva entre los hemisferios cerebrales” (Clarke, et al.1993:555).

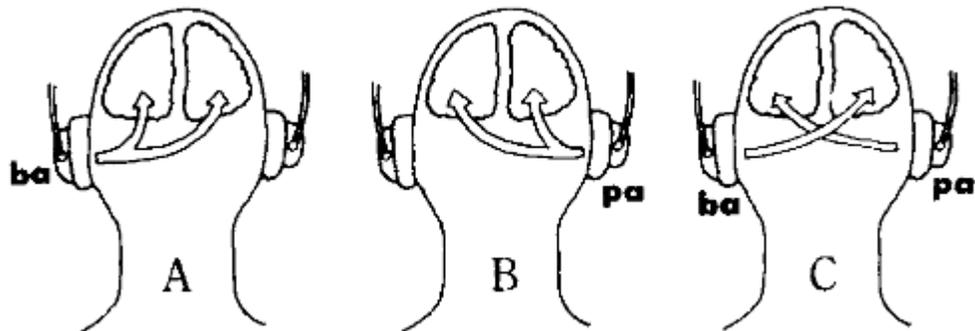
Por el contrario, mediante el análisis de imágenes de resonancia magnética y puntuaciones de escucha dicótica²¹ (Fig.2.5) en 50 participantes, los científicos

²⁰ Como se detallara más adelante, las fibras del cuerpo calloso responden a una distribución topográfica específica, que es acorde a las áreas cerebrales a las que sus proyecciones irradian. Por tanto, el estudio ahí citado parte del principio de que las fibras auditivas interhemisféricas se encuentran ubicadas en el istmo y el cuerpo medio posterior del cuerpo calloso.

²¹ *“La escucha dicótica, es una técnica no invasiva para el estudio de la lateralización cerebral o asimetría hemisférica... La escucha dicótica implica presentar simultáneamente dos estímulos auditivos diferentes, uno en cada oído, y la tarea del individuo es informar, después de cada presentación, qué sonidos escucha”* (Hugdahl, 2009:517)

alemanes Jäncke y Steinmetz (2003), reportaron que los sujetos con mayores dimensiones en los segmentos posteriores del cuerpo calloso, tenían una mejor transferencia auditiva. No obstante, de acuerdo a los científicos escandinavos Westerhausen y Hugdahl (2008), esa interpretación no está exenta de fallas, ya que se ha identificado que los modelos de escucha dicóticos en ciertos casos, no pueden explicar el comportamiento en la transmisión acústica por parte de las fibras del cuerpo calloso, si por ejemplo, la percepción acústica del oído derecho es relativamente independiente a las propiedades funcionales del cuerpo calloso, por qué hay pacientes que después de someterse a una comisurotomía cerebral, acrecientan su percepción acústica con el oído derecho, siendo sustancialmente mejor en relación a los individuos controles²². Visto así, los estudios sobre la integración interhemisférica auditiva, tienen más misterios por revelar.

Figura 2.5. Esquema operativo de la técnica de escucha dicótica



Fuente: “Las partes A y B ilustran la presentación monoaural de una sola sílaba para el oído izquierdo y derecho, respectivamente. En la parte C (a la derecha), se representa el efecto de una presentación dicótica de dos sílabas. En esta situación, se suprimirá la transmisión del estímulo desde el oído al hemisferio cerebral ipsilateral” (Hugdahl, 1996:207).

De la misma forma, el papel del cuerpo calloso en la integración del sentido del gusto es confuso, por ejemplo; en pacientes que por su condición clínica epiléptica son sometidos a callosotomías completas, no se han encontrado indicios de pérdida en la identificación de los estímulos básicos del gusto en ambos lados de la lengua

²² Participantes que no tienen el cuerpo calloso quirúrgicamente seccionado.

(Aglioti, et al. 2000), asimismo, parece que en pacientes con callosotomía del segmento anterior la lateralidad en la percepción del gusto no se ve alterada (Berlucchi, 2004). Sin embargo, recientemente, se ha reportado que las personas que nacen con agenesia del cuerpo calloso, sí presentan alteraciones en el sentido del gusto (Demopoulos, et al. 2015). Aunque comparativamente los estudios sobre el sentido del gusto y el cuerpo calloso, son menos cuantiosos que los estudios sobre la percepción acústica y el cuerpo calloso, la apreciación para ambos casos es la ausencia de consenso.

Por el contrario, el entrecruzamiento funcional del cuerpo calloso en la motricidad y el sentido del tacto, cuenta con investigaciones científicas más antiguas y referencias célebres²³, así, retomando ideas claves en los mecanismos de integración sensorial interhemisférica, tendríamos que:

“El hemisferio izquierdo de la corteza cerebral está conectado principalmente a los receptores de la piel y los músculos del lado derecho del cuerpo, excepto los músculos del tronco y los faciales que están controlados por ambos hemisferios... [Mientras que] el hemisferio derecho está, principalmente, conectado a los receptores sensoriales y a los músculos de la parte izquierda del cuerpo” (Kalat, 2004:380)

Sorprendentemente para la integración motriz y táctil, la discusión no está en los mecanismos de integración sino en sus singularidades, por ejemplo, ciertas personas con agenesia del cuerpo calloso, muestran pocos problemas de integración interhemisférica motriz/táctil y en algunos casos, la ausencia del cuerpo calloso se torna en una experiencia casi imperceptible para los propios pacientes (Ettlinger, et al. 1972., Ferris, et al. 1975., Slager, et al. 1957). Una interpretación bajo estos escenarios sería que la eficiencia motriz e intelectual de las personas con agenesia del cuerpo calloso respondería a procesos de plasticidad adaptativa, que

²³ Por ejemplo, en la película de Stanley Kubrick *“Dr. Strangelove or: How I Learned to Stop Worrying and Love the Bomb”* de 1964, uno de los personajes interpretado por el actor británico Peter Sellers (1925-1980), tiene *“alien hand síndrome”*, por lo que sufre del impulso compulsivo e ingobernable de alzar su brazo derecho para hacer el saludo nazi.

desde los primeros años de vida activan mecanismos compensatorios, permitiendo a otras comisuras cerebrales efectuar diversos tipos de integración interhemisférica:

“Estos pacientes han tenido una oportunidad de por vida de hacer un uso máximo de la plasticidad neural para establecer patrones compensatorios o novedosos de organización neural dentro de los límites fisiológicos impuestos por el defecto anatómico. La ausencia del cuerpo calloso se ha encontrado en algunas personas que funcionan bien en respuesta a las demandas ordinarias de la vida” (Ferris, et al. 1975:95)

Considerando lo anterior, estos casos resultan contradictorios para quienes interpretan que el cuerpo calloso es el sustrato neuroanatómico de la inteligencia. Debido a que parece difícil argumentar que el tamaño de una estructura cerebral es crucial para las capacidades intelectuales de las personas, cuando hay quienes sin tenerlo llevan una vida con normalidad. Además, la ausencia congénita del cuerpo calloso es una condición genética relativamente frecuente en nuestra especie:

“La agenesia del cuerpo calloso (ACC) se encuentra entre las malformaciones cerebrales humanas más frecuentes con una incidencia de 0.5 a 70 en 10,000. Es una condición heterogénea, por la cual se conocen varias causas genéticas diferentes, por ejemplo, ACC como parte de síndromes monogénicos o reordenamientos cromosómicos complejos” (Schell-Apacik, et al. 2008: 2501).

De tal forma que discutir sobre la trascendencia biológica del cuerpo calloso aún genera controversia, por ejemplo; Aboitiz y Montiel (2003), afirman que el cuerpo calloso sigue siendo una extraña pieza del rompecabezas evolutivo. Debido a que en los humanos, las mutaciones que producen su ausencia suelen presentarse de manera frecuente y de no existir un valor adaptativo en esta estructura, sería común encontrar linajes placentarios en los que se hubiera perdido el cuerpo calloso.

No obstante, Aboitiz y Montiel (2003), también consideran que salvo los síndromes de desconexión que afectan la integración motriz y táctil, hay pocos efectos dramáticos después de cortar el cuerpo calloso en humanos y otros animales. Ciertamente, la extirpación y atrofia del cuerpo calloso toma efectos más

dramáticos cuando el cuerpo calloso es alterado por condiciones degenerativas como tumores (Nasrallah y McChesney, 1981), o esclerosis múltiple (Evangelou, et al. 2000), debido a que sus secuelas impactan la integración motriz y táctil de las personas, comprometiendo su calidad de vida.

En ese sentido y fuera del margen degenerativo, las piezas faltantes del rompecabezas evolutivo podrían encontrarse en el estudio de los mecanismos compensatorios cerebrales de las personas con agenesia del cuerpo calloso, por ejemplo, los psicólogos cognitivos neozelandeses Barr y Corballis (2002), han reportado que algunos pacientes con esta condición, aumentan el tamaño de la comisura anterior, así, de acuerdo a su interpretación, la plasticidad en el desarrollo ofrecería un camino para solventar la comunicación interhemisférica.

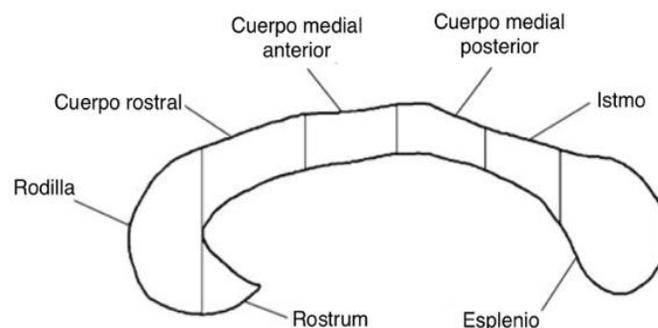
Si la apreciación anterior es correcta, su interpretación expondría que en la ausencia congénita del cuerpo calloso, el cerebro humano podría tomar caminos previamente transitados por nuestra historia evolutiva, para así, solventar los retos que le son planteados. Por tanto, las estrategias de plasticidad en el desarrollo experimentadas por estas personas serían todo, menos novedosas.

b) Morfología del cuerpo calloso

La relatoría previa de los estudios sobre el funcionamiento del cuerpo calloso, permitió mirar de una manera crítica lo que se conoce de esa estructura en la actualidad. Ahora, toca revisar aspectos anatómicos y técnicos sobre su morfología: desde un corte anatómico sagital y agrupando tanto a hombres como a mujeres, en un rango de edad de 20 a 81 años, con una muestra de 286 sujetos medidos mediante IRM, las dimensiones aproximadas del cuerpo calloso humano son de 70.74 ± 4.62 mm en longitud y 24.59 ± 2.74 mm en altura (Junle, et al. 2008:348).

Se ha mencionado que el cuerpo calloso está compuesto de axones altamente mielinizados pero solo el 70% de sus fibras están mielinizadas, el 30% restante son amielínicas (Fabri, et al. 2014:895). Hay muchas formas de segmentar al cuerpo calloso para su estudio pero una forma geométrica y anatómica usual es dividirlo en siete partes: "rostrum o pico, rodilla, cuerpo rostral, cuerpo medial anterior, cuerpo medial posterior, istmo y esplenio o rodete" (Fig.2.6) (Just, et al. 2006).

Figura 2.6. Segmentación en plano sagital del cuerpo calloso esquematizada



Fuente: Imagen retomada de Just, et al. 2006:954.

Desde la perspectiva embrionaria tendríamos que considerar que:

*“La lámina ventral reuniens da origen a la comisura anterior. El primer cruce de fibras de ésta comisura es visible en el embrión de 40mm; hasta su completa formación a los 58mm (11-12 semanas). La comisura hipocámpica aparece en la lámina reuniens dorsal a las 11 semanas (55-60mm). El cuerpo calloso no se ve en los embriones debajo de los 55mm. Este desarrollo es precedido por el plegamiento dorsal de lámina reuniens, que se forma a media ranura. El banco de esta ranura funde la forma de la masa comisuralis a la semana 12-13 (60-80mm). El crecimiento calloso avanza al mismo tiempo rostral y caudalmente formando la rodilla y el tronco, respectivamente (14-16 semanas) pero hay un **desacuerdo sobre si el rostrum o el esplenio se desarrollan al último**. En general la forma y posición del cuerpo calloso en adultos ya estaría dada a las 18-20 semanas (140-160mm), a pesar de que el crecimiento continúa después de nacer”* (Chiarello, 1980:130).

Las negritas hacen alusión a que anteriormente se debatía el patrón de secuencia embrionaria en la formación del cuerpo calloso. Ciertamente, la mayoría de patrones embrionarios acontece en dirección céfalo-caudal, por tanto, el cuerpo calloso se explicaba dentro de ese mismo patrón (Naidich, et al. 1986., Georgy, et al. 1993). Sin embargo, en 1996 los médicos norteamericanos Leon Kier y Charles Truwit, publicaron un estudio comparativo con dos series de fetos humanos (1800 fetos sanos y 113 fetos con anomalías en el desarrollo del cuerpo calloso), donde a través del análisis de imágenes de resonancia magnética, señalaron que la secuencia en las fases del desarrollo embrionario en el cuerpo calloso, no ocurría céfalo-caudalmente.

Ese hallazgo de 1996 mostró con evidencia empírica que el modelo del desarrollo céfalo-caudal, era incorrecto para el cuerpo calloso. Kier y Truwit, señalaron que en todos los casos que estudiaron, la parte media del cuerpo calloso se presentaba primero que la proyección anterior (rodilla o genu). Por tanto, su análisis en el cuerpo calloso de fetos humanos tanto sanos como con mal formaciones, evidenció que el desarrollo embrionario del cuerpo calloso ocurría bidireccionalmente y no de adelante hacia atrás, como anteriormente se creía.

Ahora, ahondando en aspectos citológicos, el cuerpo calloso humano "posee más de 200 millones de fibras que conectan los dos hemisferios cerebrales. La cantidad de fibras nerviosas del cuerpo calloso ya está dada alrededor del nacimiento, pero los cambios estructurales del cuerpo calloso continúan ocurriendo durante el desarrollo postnatal debido a la mielinización, la redirección y el recorte de las fibras" (Luders, et al. 2010:10986).

De acuerdo a Aboitiz y colaboradores (1992), los diámetros y dirección de las fibras del cuerpo calloso responden a las subáreas de la región en la que irradian o interconectan; en su disección *post mortem* de veinte cerebros adultos (10 mujeres y 10 hombres), se reportó un patrón consistente de diferenciación regional de los tipos de fibras nerviosas, así, la topografía de las fibras del cuerpo calloso responde a una especialización funcional, ya que el diámetro de las fibras nerviosas guarda relación con las áreas corticales a las que se proyectan. Esto indica que múltiples y superpuestas vías de comunicación interhemisférica, tienen una función específica con propiedades de transferencia basadas en la composición de las propias fibras nerviosas. Para facilitar la comprensión del vínculo entre el diámetro de las fibras callosas y su velocidad de transmisión, conviene visualizar un esquema de irradiación de fibras callosas por áreas corticales (ver cuadro 2.2).

Al regresar a los datos del estudio de Aboitiz y colaboradores (1992), tenemos que: las fibras nerviosas con un diámetro >3 micrómetros se concentran en el esplenio y el cuerpo medial posterior, su especialización funcional es la conducción rápida y su topografía por áreas se asocia con las regiones somatosensoriales y visuales. Mientras que las fibras nerviosas más delgadas y ligeramente mielinizadas con un diámetro <2 micrómetros se concentran en la rodilla irradiando a las regiones prefrontales, su especialización funcional es la conducción lenta y su topografía por áreas se liga al procesamiento de orden superior en la corteza (asociación cognitiva de largo plazo y comportamiento planificado). En síntesis, para comprender el funcionamiento del cuerpo calloso, hay que identificar el tipo de fibras que habitan en cada segmento; considerando que a mayor diámetro en las fibras nerviosas del cuerpo calloso, mayor será la velocidad de conducción y por tanto la transmisión de información interhemisférica será más rápida (ver cuadro 2.3).

Cuadro 2.2. Vinculación anatómico-funcional por regiones en el cuerpo calloso.

Segmentación del cuerpo calloso	Subáreas del cuerpo calloso	Relación anatómica funcional
Tercio anterior	<i>1. Rostrum o pico</i>	Corresponde con el área orbital del lóbulo prefrontal y el córtex premotor inferior.
	<i>2. Rodilla</i>	Se relaciona con el resto del lóbulo prefrontal,
	<i>3. Cuerpo rostral</i>	Establece conexiones entre las zonas premotora y suplementaria.
Tercio medio	<i>4. Cuerpo medial anterior</i>	Está formada por fibras de asociación de las áreas motoras.
	<i>5. Cuerpo medial posterior</i>	Recibe fibras de los lóbulos temporal superior y parietal
Tercio posterior	<i>6. Istmo</i>	Está formada por las fibras de asociación de la parte superior del lóbulo temporal
	<i>7. esplenio o rodete</i>	Está formado por las fibras de conexión de la parte inferior del lóbulo temporal y de la corteza de los lóbulos occipitales.

Fuente: Retomado y adaptado de Santamaría et.al.2003: 50.

Cuadro 2.3. Diámetros mínimos verdaderos, estimación de velocidad de conducción y estimación de tiempo de transferencia interhemisférica en diferentes grupos de fibras del cuerpo calloso

Grupo de fibras interhemisféricas	Diámetro corregido (µm)	Velocidad (mm/ms)	Retraso (ms) 100 - 130 mm
<i>Sin mielina</i>	0.1 - 1	0.3 - 3.2	50 - 433
0.4 µm	0.6	5.2	19.2 - 24.9
1 µm	1.5	13.1	7.6 - 9.9
3 µm	4.6	40	2.5 - 3.2
5 µm	7.7	67	1.5 - 1.9

Fuente: Cuadro retomado y adaptado de Aboitiz, et.al.1992: 150.

Un aspecto importante a considerar en la plasticidad del desarrollo, es que el tamaño de las fibras nerviosas en el cuerpo calloso puede variar y modificarse por la cantidad de mielina recubriendo los axones. A pesar de que el diámetro de las fibras del cuerpo calloso, siempre se encuentre comprometido por su ubicación de área topográfica de irradiación.

Ahora, respecto al tamaño de las fibras del cuerpo calloso, un ejercicio que puede apoyar en la simplificación de escalas, es considerar que el diámetro promedio de un cabello grueso oscila entre 89 ± 7 micrómetros (Loussouarn., et. al. 2016: 147), por lo que al existir fibras nerviosas con diámetros <1 a un micrómetro, cada cabello humano podría albergar hasta 90 fibras nerviosas: esto en términos de tamaño permite imaginar cuan pequeñas son las fibras del cuerpo calloso y por añadidura la escala temporal tan minúscula en la que transcurre la transferencia interhemisférica de información.

Se considera importante enfatizar que las velocidades de conducción del cuadro 2.3, fueron estimadas de acuerdo al diferente tamaño entre cada tipo de fibras con y sin mielina; para esa tarea los autores asumieron una relación lineal entre el diámetro valorado en micrómetros y la velocidad de conducción en milisegundos (ms), bajo el uso de una constante de proporcionalidad de 8.7 mm/ms por micrómetro (μm) del diámetro axonal. Así, las fibras del cuerpo calloso sin mielina tienen una velocidad de conducción mínima (0.3 - 3.2 mm/ms), por tanto un mayor tiempo de retraso en tiempo de transferencia interhemisférica (50-433 ms), mientras que las fibras del cuerpo calloso mielinizadas con un mayor diámetro (5 μm) tienen una velocidad de conducción máxima (67 mm/ms), por tanto un menor tiempo de retraso en tiempo de transferencia interhemisférica (1.5-1.9 ms).

Otro dato necesario para unificar la información expuesta, es tener claro que el concepto de transferencia interhemisférica hace referencia a dos procesos complementarios; las conexiones interhemisféricas homotópicas y las conexiones interhemisféricas heterotópicas. La conectividad homotópica refiere a la conectividad entre las áreas espejo de los hemisferios cerebrales (Mancuso, et.al: 2019:1), mientras que la conectividad heterotópica se da entre áreas corticales no equivalentes en cada hemisferio cerebral (Di Virgilio y Clarke, 1997). Así, de

acuerdo a la neuropsicóloga norteamericana Lynn Paul y colaboradores (2007:287); la importancia de establecer si la conectividad es heterotópica o homotópica en procesos cognitivos o actividades motrices, va de la mano a delimitar si las conexiones son principalmente excitatorias (integrando información a través de los hemisferios) o inhibitorias (permitiendo que los hemisferios se restrinjan entre sí para maximizar la función independiente), a todas esas investigaciones se les conoce como interhemisféricas de transferencia (IHT).

Asimismo, es usual referir que en el cuerpo calloso; *“las fibras nerviosas largas recorren mayores distancias respecto a las fibras nerviosas cortas, por lo que los tractos de fibras nerviosas que muestran una mielinización temprana, están constituidos por las fibras que son relativamente más grandes”* (Tomasch, 1954: 125). Así, en consecuencia topográfica al tener las fibras nerviosas más largas y de mayor diámetro; el cuerpo medial y el esplenio del cuerpo calloso, serían los primeros en mielinizarse. Mientras que topográficamente al tener las fibras nerviosas más cortas y de menor diámetro; el pico y la rodilla del cuerpo calloso tardarían más en mielinizarse, dicho patrón describirá el primer ciclo de mielogenético en lactantes:

“Iniciando en el cerebelo y la cápsula interna, avanzando céfalo-caudalmente desde el esplenio hacia las radiaciones ópticas (entre los 3-4 meses), de ahí a los lóbulos occipital y parietal (entre los 4-6 meses); y finalizando con el segmento anterior y los lóbulos frontal y temporal (entre los 6-8 meses)” (Deoni, et al. 2011:784).

El hecho de que los cronómetros de mielinización en los segmentos del cuerpo calloso sean distintos de acuerdo al tipo de fibras que albergan es muy importante para este estudio, porque al asumir que la funcionalidad está ligada a cambios sistemáticos en regiones cerebrales durante la neurogénesis y el desarrollo, se antepone que los ciclos de mielinización se relacionan con procesos ambientales, así, en palabras del neurólogo norteamericano Stanley Rapoport (1990:275); si bien, el cuerpo calloso contiene fibras mielinizadas que se originan desde la gestación, principalmente por neuronas piramidales en las capas III y V de la

neocorteza²⁴, el cuerpo calloso también cuenta con fibras de mielinización tardía.

Esa mielinización tardía que menciona Rapoport, permite la interacción directa de factores ambientales y culturales para moldear una producción intensa o moderada del recubrimiento axonal por parte de las vainas de mielina en algunas fibras del cuerpo calloso. La reseña específica a ese proceso se encuentra en “*Los ciclos mielogenéticos de la maduración regional del cerebro*” de Yakovlev y Lecours (1967)²⁵, donde se detalla que los ciclos mielogenéticos son pautas de interacción paralela entre el crecimiento anatómico y la maduración funcional.

Los ciclos mielogenéticos son relevantes porque señalan y pronostican la cronología de mielinización diferenciada por regiones del cuerpo calloso y con ello la maduración en los sistemas de fibras que albergan. Podemos sintetizar la información expuesta:

(i) De acuerdo al primer ciclo mielogenético postnatal; la mielinización tardía corresponde a las fibras callosas con diámetros <2 μm , por lo que en términos cronológicos las regiones prefrontales asociadas al procesamiento de orden superior en la corteza cerebral como la escritura, el habla y la planeación, demoran más al recubrimiento axonal por parte de las vainas de mielina.

(ii) En contraste, durante el primer ciclo mielogenético postnatal las fibras callosas con diámetros >3 μm , ubicadas en la región occipital y asociadas a aspectos como la percepción de color, luz y movimiento, experimentan un ciclo mielogenético temprano, probablemente para garantizar funciones asociadas a la sobrevivencia como la visión. Así,

²⁴ Aunque, embriológicamente todas provienen del mismo disco laminar

²⁵ El trabajo en cadáveres efectuado por Yakovlev y Lecours (1967), contiene el análisis de cortes laminares de 35 micras de grosor en diferentes regiones del cerebro humano a través de secciones seriadas de poco más de 250 individuos, que van desde fetos a adultos; donde para ubicar las curvas de maduración asociadas a eventos de mielinización, tiñeron selectivamente neuronas con el método de hierro-hematoxilina de Loyez, comprobando que en los sistemas de fibras la jerarquía en el desarrollo de vainas de mielina es diferencial.

para éste caso y en términos de cronología jerarquizada las vainas de mielina priorizan el recubrimiento axonal e imposibilitan la elongación de una ventana de oportunidad (en esta primera etapa).

Adicionalmente, es importante señalar que los ciclos mielogenéticos se van acoplando con otras curvas de crecimiento, por lo que rastrear su aparición y cese, es difícil. De tal modo, se sabe que los tiempos de mielinización postnatal en el sistema nervioso central humano se van entrelazando por etapas, por ejemplo, en los primeros dos años de vida se transita por al menos ocho patrones de mielinización diferenciados (Kinney, et al. 1988).

Por consiguiente, podríamos decir que al identificar en qué momentos del curso de la vida, los ciclos mielogénéticos del cuerpo calloso se activan, posibilita influir en el recubrimiento de mielina de algunas de sus fibras. Por tanto, la plasticidad en el desarrollo permite incidir en el aumento de tamaño de algunos segmentos del cuerpo calloso. Claramente, el aumento de tamaño en esos segmentos del cuerpo calloso, solo es posible dentro del propio potencial genético de los mismos individuos. Además, para lograr capitalizar cualquier curva de maduración axonal, se requiere un estímulo directo y constante. Para el caso de este estudio, se retomó que el entrenamiento de habilidades motoras finas asociadas al aprendizaje musical durante la infancia, influenciaría el tamaño de ciertas subáreas del cuerpo calloso.

En síntesis, tenemos cinco puntos importantes: (i) el tamaño de las fibras nerviosas del cuerpo calloso tiene límites anatómicos: el rango de diámetros en las fibras del cuerpo calloso va de 0 a <5 micrómetros, (ii) la longitud y el diámetro, o sea el tamaño, de las fibras del cuerpo calloso es específico por áreas corticales debido a que su ubicación anatómica compromete distintas asociaciones interhemisféricas funcionales, (iii) el diámetro de las fibras del cuerpo calloso guarda una relación con su velocidad de transmisión, (iv) hay dos tipos conectividad interhemisférica: heterotópica o homotópica, de acuerdo a ellas se apuntala si una actividad motriz o cognitiva es excitadora o inhibitoria (v) los tiempos de mielinización de las fibras del cuerpo calloso transcurren de manera diferencial de acuerdo a su diámetro y longitud.

2.2. Enfoque teórico

a) Plasticidad y adaptabilidad desde la antropología física

Para la antropología física norteamericana, la “*historicidad del concepto plasticidad*”²⁶ se sitúa dentro del “*paradigma de la adaptabilidad humana*” (Schell, 1995:213), con el propósito de corroborar la apreciación expuesta se puede hacer un breve repaso histórico sobre cómo se ha ajustado el concepto plasticidad (por añadidura biológica) a los modelos antropofísicos:

Ralph Garruto (1995:190), antropólogo biomédico norteamericano, detalla que en nuestra disciplina el desarrollo de los conceptos adaptabilidad humana y plasticidad, emergieron con el enfoque ecológico del estudio de los grupos humanos. El contexto histórico refiere que Norteamérica, dirigió su interés al financiamiento de estudios alrededor del mundo, para entender las estrategias biológicas y conductuales de diferentes grupos humanos bajo diferentes condiciones medio ambientales. Garruto, explica que entre las décadas de 1960 a 1990, floreció una “era dorada” para los estudios de biología humana con enfoque ecológico.

Cabe mencionar que la “era dorada” respondió más al interés de ganar guerras que al de hacer ciencia. Así, para el cuerpo de intendencia de la armada de los Estados Unidos, fue una prioridad invertir en investigaciones que relacionaran la composición corporal y las medidas antropométricas con la ingesta racionada de alimentos, el tipo de indumentaria militar y las condiciones climatológicas que podían afectar el desempeño de sus tropas en combate (Garruto, et al. 2009:9).

Bajo ese contexto, la ciencia antropofísica norteamericana volvió al concepto de plasticidad (es una aceptación gremial que Franz Boas fue pionero en su uso, al

²⁶ La incursión del concepto plasticidad en antropología física data de los trabajos de Franz Boas de 1910-1912 en Norteamérica, donde a través de un estudio antropométrico longitudinal con población migrante, Boas reportó el aumento de estatura de los hijos en relación a sus padres (tendencia secular positiva) y señaló algunos vínculos sobre la modificación del cráneo (anchos bizogomáticos), mostrando que los factores ambientales producen ciertas modificaciones en la expresión de componentes, en su caso, morfológicos.

menos en Norteamérica), Paul Baker (1927-2007), primero militar²⁷ después antropólogo físico, fue protagonista clave en esa "era dorada" de los estudios de adaptabilidad humana y plasticidad. Corresponde regresar al resumen de Garruto sobre la obra Baker:

"Baker, bajo la tutoría de Newman, realizó una investigación de estrés por calor sobre el personal militar en Fort Lee, Virginia (caliente - húmedo) y en el desierto de Yuma (seco - caliente), y el estrés por frío en Fort Churchill, Canadá, en la bahía Hudson. La investigación de Fort Lee y el desierto de Yuma, se llevó a cabo durante tres veranos entre 1952 y 1956, sirviendo de base para la disertación doctoral de Baker [en la Universidad de Harvard]. En estos estudios comparó respuestas entre soldados europeos-estadounidenses y afroamericanos, igualados en composición corporal y tamaño, mientras se ejercitaban en el calor. Esta investigación, que combinó fisiología, morfología y composición corporal, se ocupó de cómo los humanos respondían a ambientes extremos y estructuró gran parte de la investigación posterior de Baker, sobre la variación humana y la adaptación de la población al estrés ambiental" (Garruto, et.al. 2009:9).

La disertación doctoral presentada por Baker en 1956, bajo el título *"Man in the Desert: A Study of the Racial and Morphological Factors in Man's Tolerance of Heat"*, inicialmente fue llevada bajo la tutela de Earnest Hooton (1887 -1954), antropólogo físico norteamericano, cuyo pensamiento científico era afín a la creencia de que las razas biológicas existían y se vinculaban a determinados comportamientos sociales²⁸.

Convendría recalcar que en ese momento histórico de la ciencia antropofísica norteamericana, era habitual abordar la plasticidad biológica desde la interpretación del potencial asociado al componente racial de distintos grupos humanos. Si bien, el interés de Baker era la plasticidad dirigida a respuestas fisiológicas de la

²⁷ Durante junio de 1945 a enero de 1947, Baker participó militarmente en la ocupación norteamericana 3 de Italia (Garruto, et al. 2009:4)

²⁸ De hecho, la última etapa de producción académica de Hooton -*correspondiente a los años 1940 a 1954*-, centró su atención en "*la posibilidad de correlacionar varias 'constituciones' o 'somatotipos' humanos con diferentes rasgos y habilidades de la personalidad*" (Rafter, 2004:740).

temperatura, su trabajo doctoral aludía a preceptos raciales como el supuesto de que una piel bronceada o morena, resultaba más eficiente para la vida en el desierto que una piel negra.

Hooton murió antes de que Baker terminara su investigación y ese suceso ocasionó que el proyecto fuera cedido a la dirección de William White Howells (1908-2005), antropólogo físico norteamericano, que pese haberse formado con Hooton, dentro del pensamiento tipológico imperante consideraba que el medio ambiente influía de manera directa en las dimensiones de cualquier cuerpo humano, más allá de las “razas”. Al morir Hooton, Howells se quedó con su puesto en Harvard y Baker no recibió apoyo para continuar ahí, por lo que solicitó un puesto en el cuerpo del ejército norteamericano en Natick, Massachusetts (Garruto, et al. 2007:5).

Por su parte, Howells dio seguimiento a los pioneros trabajos de Franz Boas, centrando su interés en investigar las relaciones entre las dimensiones craneales, las condiciones ambientales y la migración. Una de sus propuestas fue que el análisis estadístico podía agrupar la expresión de componentes morfológicos más allá de la *plasticidad fenotípica*²⁹, para identificar funciones discriminantes como la ancestría.

En su libro *“The Jōmon population of Japan: a study by discriminant analysis of Japanese and Ainu crania”* publicado en 1966, Howells, comparó las mediciones de 112 cráneos Ainu (57 hombres y 55 mujeres) contra 91 cráneos de japoneses (56 hombres y 35 mujeres), pertenecientes a la colección de la Universidad de Hokkaido. Después de usar un análisis estadístico multivariado para generalizar las distancias (osteométricas) de las 28 medidas craneales que tomó, Howells concluyó que los cráneos de los Ainu eran morfológicamente distintos por ser más toscos respecto a los cráneos japoneses modernos:

“Los cráneos de los Ainu, mostraban más semejanza a los cráneos datados al periodo Jōmon, sugiriendo que la población Japonesa actual era el

²⁹ Entendida como el rango de variabilidad en la forma craneal resultante de aspectos ambientales

resultado de una migración de grupos humanos de la parte Occidental de Japón, ocurrida en el periodo Yayoi (Howells, 1966).

En una historia paralela, una vez graduado de Harvard como antropólogo físico; Baker construyó una carrera académica sobre la modificación de los componentes fisiológicos y morfológicos en respuesta al medio ambiente. En 1961, Russell W. Newman, mentor militar de Baker, lo contactó para abrir una línea de investigación científica acerca de cómo la altitud podía modificar el cuerpo humano:

“Newman había sugerido que Baker abriera una nueva línea de investigación en grupos humanos que vivían a gran altitud, ya que los militares norteamericanos tenían intereses [bélicos], y existían fondos disponibles a través de departamentos del gobierno [...] Las preocupaciones de los militares norteamericanos eran provocadas por disputas fronterizas entre India y Pakistán e India y China, en la región de Jammu y Cachemira y en la región de Arunachal Pradesh del sur del Tíbet, cada una de las cuales eran zonas a gran altitud. De hecho, pelear en las sangrientas batallas de la Guerra sino-india a fines de 1962, comprometía estar en elevaciones de más de 4200 metros. Por tanto, la forma en que el personal militar respondería a la hipoxia a gran altitud era de gran interés para los Estados Unidos y conocer cómo los humanos en general se adaptaron a la hipoxia, también resultó un problema antropológico de interés para Baker” (Garruto, et al. 2007:8).

Así, durante algunos años Baker fue patrocinado para realizar trabajo de campo en Perú y estando ahí, aprovechó el acercamiento con grupos indígenas para desarrollar su propia agenda de investigación. Su estancia en Perú, trajo artículos claves para la formulación de futuras hipótesis dentro del paradigma de la adaptabilidad humana, por ejemplo, dentro de su producción científica resaltan tópicos como; la ingesta de cenizas como fuente de calcio (Baker y Mazess, 1963), la diferencia de densidad ósea por factores como la edad, la altitud, el sexo, y la “raza” (Baker y Little, 1965), y un artículo sobre la pigmentación donde reportó que a partir de los 13 años, los indígenas Quechua experimentaban un oscurecimiento de la piel en zonas no expuestas al sol, especulando que era debido al alto nivel de actividad de la glándula pituitaria (Conway y Baker, 1972).

Probablemente, los trabajos con mayor impacto para el modelo teórico de la adaptabilidad construido desde la antropología física en esa “era dorada”, fueron los que Baker hizo junto al antropólogo biológico peruano Roberto Frisancho, entre su catálogo, hay dos que son fundamentales:

El primero es “*Differences in stature and cortical thickness among highland Quechua Indian boys*” de 1970, donde se problematiza cómo opera la plasticidad en la estatura³⁰, y el segundo es un estudio longitudinal: “*Altitude and Growth: A Study of the Patterns of Physical Growth of a High Altitude Peruvian Quechua Population*” también publicado en 1970, ambos son referencia obligada en la formación de los antropólogos biológicos, debido a que establecen cómo las condiciones ambientales influyen en diferentes patrones de las curvas de crecimiento postnatal, entiéndase; dimorfismo sexual tardío, crecimiento lento y prolongado del tamaño corporal, el brote tardío de crecimiento adolescente para la estatura y el brote acelerado de crecimiento para el tamaño del pecho.

Los trabajos de Baker y Frisancho, enriquecieron la discusión respecto a cómo el medio ambiente incide de distintas formas sobre el cuerpo humano. Por ejemplo, bajo diferentes condiciones socioeconómicas asociadas a los contextos urbanos y rurales, hay componentes biológicos como la deposición de grasa subcutánea (aumento de peso) que reflejan una alta sensibilidad al entorno. Mientras que por otro lado, componentes biológicos como la talla únicamente están comprometidos a momentos de influencia ambiental específicos.

La demostración sistemática de la variabilidad en los patrones del crecimiento de otras poblaciones, construyó la base empírica para entender los mecanismos con los que opera la plasticidad biológica en distintos grupos humanos. Por tanto, un estudio como el aquí presentado es heredero de esos modelos pero orientado a

³⁰ En dicho estudio se propone que algunos determinantes ambientales (que no tienen claros) influyen en el crecimiento diferencial, entre dos grupos de niños Quechua, que desde su óptica pertenecen al mismo grupo “racial”, sugiriendo que las diferencias entre ambos grupos pueden estar asociadas a la dieta o al hecho de que unos viven a una latitud de 3000mts (n=154) y otros a 4000mts (n=1200).

visibilizar cómo una exposición cultural *-entendida como el entrenamiento de habilidades musicales iniciada en la etapa infantil y sostenida hasta la edad adulta,* puede influir en el curso del crecimiento del cuerpo calloso y por añadidura en su tamaño.

Así, cuando se planteó la problemática del presente trabajo de investigación se anotó que el artículo de Schlaug y colaboradores (1995), es reconocido gremialmente por ser un estudio pionero en abordar cómo el entrenamiento de habilidades musicales durante la infancia influía en el desarrollo del cuerpo calloso. Adicionalmente, a raíz de ese estudio han surgido varios que apuntan a la misma dirección y no únicamente enfocados al cuerpo calloso (Bengtsson, et al. 2005., Hyde., et al.2009., Steele., et al.2013., Ozturk, et al. 2002., Foster y Zatorre, 2010).

En esa dirección, uno de los más referidos por el gremio neurocientífico occidental, es el estudio desarrollado por la neuropsicóloga canadiense Krista Hyde y colaboradores (2009); concebido como una investigación longitudinal dirigida a probar el efecto de la influencia del entrenamiento de habilidades musicales en el cerebro humano mediante un diseño de casos y controles, con niños y niñas norteamericanos de 5 a 7 años de edad, seguidos durante quince meses. Ese trabajo, indagó cómo un grupo que es expuesto a entrenamiento musical (n=15) a diferencia de otro grupo que no es expuesto a esa presión ambiental (n=16), experimentó modificaciones en el desarrollo de ciertas estructuras cerebrales.

Como bien apuntó Krista Hyde y colaboradores (2009); realizar una composición aproximada de las variables entre ambos grupos de estudio no fue una tarea sencilla, de tal forma que trataron que los niños pertenecieran al mismo estrato socioeconómico y que los grupos a comparar tuviesen una integración por sexos proporcionalmente semejante. Luego, establecieron que tanto casos como controles estuviesen en un mismo punto del curso del desarrollo cerebral, así, mediante una sesión inicial o momento basal de toma de imágenes de resonancia magnética, encontraron que no había diferencias significativas entre el cerebro de ambos grupos de infantes y procedieron con el experimento.

Del punto anterior en adelante, el estudio prosiguió con la fase de intervención: nueve niñas y seis niños recibirían lecciones semanales privadas de media hora de

piano/teclado (fuera del sistema escolar), mientras que el otro grupo integrado por siete niñas y nueve niños no tendrían exposición a ese entrenamiento musical. En el diseño del estudio, se puntualiza que ese entrenamiento musical de piano/teclado fue con clases privadas, porque ambos grupos de infantes procedían de escuelas públicas en Boston, donde semanalmente realizaban actividades de cuarenta minutos dirigidas al aprendizaje musical; en esas sesiones grupales cantaban, tocaban la batería, las campanas, etc., pero claramente eso no representaba la misma demanda ni especificidad del otro tipo de entrenamiento musical.

Después de un seguimiento de quince meses, ocurrió el segundo momento de toma de imágenes de resonancia magnética con el objetivo de valorar si habían ocurrido cambios significativos en algunas estructuras cerebrales entre los infantes que recibieron las clases de piano privadas y los que no. Los resultados arrojaron que el grupo de niñas y niños que experimentaron el estímulo ambiental *-entendido como la demanda motriz e intelectual propia de la media hora de práctica semanal en las sesiones privadas de aprendizaje musical de piano/teclado-*, mostraron cambios en la arquitectura cerebral (*Brain deformation changes*), así, las imágenes analizadas exponían mayores dimensiones de los píxeles volumétricos (vóxel) en el giro precentral o *gyrus precentralis* derecho (asociado al área motriz de las manos), en los segmentos medios del cuerpo calloso y en la área de Heschl (ubicada en los giros temporales transversos que integran la región auditiva primaria).

El diseño del estudio de Hyde y colaboradores (2009), contiene muchos elementos necesarios para *intentar* establecer interpretaciones causales: el primer punto a su favor es la planificación de un estudio longitudinal, donde se comparan casos y controles. El segundo punto es que son conscientes de que para comparar un grupo de infantes sobre otro grupo de infantes, ambos deben de compartir el mismo estatus de madurez biológico: si en el momento basal las imágenes de resonancia magnética hubiesen arrojado diferencias significativas entre los cursos de maduración cerebral de los participantes, el estudio no tendría cabida. El tercer punto es el pareamiento de las variables biológicas y sociales de los participantes: el hecho de que la cantidad de niños y niñas sea proporcional en ambos grupos,

que compartan la edad cronológica y que ambos grupos provengan de escuelas públicas de Boston, permitió *aproximar* las brechas de acceso a cierto tipo de recursos nutricionales, climáticos y educativos.

Si bien, este trabajo en muchos sentidos difiere del de Hyde y colaboradores (2009), su enfoque de plasticidad está respaldado en sus hallazgos. Por último, habría que reiterar que para la antropología física el estudio de la plasticidad biológica es un tema clásico, pese a que actualmente esos campos son abordados desde otros enfoques disciplinares *-bajo esta reseña tendríamos los casos de Schlaug y colaboradores (1995), y Hyde y colaboradores (2009), como ejemplos-*, visitar la llamada “era dorada” permite afirmar que la antropología física norteamericana fue pionera en esta materia. En consecuencia, para este trabajo recurrir a la plasticidad biológica como propuesta de análisis es dar continuidad a un legado disciplinar.

b) Periodos sensibles y periodos críticos

Los periodos sensibles son umbrales cronológicos de alta susceptibilidad para alterar o canalizar el desarrollo de los organismos. En los seres humanos, tienen como característica generar variabilidad en la expresión de pautas ontogenéticas dentro de nuestra historia de vida³¹.

En historicidad el concepto periodo sensible giró a la par del concepto periodo crítico y ambos emergieron de la embriología como campo disciplinar. A finales del siglo XIX, el médico francés Camile Dareste y a principios del siglo XX, el médico norteamericano Charles Stockard, fueron sus principales exponentes, ambos, con la mirada puesta en el origen de los monstruos hicieron experimentos para inducir el desarrollo diferencial en organismos vertebrados.

En 1891, Camile Dareste, publicó que al manipular huevos de gallina en determinadas etapas del desarrollo bajo diferentes temperaturas y posiciones, se

³¹ "La historia de vida es definida como la asignación estratégica de energía que los organismos destinan hacia el crecimiento, mantenimiento, reproducción, evasión de la muerte y crianza de descendencia para su independencia" (Hochberg, Z. 2011:11).

alteraba el curso de cualquier cigoto; por lo que producir el cese típico en una secuencia de desarrollo correspondería a la identificación de un periodo crítico (Dareste, 1891). Por su parte, Charles Stockard (1921), modificó el desarrollo embrionario de peces, al encontrar pautas ontogenéticas en ciertos tejidos y órganos. Stockard, descubrió que las alteraciones ambientales como la refrigeración durante lapsos selectivos correspondientes a pautas del desarrollo embrionario del *Fundulus*, inducían defectos oftálmicos, supresión de vesículas cerebrales primarias o ausencia de mandíbula. Su tesis apuntó que las desviaciones estructurales varían según el tipo de alteración ambiental y el momento elegido para introducirla, así, inducir embriones dobles y gemelos se restringe a momentos iniciales y críticos de la fecundación ovular, mientras que dirigir una alteración en segmentos o regiones corporales, requiere identificar los instantes de aparición y cese dentro de distintas secuencias de crecimiento.

Estos estudios de embriología en aves y peces, permitieron visibilizar que los ciclos ontogenéticos transcurrían por momentos pasivos y activos de desarrollo, si bien, era claro que formaban parte de un continuo, la idea de momentos o fases de mayor relevancia sobre otras se proyectó como nodal. De tal forma, que identificar lapsos específicos de mayor trascendencia en el desarrollo que modificasen la expresión típica de pautas ontogenéticas, sería la guía para futuras investigaciones que llevarían conceptos de la embriología hacia otros campos disciplinares.

Dirigirse sobre ese camino, por ejemplo, condujo al médico austriaco Konrad Lorenz a tomar conceptos como el de los periodos críticos de la inducción embriológica, al campo del aprendizaje social. Así, en su aclamado texto de 1935, "*Der Kumpan in der Umwelt des Vogels (Der Artgenosse als auslösendes Moment sozialer Verhaltensweisen)*", detalla que a pesar de que los movimientos oscilantes de algunas aves altriciales son compartidos entre diferentes especies, hay algo más allá del origen filético de algunos comportamientos, existe un "*angeborenen Auslöse-Schemas*" (construcción semántica que se traduciría como "patrón innato de la percepción"), que puede ser alterado por el ambiente, en ese sentido, los movimientos iniciales de algunas aves no están determinados a ocurrir invariablemente y porque sí, sino que requieren ser estimulados o disparados por

un aprendizaje social entre sus conespecíficos, y dicha impronta estaría sometida a etapas críticas del desarrollo.

A pesar de que Lorenz, retomó los periodos críticos de la inducción embriológica hacia el campo de las ciencias conductuales, es usual en algunos campos clínicos limitar el uso del concepto periodo crítico a la embriología y periodo sensible a otras esferas del desarrollo. Dado que la mayoría de estructuras, órganos y tejidos cruzan mayor susceptibilidad durante la gestación *-porque es durante la etapa intrauterina que se originan y conforman-*, por lo que se acepta que embriológicamente, los lapsos biológicos de alta vulnerabilidad tienden a ser críticos más que sensibles. Por ejemplo: *algunos niños cuyas madres padecen sarampión entre la primera y la duodécima semana de embarazo nacen con cataratas u otros defectos. El periodo de respuesta está estrictamente limitado, es "crítico" en el sentido muy real* (Tanner, 1966:77).

De manera habitual, en el terreno de las neurociencias también se distinguen diferentes usos al concepto de periodos críticos y periodos sensibles:

"Cuando el efecto de la experiencia sobre el cerebro es particularmente fuerte durante un período limitado de desarrollo, este período se denomina período sensible... [Mientras que] cuando la experiencia proporciona información que es esencial para el desarrollo normal y altera el rendimiento de forma permanente, dichos períodos sensibles se denominan períodos críticos" (Knudsen, 2004:1412).

Conviene reiterar que bajo la propuesta del neurobiólogo norteamericano Eric Knudsen (2004), los periodos críticos están asociados a sucesos irreversibles que tienen lecturas de riesgo, mientras los periodos sensibles son las ventanas de oportunidad o momentos de mayor susceptibilidad durante el desarrollo de los organismos. Visto así, un periodo crítico siempre es un periodo sensible, pero no así en el sentido inverso.

En consecuencia a esa línea argumental, los modelos que abordan el aumento de tamaño del cuerpo calloso por el entrenamiento de habilidades musicales durante la infancia (Schlaug, et al 1995., Hyde., et al.2009., Steele., et al.2009.,

Ozturk, et al. 2002), referirían a canalizaciones de periodos sensibles y no de periodos críticos³².

En ese sentido, los periodos sensibles forman parte de programa ontogénico de nuestra especie, de manera que, si la exposición al entrenamiento de habilidades musicales coincide con el ciclo mielogenético de recubrimiento axonal de las fibras nerviosas del cuerpo caloso, pronosticado entre los 5 y 7 años de edad (Yakovlev y Lecours, 1967), podría ocurrir una aceleración en el recubrimiento de mielina en algunas fibras nerviosas, por tanto, el aumento del tamaño en el cuerpo caloso estaría respaldado por ese periodo sensible (Schlaug, et al. 1995).

Por lo que interpretado bajo principios biológicos, el entrenamiento de habilidades musicales no sería un factor exclusivo para influir en el tamaño del cuerpo caloso. Otras actividades motrices finas, asociadas a la coordinación bimanual e integración entre segmentos laterales del cuerpo también podrían influir.

Sobre esta última apreciación, se puede consultar el trabajo del neurocientífico inglés Jan Scholz y colaboradores (2009), donde se expone que practicar malabares, aumenta la anisotropía fraccional de sustancia blanca en ciertas regiones cerebrales. De acuerdo a los autores, su investigación longitudinal en casos y controles, es una clara evidencia sobre los cambios estructurales en la sustancia blanca, asociados al entrenamiento de habilidades visuales y motrices complejas.

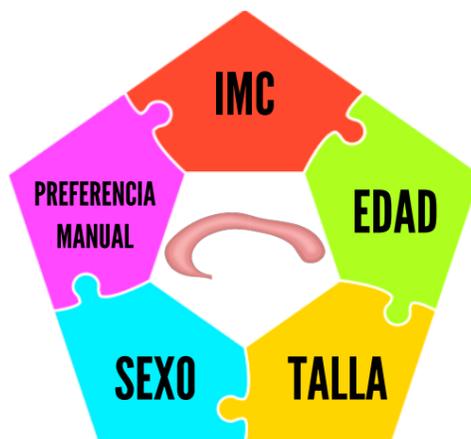
³² Básicamente, no existe un riesgo si el cuerpo caloso no alcanza la máxima expresión biológica de su tamaño.

2.4. Esquema de los cinco componentes biológicos para el estudio de la variabilidad en el tamaño del cuerpo calloso.

Como se estableció a lo largo de los antecedentes, las aproximaciones al estudio del cuerpo calloso humano han resultado difíciles de interpretar y en muchos casos opuestas entre sí. Bajo ese contexto, este segmento presenta algunas investigaciones que han expuesto que el sexo, la edad, la talla, la preferencia manual y el índice de masa corporal (IMC), son componentes biológicos que podrían influir en la morfología del cuerpo calloso y por tanto, en su tamaño.

En consecuencia, la revisión de los trabajos enlistados a continuación, orientó a que la presente investigación considerará integrar dichos componentes biológicos al estudio de la variabilidad del tamaño en el cuerpo calloso del grupo de alemanes adultos, pertenecientes al proyecto LEMON. Por supuesto, existen investigaciones que abordan otros componentes como la homosexualidad (McCormick, et al. 1990, Witelson, et al. 2008), la inteligencia (Luders, et al. 2007, Luders, et al. 2009, Hutchinson, et al. 2009), la dieta (Lövbld, et al.1997., Rubenstein, et al. 2005), o el maltrato infantil (De Bellis, et al. 1999), como factores que impactan el tamaño del cuerpo calloso. En ese sentido, solo queda señalar que cada estudio elige el enfoque que suscribe mejor a la resolución de su problema de investigación.

Figura 2.7. Representación del esquema de los cinco componentes biológicos

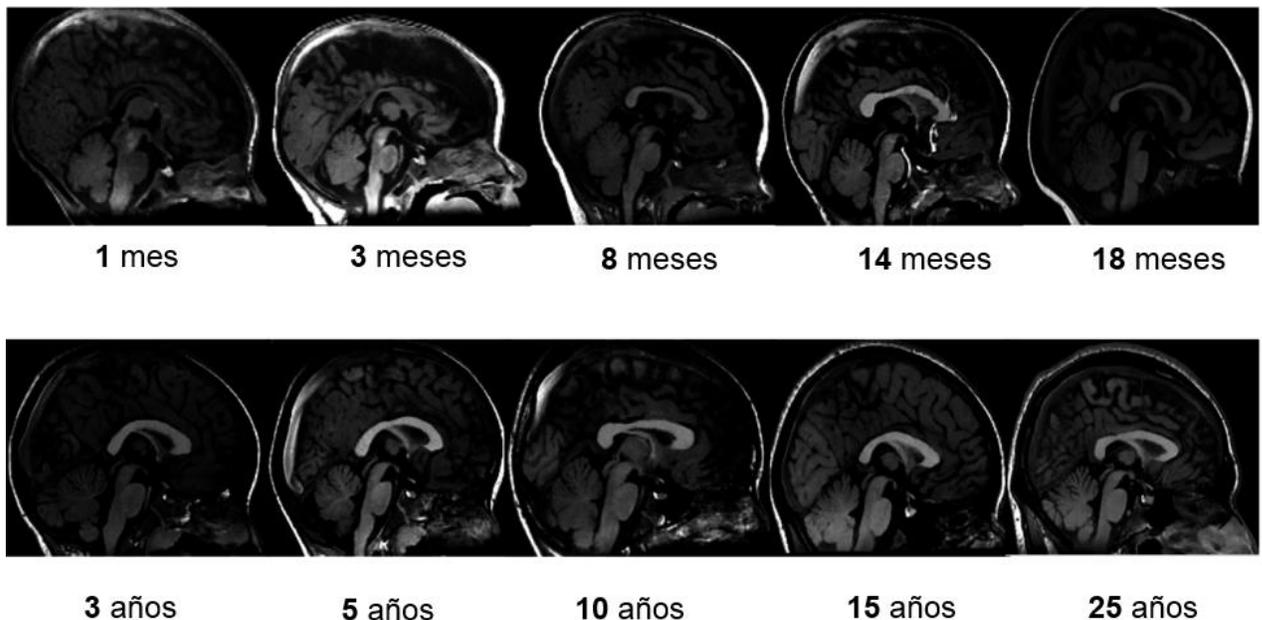


Fuente: Elaboración propia

a) Componente biológico de la edad

Tanaka-Arakawa y colaboradores (2015), realizaron un estudio basado en mediciones por IRM bidimensionales del cuerpo calloso de 114 participantes (61 hombres y 53 mujeres), que iban desde un mes de nacidos hasta los 25 años de edad (Fig. 2.8), con el objetivo de caracterizar los cambios morfológicos ocurridos durante el desarrollo normal del cuerpo calloso. Para evaluar las diferentes etapas del desarrollo, definieron cuatro grupos de edad: lactantes (edad ≥ 2 años), niños (2 a 10 años), adolescentes (11 a 18 años) y adultos de (19 a 25 años). Su trabajo reportó que la tasa de cambios en el crecimiento era dinámica durante las primeras dos etapas de desarrollo (lactantes y niños), mientras que, la curva de crecimiento llegaba a una meseta a los 16 años (192 meses) en las mujeres, y a los 17 años (204 meses) en los hombres.

Figura 2.8. Secuencia de desarrollo del cuerpo calloso humano, desde un mes hasta los 25 años en IRM sagital.



Fuente: La secuencia del desarrollo del cuerpo calloso humano, muestra que el mayor aumento en su tamaño ocurre del nacimiento hasta los dos años de edad. La magnitud en la tasa de cambios va decreciendo hasta llegar a una meseta, alrededor de los 16 años en mujeres y 17 años en hombres. Imagen y reseña, retomada de Tanaka-Arakawa, et.al. 2015:5.

Para valorar el otro extremo en el curso de la vida; Doraiswamy y colaboradores (1991), realizaron un estudio basado en mediciones bidimensionales por IRM del cuerpo calloso de 35 participantes (15 hombres y 20 mujeres), en un rango de edad de 26 a 79 años. El modelo del estudio consistió en separar a los grupos por dos cortes de edad; menores de 60 años (n=16), mayores de 60 años (n=19), los resultados describen que los participantes mayores de sesenta años presentaban un cuerpo calloso más pequeño (menor área) en relación a los participantes menores de 60 años. Por tanto, sus datos sugieren que el deterioro de la sustancia blanca es un proceso asociado a la senectud.

a) Componente biológico de la preferencia manual

De acuerdo al psicólogo neozelandés Michael Corballis (2014), en el siglo XIX, la alta frecuencia por el uso de la mano derecha fue asociada con el descubrimiento de que la capacidad lingüística humana estaba atomizada en el hemisferio izquierdo y sobre ese entramado, se afianzaron las bases respecto a que nuestros cerebros operaban de manera asimétrica.

Si bien, tanto en el 95% de los diestros como en el 70% de los zurdos los centros cerebrales del habla se encuentran localizados en el hemisferio izquierdo (Loring, et al. 1990), el porcentaje de seres humanos con una preferencia manual diestra está estimado en más del 90% de toda la población mundial (Sun y Walsh, 2006), adicionalmente, gracias al análisis de más de 5000 años de obras de arte, se ha establecido que independientemente de la era histórica o región geográfica, en un 93% de casos la representación corporal del uso de herramientas y armas, recae en la mano derecha (Coren y Porac, 1977).

Por otro lado, el partir de una formación antropofísica obliga a referir que para nuestro linaje homínido la dextralidad está presente desde hace más de tres millones de años, sustentada en los vestigios datados de los australopitecos, donde se ha documentado que el diseño de armas y herramientas, recaía en usuarios diestros. Asimismo, la evidencia material a través del estudio esquelético de lesiones y fracturas, reafirma dicha interpretación al señalar que la mayoría de

ataques eran perpetrados por proyecciones originadas desde la mano derecha (Dart, 1949:3).

La búsqueda del por qué la lateralidad derecha es tan homogénea en los seres humanos, ha seguido abordajes tanto del enfoque genético (Annett y Alexander, 1996), como del enfoque ambiental *-que pondría en el centro de la discusión la imposición de aprendizajes tempranos-* (Collins, 1985), aunque, actualmente la convención más aceptada es que las diferencias morfológicas y funcionales entre los dos lados del sistema nervioso (que ocasionarían la preferencia manual derecha sobre la izquierda), son el resultado de la combinación de factores genéticos y ambientales (Concha, et al. 2012:855).

Bajo este sumario de información es claro que en el caso los seres humanos ser diestro es altamente frecuente, mientras que ser zurdo o ambidiestro es poco habitual. Por tanto, en el diseño de muchos estudios ser zurdo o ambidiestro, resulta ser de mucho interés. Narrado así, explorar las diferencias entre la preferencia manual y el tamaño del cuerpo caloso, en el grupo de estudio resultó atrayente desde el inicio.

Así, de acuerdo al trabajo de Witelson (1985), basado en las mediciones bidimensionales del área sagital del cuerpo caloso de 42 cadáveres (30 mujeres y 7 hombres), en un rango de edad de 25 a 65 años, que padecían cáncer terminal y de los que se tenía conocimiento de su preferencia manual por pruebas de diagnóstico de lateralidad mediante el cuestionario adaptado de Annett (1967), se reportó que los zurdos y ambidiestros (n=15), tenían 11% (0.75cm²) más grande el área total del cuerpo caloso respecto a los diestros (n=27), implicando que tanto zurdos como ambidiestros estaban dotados de una mejor transferencia interhemisférica: *“tal diferencia podría representar hasta 25 millones de fibras [más respecto a los diestros]”* (Witelson, 1985:665).

La justificación del porqué los zurdos y ambidiestros tendrían el cuerpo caloso más grande, recae en enfoques de autores como Bryden (1982)³³, que proponían

³³ Los enfoques de estos autores refieren a que en la década de los 80's del siglo XX, se indagó respecto a que el talento matemático y verbal estaba asociado con ser zurdo/ambidiestro, tener miopía y/o asma. La relación entre todas estas condiciones se debía a una alta exposición de testosterona experimentada en

que los zurdos como grupo tenían una mayor representación bihemisférica de las funciones cognitivas comparado con los diestros.

Coincidiendo con lo anterior, el trabajo de Habib y colaboradores (1991), basado en las mediciones de IRM bidimensionales del cuerpo calloso de 53 participantes (35 hombres y 18 mujeres), en un rango de edad de 18 a 51 años, a los que se les aplicó el cuestionario *Edinburgh Handedness Inventory* (Oldfield, 1971), reportó que los zurdos y ambidiestros (n=27) tenían 11% más grande el área total del cuerpo calloso respecto a los diestros (n=26). A pesar de que sus resultados coinciden con los de Witelson (1985), esta investigación empleó un método de medición distinto al de Witelson. En su método calcularon el centro de gravedad del cuerpo calloso y posteriormente lo segmentaron en seis subáreas, si bien su modelo no repercute en las interpretaciones del tamaño total del cuerpo calloso, sí resulta incompatible cuando se compara segmento por segmento con otra técnica de medición.

Por el contrario Westerhausen y colaboradores (2004), basado en las mediciones en IRM bidimensionales del cuerpo calloso de 67 participantes (32 hombres y 35 mujeres), en un rango de edad de 19 a 34 años, a los que se les aplicó una versión en alemán del cuestionario *Edinburgh Handedness Inventory* (Oldfield, 1971), reportó que los diestros (n=34) tenían más grande el área total del cuerpo calloso respecto a los zurdos (n=33), y afirmaron que particularmente “*los sujetos diestros exhibían en promedio subáreas más grandes que los zurdos en las regiones de la rodilla y el tronco*” (Westerhausen, 2004:424).

b) Componente biológico del índice de masa corporal (IMC)

A pesar de que los mecanismos subyacentes entre la asociación de un índice de masa corporal elevado y la integridad de la sustancia blanca no son claros (Bettcher, et al. 2013), se puede elucidar que detrás de dicha asociación se encuentra su claro papel como factor de riesgo para diversas enfermedades de impacto neurodegenerativo como la hipertensión, la diabetes, la depresión, etc., (Bobb, et

desarrollo intrauterino, que alteraba la asimetría cerebral y el sistema inmunológico. La teoría cayó en desuso al incumplir en algunas de sus predicciones pero para los interesados en el tema recomiendo revisar Geschwind y Galaburda (1987).

al. 2014). Bajo ese enfoque, existen estudios que puntualmente abordan cómo la obesidad produce modificaciones morfológicas en el cuerpo calloso:

Xu y colaboradores (2013), realizaron un estudio basado en mediciones tridimensionales mediante DTI³⁴ del cuerpo calloso de 51 participantes (21 mujeres y 30 hombres), con un rango de edad de 20 a 40 años, en el que reportaron que en 29 individuos con un con un IMC ≥ 25 (sobrepeso), existía una correlación negativa con la integridad (microestructura y la microdinámica) de los tractos del cuerpo calloso. En contraste, en los 22 individuos con un IMC <25 (peso normal), no se encontró dicha asociación.

Armonizando con el trabajo anterior Verstynen y colaboradores (2012), a través de mediciones tridimensionales por DTI del cuerpo calloso de 28 participantes (11 hombres y 17 mujeres), con un rango de edad de 18 a 69 años, reportaron que el aumento del IMC se asocia globalmente con una reducción en la integridad de la sustancia blanca.

c) Componente biológico del sexo

La bióloga celular Christine DeLacoste-Utamsing y el antropólogo físico Ralph Holloway (1982), publicaron en la revista *Science* el artículo “*Sexual dimorphism in the human corpus callosum*” en el que basados en las mediciones bidimensionales del área sagital del cuerpo calloso de 14 cadáveres (9 hombres y 5 mujeres), reportaron que las mujeres tenían un esplenio más bulboso respecto al esplenio de los hombres, quienes presentaban una continuidad en la anchura de toda la estructura –*esto es, su cuerpo calloso era más cilíndrico*-. Desafortunadamente, en todos los participantes se desconocía cualquier información adicional como; la edad, el sexo, el peso del cerebro y la procedencia de los individuos. Los resultados de acuerdo a los investigadores apuntaban la primicia de un rasgo métrico para valorar el dimorfismo sexual en el cerebro.

Por el contrario, los neurocientíficos Byne y colaboradores (1988), basados en las mediciones en IRM bidimensionales del cuerpo calloso de 37 participantes (22

³⁴ *Diffusion Tensor Imaging*, es una modalidad de imagen de resonancia magnética que permite estimar la ubicación y los tractos de la sustancia blanca en el cerebro.

mujeres y 15 hombres), en un rango de edad de 14 a 68 años, reportaron que en su grupo de estudio *“no era posible predecir el sexo o la edad por la forma o el tamaño del cuerpo calloso ... un esplenio bulboso es común en ambos sexos, al igual que el estrechamiento del cuerpo calloso [anchura], indistintamente, se encontró un esplenio no bulboso tanto en mujeres como en hombres”* (Byne, et al. 1988:224).

Sumando publicaciones a la controversia, los neurocientíficos alemanes Steinmetz y colaboradores (1995), analizaron 120 IRM en corte sagital pertenecientes a estudiantes de medicina (49 mujeres y 71 hombres) de entre 25 y 30 años, en las que después de redimensionar el área total del cuerpo calloso de acuerdo al tamaño del cerebro, identificaron que las mujeres tenían el cuerpo calloso más grande que los hombres (33mm²). Sugiriendo que ese mayor tamaño en el cuerpo calloso aludía a una condición biológica, que dotaba a las mujeres de una conectividad más fuerte en sus fibras nerviosas, debido a que la representación cognitiva de sus funciones era más bilateral (Steinmetz, 1995: 1003).

Al correr de los años estudios fueron y vinieron con ese tema, hasta que apareció un trabajo que desarticuló buena parte del discurso sobre el dimorfismo sexual en el cuerpo calloso humano. El trabajo en cuestión, fue la investigación de los neurocientíficos canadienses Katherine Bishop y Douglas Wahlsten (1997); donde mediante la examinación de 49 estudios publicados entre 1982 y 1994, detallan que la diferencia entre sexos reportada en algunos artículos, no gozaba de poder estadístico, principalmente por la ausencia de representatividad de individuos de ambos sexos.

Adicionalmente, su análisis reveló que en un 25% de los artículos que revisaron, se cometieron errores estadísticos. Su ejercicio, también señaló la búsqueda de algunos grupos sociales que en pro de reforzar estereotipos sexistas, exigían evidencias científicas sobre las diferencias neuroanatómicas entre hombres y mujeres. Esto dio pie a interpretaciones burdas, del tipo: la razón de que las mujeres cuenten con un esplenio más bulboso, es resultado de que ahí reside su “intuición femenina” (Bishop y Wahlsten, 1997:584).

Sobre esa línea, también cuestionaron el desenvolvimiento profesional del antropólogo físico Ralph Holloway³⁵, debido a que al parecer su trabajo reflejó muchas irregularidades: Bishop y Wahlsten, narran que inicialmente la investigación de DeLacoste-Utamsing y Holloway, fue presentada bajo la modalidad de cártel en el congreso de 1981 de la Sociedad de Neurociencia Norteamericana, celebrado en los Angeles, California. Durante ese evento DeLacoste-Utamsing y Holloway, presentaron un análisis con 28 cerebros, pero un año después en su publicación de la revista *Science*, solo expusieron el análisis de la mitad de los casos (14 cerebros)³⁶, en ambos momentos con muestras de una deficiencia metodológica desconcertante.

Al cierre, el trabajo de Bishop y Wahlsten, suma otro aporte a la discusión: si bien, los hombres suelen tener un mayor volumen cerebral y bajo un principio alométrico se podría pronosticar que tienen un mayor cuerpo calloso, esa interpretación podría ser imprecisa, la razón señalan, reside en que las fibras nerviosas del cuerpo calloso solo irradian hacia el córtex cerebral:

“No es de esperar que el tamaño del cuerpo calloso tenga una alta correlación con todo el tamaño del cerebro. De hecho, Witelson (1989) observó que la correlación más alta ($r=0.48$) se encuentra entre el área total del cuerpo calloso y el córtex cerebral. Ciertamente, el volumen o peso del córtex cerebral resulta ser una mejor medida respecto a la dimensión total del cerebro” (Bishop y Wahlsten, 1997:587)

Bajo esta advertencia, al normalizar el tamaño del cuerpo calloso con el volumen de todo el cerebro, realmente se está asumiendo de más, porque al menos por lo que ellos saben basados en el trabajo de Witelson (1989), el vínculo alométrico más adecuado estaría al tomar solo el volumen de la córtex cerebral. En ese sentido, ellos no niegan la existencia de principios alométricos, solo precisan como mejorar su alcance explicativo.

³⁵ Se refieren a Holloway, porque él era profesor de Christine DeLacoste-Utamsing.

³⁶ Ese es un ejemplo, pero exponen otras irregularidades, para el lector interesado recomiendo revisar su artículo.

d) Componente biológico de la talla

La adición de la talla al modelo de los cinco componentes biológicos para el estudio de la variabilidad en el tamaño del cuerpo calloso, se formuló como un aporte de este estudio, ya que se encontró una escasa presencia en la búsqueda de literatura científica –*específica para el cuerpo calloso y dentro del marco de revisión efectuado por este estudio*-. Probablemente, la poca atención a este componente biológico, responde a que como ya se presentó, el volumen cerebral se ha establecido como un buen indicador sobre el tamaño del cuerpo calloso (Boiagina, et. al. 2016., Jäncke, et al .1997., Steinmetz, 1995).

Conviene recapitular que el volumen cerebral se relaciona con el tamaño de la cabeza y para algunos investigadores el tamaño de la cabeza predice la estatura³⁷ (Mansur, et al. 2014), por lo que podría resultar reiterativo emplear la talla y el volumen cerebral. Esta apreciación, ofrecería un argumento respecto a la preferencia de elegir el volumen cerebral sobre la talla.

No obstante, esa apreciación también podría incurrir en una sobre simplificación, por ejemplo, Scheffler y colaboradores (2017) analizaron las mediciones de 7,444 niños y 7,375 niñas alemanes, de entre 0 a 7 años de edad, tomadas durante 1986 y 1990, en las que reportaron que bajo circunstancias apropiadas de salud y nutrición, el tamaño corporal (talla) y la circunferencia de la cabeza no están relacionadas. Adicionalmente, para algunos investigadores esa discusión lleva años siendo estéril, ya que la evidencia empírica muestra que de dentro una misma especie el tamaño del cerebro y el tamaño del cuerpo, no están relacionados (Jerison, 1973., 1979., Peters, 1991).

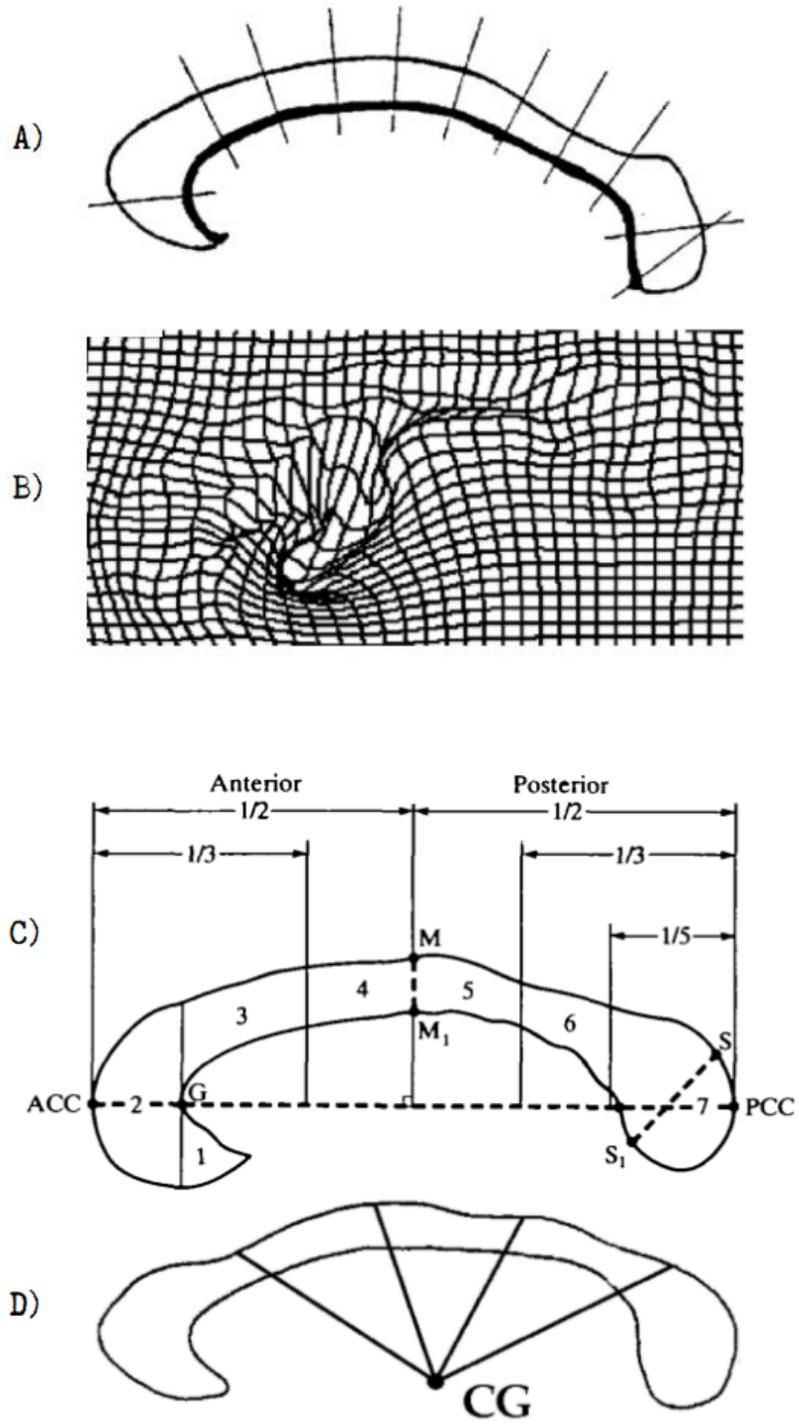
Por otro lado y situándonos únicamente en el cuerpo calloso, también se ha reportado mediante análisis bidimensional de IRM, que a mayor volumen del prosencéfalo, menor es el área total del cuerpo calloso. O sea, que los cerebros más grandes tienen el cuerpo calloso más pequeño (Jäncke, et al .1999). También, se ha sugerido que existe una tendencia biológica que vincula a que los cerebros

³⁷ Para dar seguimiento a esta apreciación recomiendo “*A history of the study of human growth*” (Tanner, 1981), donde se exponen los rangos de referencia hasta los 16 años, para los valores de circunferencia cefálica.

más grandes de algunas especies de mamíferos, presenten un decrecimiento en las proyecciones de las fibras nerviosas del cuerpo calloso (Olivares, et al. 2001):

“De hecho es posible que un aumento en el tamaño del cuerpo calloso este asociado con un decremento en la densidad de sus fibras nerviosas, debido a que un mayor cuerpo calloso condicionaría el aumento en el diámetro de las fibras nerviosas o a un mayor distanciamiento entre las fibras nerviosas” (Aboitiz, et al, 1992:144).

Bajo este contexto rodeado de controversias, queda claro que para algunos investigadores existiría una alineación implícita entre el volumen cerebral y el tamaño del cuerpo calloso, entre el volumen cerebral y la talla, mientras que para otros investigadores esos enfoques no guardan un sustento biológico. Visto así, al presente estudio le pareció relevante explorar el componente de la talla, sin otra pretensión que sumar a la discusión.



a) Stievenart et al., 1997. b) Bookstein, 1997. c) Witelson, 1989.
 d) Duara et al., 1991.

3.1. Metodología

a) Diseño del estudio

Cuando se estudian diferentes grupos humanos en busca de interpretar el origen o sentido de la diferencia entre los valores biométricos de una estructura anatómica, se debe considerar que la composición entre los grupos de estudio es importante para establecer posibles comparaciones. En general, considerar la distribución de las características de los grupos a contrastar mediante las variables biológicas que los componen como la proporción aproximada por sexo, la proporción aproximada por edad, la proporción aproximada por talla, la proporción aproximada por peso, etc., es una buena estrategia para interpretar la variabilidad biométrica de cualquier estructura anatómica.

Combinado a lo anterior, es importante especificar las pautas metodológicas por cumplir para el diseño de cada estudio. En un primer momento, el presente estudio se construyó siguiendo las pautas metodológicas de un estudio descriptivo y transversal, bajo el objetivo de buscar asociaciones entre el tamaño del cuerpo calloso (área total en mm²) y cinco componentes biológicos (sexo, talla, preferencia manual, índice de masa corporal y preferencia manual), en 153 adultos alemanes, de entre 20 y 35 años, recolectados en la ciudad de Leipzig, durante los años 2013 a 2015, a través del proyecto *Leipzig Study for Mind-Body-Emotion Interactions* (LEMON) del Max Planck.

Asimismo, para el siguiente momento del estudio se utilizó un grupo de referencia, integrado por alemanes adultos y músicos profesionales, que experimentaron una exposición temprana (antes de los 7 años), al entrenamiento de habilidades musicales (Schlaug, et al. 1995). Mientras que mediante la revisión de ficheros de profesión y perfil escolar de los participantes del proyecto LEMON, se identificó la ausencia de músicos profesionales.

Bajo ese contexto, se diseñó un modelo de elegibilidad. Para efectuar ese diseño, se recurrió a una composición proporcional de las variables biológicas presentes en el grupo de 21 músicos profesionales (grupo de referencia), y se identificó la siguiente composición:

- Composición por sexos: 70% hombres y 30% mujeres.
- Composición por talla o estatura: 178 ± 10 cm.
- Composición por edad: rango de 21 a 36 años, con un promedio de 25.6 ± 3.7 años.
- Composición por preferencia manual: todos diestros, establecido por auto reporte.
- Composición profesional homogénea: todos profesionistas de música clásica (pianistas, tañedores de cuerda o ambos). Formados/egresados de escuelas de música.

Al aumentar las especificaciones por criterios de selección, se afinó la búsqueda para elegir únicamente a los participantes del grupo LEMON, que cumplieran con esos criterios. En consecuencia al diseño descriptivo y transversal, se sumó un estudio comparativo entre dos grupos ajustados por composición aproximada de sexo, edad, talla, preferencia manual, y restringido a la participación de músicos profesionales.

Así, retomadas las variables establecidas por el grupo de referencia (Schlaug, et al. 1995), se encontró que solo 133 participantes del proyecto LEMON, permitían la comparación de grupos, dado que cumplían con las especificaciones impuestas por el diseño por proporcionalidad de variables.

Sobre la recolección de datos/muestras de ambos grupos (LEMON y Schlaug, et al. 1995), se asumió el cumplimiento de pautas metodológicas estandarizadas. Al menos, como se puede apreciar en el apartado “c) Presentación del proyecto LEMON y ANEXO”, en todas las fases de obtención de datos/muestras del proyecto LEMON, existió un alto nivel técnico de los involucrados.

Por último, tanto el grupo de referencia (Schlaug, et al.1995) como el grupo LEMON (2013-2015), están integrados por participantes alemanes pero la temporalidad de los datos es distinta, con una diferencia entre ambas recolecciones de casi 20 años.

b) Grupo de referencia

En el planteamiento del problema se describió que el grupo de referencia retomado para el comparativo del presente trabajo, provenía de un estudio efectuado por el médico y neurocientífico alemán Gottfried Schlaug y sus colaboradores (1995). De manera general, ese estudio contiene la aproximación técnica para la medición bidimensional del cuerpo calloso a través de neuroimágenes. Además, su enfoque teórico incluye la justificación de los periodos sensibles, explicados por los ciclos mielogenéticos del cuerpo calloso (Yakovlev, y Lecours, 1967).

A manera de reseña; el estudio de Schlaug y colaboradores (1995), se conformó con 60 adultos alemanes, que fueron segmentados en dos grupos; el primer grupo, conformado por 30 pianistas y tañedores de cuerdas, que habían egresado de la escuela de música (por esta razón, se les refiere como músicos profesionales). El segundo grupo se integró con 30 participantes sanos (mayoritariamente compuesto por estudiantes de la facultad de medicina), elegidos de una base de datos de neuroimágenes.

En el diseño de su estudio se señala que ambos grupos fueron emparejados por semejanza en las variables de edad, talla, sexo y preferencia manual. También, se indica que el cuerpo calloso de todos los participantes fue medido con la técnica de Witelson (1989) y que las neuroimágenes fueron tomadas por un resonador magnético 1.5 Tesla.

En el análisis de sus resultados, se identificó que entre los 30 músicos profesionales había 21 participantes que tenían mayores dimensiones en las subáreas A1-A4 del cuerpo calloso. Esa diferencia, estimada en un promedio de 40 milímetros cuadrados respecto a los otros 9 músicos profesionales, parecía responder a que esos 21 tañedores de cuerdas y pianistas, iniciaron un entrenamiento de habilidades musicales, antes de los siete años de edad. La interpretación de dicha sugerencia biológica sobre los músicos profesionales, es la que permitió retomar como referencia sus valores de área del cuerpo calloso ($n=21$), para compararse con los valores de área del cuerpo calloso del grupo de estudio ($n=133$). La tabla 3.1, presenta dichos valores en el grupo de referencia.

Tabla 3.1 Valores para el área del cuerpo calloso en músicos y no músicos del grupo de referencia

	Área total del cuerpo calloso (mm ²)	Área media anterior del cuerpo calloso A1-A4 (mm ²)	Área media posterior del cuerpo calloso A5-A7 (mm ²)
Todos los músicos (n=30)	687 ± 85	371 ± 46	314 ± 43
Músicos adultos profesionales que iniciaron el entrenamiento de habilidades musicales antes de los 7 años (n=21)	709 ± 81	384 ± 42	321 ± 44
Músicos adultos profesionales con un comienzo de entrenamiento igual o mayor a 7 años (n=9)	637 ± 77	340 ± 43	297 ± 38
Grupo de adultos no músicos (n=30)	649 ± 88	344 ± 48	305 ± 43

Fuente: Retomado de Schlaug, et al. 1995:1053.

c) Grupo de estudio

Originalmente, se seleccionó a 153 participantes del proyecto LEMON comparable a la distribución por sexo, talla y edad, respecto al grupo de músicos profesionales (tabla 3.2). Sobre la preferencia manual, inicialmente se incluyó a 18 zurdos y 2 ambidiestros, para valorar si la preferencia manual influía en el tamaño del cuerpo calloso. Sin embargo, para el análisis entre el área anterior del cuerpo calloso (A1-A4) entre músicos y no músicos, no se incluyó a los participantes zurdos y ambidiestros, debido a que todos los participantes del estudio de Schlaug y colaboradores (1995) eran diestros, por lo que ese análisis se realizó únicamente con 133 participantes. Esta modificación no alteró significativamente la composición por sexo (93 hombres y 40 mujeres), por edad (25.3 ± 3 años), ni por estatura (177 ± 10 cm).

Tabla 3.2. Características de los grupos de estudio

Variables	Grupo LEMON (2019)	Grupo Schlaug et al. (1995)
Rango de edad	20 a 35 años	21 a 36 años
Edad promedio	25.1 ± 3.1 años	25.6 ± 3.7 años
Estatura promedio	177 ± 9 cm	178 ± 10 cm
Participantes hombres	108	15
Participantes mujeres	45	6

Fuente: Los valores correspondientes a la columna izquierda (grupo LEMON) son elaboración propia. Los valores presentados en la columna derecha fueron retomados del estudio Schlaug et al. (1995).

d) Presentación del proyecto LEMON

El Instituto Max Planck de Ciencias Cognitivas y Cerebrales Humanas, desarrolló un proyecto de colaboración en el que participaron 74 investigadores provenientes de distintas disciplinas. De acuerdo a su interés por describir componentes biológicos y sociales, la recolección de información abarca; datos antropométricos, marcadores endocrinos en sangre y cabello, cuestionarios socioeconómicos, test psicométricos y procesamiento de neuroimagen en modalidad funcional y estructural (FLAIR, T1map, T1w, Bold, T2w, DWI, field map). Adicionalmente, tomaron mediciones sobre el sistema nervioso autónomo a través de electrocardiogramas, pulso, respiración y presión arterial.

El nombre del proyecto LEMON (*Leipzig Study for Mind-Body-Emotion Interactions*) hace referencia al eje central del estudio: valorar las relaciones entre la mente, el cuerpo y las emociones, en un grupo de personas de Leipzig, Alemania. El proyecto LEMON, hizo el levantamiento de muestras entre los años 2013 y 2015. Desde el año 2019, dicho proyecto liberó a consulta y descarga³⁸ una serie de 227 participantes de ambos sexos, con edades entre los 20 a 77 años. De esa serie de acceso abierto, para el presente estudio se eligió a 153 participantes por considerar que cumplían el perfil para responder la pregunta de investigación planteada.

Debido a que todos los participantes elegidos para el análisis directo de este estudio pertenecen al proyecto LEMON, el protocolo general de diseño y recolección, corresponde a los lineamientos previamente publicados por los 74 investigadores a manera de manual: Babayan, et al. 2019. Adicionalmente, parte de ese material aparece como ANEXO en el presente estudio.

³⁸ El acceso a ciertos ficheros se encuentra restringido, para mantener la privacidad de los participantes. Además, todos los clasificadores de identificación legal, están despersonalizados. Pruebas sobre el consumo de narcóticos e historial familiar, pertenecen a otros ficheros. Asimismo, en algunos casos, la información solo se proporciona codificada, por lo que se requiere formación técnica para su interpretación (ejemplo: algunos test solo están en alemán o a veces se presentan valores desagregados otras y no).

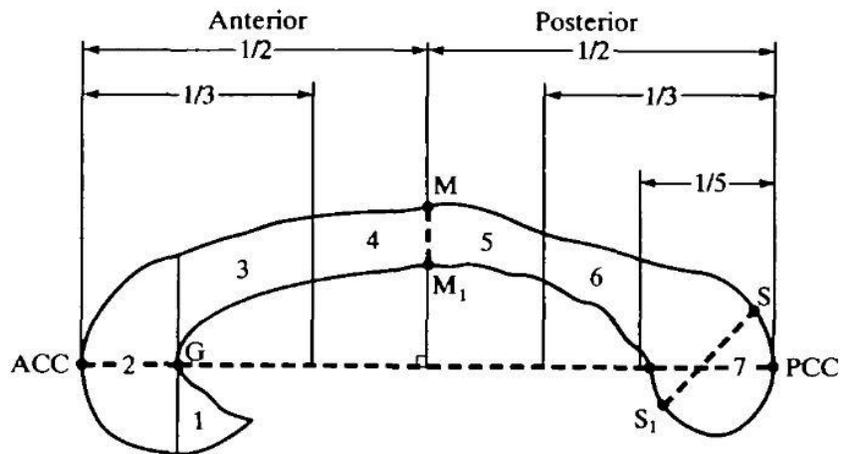
e) Operacionalización de variables

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Unidad de medición	Escala de medición
Sexo	Conjunto de características biológicas: anatómicas y fisiológicas, que distinguen entre hombre y mujer.	Autoreporte del sexo biológico. Refrendado por identificación oficial y consentimiento informado.	(Hombre/ Mujer)	Nominal
Edad	Tiempo cronológico de vida cumplido.	Autoreporte. Refrendado por identificación oficial y consentimiento informado.	(años cumplidos)	Cuantitativa continua
Talla (altura del cuerpo, estatura)	Distancia vertical desde la horizontal (superficie de sustentación) hasta el vértex (parte superior y más prominente de la cabeza (ISAK, 2001).	La altura del cuerpo de los participantes se midió descalzos con un estadiómetro (SECA 216).	(cm)	Cuantitativa continua
Preferencia manual	Preferencia de utilización de uno de los dos miembros superiores en las tareas unimanuales (Rigal, 1988:454).	Obtenida a través de "The Edinburgh Handedness Questionnaire" (Oldfield, 1971).	(Diestro/ Zurdo/ Amdiestro)	Nominal
Peso	Cantidad de masa contenida en el cuerpo de una persona.	El peso corporal se midió usando una balanza electrónica (SECA 813, Seca GmbH & Co KG) con una precisión de 0.01 kg.	Kg	Cuantitativa continua
Índice de masa corporal (IMC)	Estimado de adiposidad corporal a través de las relaciones peso y talla.	El producto de dividir el peso (Kg) entre la talla en metros elevada al cuadrado.	(Kg/m ²)	Cuantitativa continua
Músicos profesionales	Adultos pianistas y tañedores de cuerdas, expertos.	Músicos con entrenamiento de habilidades musicales <7 ^a , tomados de Schlaug, et al. 1995	(Músico/ No músico)	Nominal
Área total del cuerpo calloso (A1A7)	Superficie (A1A7) del haz de fibras nerviosas altamente milenizadas, ubicada en la comisura central del cerebro humano.	El área total del cuerpo calloso comprende la sumatoria de subáreas A1A7, medida por la técnica Witelson (1989)	(mm ²)	Cuantitativa continua

f) Técnica de medición del cuerpo caloso

Para este estudio, las neuroimágenes fueron medidas con la técnica Witelson (1989), esta técnica utiliza el corte anatómico sagital más medial para dividir en fracciones proporcionales la superficie del cuerpo caloso y en contraste a otras técnicas de medición (Stievenart, et al. 1997., Bookstein, 1997., Duara, et al. 1991), su modelo parte de segmentaciones geométricas perpendiculares. La técnica Witelson (1989), consiste en obtener la longitud máxima del cuerpo caloso a través de dos puntos: el más anterior (ACC) y el más posterior (PCC), los puntos ACC y PCC, permiten trazar una recta sobre la que se proyectaran siete líneas perpendiculares, siendo esas líneas perpendiculares al eje ACC-PCC, las que segmentaran al cuerpo caloso en siete subáreas (A1-A7) proporcionales.

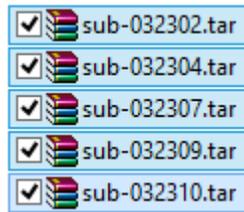
Figura 3.1 Técnica de medición Witelson (1989)



Fuente: Diagrama en vista media sagital del cuerpo caloso de un adulto humano, que muestra las siete divisiones regionales numeradas por subáreas de 1 a 7, utilizadas para medir el área total (Witelson, 1989:805).

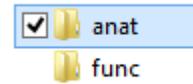
g) Procedimiento para el análisis de IRM (MP2RAGE) modalidad T1

Paso 1



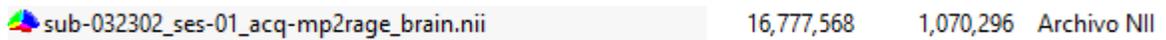
Descargar los ficheros comprimidos (.tar) de IRM por cada participante.

Paso 2



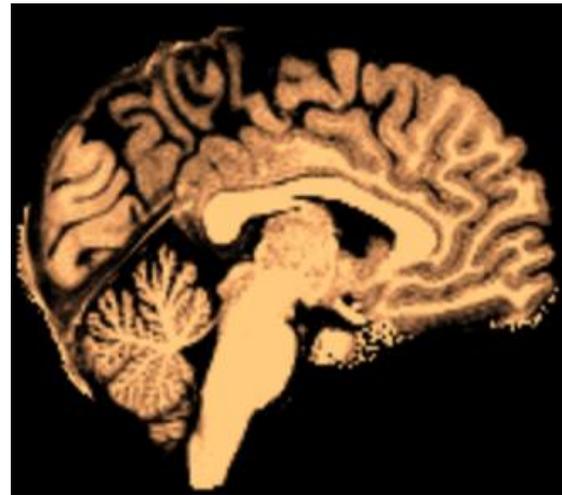
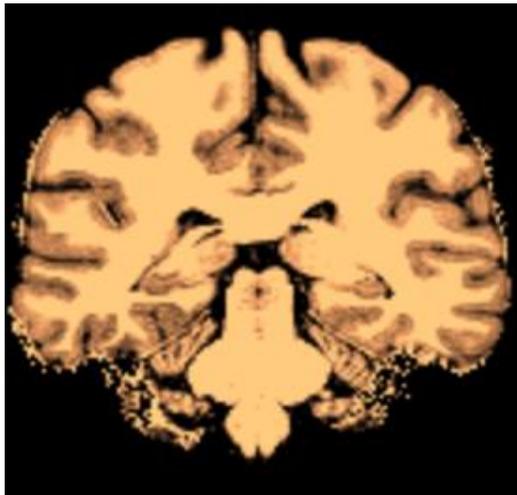
Descomprimir los ficheros. Ubicar las carpetas de IRM. Dentro de los archivos elegir la carpeta de IRM anatómicos.

Paso 3



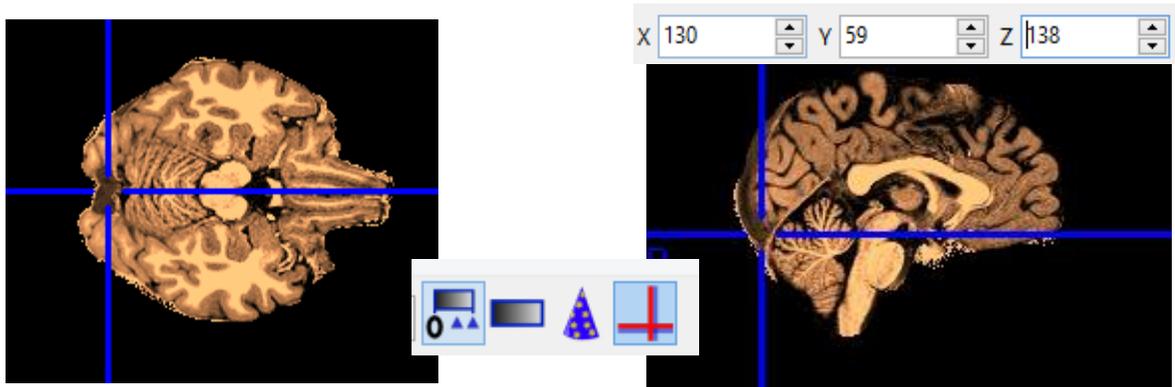
La carpeta de anatómicos, contiene el archivo con la secuencia MP2RAGE en modalidad T1, para abrirlo, se requiere un software de lectura a extensión “.nii”. Para esa tarea se eligió el software MRIcron (versión 2019).

Paso 4



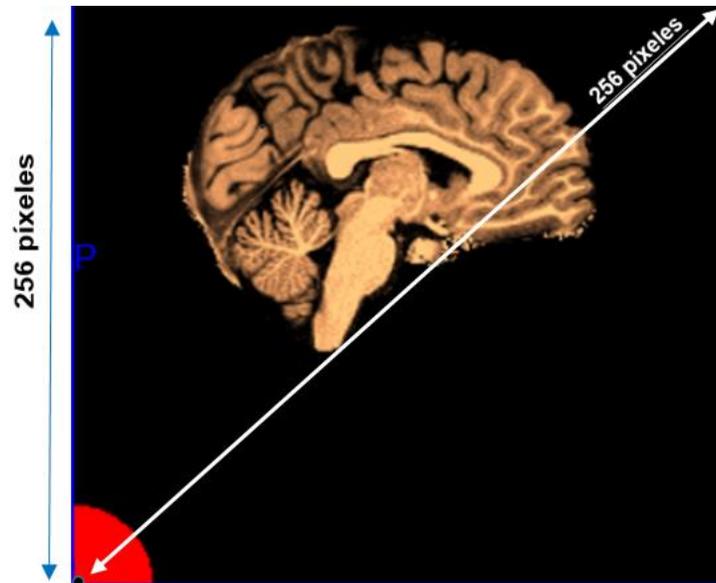
Al abrir el archivo 3D (en este ejemplo, el sub-032302) en MRIcron (versión 2019), se puede ver una visualización 2D del cerebro pero habilitada para coordenadas 3D. Arriba, ejemplo de visualización 2D; corte coronal a la izquierda y corte sagital a la derecha (también se puede activar los cortes horizontales).

Paso 5



En los íconos superiores a las vistas anatómicas, activa casilla de la cruceta. Al mover el cursor en cualquiera de los 3 planos anatómicos del cerebro, la cruceta arrojará las coordenadas 3D, del punto señalado.

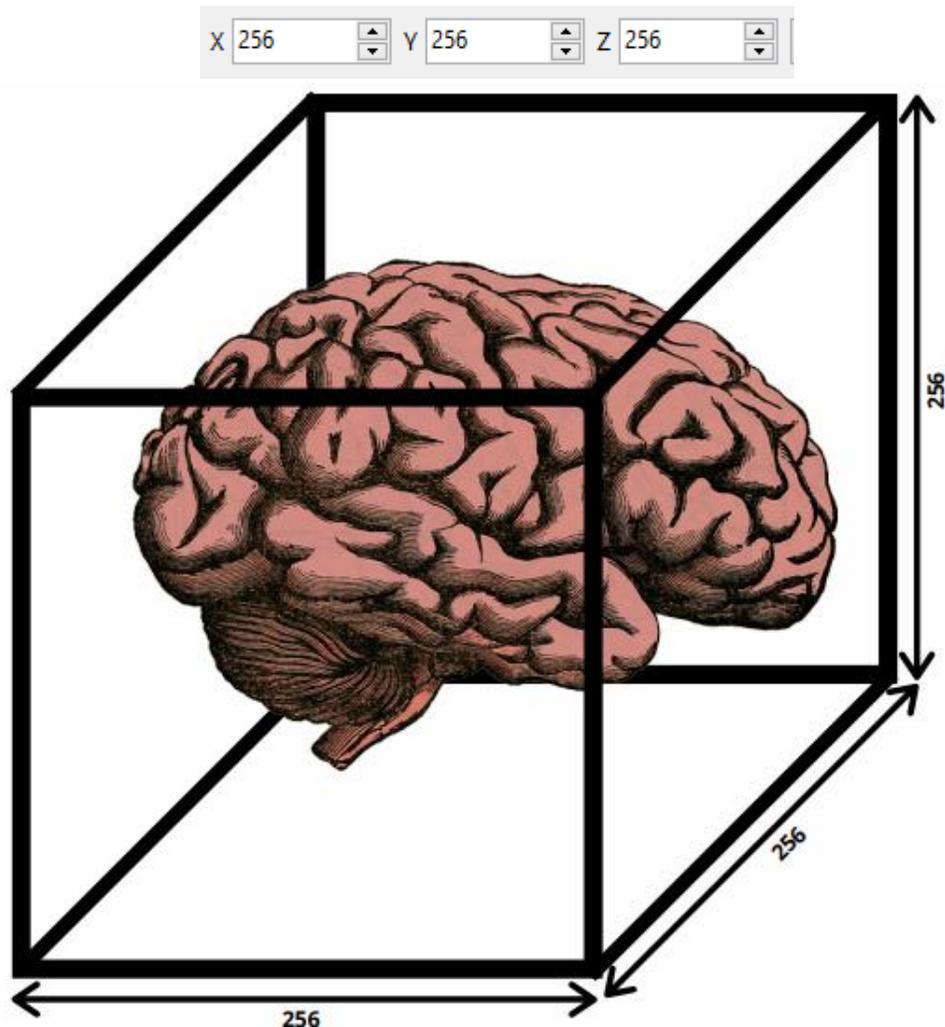
Paso 6



Posiciona la cruceta en el origen de la planimetría transversal; en el esquema superior el origen está en el punto negro dentro del ángulo rojo. Las rectas trazadas sobre el esquema, muestran que el cuadrante está compuesto de 256 unidades (píxeles)

Nota: todos los archivos en secuencia MP2RAGE y modalidad T1, dentro del proyecto LEMON, se integran en una matriz de píxeles de 256 X 256, ajustados con cortes de 1mm^3 por cada unidad (ver paso 7, para visualizar la referencia).

Paso 7



El esquema superior, es una representación que permite ejemplificar cómo opera la composición digital de la matriz de píxeles en una IRM, en secuencia MP2RAGE y modalidad T1:

Al analizar los cuadrantes del plano cartesiano de algunas neuroimágenes, se aprecia que los valores máximos en las rectas X, Y, Z, son 256 unidades (píxeles), esto se debe a que *“las imágenes digitales que se generan en los estudios clínicos están hechas de valores numéricos discretos dispuestos en una matriz. El tamaño de la imagen se describe en el sistema binario de números por equivalentes de potencia de 2. Los tamaños de matriz de imagen de resonancia magnética más habituales son 256 x 256 ($2^8 \times 2^8$)”* (Bushong, y Clarke, 2013:166)

Paso 8

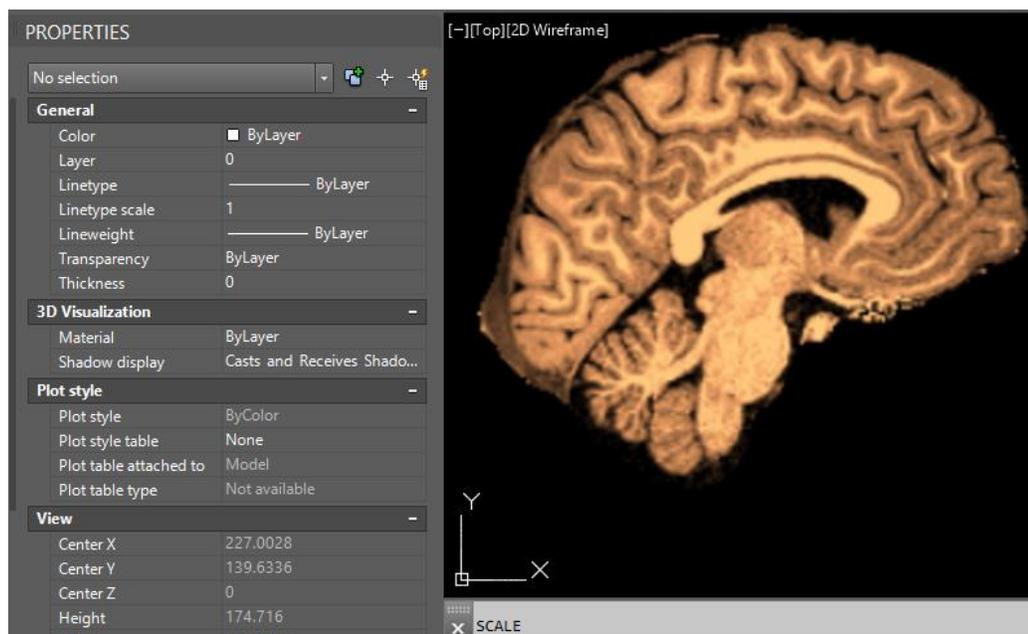
Para conocer el valor de un pixel en unidades de distancia (en este caso, milímetros), se necesita conocer el valor del “*Field of view (FOV)*”, así, de acuerdo al protocolo del proyecto LEMON, el valor del campo de visión reportado es 240mm (FOV).

El FOV, refiere a la distancia en la que el resonador magnético *-en el caso del proyecto LEMON, un equipo 3T Siemens Magnetom Verio MR scanner-* adquirió la secuencia MP2RAGE para la modalidad T1.

Como se aprecia arriba, la matriz de pixeles por planimetrías está compuesta en 256 X 256px, con un FOV de 240mm, por tanto; si el cuadrante del plano cartesiano está en función del FOV y se quiere conocer la equivalencia de pixel por milímetro, hay que dividir la distancia (240mm FOV) entre la cantidad de pixeles por recta (256px), esto da 0.9375 (para entender la relación operativa entre estas variables, recomiendo Mezrich, 1995). Por lo que cada pixel correspondería a 0.94mm^3 .

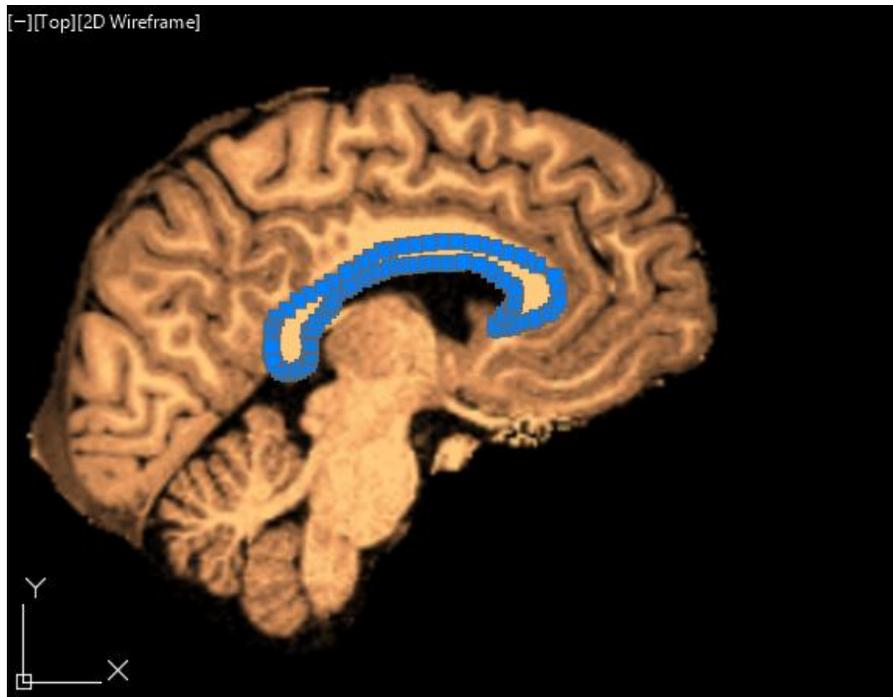
Sin embargo, en la nomenclatura de usuario para el procesamiento de las IRM en secuencia MP2RAGE y modalidad T1, se especifica que se integró el valor del vóxel a proporción = $1 \times 1 \times 1\text{mm}^3$

Paso 9



La siguiente acción, es migrar la imagen del software MRIcron al software AUTOCAD (versión 2015) como un fotograma. Abre AUTOCAD y traslada el cuadrante transversal usando los comandos MOVE y SCALE, asigna 256 unidades como el valor de largo y ancho de la imagen. Como fotograma en AUTOCAD, los 256 X 256 píxeles tendrán lectura como $256 \times 256 \text{ mm}^2$

Paso 10



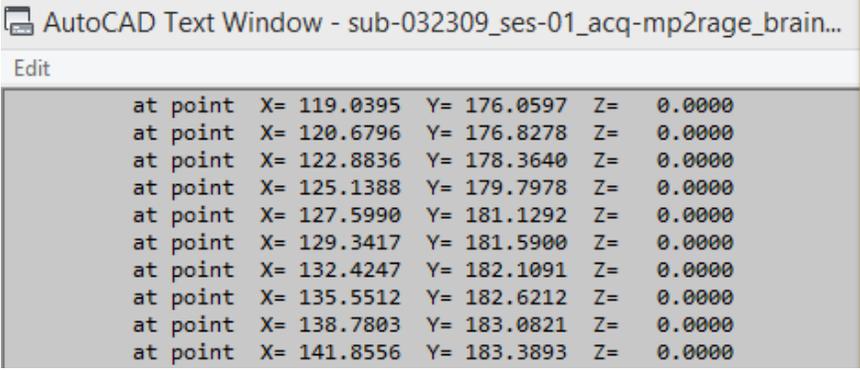
Ya en el software AUTOCAD (versión 2015), a cada fotograma escalado, se le puntea el contorno del cuerpo calloso con polilíneas. En este paso, hay que estandarizar las medidas del contorno, repitiéndolas; aquí, se realizaron dos mediciones espaciadas por 15 días de diferencia, y se calculó el valor del error promedio de medición en 0.147mm^2 .

Paso 11

Una vez marcados con polilíneas todos los contornos del cuerpo calloso en cada fotograma de la serie de participantes del proyecto LEMON ($n=153$), la siguiente tarea es trazar una cuerda entre la coordenada con el valor anterior máximo (punto ACC) y la coordenada con el valor posterior máximo (punto PCC), de acuerdo a lo establecido por la técnica de Witelson (1989).

Al establecer la cuerda sobre ambos puntos (ACC-PCC), se conocerá la longitud máxima del cuerpo calloso. Asimismo, más adelante, al seccionar esa línea en fracciones se obtendrá el valor en milímetros cuadrados de cada una de las 7 subáreas del cuerpo calloso.

Paso 12



The screenshot shows a text window titled "AutoCAD Text Window - sub-032309_ses-01_acq-mp2rage_brain...". The window contains a list of 10 points, each with its X, Y, and Z coordinates. The text is as follows:

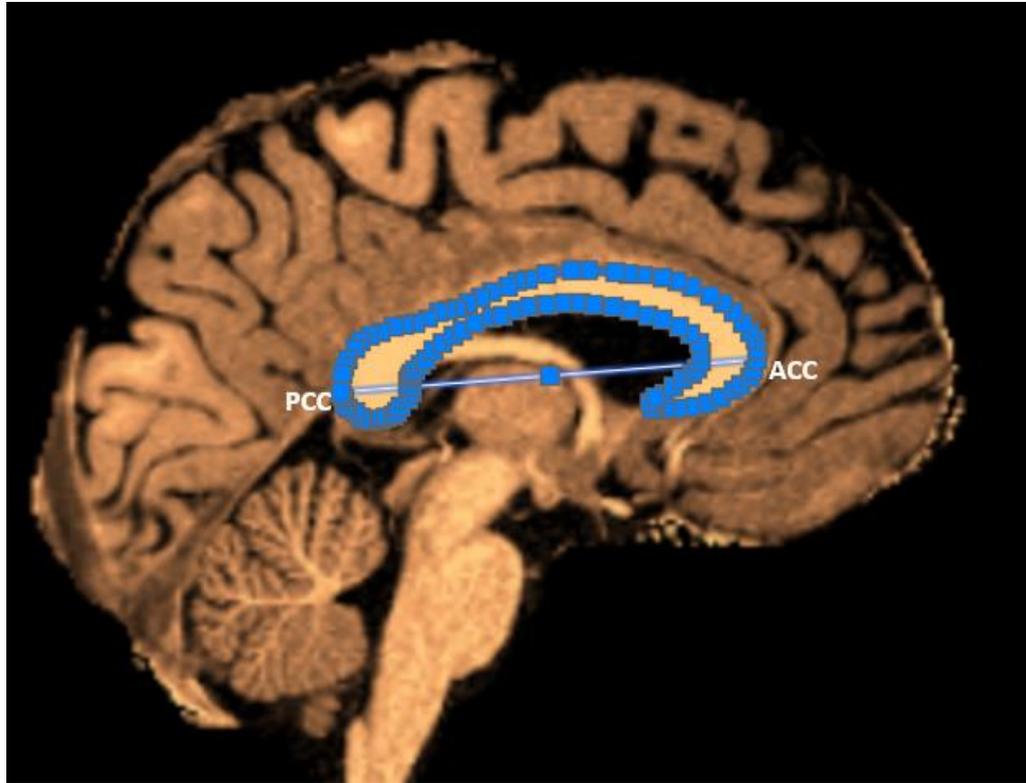
```
Edit
at point X= 119.0395 Y= 176.0597 Z= 0.0000
at point X= 120.6796 Y= 176.8278 Z= 0.0000
at point X= 122.8836 Y= 178.3640 Z= 0.0000
at point X= 125.1388 Y= 179.7978 Z= 0.0000
at point X= 127.5990 Y= 181.1292 Z= 0.0000
at point X= 129.3417 Y= 181.5900 Z= 0.0000
at point X= 132.4247 Y= 182.1091 Z= 0.0000
at point X= 135.5512 Y= 182.6212 Z= 0.0000
at point X= 138.7803 Y= 183.0821 Z= 0.0000
at point X= 141.8556 Y= 183.3893 Z= 0.0000
```

Desde AUTOCAD (versión 2015), aplica comando EXPLODE para identificar todas las coordenadas en las polilíneas, luego, el comando LIST para enumerarlas. Exporta esa lista de coordenadas en un bloc de notas.

Paso 13

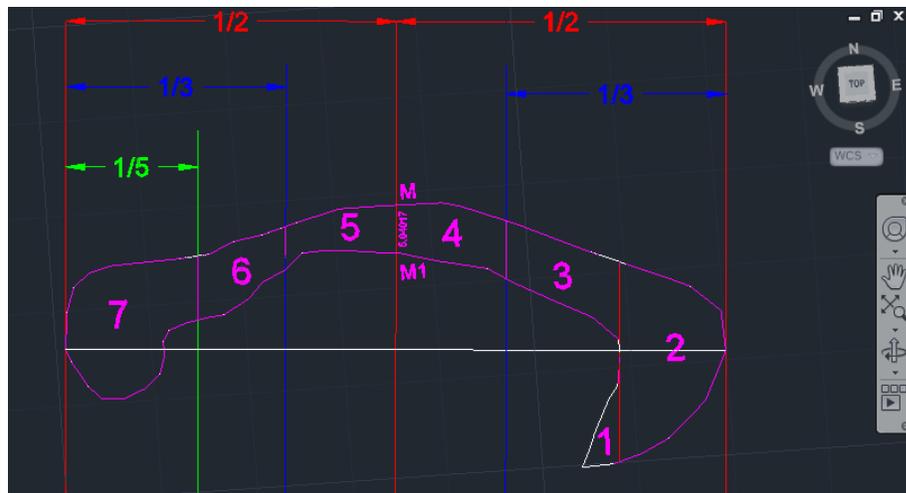
Copia las coordenadas del bloc de notas a una hoja de cálculo (EXCEL), sobre la lista de coordenadas "X", aplica la fórmula de valor mínimo y valor máximo para hallar el primer par de puntos de la cuerda ACC – PCC. Para obtener el par complementario de puntos de la cuerda ACC – PCC, realiza la misma acción pero ahora sobre la lista de coordenadas "Y".

Paso 14



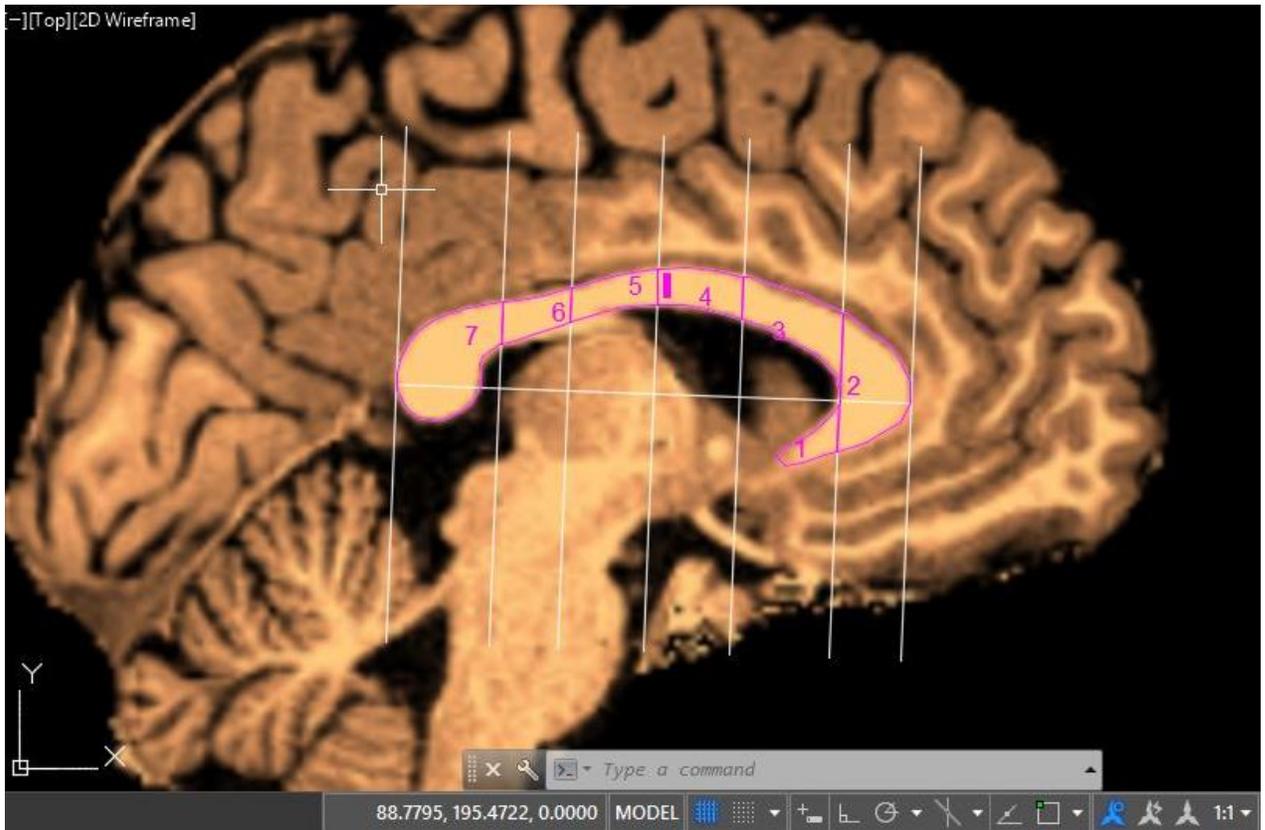
Regresa a AUTOCAD (versión 2015), y con el primer par de coordenadas (ACC) indica el inicio de la recta, después, señala que el segundo par de coordenadas (PCC) sea el final de la recta.

Paso 15



Sobre la línea ACC – PCC, indica puntos de cortes y proyecta rectas paralelas en las distancias $1/5$, $1/3$ y $1/2$, así, obtendrás las 7 subáreas del modelo de Witelson (1989).

Paso 16



El modelo final es un cuerpo calloso segmentado de acuerdo a la técnica de Witelson (1989).

h) Análisis estadístico

Previo a la estimación de las pruebas paramétricas presentadas en el apartado de resultados, se realizó la prueba de normalidad *Kolmogorov-Smirnov*, sobre la distribución de la variable del área cuadrada en el cuerpo calloso (tamaño); al obtener un valor mayor al 0.05 de significancia, al asumir la distribución normal se procedió al tratamiento con pruebas paramétricas. Adicionalmente, se calculó la asimetría y curtosis para la misma variable, corroborando el mismo resultado.

Los participantes del proyecto LEMON (n=153), fueron segmentados en tres grupos de edad; 20 a 25 años (n=79), 26 a 30 años (n=61), 31 a 35 años (n=13). Con las variables de peso y talla, se calculó el índice de masa corporal (IMC) y se codificó como variable categórica de acuerdo al criterio de clasificación de la OMS (1998): bajo peso (<18.5), peso normal (18.5-24.9), sobrepeso (25-29.9), obesidad clase I (30-34.9), obesidad clase II (35-39.9), obesidad clase III (≥ 40).

El primer acercamiento a las variables estudiadas fue a través de los estadísticos descriptivos; media, desviación estándar, valor mínimo y máximo de cada variable. Posterior a ellos, se valoró si existía o no homocedasticidad en las varianzas de las variables con la *Prueba de Levene*, y se asignó el valor $\alpha = 0.05$ para estimar la significancia estadística.

En adelante, se eligió un análisis de comparación de medias; *Prueba t-Student* o ANOVA, según se cumplieran los criterios para cada prueba. Asimismo, se estudió la asociación entre el tamaño del cuerpo calloso y la talla, calculando el coeficiente de correlación de Pearson o valor R, para medir cuán fuerte resultaba la relación lineal entre la variable talla y la variable área total del cuerpo calloso. Bajo el interés de estimar que tan conveniente sería hacer un ajuste lineal para explicar una variable a partir de la otra.

Por último, se utilizaron medidas de posición como estrategias de análisis para la agrupación de datos; la primera estrategia consistió en dividir por cuartiles la variable talla en los 153 participantes del estudio. La segunda estrategia, estribó en calcular el puntaje Z, para estandarizar la variable del área del cuerpo calloso del grupo estudio en relación al área del cuerpo calloso del grupo de referencia.



4.1 Resultados

En este apartado se expone la resolución de los tres objetivos específicos, planteados por el presente estudio. El primer objetivo específico, consistió en estimar las dimensiones del cuerpo calloso a través de las imágenes de resonancia magnética en modalidad *T1-weighted* y mediante la técnica de medición Witelson (1989), en el grupo de participantes elegidos del proyecto LEMON. La resolución de ese objetivo permitió conocer los valores para el área total y por segmentos del cuerpo calloso (tamaño). Posteriormente, el área del cuerpo calloso (tamaño) de cada uno de los participantes, se trasladó como la variable dependiente para los análisis estadísticos aquí presentados.

El segundo objetivo específico, estipulaba efectuar un análisis para visualizar cómo las variables edad, sexo, talla, índice de masa corporal (IMC) y preferencia manual, podían influir en la variación del área total y por segmentos del cuerpo calloso. Este punto, requirió aplicar pruebas estadísticas inferenciales para identificar la contribución de los componentes biológicos a la variabilidad en el tamaño del cuerpo calloso.

En consecuencia, para el análisis estadístico del segundo objetivo específico, los componentes biológicos de interés fueron traducidos como variables independientes y posteriormente, de acuerdo las características por agrupación se aplicaron pruebas de hipótesis: t-Student (en adelante, abreviadas como prueba t) para el IMC y el sexo, y ANOVA para la preferencia manual y los rangos de edad. También, se realizó un modelo de regresión lineal entre la talla y el tamaño del cuerpo calloso. Al cierre de ese apartado, se dividió la serie de datos en cuartiles para identificar de qué forma la talla podía modificar las diferencias reportadas por la variable sexo.

Para el tercer objetivo específico, se implementó una prueba t para contrastar las medias del área anterior del cuerpo calloso de los adultos alemanes músicos, frente a los adultos alemanes no músicos. Recordando que sobre ese objetivo, se estableció la hipótesis de la plasticidad en el desarrollo que fungió como eje para el diseño del presente estudio.

Se reitera que adicionalmente a la resolución del tercer objetivo, previo a la aplicación de la prueba t, se excluyó a los 20 participantes (18 individuos zurdos y 2 ambidiestros), ya que, los 21 músicos profesionales se reportaron como diestros. Sin embargo e independiente que los resultados aquí presentados se ajustaron a esa resolución técnica; se anota que al realizar las mismas pruebas dejando a esos 20 participantes, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas. Asimismo, para facilitar los comparativos entre el grupo de estudio (n=133) y el grupo de referencia (n=21), se transformaron los valores de la variable dependiente a puntajes Z.

Por último, se señala que los resultados aquí presentados, únicamente muestran relaciones estadísticas para dar respuesta a los objetivos del estudio, por lo que su interpretación se encuentra acotada a las estrategias de análisis implementadas para resolver el problema de investigación planteado.

a) Estadísticas descriptivas del grupo de estudio

A continuación se presentan los valores de tendencia central (media) y dispersión (desviación estándar) para las variables de peso y talla, agrupadas por sexo y edad, en los 153 participantes del proyecto LEMON. En la tabla 4.1 se muestra la composición por grupos de edad, los adultos en el rango de 20 a 30 años, representan el 90% de los participantes del estudio; en tanto que el 51% pertenecen al grupo de edad de 20 a 25 años, mientras que los participantes en edades de 31 a 35 años corresponden al 8% del grupo de estudio.

Tabla 4.1 Agrupación por edad y sexo para la variable peso y talla, en el grupo de estudio.

Edad (años)	Hombres				Mujeres				Total	
	n	Porcentaje	Talla (cm)	Peso (Kg)	n	Porcentaje	Talla (cm)	Peso (Kg)	n	Porcentaje
20-25	54	50	182.4 ± 7.26	75.9 ± 9.85	25	55.5	167.4 ± 7.59	63.01 ± 11.73	79	51.5
26-30	47	43.5	179.59 ± 8.04	77.59 ± 12.83	14	31	168.77 ± 9.11	64.40 ± 9.34	61	40
31-35	7	6.5	176.75 ± 10.44	76.6 ± 5.42	6	13.5	167.56 ± 3.47	60.55 ± 4.14	13	8.5
Total	108	100			45	100			153	100

Fuente: Elaboración propia a partir de la base de datos

La segunda consideración, es el cumplimiento de una composición aproximada por sexo de 70% hombres y 30% mujeres, requisito establecido en el diseño de investigación; sobre esta consideración, vale reiterar que el requisito de composición aproximada por sexo descansa en el interés de comparar el grupo de participantes del proyecto LEMON con el grupo estudiado por Schlaug (1995).

Por otro lado, la tabla 4.2 muestra el porcentaje y recuento, para describir la distribución de los participantes del grupo LEMON, de acuerdo a la variable categórica de preferencia manual agrupada por sexo y edad. En contraste al reporte de preferencia manual de los músicos, en el grupo LEMON la variable de preferencia manual fue obtenida a través de “*The Edinburgh Handedness Questionnaire*” (Oldfield, 1971).

Tabla 4.2 Agrupación de los participantes por edad y sexo en relación a su preferencia manual,

Edad (años)	Sexo	Preferencia manual		
		Diestro	Zurdo	Ambidiestro
20-25	Mujeres	23	1	1
	Hombres	45	9	0
26-30	Mujeres	11	2	1
	Hombres	41	6	0
31-35	Mujeres	6	0	0
	Hombres	7	0	0
Total		133	18	2

Fuente: Elaboración propia a partir de la base de datos

La tabla 4.2 permite apreciar que dentro del grupo de estudio los participantes diestros representan el 87%, los zurdos el 12% y los ambidiestros el 1%, de la composición total del estudio.

Como se señaló en el enfoque teórico, en general un índice de masa corporal elevado se ha vinculado con una menor difusividad en las fibras nerviosas del cuerpo caloso (proyecciones de tractos que viajan entre los hemisferios) (Bolzenius, et al. 2015), por ejemplo, se ha reportado que la integridad de la sustancia blanca se puede ver alterada en individuos con un IMC ≥ 25 (Xu, et al. 2013). Así, bajo el interés de encontrar una posible relación entre obesidad y modificaciones neuroanatómicas se estimó el índice de masa corporal de los participantes.

En la tabla 4.3 se muestra la distribución del índice de masa corporal agrupado por edad y sexo, en los participantes del estudio. Como se enlista, 116 de los participantes (76%) se encuentran con peso normal (18.5-24.9) y 37 participantes (24%) tienen sobrepeso (25-29.9). Asimismo, se aprecia que no hay participantes con obesidad en el grupo de estudio.

Tabla 4.3 Agrupación de los participantes por edad y sexo, en relación a su IMC.

Grupos de edad (años)	Mujeres		Hombres	
	Peso normal	Sobrepeso	Peso normal	Sobrepeso
20-25	18	7	44	10
26-30	12	2	32	15
31-35	6	0	4	3
Total	36	9	80	28

Fuente: Elaboración propia a partir de la base de datos

4.2 Resolución del segundo objetivo específico del estudio

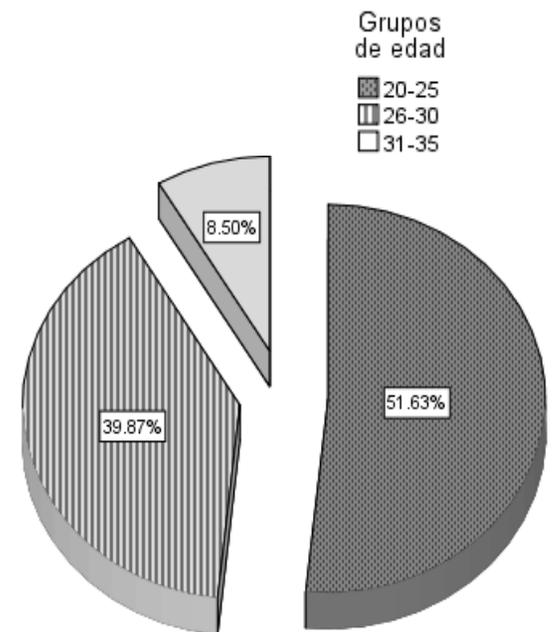
El segundo objetivo específico, planteó que las variables sexo, edad, talla, índice de masa corporal y preferencia manual podrían influir en la variación de las dimensiones del cuerpo caloso, en el grupo de estudio. Para la resolución de dicha tarea, se presentan las siguientes láminas que resumen los análisis efectuados:

a) Lámina I. Análisis del área total del cuerpo calloso por grupo de edad

Grupos de edad	n	Media (mm ²)	Desviación estándar (mm ²)	Error estándar	95% del intervalo de confianza para la media		Mínimo (mm ²)	Máximo (mm ²)
					Límite inferior	Límite superior		
20-25	79	680.1901	94.97481	10.68550	658.9169	701.4633	489.67	954.11
26-30	61	671.1546	100.16441	12.82474	645.5013	696.8079	475.89	897.48
31-35	13	688.8408	88.94331	24.66844	635.0929	742.5887	553.58	829.26
Total	153	677.3227	96.14877	7.77317	661.9653	692.6801	475.89	954.11

ANOVA					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	4694.986	2	2347.493	.251	.778
Dentro de grupos	1400482.202	150	9336.548		
Total	1405177.188	152			

La prueba de ANOVA mostró que las diferencias por grupo de edad en el área del cuerpo calloso no fueron estadísticamente significativas ($p=0.778$, $\alpha= 0.05$) en el grupo de estudio. La ausencia de diferencias entre edades podría sugerir que no habría modificaciones considerables entre los 20 y 35 años.

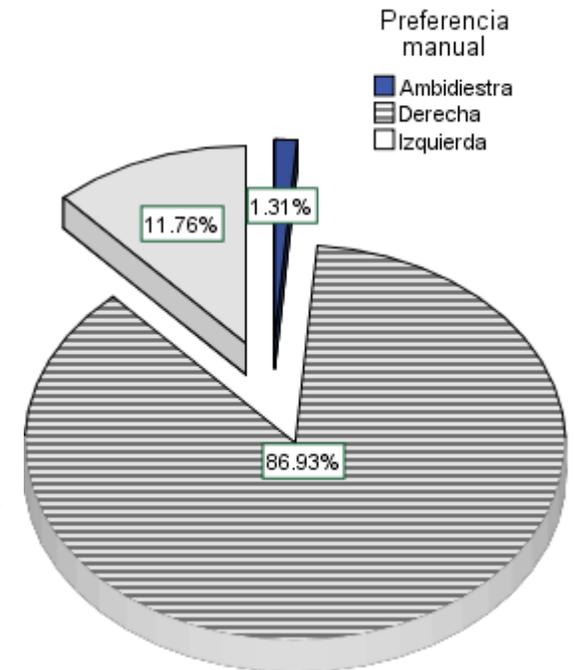


b) Lámina II. Análisis del área total del cuerpo caloso por preferencia manual

Preferencia manual	n	Media (mm ²)	Desviación estándar (mm ²)	Error estándar	95% del intervalo de confianza para la media		Mínimo (mm ²)	Máximo (mm ²)
					Límite inferior	Límite superior		
Diestro	133	681.9280	95.68226	8.29670	665.5163	698.3397	475.89	954.11
Zurdo	18	650.9244	100.55432	23.70088	600.9200	700.9289	506.21	795.87
Ambidiestro	2	608.6550	4.46184	3.15500	568.5669	648.7431	605.50	611.81
Total	153	677.3227	96.14877	7.77317	661.9653	692.6801	475.89	954.11

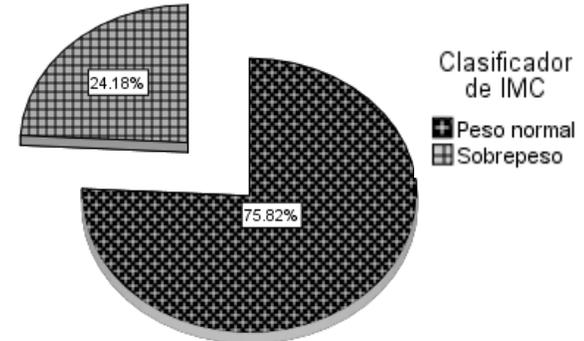
ANOVA					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	24794.952	2	12397.476	1.347	.263
Dentro de grupos	1380382.236	150	9202.548		
Total	1405177.188	152			

La prueba de ANOVA para el área del cuerpo caloso mostró que las diferencias entre grupos por preferencia manual no fueron estadísticamente significativas ($p=0.263$, $\alpha=0.05$) en el grupo de estudio. La condición de preferencia manual no parece influir en las dimensiones del área total del cuerpo caloso.



c) Lámina III. Análisis del área total del cuerpo calloso por categoría del índice de masa corporal

Índice de masa corporal		n	Media (mm ²)	Desviación estándar (mm ²)	Media de error estándar
Área total del cuerpo calloso	Peso normal	116	674.9721	98.30303	9.12721
	Sobrepeso	37	684.6924	89.94222	14.78641

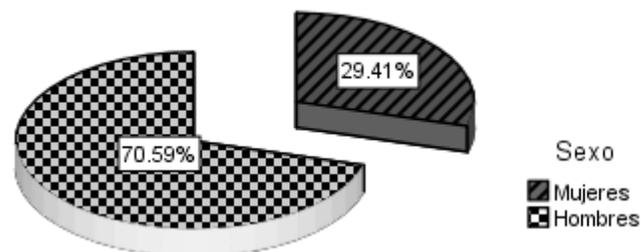


Índice de masa corporal		Prueba de Levene de igualdad de varianzas		Prueba t para la igualdad de medias						
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
									Inferior	Superior
Área total del cuerpo calloso	Se asumen varianzas iguales	.920	.339	-.534	151	.594	-9.72036	18.19629	-45.67258	26.23185
	No se asumen varianzas iguales			-.559	65.675	.578	-9.72036	17.37653	-44.41693	24.97620

La comparación de las dimensiones del cuerpo calloso por categoría de IMC (peso normal y sobrepeso) para la Prueba t no resultó ser estadísticamente significativa ($p=0.594$, $\alpha=0.05$). Por tanto, tener sobrepeso o peso normal, no parece influir en las dimensiones del área total del cuerpo calloso.

d) Lámina IV. Análisis del área total del cuerpo calloso por sexo

Sexo		n	Media	Desviación estándar	Media de error estándar
Área total del cuerpo calloso	Mujeres	45	649.0431	86.08945	12.83346
	Hombres	108	689.1059	98.02215	9.43219



Sexo		Prueba de Levene de igualdad de varianzas		Prueba t para la igualdad de medias						
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
									Inferior	Superior
Área total del cuerpo calloso	Se asumen varianzas iguales	.726	.396	-2.384	151	.018	-40.06281	16.80272	-73.26161	-6.86402
	No se asumen varianzas iguales			-2.515	93.192	.014	-40.06281	15.92683	-71.68947	-8.43616

La comparación de las dimensiones del área total del cuerpo calloso mostró que las diferencias observadas entre sexos para la Prueba t fueron estadísticamente significativas ($p= 0.018$, $\alpha= 0.05$). Este resultado sugiere que el sexo influye en la variación en el área total del cuerpo calloso.

e) Lámina V. Análisis del área total del cuerpo calloso en relación a la talla

Variables	Media	Desviación estándar	N
Talla (cm)	177.0000	9.81341	153
Área total del cuerpo calloso (mm ²)	677.3227	96.14877	153

Modelo	Coefficiente de correlación de Pearson o valor R	Coefficiente de determinación o R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
1	.193 ^a	.037	.031	94.66113

a. Predictores: (Constante), Talla (cm)

ANOVA ^a						
Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	52107.028	1	52107.028	5.815	.017 ^b
	Residuo	1353070.160	151	8960.730		
	Total	1405177.188	152			

a. Variable dependiente: Área total del cuerpo calloso (mm²)

b. Predictores: (Constante), Talla (cm)

Coeficientes ^a						
Modelo		Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
		B	Error estándar	Beta		
1	(Constante)	343.374	138.696		2.476	.014
	Talla (cm)	1.887	.782	.193	2.411	.017

a. Variable dependiente: Área total del cuerpo calloso (mm²)

Como sabemos, el coeficiente de correlación de Pearson o valor R, ofrece una medida sobre qué tan fuerte resulta una relación lineal entre dos variables, en este caso; la talla y el área total del cuerpo calloso. El análisis de este valor, permite ver que tan conveniente sería hacer un ajuste lineal para explicar una variable a partir de la otra. Para el caso que ocupa este ejercicio vemos que el valor R (0.193) es lejano al uno, es decir; hay una baja correlación lineal entre las variables de talla y área total del cuerpo calloso, sin embargo, el nivel de significancia arrojado (0.017) por la prueba ANOVA es menor a (0.05), por lo tanto, se puede asumir que sí existe una correlación positiva, y que ambas variables están linealmente relacionadas.

El siguiente valor por analizar es el coeficiente de determinación o R^2 , este expresa la proporción de la varianza de la variable dependiente *-en este caso el área total del cuerpo calloso-*, que puede ser explicada por la variable independiente *-en este caso la talla-*. En el modelo aquí presentado, la R^2 indica que el 3.7% de la variación en el área total del cuerpo calloso estaría explicada por la talla.

El último cajón de la lámina V, muestra los coeficientes de la recta de regresión lineal; el coeficiente correspondiente al valor “constante” refiere el origen de la recta de regresión (343.37), mientras que el coeficiente correspondiente al valor “talla (cm)” refiere a la pendiente de la recta de regresión (1.887). El valor de la pendiente indica el cambio medio que corresponde al área total del cuerpo calloso por cada unidad de cambio en la talla, así, de acuerdo a este modelo tendríamos la siguiente ecuación de regresión:

$$y = a + bx$$

Donde:

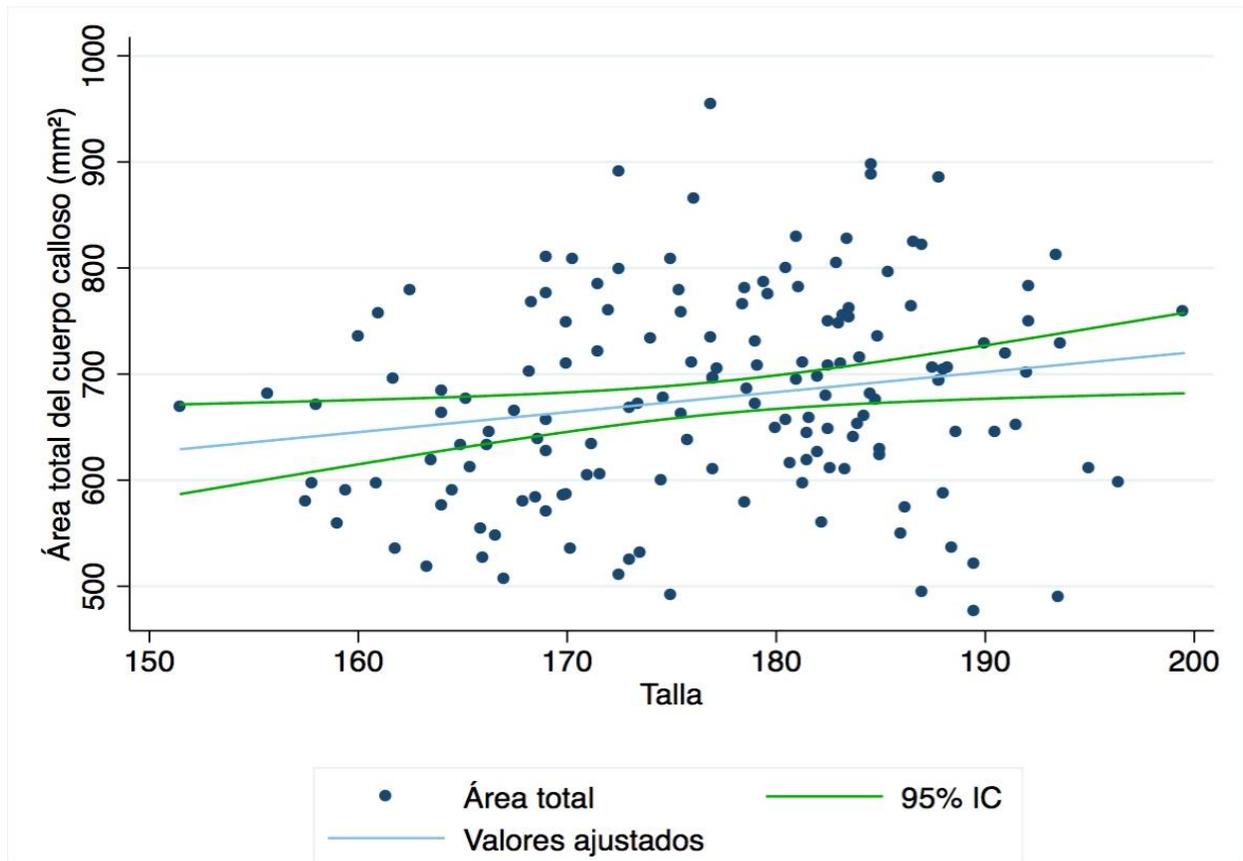
y= área total del cuerpo calloso

a= 343.37 (constante)

bx= 1.887 (coeficiente correspondiente a la Talla)

$$y = 343.37 + 1.887x$$

Gráfica 4.1 Regresión lineal entre el área del cuerpo calloso y la talla



Fuente: Elaboración propia a partir de base de datos.

El siguiente ejercicio consistió en calcular el coeficiente de correlación entre la talla y los distintos segmentos del cuerpo calloso. En general, al aplicar el análisis sobre los segmentos anteriores las correlaciones resultaron bajas, sin embargo, al probar el modelo en las subáreas A5-A7, se encontró que el valor R (0.245) era el más alto respecto a las otras combinaciones probadas -*pese a que también reflejó una correlación lineal débil*-, el valor obtenido por la prueba ANOVA (0.002) resultó ser estadísticamente significativo y bajo esta aproximación la R^2 mostró que el 6% de la variación en el área media posterior del cuerpo calloso estaría explicada por la talla. Por tanto, se concluyó que en comparación a otras subáreas la parte media posterior del cuerpo calloso (A5-A7) guarda una mayor correlación con la talla (tabla 4.4).

Tabla 4.4 Análisis de correlación lineal entre el área media posterior del cuerpo caloso y la talla

Modelo	Coefficiente de correlación de Pearson o valor R	Coefficiente de determinación o R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
A5A7	.245 ^a	.060	.054	48.93291

a. Predictores: (Constante), Talla (cm)

ANOVA ^a						
Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
A5A7	Regresión	23019.258	1	23019.258	9.614	.002 ^b
	Residuo	361558.820	151	2394.429		
	Total	384578.078	152			

a. Variable dependiente: Área media posterior del cuerpo caloso A5A7 (mm²)

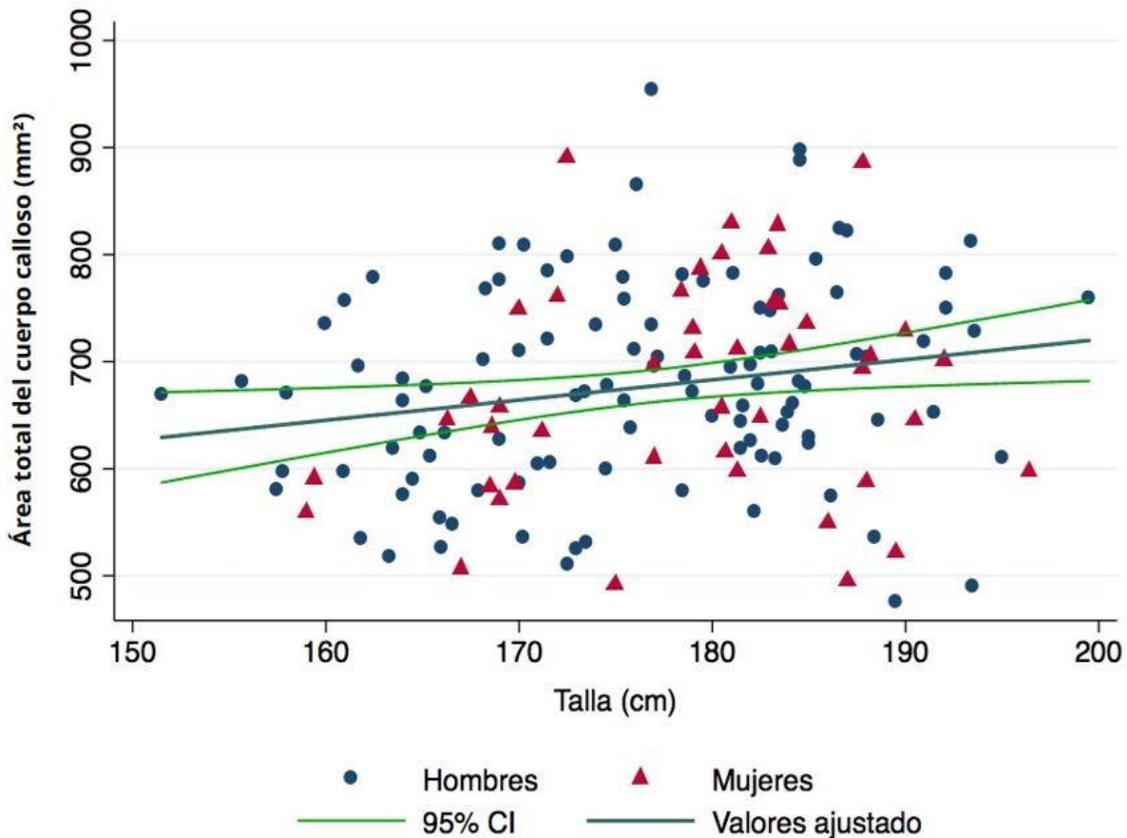
b. Predictores: (Constante), Talla (cm)

Fuente: Elaboración propia a partir de base de datos.

Una vez identificada dicha particularidad entre la talla y las distintas subáreas del cuerpo caloso, se consideró conveniente visualizar el comportamiento de la regresión lineal entre el área total del cuerpo caloso y la talla, en relación a la distribución por sexos³⁶. Bajo ese objetivo, se generó el gráfico 4.2 combinando ambas características:

³⁶ Sobre este punto, es importante mencionar que mediante la prueba t se identificó, que las diferencias entre las medias de la talla entre los hombres y las mujeres, eran estadísticamente significativas ($p= 0.000$, $\alpha= 0.05$).

Gráfica 4.2 Regresión lineal del área total del cuerpo calloso y la talla con distribución por sexos



Fuente: Elaboración propia a partir de base de datos.

La gráfica 4.2 permite apreciar que la distribución del tamaño del cuerpo calloso es visualmente homogénea entre sexos. Bajo esa consideración, se optó por separar hombres y mujeres, para emplear medidas de posición sobre la variable talla, así, en cada grupo se identificaron los tres valores que ordenadamente dividían en cuatro partes iguales los datos. Posteriormente, se construyó la variable talla agrupada por cuartiles e integrada por sexos; para esta tarea se estableció combinar al 25% de los hombres y al 25% de las mujeres que tenían la talla más baja, luego, se avanzó con la misma estrategia combinatoria por sexo en los tres grupos subsecuentes, así, al llegar al cuarto y último grupo la combinación integró al 25% de los hombres y al 25% de las mujeres con los mayores valores de talla.

f) Lámina VI. Análisis del área total del cuerpo calloso entre sexos, controlado por talla

Sexo	Talla (cm)			
	Cuartil 1	Cuartil 2	Cuartil 3	Cuartil 4
Mujer	<162.99	163 ≥ <166.19	166.2 ≥ <172.49	>172.50
Hombre	< 175.57	175.58 ≥ <181.99	182 ≥ <186.14	>186.15

	Sexo		Talla	Área total del cuerpo calloso
	Mujer	Hombre	Media (cm)	Media (mm ²)
Cuartil 1 (n=38)	11	27	166.8 ± 6.4	654.6 ± 95.2
Cuartil 2 (n=40)	12	28	175 ± 7	682 ± 91.3
Cuartil 3 (n=38)	12	26	179.5 ± 6.4	700.8 ± 94.6
Cuartil 4 (n=37)	10	27	187 ± 6.6	671.2 ± 101.4

ANOVA					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	42871.420	3	14290.473	1.563	.201
Dentro de grupos	1362305.768	149	9142.992		
Total	1405177.188	152			

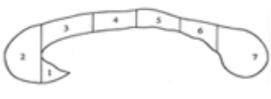
La prueba de ANOVA para el área del cuerpo calloso mostró que no hay diferencia estadísticamente significativa ($p=0.201$, $\alpha= 0.05$), entre los grupos de participantes ordenados en cuartiles de talla. Por tanto, la integración de hombres y mujeres, agrupados por cuartiles de talla, expone que las diferencias observadas entre sexos anteriormente reportadas por la prueba t como significativas, no son consistentes cuando la variable talla ordena al grupo de participantes. No obstante, es importante señalar que si bien en este grupo de estudio la variable talla ajusta

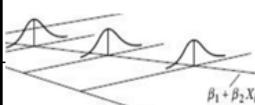
las dimensiones del cuerpo calloso de hombres y mujeres, convendría ampliar el número de participantes por sexo para corroborar esta apreciación.

4.3. Resolución del tercer objetivo específico del estudio

El tercer objetivo planteó contrastar las dimensiones del área media anterior del cuerpo calloso en el grupo seleccionado del proyecto LEMON, con las reportadas en el grupo de referencia (Schlaug et al. 1995), para lo cual se aplicó la prueba t para igualdad de medias, adicionalmente, se contrastó el área total (A1-A7) y el segmento medio posterior (subáreas A5-A7).

Tabla 4.5 Análisis de tamaño del cuerpo calloso entre los grupos de estudio

Comparativo entre grupos						
	Grupo LEMON			Grupo (Schlaug, et al. 1995)		
	N	Media (mm ²)	Desviación estándar (mm ²)	N	Media (mm ²)	Desviación estándar (mm ²)
Área total del cuerpo calloso (mm ²)	133	682	95.68	21	709	81
Área media anterior del cuerpo calloso A1-A4 (mm ²)		364	53		384	42
Área media posterior del cuerpo calloso A5-A7 (mm ²)		318	49		321	44

Prueba t para la igualdad de medias						
	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
					Inferior	Superior
Área total del cuerpo calloso (mm ²)	-3.263	132	.001	-27.07195	-43.4837	-10.6603
Área media anterior del cuerpo calloso A1-A4 (mm ²)	-4.332	132	.000	-19.99436	-29.1238	-10.8649
Área media posterior del cuerpo calloso A5-A7 (mm ²)	-.787	132	.433	-3.35707	-11.7942	5.0800

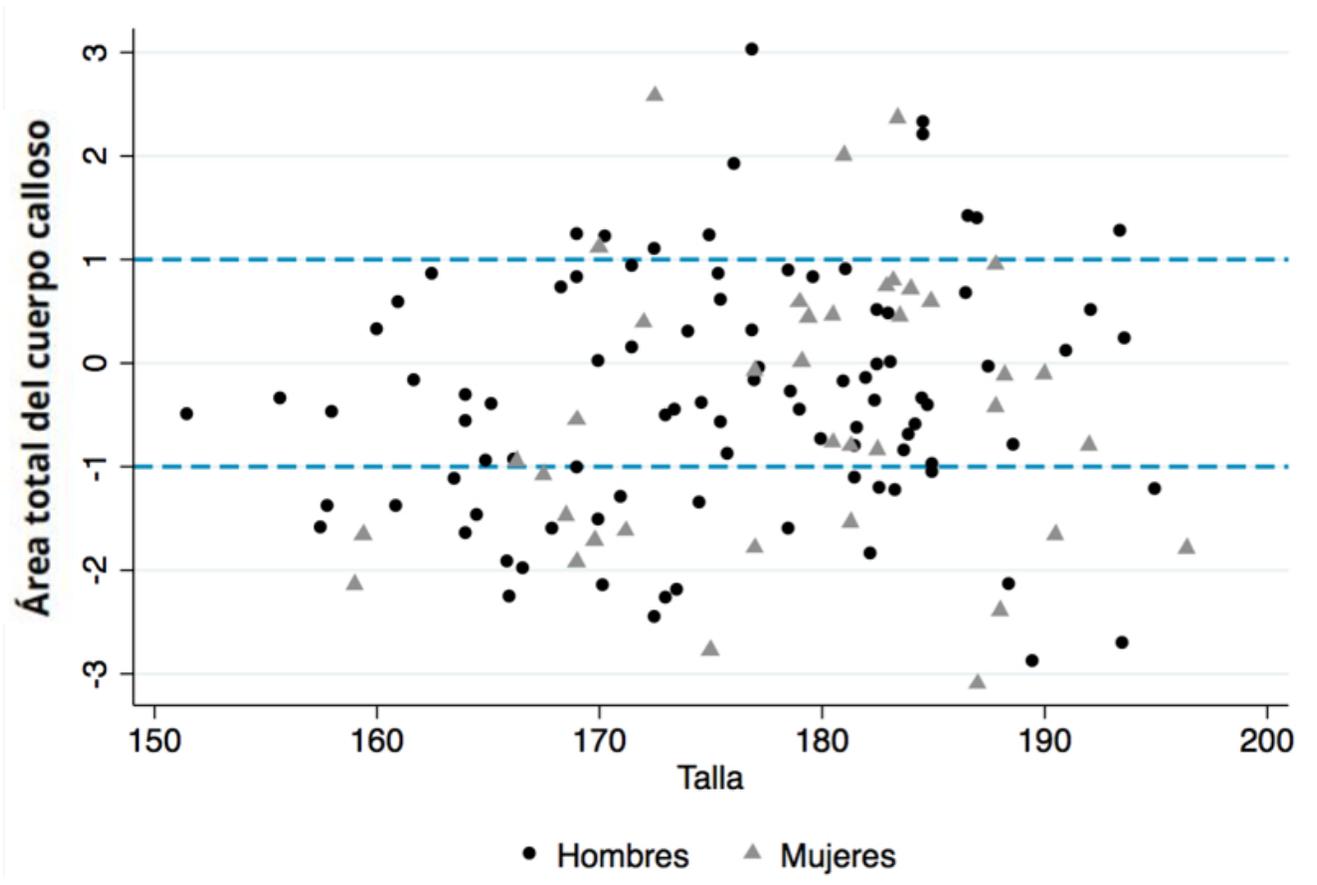
Fuente: Elaboración propia a partir de la base de datos

Interpretaciones:

1. Los resultados de la Prueba t para la comparación de medias del área total del cuerpo calloso, mostraron que la diferencia entre grupos es estadísticamente significativa ($p=0.001$, $\alpha= 0.05$). Las dimensiones del área total son mayores en el grupo de músicos profesionales estudiados por Schlaug y colaboradores (1995) que en el grupo del presente estudio.
2. La comparación del área media anterior del cuerpo calloso, para la Prueba t mostró que la diferencia entre grupos es estadísticamente significativa ($p=0.000$, $\alpha= 0.05$). Las dimensiones del área media anterior son mayores en el grupo de músicos profesionales estudiados por Schlaug y colaboradores (1995) que en el grupo del presente estudio.
3. La comparación del área media posterior del cuerpo calloso para la Prueba t mostró que la diferencia entre grupos no es estadísticamente significativa ($p=0.433$, $\alpha= 0.05$), por tanto, las dimensiones en el grupo del presente estudio son menores que en el grupo de músicos profesionales estudiados por Schlaug y colaboradores (1995).

Para facilitar la comparación de los valores del área del cuerpo calloso entre el grupo de estudio ($n=133$) y el grupo de referencia ($n=21$), se estimó el puntaje Z para estandarizarlos. Esta estrategia de análisis permitió centrar la variable del tamaño del cuerpo calloso de los participantes no músicos con respecto a los valores del área del cuerpo calloso de los músicos profesionales. Los resultados se presentan en las siguientes gráficas:

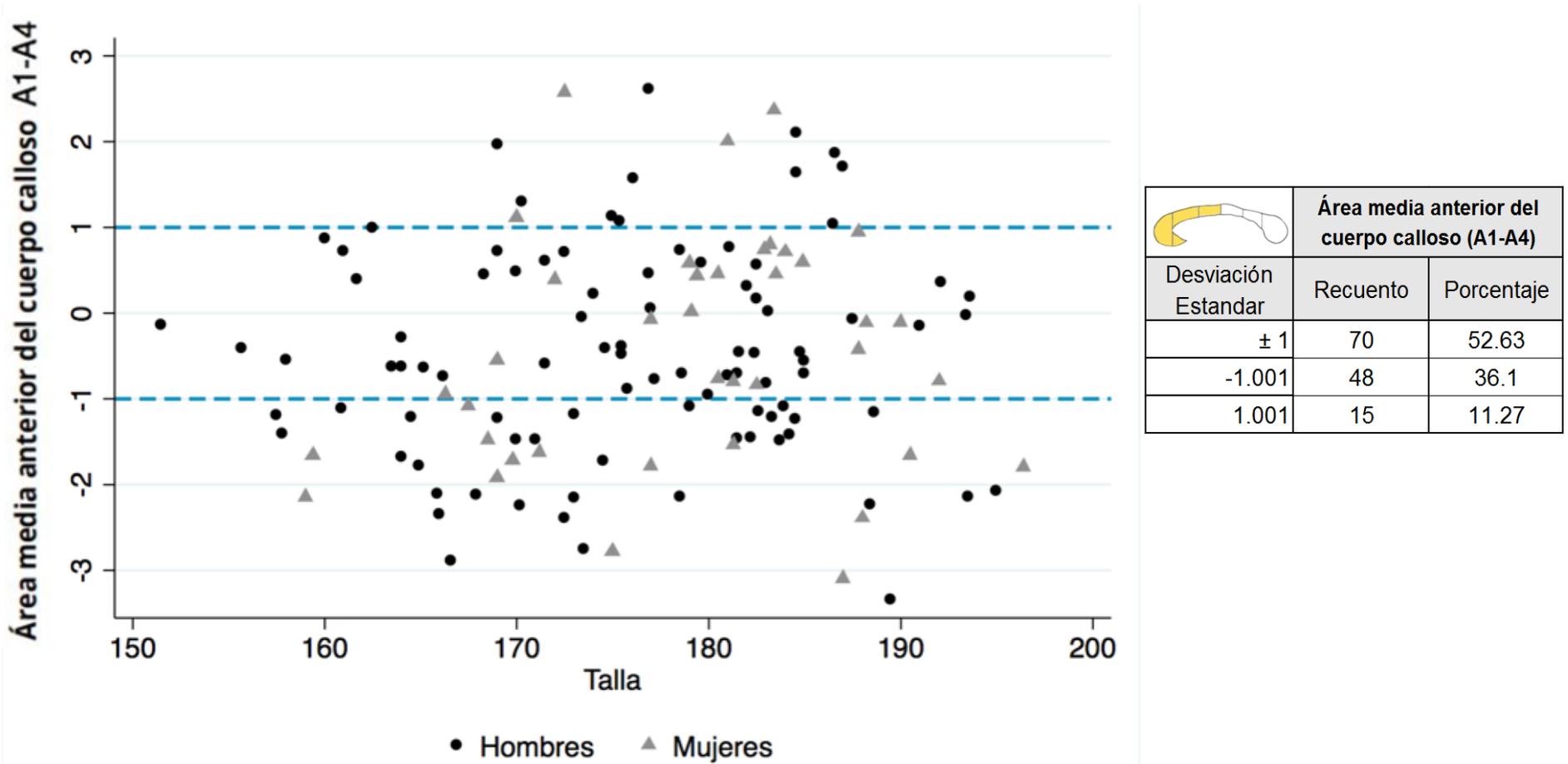
Gráfica 4.3. Distribución del área total del cuerpo calloso en participantes del proyecto LEMON, estandarizada de acuerdo a los datos de Schlaug et al. 1995



	Área total del cuerpo calloso (A1-A7)		
	Desviación Estandar	Recuento	Porcentaje
	± 1	77	57.90
	-1.001	39	29.32
	1.001	17	12.78

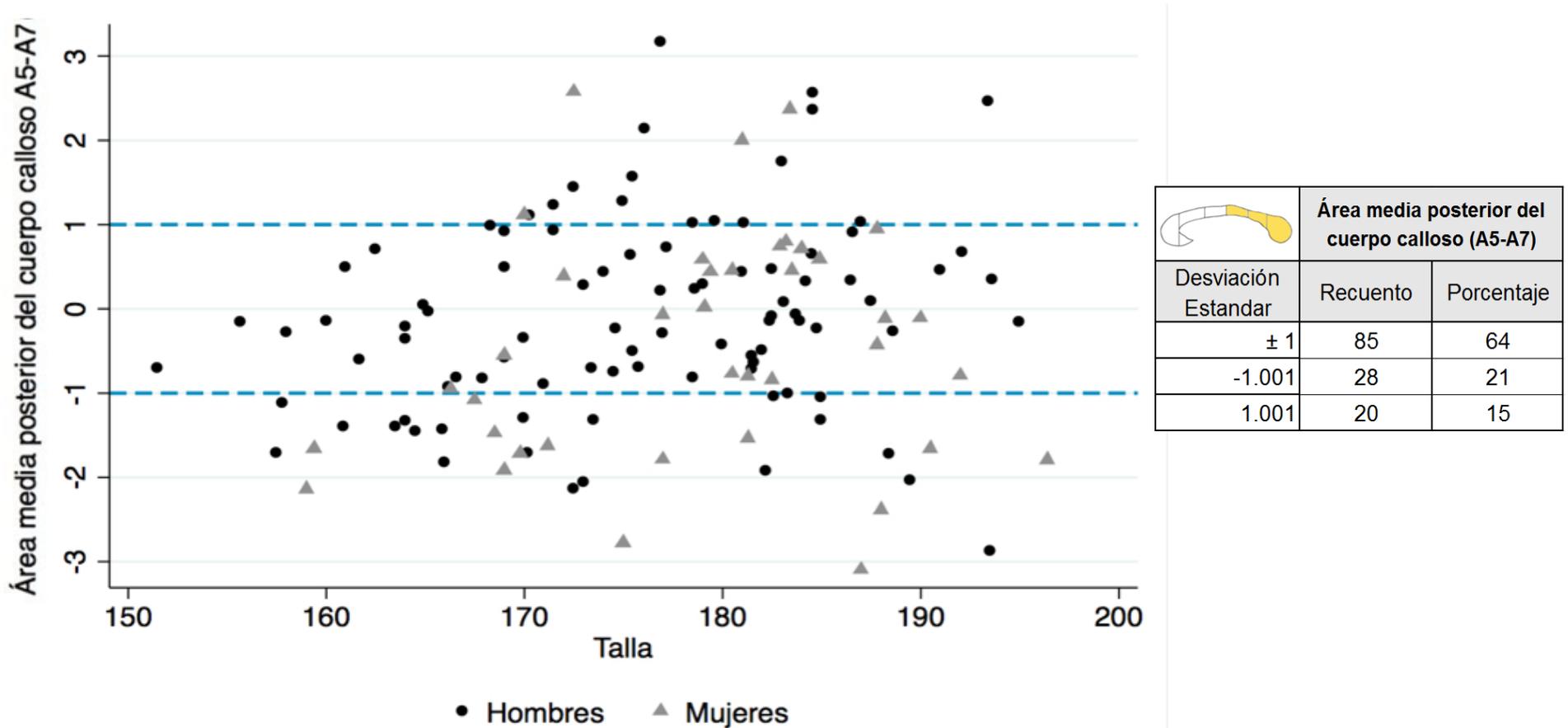
Fuente: Elaboración propia a partir de base de datos

Gráfica 4.4. Distribución del área media anterior del cuerpo calloso en participantes del proyecto LEMON, estandarizada de acuerdo a los datos de Schlaug et al. 1995



Fuente: Elaboración propia a partir de base de datos

Gráfica 4.5 Distribución del área media posterior del cuerpo calloso en participantes del proyecto LEMON, estandarizada de acuerdo a los datos de Schlaug et al. 1995



Fuente: Elaboración propia a partir de base de datos

El puntaje Z, únicamente es otra forma de aproximarse a la descripción de la variabilidad del tamaño del cuerpo calloso entre el grupo de estudio (n=133) y el grupo de referencia (n=21). Así, como se puede apreciar al calcular las distancias entre los datos, se obtuvo el porcentaje o la proporción de los participantes del grupo de estudio que se encuentran a más-menos una desviación estándar, a menos una desviación estándar y a más una desviación estándar, en relación al grupo de referencia.

La gráfica 4.3 presenta la distribución de puntaje Z del área total del cuerpo calloso en el grupo de estudio (n=133), en ella se puede apreciar que el 29.32% de los participantes del grupo de estudio se encuentra por debajo de una desviación estándar en comparación al grupo de referencia (n=21). En contraste, solo el 12.78% de los adultos alemanes no músicos, se agrupan por arriba de una desviación estándar del área total del cuerpo calloso de los pianistas y tañedores de cuerdas profesionales.

Al comparar el porcentaje de individuos agrupados a más una desviación estándar entre la gráfica 4.3 y la gráfica 4.4, vemos que sus porcentajes son proporcionalmente semejantes: 11.27% y 12.78%, respectivamente. Sin embargo, al comparar el porcentaje de individuos a menos una desviación estándar entre ambas gráficas el panorama cambia: la gráfica 4.3 coloca al 29.32% de los participantes y la gráfica 4.4 coloca al 36.1% de los participantes. Esto indica que las diferencias entre el tamaño del cuerpo calloso de los músicos respecto a los no músicos, radican principalmente en el segmento medio anterior (A1-A4).

Asimismo, al analizar la gráfica 4.5 se aprecia que el 64% de los participantes pertenecientes al grupo de estudio, se encuentran a más-menos una desviación estándar, eso quiere decir que las dimensiones del segmento medio posterior (A5-A7) de los adultos no músicos (n=133) son muy semejantes respecto a las de los pianistas y tañedores de cuerdas profesionales, quienes iniciaron su entrenamiento musical antes de los siete años de edad.

La utilidad de este ejercicio reside en mostrar que si bien la variabilidad en el tamaño del cuerpo calloso entre ambos grupos es amplia, hay una particularidad importante; al comparar el segmento anterior del cuerpo calloso (A1-A4), se aprecia

que hay una mayor proporción de individuos no músicos que caen por debajo de una desviación estándar en relación a los músicos profesionales. En ese sentido, se podría decir que uno de cada tres alemanes no músicos está a menos una desviación estándar respecto a los datos de Schlaug y colaboradores (1995). Esto permite explicar mediante proporciones por qué para ese segmento del cuerpo calloso la prueba de comparativo de medias, arrojó diferencias estadísticamente significativas.

Por último, es conveniente señalar que aunque habría sido interesante obtener los valores Z por sexo, en el grupo de referencia (n=21) no se reportan los datos desagregados por sexo, por lo que en futuras investigaciones valdría la pena realizar esa estimación.



5.1. Discusión

El presente estudio estuvo dirigido a mostrar que la variabilidad en el tamaño del cuerpo calloso se encuentra vinculada a componentes biológicos y culturales que permiten discutir interpretaciones sobre su significado. De manera que este apartado expone la discusión de los cinco componentes biológicos propuestos para el estudio de la variabilidad en el tamaño del cuerpo calloso en el grupo de estudio, bajo el orden en el que aparecen en las láminas de resultados. El componente cultural, es abordado al cierre del apartado.

a) Ausencia de diferencias entre el tamaño del cuerpo calloso y los grupos de edad

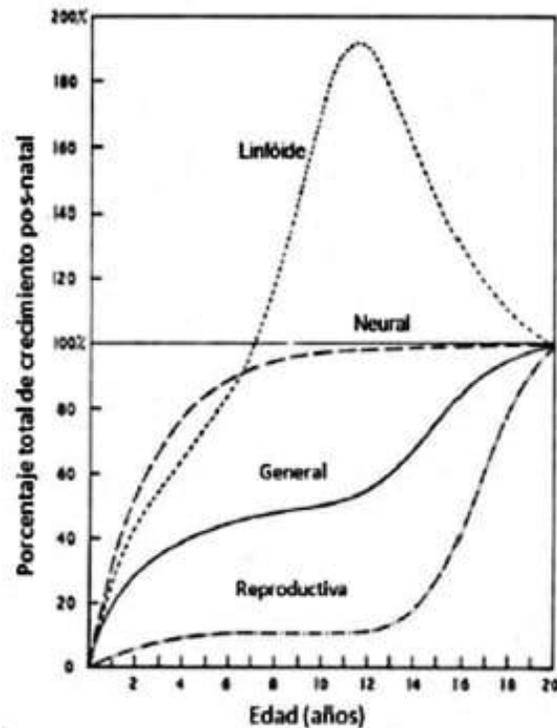
Respecto a los resultados presentados en la lámina I. “Análisis del área total del cuerpo calloso por grupo de edad”, convendría señalar que el supuesto del que partió el estudio fue que la variable edad, no presentaría diferencias estadísticamente significativas entre los tres grupos de edad, ya que el diseño del estudio se formuló desde un marco ontogenético que ajustaba a ese escenario:

- (i) Cuando un estudio tiene como interés medir diferencias o cambios en cualquier estructura anatómica, se debe de considerar que existe un patrón de crecimiento específico para cada región corporal, cuyas características se resumen en las curvas de crecimiento, por lo que es necesario tener presente las características de los procesos de crecimiento en la evaluación del tamaño de las estructuras a medir.
- (ii) El crecimiento en la región cefálica se completa hacia los 20 años de edad, como se observa en la curva de crecimiento neural descrita en el texto de Scammon (1930). Por tanto, en términos biológicos incluir individuos con una edad de 20 años en adelante supone que los participantes habrían alcanzado las dimensiones adultas.
- (iii) En consideración a lo anterior, se pronosticaría que a partir de la edad de 20 años el tamaño alcanzado por el cerebro y sus estructuras internas, se mantendría sin modificaciones hasta el inicio de los procesos propios del

envejecimiento; caracterizados por el adelgazamiento de segmentos - como el rostro y esplenio- del cuerpo calloso, señalados en algunas investigaciones a partir de la sexta década de la vida (Doraiswamy, et al, 1991., Johnson, et al, 1994., Ota, et al. 2006)

El argumento antes expuesto explicaría por qué las diferencias en las dimensiones del cuerpo calloso entre grupos de edad no resultaron estadísticamente significativas.

Figura 5.1 Curvas del crecimiento humano



Fuente: Traducido y adaptado de Scammon, R. E. (1930). The measurement of body in childhood. The measurement of man.

b) Ausencia de diferencias entre el tamaño del cuerpo calloso y la preferencia manual

Contrario al componente anterior, cuyo pronóstico era no encontrar diferencias por grupo de edad en el tamaño del cuerpo calloso, el supuesto del que se partió para esta variable fue que se observarían diferencias estadísticamente significativas en el tamaño del cuerpo calloso por la condición de la preferencia manual, ya que como se describe en el apartado de antecedentes:

“En el caso de los seres humanos el diseño del sistema nervioso es tal, que cada hemisferio cerebral recibe información principalmente de la mitad opuesta del cuerpo” (Springer, y Deutsch, 2001:38).

Bajo ese marco; el traslado de información somatosensorial entre lateralidades, indica que el cuerpo calloso juega un rol importante en integración de información y por tanto, tener una eficiencia operativa semejante con ambas manos (ser ambidiestro), ofrecería un argumento plausible sobre una influencia positiva para aumentar el tamaño del cuerpo calloso.

Adicionalmente, en el segundo apartado se comentó que el trabajo de Witelson (1985), publicado en la revista *Science*, popularizó la noción de que los zurdos y ambidiestros poseían un cuerpo calloso más grande. Aunque dicho hallazgo no ha logrado ser consistente con otras investigaciones: Anstey, et al.2007., Preuss, et al. 2002., Westerhausen., et al. 2004, por mencionar algunas, el artículo de Witelson sigue siendo un eco en el imaginario científico occidental.

Como ya se presentó en el apartado de resultados, en el grupo de estudio (n=153), la preferencia manual no reflejó diferencias estadísticamente significativas sobre el tamaño del cuerpo calloso. Una explicación probable es que esto se deba a la baja representatividad de participantes zurdos (n=18) y ambidiestros (n=2), en el estudio.

Sin embargo, para ofrecer argumentos sobre estos hallazgos contrarios al supuesto esperado, también podemos recurrir a cuestionar la metodología en la obtención de los datos, así, posiblemente el origen de las diferencias reportadas en

otros trabajo, estriban en cómo distintos cuestionarios estandarizados catalogan la preferencia manual.

En ese sentido, Denenberg y colaboradores (1991) en su discusión sobre los distintos procedimientos para estimar la preferencia manual, señalan que la discrepancia entre el estudio de Witelson (1989)³⁹, donde se reportó un mayor tamaño del cuerpo caloso de los zurdos y ambidiestros, frente al estudio de Kertesz y colaboradores (1987), que no encontró diferencias estadísticamente significativas entre tamaño del cuerpo caloso y la preferencia manual, podrían deberse a los criterios de clasificación:

“[Sobre la identificación de diferencias en el tamaño del cuerpo caloso entre zurdos y diestros] la valoración de preferencia manual de Witelson (1989) se basó en la calificación del desempeño conductual de los participantes en una escala de 12 ítems que no incluía la escritura, mientras que Kertesz (1987) usó las respuestas de un cuestionario con solo 5 ítems pero que incluían la escritura“ (Denenberg, 1991:131).

El análisis de Denenberg y colaboradores (1991), identificó que al correr los datos de Kertesz (1987) bajo los parámetros de Witelson (1989), las diferencias estadísticas anteriormente ausentes entre el tamaño del cuerpo caloso y la preferencia manual, aparecían súbitamente.

Esta contradicción sirve para visibilizar la existencia de un recoveco conceptual en la mayoría de los estudios dirigidos a la investigación de la lateralidad manual, donde la implementación de cuestionarios para clasificar a los sujetos en función a su preferencia manual refleja gradientes operativos. Por tanto, los criterios que perfectamente parecieran segmentar a los grupos en categorías exclusivas del tipo totalmente zurdo o totalmente diestro, realmente son resultado de puntajes obtenidos bajo diferentes cuestionarios estandarizados.

Por ejemplo bajo esa aproximación, los procesos constantes de una imposición de aprendizaje como la escritura o el cepillado de los dientes, pueden llevar a una

³⁹ En este caso la discusión se centra en que Witelson (1989) reportó que aquellos hombres que no clasificó como diestros, tienen el istmo del cuerpo caloso más grande en comparación con los hombres que clasificó como diestros.

persona zurda a ejecutar con eficiencia muchas tareas con la mano derecha y probablemente, bajo la aplicación de un cuestionario estandarizado esa persona podría ser catalogada como diestra. En ese sentido, la variabilidad en la clasificación sobre la preferencia manual, implica un sesgo metodológico que finaliza combinando a participantes entre gradientes operativos:

“Diferentes tipos de cuestionarios pueden dar lugar a clasificaciones distintas en el mismo grupo de sujetos. Así pues, no debería sorprendernos que experimentos que investigan los efectos de la condición diestro/zurdo produzcan a veces resultados contrapuestos” (Springer y Deutsch, 2001:111).

c) Ausencia de diferencias entre el tamaño del cuerpo caloso y el índice de masa corporal (IMC)

Al iniciar el diseño del estudio la revisión de fuentes indicó que la obesidad estaba asociada con el deterioro de la integridad en la sustancia blanca (Stanek, et al. 2011., Verstynen, et al.2012., Xu, et al. 2013), por tanto, resultó lógico dirigir el interés al índice de masa corporal (IMC). Sin embargo, dado que el estudio fue diseñado con la intención de comparar entre músicos (grupo de referencia) y no músicos (grupo de estudio), esa pretensión contrajo el compromiso de replicar la técnica de medición Witelson (1989).

Esa condición, llevó a que todos los análisis recibieran un tratamiento bidimensional y que las IRM elegidas fueran en modalidad T1. Si bien, al obtener el área del cuerpo caloso se estableció el dialogo deseado con los valores del grupo de referencia, la estrategia limitó el estudio del índice de masa corporal (IMC). La razón es que la valoración de este componente biológico preferentemente se realiza con otra modalidad de IRM, que consiste en reconstruir de manera tridimensional los tractos de las fibras nerviosas por tensor de difusión (DTI, por sus siglas en inglés). Desde luego, estas aproximaciones requieren otro tipo de procesamiento metodológico ya que se basan en técnicas de adquisición y modelado de imágenes de difusión ponderada (DWI, por sus siglas en inglés). Por lo que al elegir las IRM

en modalidad T1, no se usó la carpeta de las DWI, a pesar de que proyecto LEMON las tiene disponibles.

Por otro lado, el IMC no necesariamente representa la mejor estrategia para medir la composición corporal (Michels, et al. 1998, Spauwen, et al. 2017), en algunos casos, por ejemplo, se puede tener un bajo índice de masa corporal y un alto porcentaje de grasa corporal (Deurenberg-Yap, et al. 2000). En ese sentido, quienes realizan investigación especializada en estos campos suelen usar indicadores más precisos que el IMC. Por tanto, el implementar un indicador más preciso que el índice de masa corporal (IMC), podría ofrecer una mejor exploración del vínculo entre el tamaño del cuerpo calloso y el sobrepeso. Probablemente, considerar esa limitante podría ser el primer paso para buscar una mejor opción en la estimación del porcentaje de grasa corporal y de ahí partir hacia la discusión sobre las posibles implicaciones que tiene con la integridad de la sustancia blanca.

Adicionalmente, durante el desarrollo de esta investigación se encontró un estudio que retomó estas consideraciones pero contrario a lo esperado, arrojó que el porcentaje de grasa en el cuerpo no está relacionado con modificaciones en la sustancia blanca.

El trabajo en cuestión forma parte de los resultados del Estudio de Rotterdam⁴⁰ y pertenece a la epidemióloga neerlandesa Pauline Croll y colaboradores (2019), en él se argumenta que la composición corporal en adultos mayores⁴¹, no está relacionada con cambios cerebrales estructurales ni vasculares, por lo que después de haber analizado IRM y absorciometrías de rayos X de doble energía (DXA, por sus siglas en inglés), en una serie de tres mil seiscientos cuarenta y ocho participantes (2006–2014) y el seguimiento de mil ochocientos cuarenta y cuatro participantes (2010–2017), concluyeron que:

⁴⁰ El Estudio de Rotterdam es un estudio de cohorte prospectivo, integrado por población mayor de cuarenta años que habita en los países bajos. El objetivo del Estudio de Rotterdam, es investigar los factores que determinan la aparición de enfermedades cardiovasculares, neurológicas, oftalmológicas, endocrinológicas y psiquiátricas en personas de edad avanzada (Ikram, et al. 2018).

⁴¹ Como sabemos, el envejecimiento se asocia con una disminución de la masa magra y un aumento de la masa grasa (Spauwen, et al. 2017:250)

“La composición corporal, distinguida entre porcentaje de masa grasa y masa magra, no está asociada con cambios en el volumen del tejido cerebral ni con la integridad de la sustancia blanca” (Croll, et al. 2019:1)

La argumentación de su investigación resulta interesante para los fines de este estudio, debido a que propone que la obesidad y el sobrepeso, solo son factores de riesgo asociados al padecimiento de otras enfermedades que sí incidirían en alteraciones cerebrales. En ese sentido el sobrepeso y la obesidad, no serían responsables directos de alteraciones en la sustancia blanca, por lo tanto ligarlos como un componente directamente asociado a la morfología del cuerpo calloso no tendría mucho sentido.

Si unimos lo anteriormente expuesto a los resultados obtenidos en nuestro grupo de estudio, tendríamos que bajo la clasificación del IMC aplicada; hubo 37 participantes con sobrepeso y ningún obeso. Asimismo, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre el área total del cuerpo calloso de los participantes con peso normal y los participantes con sobrepeso.

Por lo que en síntesis, las explicaciones propuestas para interpretar esos resultados pueden ser (i) la modalidad de IRM elegida no fue la más correcta, (ii) el uso del IMC como indicador para medir el porcentaje de grasa corporal no es la mejor herramienta, como lo señala la paradoja del bajo IMC y el alto porcentaje de grasa de corporal (Deurenberg-Yap, et al. 2000), (iii) independientemente de implementar IRM de DWI, y estimar el porcentaje de grasa corporal con técnicas más precisas como la DXA, se apunta que se conoce al menos un estudio que señala que no hay relación directa entre el porcentaje de grasa corporal y alteraciones en la sustancia blanca.

d) Presencia/ausencia de diferencias entre el tamaño del cuerpo calloso y el sexo

Sobre los resultados presentados en la lámina IV. “Análisis del área total del cuerpo calloso por sexo”, inicialmente se pronosticó que los hombres tendrían un cuerpo calloso más grande respecto al cuerpo calloso de las mujeres, debido a que durante

la revisión de artículos se identificó que en algunas investigaciones el tamaño del cuerpo calloso era redimensionado de acuerdo al tamaño del cerebro (volumen cerebral) de cada participante (Rauch y Jinkins, 1994., Jäncke, et al.1997., Steinmetz, et al. 1995., Sullivan, et al. 2001). En la mayoría de los casos, esta estrategia de análisis estaba justificada en la noción de normalizar los datos, bajo el argumento de que es natural que los hombres tengan mayores dimensiones corporales que las mujeres, incluyendo una mayor cabeza y por tanto un mayor cuerpo calloso.

Si lo encuadramos con el desarrollo de nuestro planteamiento de investigación, la justificación detrás de esta estrategia, ya se encontraba en los argumentos de los craneometristas del siglo XIX y XX, quienes, como lo expone Gould en "*La falsa medida del hombre*" (1997), omitían hacer uso de estos ajustes cuando querían evidenciar la inferioridad intelectual de la mujeres frente a los hombres (Broca, 1961).

Bajo esa interpretación maniquea la implicación es atroz, porque, si un mayor cuerpo calloso es sinónimo de una mayor inteligencia y los hombres tienen un mayor volumen cerebral, por tanto, un cuerpo calloso más grande: los hombres son más inteligentes que las mujeres. Parece increíble pero es anecdótico, de ahí el sentido de redimensionar sus valores de acuerdo al tamaño del cerebro.

Aunque, como se presentó en el segundo apartado Bishop y Wahlsten (1997), compartieron argumentos convincentes sobre lo engañoso que resulta redimensionar el tamaño del cuerpo calloso en relación a todo el volumen cerebral, dado que en todo caso, la relación alométrica más certera se encontraría al hacerlo únicamente con en el córtex cerebral. No obstante, este estudio no transitó bajo ninguna de estas alternativas de modificación de valores, porque como se presentó en el planteamiento del problema al describir el trabajo de la matemática Alice Lee (1901), a veces solo se trata de cómo se organizan los datos.

En esa línea, para este estudio era importante demostrar eso, de ahí el interés de trabajar con los valores absolutos del cuerpo calloso y si bien, el primer acercamiento reveló que las diferencias de medias entre el área total del cuerpo calloso de hombres y de mujeres, resultaron ser estadísticamente significativas,

también se mostró que al agrupar a los participantes en cuartiles mediante medidas de posición en los valores de la talla, las diferencias desaparecieron.

En ese sentido, sorprende que basándose en la segmentación de proporcionalidades combinatorias por sexo de 70% hombres y 30% mujeres en cada cuartil, y comparando los hombres más pequeños con las mujeres más pequeñas, los hombres de talla media con las mujeres de talla media y los hombres más altos con las mujeres más altas, de esta manera, se ajustaron las dimensiones del cuerpo calloso en relación a la talla.

La razón de que esto ocurra, invita a especular sobre la existencia de un vínculo biológico entre las proporciones corporales y el tamaño del cuerpo calloso. Si bien la talla no es por sí misma un predictor del volumen cerebral, y el volumen cerebral tampoco lo es de toda el área del cuerpo calloso, la existencia de un vínculo alométrico entre ellas es plausible:

“Una posibilidad obvia es que las diferencias por sexo en el tamaño del cerebro estén relacionadas con las diferencias en el tamaño corporal. Después de todo, uno esperaría que el tamaño del cerebro de alguna manera guarde una escala con el tamaño del cuerpo, por tanto, las mujeres al ser un 12-15% más pequeñas en relación a los hombres, se esperaría que tengan cerebros más pequeños que los hombres” (Peters, 1991:508).

No obstante, también es indispensable señalar que hay evidencia empírica contraria a esta especulación, que enuncia que en los seres humanos la talla no está relacionada con el volumen cerebral:

“En la especie humana, es muy probable que en adultos sanos del mismo sexo y grupo étnico, no haya ninguna relación entre el tamaño del cerebro y el tamaño corporal” (Jerison, 1979:39).

Adicionalmente y guardando las distancias con el comparativo, hay evidencia de la ausencia de dimorfismo sexual en el cuerpo calloso de ratas⁴², conejos, gatos,

⁴² El caso de las ratas es clásico, se sabe que los machos tienden a ser más grandes que las hembras pero el cerebro de las hembras no es más pequeño que el cerebro de los machos (Hahn, 1979).

perros, caballos y vacas (Olivares, et al. 2000). En ese sentido, Bishop y Wahlsten (1997) podrían tener la razón, respecto a que las diferencias del tamaño entre el cuerpo calloso de hombres y mujeres, son una pretensión que no concuerda con la realidad. En su argumentación el núcleo estaría en que los grupos de estudio suelen tener una menor representatividad de participantes mujeres, discrepan en la forma de normalizar los valores (hacerlo con el volumen total del cerebro o el córtex cerebral), y en algunos casos han cometido errores estadísticos.

En todo ese contexto, el presente estudio únicamente defiende que la variabilidad es la norma y no la excepción, durante el análisis se identificaron hombres con un cuerpo calloso grande y hombres con un cuerpo calloso pequeño, fenómeno que igualmente ocurría con las mujeres. Asimismo, había hombres y mujeres de gran talla con un cuerpo calloso pequeño e indistintamente, hombres y mujeres de baja talla con un cuerpo calloso grande, esos hechos señalan que es necesario proceder con cautela al momento de hacer interpretaciones.

e) Relación entre el tamaño del cuerpo calloso y la talla

Probablemente, el aporte más significativo de este trabajo es mostrar que respecto a cualquier otro segmento, la talla tiene una relación más fuerte con la parte posterior del cuerpo calloso (subáreas A5-A7). Básicamente, mientras la R^2 en el modelo del área total del cuerpo calloso explica el 3.7%, la R^2 en el modelo del área media posterior del cuerpo calloso explica el 6%, la razón no es clara pero apunta a una asociación topográfica del tipo de fibras nerviosas por cada segmento.

Si regresamos al segundo apartado de nuestro estudio, Aboitiz y colaboradores (1992), dejan una pista sobre los aspectos celulares y funcionales de las fibras nerviosas del cuerpo calloso. Su trabajo puntualiza que las fibras nerviosas del segmento posterior suelen tener un diámetro mayor a 3 micrómetros, señalando que su especialización funcional es la conducción rápida y su topografía por áreas se asocia con las regiones de audición (istmo), visuales (esplenio) y somato sensoriales.

Adicionalmente, gracias al trabajo de Schlaug y colaboradores (1995), sabemos que el segmento anterior del cuerpo calloso (subáreas A1A4), es el que esencialmente se ve influenciado por el entrenamiento de habilidades musicales durante la infancia. Posteriormente, al regresar a Aboitiz y colaboradores (1992), tenemos que las fibras nerviosas con un diámetro menor a 2 micrómetros se concentran en segmentos anteriores del cuerpo calloso, irradiando a las regiones prefrontales; caracterizadas por un recubrimiento de mielina más ligero y cuya especialización funcional es la conducción lenta.

Una buena estrategia para contextualizar esta información, sería identificar a qué edad ocurren cambios drásticos en las subáreas A5-A7 del cuerpo calloso:

“Las regiones media y posterior demuestran mayores cambios relacionados con la edad, respecto a las regiones anteriores como la rodilla [A2] y el rostrum [A1], que alcanzan su tamaño adulto en los sujetos más jóvenes” (Giedd, et al. 1996:274).

De acuerdo a la investigación de Giedd y colaboradores (1996), en su modelo de regresión lineal donde se evalúan los cambios del cuerpo calloso –*medidos bajo la técnica Witelson (1989)*- en relación con la edad, se reporta que el área total del cuerpo calloso aumenta de forma lineal y robusta de los 4 a los 18 años; en hombres con una $bx=13.1\text{mm}^2/\text{año}$ y $P=0.0001$, y en mujeres una $bx=11.11\text{mm}^2/\text{año}$ y $P=0.0001$. Lo interesante de su modelo, es que permite visualizar que una vez que desagrega por subáreas los patrones por regiones son distintos, permitiendo observar que la región anterior del cuerpo calloso alcanza las dimensiones máximas en edades preescolares (básicamente antes de los siete años), mientras que la región posterior muestra una mayor variabilidad en sus dimensiones al correr de los años.

Visto así, Schlaug y colaboradores (1995) identificaron un periodo sensible durante la infancia, que de ser canalizado con influencias culturales -*como lo sería, el entrenamiento de habilidades musicales*- incidiría en el tamaño del segmento anterior del cuerpo calloso. Este hecho no comprometería, que en otros momentos de la historia de vida el segmento posterior pueda ser influenciado por condiciones

culturales o ambientales, pero faltaría identificar los factores y los periodos sensibles, que influirían en su tamaño. Adicionalmente, el trabajo de Giedd y colaboradores (1996), ofrece una explicación respecto al por qué la talla tendría menor influencia sobre el segmento anterior que sobre el segmento posterior.

Por otro lado y bajo rigor científico, se tiene que decir que las correlaciones entre la talla y el tamaño del cuerpo caloso, son muy bajas. Como se mostró con una R (0.193) para el área total y la talla, y con una R (0.245) para las subáreas A5-A7 y la talla, ambas cercanas al cero.

Esto invita a reflexionar, que en algunos casos aunque las diferencias sean sutiles, permiten identificar patrones o información valiosa asociada a los mismos. Desde luego, el patrón presentado aquí mediante los modelos de correlación tendría que ser confrontado por otros estudios y por otros enfoques pero justo esa sería la invitación del presente estudio.

f) El tamaño del cuerpo caloso entre grupos de estudio: el componente cultural

Al realizar los comparativos entre el grupo de estudio y el grupo de referencia se reafirmó lo ya reportado por Schlaug y colaboradores (1995), respecto a que los valores en las subáreas A5-A7 no difieren entre un adulto músico profesional con inicio temprano de entrenamiento, antes de los 7 años de edad y un adulto no músico. Mientras que los valores en las subáreas A1-A4 de los músicos profesionales con inicio temprano de entrenamiento antes de los 7 años de edad son mayores respecto a un adulto no músico.

Por consiguiente, este trabajo corrobora lo reportado por Schlaug y colaboradores (1995), y que es avalado por otros estudios (Bengtsson, et al. 2005., Hyde., et al.2009., Steele., et al.2013., Ozturk, et al. 2002., Foster y Zatorre, 2010), respecto a que el entrenamiento de habilidades musicales podría influir en el desarrollo de componentes como el cuerpo caloso del cerebro humano.

De acuerdo al estudio de Giedd y colaboradores (1996), el cuerpo caloso posee curvas de crecimiento diferenciadas por segmentos. Si esto es así, estaríamos ante la posibilidad de identificar umbrales cronológicos de alta susceptibilidad para contribuir al desarrollo del cuerpo caloso. Por lo que, de acuerdo a esta argumentación, Schlaug y colaboradores (1995), habrían identificado un factor cultural y un periodo sensible, que al ser aprovechados incidirían sobre el tamaño anterior del cuerpo caloso.

Ahora, si efectuamos un ejercicio unificador se encontrará que en el segundo apartado de este estudio se describió el trabajo del médico norteamericano Charles Stockard (1921), quien al identificar pautas ontogenéticas en ciertos tejidos y órganos de los peces, modificó el desarrollo embrionario del *Fundulus*. De modo que si nos alejamos para apreciar el panorama -y *guardando ciertas distancias con el comparativo*-, tanto Stockard (1921) como Schlaug y sus colaboradores (1995), identificaron que un determinado factor asociado a un determinado momento de alta susceptibilidad, tiene el potencial de alterar o canalizar el desarrollo de los organismos. Esa panorámica sirve para mirar que cada especie tiene un programa ontogenético que opera como un cronograma a lo largo del desarrollo, y nos revela que su estudio ofrece la posibilidad explicar las respuestas favorables o desfavorables en el futuro de los organismos.

Por otro lado y como es necesario darle espacio a la crítica, resta abordar un tema sobre el que se recibió comentarios constantes: la forma en que se integró el grupo de estudio y el grupo de referencia.

Como se explicó a lo largo del estudio, una de las estrategias de diseño consistió en hacer que ambos grupos fueran lo más homogéneos posibles respetando los umbrales de edad, los parámetros de la talla, la proporción por sexos, la preferencia manual. Sin embargo es claro, que una de las críticas que recae sobre el estudio es que entre ambos grupos de alemanes hay una distancia de dos décadas y eso claramente puede afectar en aspectos como la nutrición, la tendencia secular positiva, las hormonas, los ambientes enriquecidos, etc.

La explicación más sensata reside en el hecho de que no es sencillo encontrar músicos profesionales cuya formación haya iniciado antes de los siete años de edad

y que adicionalmente quieran participar en un estudio de IRM. Asimismo, resultaría difícil conseguir un grupo de estudio tan completo como el del proyecto LEMON, donde detrás del mismo hay 74 investigadores de diversas disciplinas y con un respaldo como el del Instituto Max Planck. 41

Adicionalmente, al revisar el trabajo con detenimiento se puede apreciar que la aportación del mismo está más centrada en el modelo de los cinco componentes biológicos para el estudio de la variabilidad.

5.2. Consideraciones finales

A manera de cierre convendría dar algunas formulaciones generales derivadas de la presente investigación, posterior a estas se comparten algunas apreciaciones y reflexiones de interés para el lector.

- Las diferencias estadísticamente significativas arrojadas al comparar las medias del área total del cuerpo calloso (tamaño) de hombres y mujeres, se desvanecen al implementar medidas de posición en la variable talla. En consecuencia, debido a que este estudio exploratorio no encontró diferencias estadísticamente significativas al comparar las medias del área total del cuerpo calloso (tamaño) por ajuste proporcional de sexo y bajo agrupación por cuartiles, se considera que no hay argumentos suficientes para asumir que el tamaño del cuerpo calloso de hombres y mujeres, es diferente.
- Las correlaciones entre el tamaño del cuerpo calloso y la talla, son bajas. Sin embargo, son estadísticamente significativas y se comportan de manera distinta dependiendo que subáreas del cuerpo calloso se elija. Bajo respaldo de estos resultados, se infiere que en adultos la expresión final de la talla ayuda a explicar una pequeña parte del tamaño del cuerpo calloso.
- De acuerdo a la estimación del coeficiente de correlación entre la talla y los distintos segmentos del cuerpo calloso, se identificó que en el grupo de estudio (n=153), la talla tiene una mayor relación con el segmento posterior del cuerpo calloso (subáreas A5-A7).

- Las discusiones respecto a la influencia que tiene el sobrepeso y la obesidad en el deterioro de la sustancia blanca, son contemporáneas y claramente su estudio requiere una mejor aproximación metodológica a la ofrecida por este estudio.
- Al igual que en otras especies, el ser humano cuenta con un programa ontogenético que contempla la existencia de los periodos sensibles. En ese sentido, Schlaug y colaboradores (1995) identificaron que el entrenamiento de habilidades musicales en etapas muy tempranas de la infancia, podría influir en el aumento de tamaño del segmento anterior del cuerpo calloso. Esto, coincidiría con el aprovechamiento de un periodo sensible que es respaldado en los ciclos mielogenéticos del cuerpo calloso (Yakovlev y Lecours, 1967) y en la curva de crecimiento diferenciada por regiones del cuerpo calloso (Giedd, 1996). El presente trabajo suscribe a la aproximación descrita, debido a que el área anterior del cuerpo calloso (subáreas A1-A4) del grupo de adultos alemanes seleccionados del proyecto LEMON (n=133) presentó menores dimensiones en comparación al tamaño reportado en adultos, pianistas y tañedores de cuerdas profesionales (n=21), quienes iniciaron su entrenamiento musical antes de siete años de edad.
- Los resultados muestran que el tamaño del cuerpo calloso en los participantes del grupo de estudio, presentan una amplia variabilidad (dentro de los parámetros biológicos plausibles). Esto invita a reflexionar sobre lo inadecuado que resulta atribuir a un único componente, ya sea la preferencia manual, el sexo, el IMC, la edad y la talla -*por mencionar los retomados por este estudio*- el origen de estas diferencias.

Como antropólogo mi aspiración con este estudio fue mostrar que el uso de interpretaciones reduccionistas nubla la visión de una realidad con múltiples aristas. Hay que conciliar que cuando se interpreta desde una trinchera científica reduccionista, se anulan otras posibles explicaciones sobre la realidad de las personas que estamos estudiando. En esa lógica, una perspectiva antropológica siempre enriquece.

En consecuencia, elegir construir con un rigor científico implica ser plural y contrastar hallazgos, fuentes y abordajes. Ojalá este estudio sirva a las nuevas generaciones de antropólogos biológicos, al mostrar que nuestro quehacer científico es crucial cuando lo dirigimos al rigor con el que se construye ciencia.

Señalado lo anterior, me gustaría compartir que en las últimas etapas de la producción de este estudio, leí el libro "*Sexing the Body. Gender politics and the construction of sexuality*" (2000) de la filósofa norteamericana Anne Fausto Sterling (1944~), en sus páginas se encuentra un capítulo titulado "*The Callosum Colossus*", enteramente dedicado a lo que ella denomina la guerra del cuerpo caloso -*que básicamente es un conflicto anidado a intereses sociales que incesantemente buscan diferencias neuroanatómicas entre los sexos*-. Leerlo me hizo releer el fragmento que dedique en el planteamiento del problema, a la misiva de Agustín Fuentes (2014), contra el libro "*A troublesome inheritance: Genes, race and human history*" de Nicholas Wade (2014), ese ejercicio me resultó incómodo, debido a que en la actualidad -*bajo mucha de nuestra producción científica*- tanto el neurosexismo como el racismo, existen.

Desde mi trinchera, por ejemplo, puedo decir que cuando alguien asocia el tamaño del cuerpo caloso con la inteligencia no puedo dejar de pensar en lo que estamos produciendo. Estoy convencido, que la tarea pendiente es deconstruir buena parte de nuestros supuestos. Ojalá este trabajo sume a esa tarea.

ANEXO

❖ **Participantes del proyecto LEMON**

El grupo público incluye 227 participantes; 82 mujeres y 145 hombres, con edades de los 20 a los 77 años. Todos los participantes fueron evaluados en la *Day Clinic for Cognitive Neurology of the University Clinic Leipzig* y el *Max Planck Institute for Human and Cognitive and Brain Sciences* (MPI CBS) en Leipzig, Alemania. El estudio se realizó de acuerdo con la Declaración de Helsinki y el protocolo de estudio fue aprobado por el comité de ética de la facultad de medicina de la Universidad de Leipzig (número de referencia 154/13-ff) (Babayán, et al. 2019).

❖ **Los criterios de inclusión del proyecto LEMON**

No tener una participación previa en algún otro estudio relacionado en "investigación psicológica o de resonancia magnética", (ii) no tener reportes de trastornos neurológicos o lesiones de cabeza, (iii) no estar bajo medicación de sustancias que afectaran el sistema cardiovascular y / o nervioso central, (iv) sin abuso de alcohol o estupefacientes, (v) no estar embarazadas, (vi), no ser claustrofóbicos, (vii) no estar en tratamiento de quimioterapia, (viii) no tener enfermedades malignas (neoplasias hematológicas), (ix) sin enfermedades psiquiátricas actuales y / o previas, (x) cumplir los requerimientos para la exposición a resonancia magnética; no tener brackets, piercings o implantes metálicos no removibles y operación quirúrgica previa a tres meses (Babayán et al. 2019).

Aspectos detallados de los criterios i – iv

(i) Amplia experiencia en pruebas en el MPI-CBS (*Max Planck Institute for Human Cognitive and Brain Sciences*) u otra institución académica, dado que el conocimiento previo de los test da sesgo de respuesta.

(ii) Los trastornos neurológicos incluyen; esclerosis múltiple, accidente cerebrovascular, epilepsia, tumor cerebral, meningoencefalitis, contusiones cerebrales graves, etc.,

(iii) Medicamentos como el cortisol, los beta y alfa bloqueadores y cualquier medicamento quimioterapéutico o psicofarmacológico (los de prescripción usual para ansiedad y/o depresión) que alteren el SNC

(iv) Anamnesis positiva por drogas (ingesta habitual y/o cotidiana de alcohol, MDMA, anfetaminas, cocaína, opiáceos, benzodiazepina, cannabis)

❖ Fases de selección para formar parte del estudio:

- (i) Mediante anuncios publicitarios en espacios físicos y virtuales, se solicitó la participación del público interesado, donde se exponía que de ser seleccionados habría retribución económica.
- (ii) Las citas eran programadas vía telefónica o previa visita al Instituto Max Planck de Ciencias Cognitivas y Cerebrales Humanas.
- (iii) En la sesión de entrevista telefónica se explicaba la naturaleza del estudio; detallando el tipo de información a recabar, el tiempo estimado para cada prueba, la importancia de dedicar dos días a las evaluaciones programadas, el tratamiento o conversión a datos anónimos donde una vez agrupados en clasificadores de sujetos por ficheros se impediría una posterior identificación individual (solo el personal de recolección primaria del Instituto Max Planck, conoce esas fichas), se les expuso el consentimiento informado y la aprobación por parte del comité de bioética del Instituto.
- (iv) Una vez formalizado el trámite, se agendaba la fecha de las sesiones con el itinerario de evaluaciones por día. A la fase (iii) y (iv) se les codifico como el día 0.

❖ **Las evaluaciones:**

Día 1: Chequeo médico, sesión de test cognitivos*, muestra sanguínea, medidas antropométricas, muestra de cabello, medidas cardiovasculares; frecuencia cardíaca, pulso, respiración y presión sanguínea (BP1- antes de subir al resonador magnético), sesión de resonancia magnética en un resonador Tesla 3 con secuencias programadas para estudios de: fMRI en estado de reposo, T1 cuantitativa (MP2RAGE), T2-weighted, FLAIR, SWI/QSM, DWI. Toma de presión sanguínea (BP2- al término de la sesión de resonancia magnética).

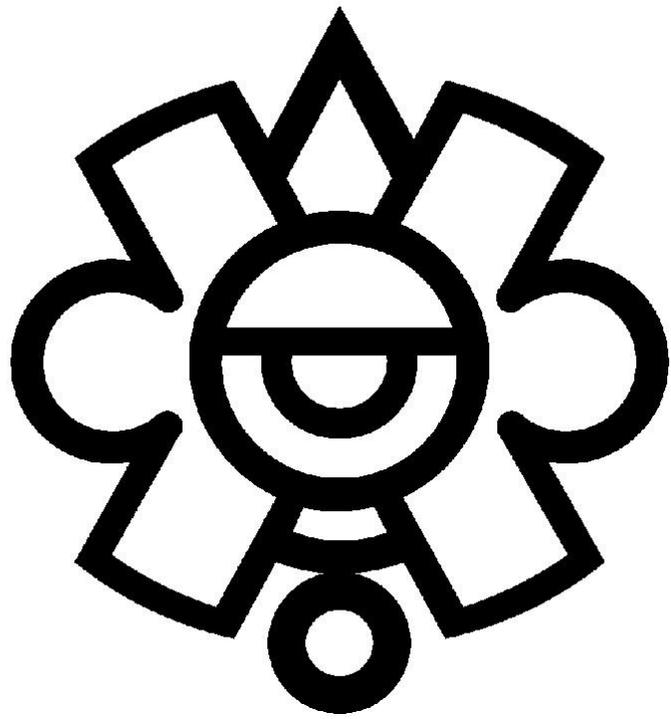
Día 2: Sesión de tests emocionales**, muestra de orina para análisis de drogas, evaluación de cuadros o sintomatologías psiquiátricas experimentadas en el pasado o el presente como AUDIT (Alcohol Use Disorder Identification Test), BSL-23 (Borderline Symptoms List, en su versión corta), HAM-D (Hamilton Depression scale), y SCID-I (structured clinical interview for dsm-iv / diagnostic and statistical manual of mental disorders/entrevista clínica estructurada basada en el manual diagnóstico y estadístico de los trastornos mentales de la Asociación Americana de Psiquiatría). Sesión de electroencefalografía (EGG) a 62 canales en reposo y toma de presión sanguínea (BP3- al término de la sesión). Al término del día se les notificaba el interés de formar parte de actualizaciones de seguimiento.

*La evaluación psicológica comprendió 6 pruebas cognitivas estandarizadas.

** La evaluación del comportamiento emocional se realizó mediante 21 cuestionarios estandarizados que miden; los rasgos y las tendencias de personalidad, el comportamiento alimentario y el comportamiento adictivo.

❖ Tabla resumen de itinerario por días

Día 0	Día 1	Día 2	Cierre
<i>Entrevista telefónica informativa y valorativa para la inclusión al proyecto</i>	Preparación e instrucciones del itinerario del día. Duración: 10 min.	Test de orina. Duración: 5 min.	Toma de presión sanguínea 3 (BP3). Duración: 10 min.
<i>Exposición detallada de los criterios de exclusión a través del examen telefónico: autoinformado.</i>	Test cognitivos estandarizados. Duración: 75 min.	Batería de estado de ánimo (MDBF). Duración: 5 min.	Cuestionario de perspectiva del futuro (FTP). Duración: 5 min.
<i>Exposición y aceptación del consentimiento informado para poder continuar con el proceso.</i>	Cuestionario de estado de ánimo MDBF (Entwicklung des Mehrdimensionalen Befindlichkeitsfragebogens/ Development of the Multidimensional Mood State Questionnaire). Toma de presión sanguínea 1 (BP1). Duración: 20 min.	Preparación e instrucciones para electroencefalografía. Duración: 30 min. Sesión de electroencefalografía(EGG). Duración: 20 min.	Batería de estado de ánimo (MDBF). Duración: 5 min.
	Instrucciones y preparación para la MRI/IRM. Duración: 10 min.	Test de emociones y personalidad. Duración: 120 min.	2.5 - 3.2
	Tesla 3 MRI/IRM, más aplicación de baterías dirigidas a la fisiología periférica (sistema nervioso autónomo): NEO-FFI (Neo Five Factor Inventory) y UPPS (Impulsive Behavior Scale). Duración: 90 min.	Valoración psiquiátrica, Duración: 60 min.	1.5 - 1.9
	Cuestionario Mind-wandering NYC-Q. Duración 5 min.		
	Toma de presión sanguínea 2 (BP2). Examen de sangre. Toma de medidas antropométricas: peso, estatura, circunferencia de cadera, circunferencia de cintura. Muestra de cabello. Duración: 90 min.		



Referencias

1. Aboitiz, F., Scheibel, A. B., Fisher, R. S., y Zaidel, E. 1992. Fiber composition of the human corpus callosum. *Brain research*, 598(1-2), 143-153.
2. Aboitiz, F., y Montiel, J. 2003. One hundred million years of interhemispheric communication: the history of the corpus callosum. *Brazilian journal of medical and biological research*, 36(4), 409-420.
3. Aglioti, S., Tassinari, G., Corballis, M.C. y Berlucchi, G. 2000. Incomplete gustatory lateralization as shown by analysis of taste discrimination after callosotomy. *J. Cognit. Neurosci.*, 12, 238±245
4. Annett, M. 1967. The binomial distribution of right, mixed and left handedness. *The Quarterly journal of experimental psychology*, 19(4), 327-333.
5. Annett, M., y Alexander, M. 1996. Atypical cerebral dominance: Predictions and tests of the right shift theory. *Neuropsychologia*, 34(12), 1215-1227.
6. Anstey, K. J., Mack, H. A., Christensen, H., Li, S. C., Rejlade-Meslin, C., Maller, J., ... y Sachdev, P. 2007. Corpus callosum size, reaction time speed and variability in mild cognitive disorders and in a normative sample. *Neuropsychologia*, 45(8), 1911-1920.
7. Anuchin, D. 1900. Беглый взгляд на прошлое антропологии и на её задачи в России. *Русский антропологический журнал*, 25-42.
8. Baker, P. T. 1956. *Man in the Desert: A Study of the Racial and Morphological Factors in Man's Tolerance of Heat* (Doctoral dissertation, Harvard University).
9. Baker, P. T., y Little, M. A. 1965. Bone density changes with age, altitude, sex and race factors in Peruvians. *Human biology*, 122-136.
10. Baker, P. T., y Mazess, R. B. 1963. Calcium: unusual sources in the Highland Peruvian diet. *science*, 142(3598), 1466-1467.
11. Balter, M. 2014. Geneticists decry book on race and evolution. *Science Magazine*.
12. Barr, M. S., y Corballis, M. C. 2002. The role of the anterior commissure in callosal agenesis. *Neuropsychology*, 16(4), 459.
13. Bean, R. B. 1906. Some racial peculiarities of the Negro brain. *American Journal of Anatomy*, 5(4), 353-432.
14. Bengtsson, S. L., Nagy, Z., Skare, S., Forsman, L., Forssberg, H., y Ullén, F. 2005. Extensive piano practicing has regionally specific effects on white matter development. *Nature neuroscience*, 8(9), 1148-1150.

15. Berlucchi G. 2004. Some effects of cortical and callosal damage on conscious and unconscious processing of visual information and other sensory inputs. *Progress in Brain Research*, 144: 79e93.
16. Berlucchi G. 2012. Frontal callosal disconnection syndromes. *Cortex.*, 48:36–45.
17. Berlucchi G. 2014. Visual interhemispheric communication and callosal connections of the occipital lobes. *Cortex.*, 56:1–13
18. Bettcher, B. M., Walsh, C. M., Watson, C., Miller, J. W., Green, R., Patel, N., ... & Kramer, J. H. (2013). Body mass and white matter integrity: the influence of vascular and inflammatory markers. *PloS one*, 8(10), e77741.
19. Bishop, K. M., & Wahlsten, D. 1997. Sex differences in the human corpus callosum: myth or reality?. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 21(5), 581-601.
20. Blakey, M. 1999. Scientific racism and the biological concept of race. *Literature and Psychology*, 45, 29-19.
21. Boas F. 1910 Report Presented to the 61st Congress on Changes in Bodily Form of Descendants of Immigrants (Government Printing Office, Washington, DC)
22. Boas, F. 1912. Changes in the bodily form of descendants of immigrants. *American Anthropologist*, 14(3), 530-562.
23. Bobb, J. F., Schwartz, B. S., Davatzikos, C., & Caffo, B. (2014). Cross-sectional and longitudinal association of body mass index and brain volume. *Human brain mapping*, 35(1), 75-88.
24. Boiagina O. D., Kostilenko Ju. P., Mangov A. V., Inyutochkina I. A. 2016. Линейные метрические параметры индивидуальной вариативности полового диморфизма мозолистого тела людей зрелого возраста по данным мрт-изображений. *Вісник проблем біології і медицини*, 1(2)
25. Bolzenius, J. D., Laidlaw, D. H., Cabeen, R. P., Conturo, T. E., McMichael, A. R., Lane, E. M., ... Y Cooley, S. A. 2015. Brain structure and cognitive correlates of body mass index in healthy older adults. *Behavioural brain research*, 278, 342-347.
26. Bookstein F. 1997. Landmark Methods for Forms Without Landmarks: Morphometrics of Group Differences in Outline Shape, *Medical Image Analysis* 1(3):225-243.

27. Branch, C., Milner, B., y Rasmussen, T. 1964. Intracarotid sodium amytal for the lateralization of cerebral speech dominance: observations in 123 patients. *Journal of neurosurgery*, 21(5), 399-405.
28. Broca, P. 1861. Sur le volume et la forme du cerveau suivant les individus et suivant les races. Hennuyer.
29. Bryden, M. P. 1982. *Laterality: Hemispheric specialization in the intact brain*. Academic Press, New York.
30. Bushong, S. y Clarke, G. 2013. *Magnetic Resonance Imaging-E-Book: Physical and Biological Principles*. Elsevier Health Sciences.
31. Bykov, K. M. 1924. Observation upon dogs after section of the corpus callosum. *Collected Papers Physiology Laboratories*, 1, 47-59.
32. Bykov, K.M. y Speransky, A.D. 1924. Собака с перерезанным согриз саИозит. *Тр. физиол. лабор. акад. ИП Павлова*, 1(1).
33. Byne, W., Bleier, R., y Houston, L. 1988. Variations in human corpus callosum do not predict gender: a study using magnetic resonance imaging. *Behavioral Neuroscience*, 102(2), 222.
34. Caplan, L. R., y Van Gijn, J. (Eds.). 2012. *Stroke syndromes*. Cambridge University Press.
35. Caspari, R. 2018. . Race, then and now: 1918 revisited. *American journal of physical anthropology*, 165(4), 924-938
36. Chiarello, C. 1980. A house divided? Cognitive functioning with callosal agenesis. *Brain and language*, 11(1), 128-158.
37. Clarke, E., y O'Malley, C. D. 1996. *The human brain and spinal cord: A historical study illustrated by writings from antiquity to the twentieth century (No. 2)*. Norman Publishing.
38. Clarke, J. M., Lufkin, R. B., y Zaidel, E. 1993. Corpus callosum morphometry and dichotic listening performace: Individual differences in functional interhemispheric inhibition?. *Neuropsychologia*, 31(6), 547-557.
39. Collins, R. L. 1985. On the inheritance of direction and degree of asymmetry. *Cerebral lateralization in nonhuman species*, 41-71.
40. Concha, M. L., Bianco, I. H., y Wilson, S. W. 2012. Encoding asymmetry within neural circuits. *Nature Reviews Neuroscience*, 13(12), 832-843.
41. Conway, D. L., y Baker, P. T. 1972. Skin reflectance of Quechua Indians: The effects of genetic admixture, sex and age. *American journal of physical anthropology*, 36(2), 267-281.

42. Corballis, M. C. 2014. Left brain, right brain: facts and fantasies. *PLoS Biol*, 12(1), e1001767.
43. Coren, S., y Porac, C. 1977. Fifty centuries of right-handedness: the historical record. *Science*, 198(4317), 631–632.
44. Croll, P. H., Bos, D., Ikram, M. A., Rivadeneira, F., Voortman, T., & Vernooij, M. W. 2019. Body composition is not related to structural or vascular brain changes. *Frontiers in neurology*, 10, 559.
45. Dandy, W. E. 1936. Operative experience in cases of pineal tumor. *Archives of Surgery*, 33(1), 19-46.,
46. Dareste, C. 1891. Recherches sur la production artificielle des monstruosités, ou, Essais de tératogénie expérimentale. C. Reinwald.
47. Dart, R. A. 1949. The predatory implemental technique of *Australopithecus*. *American Journal of Physical Anthropology*, 7(1), 1–38.
48. De Bellis, M., Keshavan, M. S., Clark, D. B., Casey, B. J., Giedd, J. N., Boring, A. M., ... y Ryan, N. D. 1999. Developmental traumatology part II: brain development. *Biological psychiatry*, 45(10), 1271-1284.
49. DeLacoste-Utamsing, C., y Holloway, R. 1982. Sexual dimorphism in the human corpus callosum. *Science*, 216(4553), 1431-1432.
50. Demopoulos, C., Arroyo, M. S., Dunn, W., Strominger, Z., Sherr, E. H., y Marco, E. 2015. Individuals with agenesis of the corpus callosum show sensory processing differences as measured by the sensory profile. *Neuropsychology*, 29(5), 751.
51. Denenberg, V. H., Kertesz, A., & Cowell, P. E. 1991. A factor analysis of the human's corpus callosum. *Brain research*, 548(1-2), 126-132.
52. Deoni, S. C., Mercure, E., Blasi, A., Gasston, D., Thomson, A., Johnson, M., ... & Murphy, D. G. 2011. Mapping infant brain myelination with magnetic resonance imaging. *Journal of Neuroscience*, 31(2), 784-791.
53. Deurenberg-Yap, M., Schmidt, G., van Staveren, W. A., y Deurenberg, P. 2000. The paradox of low body mass index and high body fat percentage among Chinese, Malays and Indians in Singapore. *International journal of obesity*, 24(8), 1011-1017.
54. Di Virgilio, G., y Clarke, S. 1997. Direct interhemispheric visual input to human speech areas. *Human brain mapping*, 5(5), 347-354.
55. Doraiswamy PM, Figiel GS, Husain MM, McDonald WM, Shah SA, Boyko OG, Ellinswood EH, Krishnan KPK (1991) Aging of the human corpus callosum:

magnetic resonance imaging in normal volunteers. *J Neuropsychiatry Clin Neurosci* 3: 392–397

56. Duara R, Kushch A, Gross-Glenn K, Barker WW, Jallad B, Pascal S, Loewenstein DA, Sheldon J, Rabin M, Levin B .1991. Neuroanatomic Differences between Dyslexic and Normal Readers on Magnetic Resonance Imaging Scans, *Arch. Neurol.* 48:410-416.
57. Ettlenger, G., Blakemore, C. B., Milner, A. D., & Wilson, J. 1972. Agenesis of the corpus callosum: a behavioural investigation. *Brain: a journal of neurology.*
58. Evangelou, N., Konz, D., Esiri, M. M., Smith, S., Palace, J., & Matthews, P. M. 2000. Regional axonal loss in the corpus callosum correlates with cerebral white matter lesion volume and distribution in multiple sclerosis. *Brain*, 123(9), 1845-1849.
59. Fabri M, Pierpaoli C, Barbaresi P, Polonara G. 2014. Functional topography of the corpus callosum investigated by DTI and fMRI. *World J Radiol.* 6:895906.
60. Fausto-Sterling, A. 2000. *Sexing the body: Gender politics and the construction of sexuality.* Basic Books.
61. Feldman, M. W., y Lewontin, R. C. 2008. Race, ancestry, and medicine. Revisiting race in a genomic age, 89, 101.
62. Ferriss, G. S., y Dorsen, M. M. 1975. Agenesis of the corpus callosum 1. Neuropsychological studies. *Cortex*, 11(2), 95-122.
63. Foster, N. y Zatorre, R. 2010. Cortical structure predicts success in performing musical transformation judgments. *Neuroimage*, 53(1), 26-36.
64. Foundas, A.L., Corey, D.M., Hurley, M.M., Heilman, K.M., 2006. Verbal dichotic listening in right and left-handed adults: laterality effects of directed attention. *Cortex* 42, 79–86.
65. Frisancho, A., Newman, M., y Baker, P. 1970. Differences in stature and cortical thickness among highland Quechua Indian boys. *The American journal of clinical nutrition*, 23(4), 382-385.
66. Fuentes, A. 2014. A Troublesome Inheritance': Nicholas Wade's Botched Interpretation of Human Genetics, History, and Evolution. *Huffington Post*, Mayo 19. https://www.huffpost.com/entry/the-troublesome-ignorance-of-nicholas-wade_b_5344248 (Consultado 21 Noviembre, 2019)
67. Gallagher, T. A., Nemeth, A. J., y Hacein-Bey, L. 2008. An introduction to the Fourier transform: relationship to MRI. *American journal of roentgenology*, 190(5), 1396-1405.

68. Gálvez, M., Farías, M., Asahi, T., y Bravo, E. 2005. Cálculo de tiempos T1 y T2 in vitro. *Revista chilena de radiología*, 11(3), 109-115.
69. Gardner M. 2014. Mathematics in Egypt: Mathematical Leather Roll. *Encyclopaedia of the History of Science, Technology, and Medicine in Non-Western Cultures*. Helaine Selin (ed): Springer, Dordrecht; 1:1-5. 10.1007/978-94-007-3934-5_9369-3
70. Garruto, R. 1995. 10 Biological adaptability, plasticity and disease: patterns in modernizing. *Human variability and plasticity*, (15), 190.
71. Garruto, R. M., James, G. D., y Little, M. A. 2009. *Biographical Memoir. Paul Thornell Baker 1927-2007*.
72. Georgy, B. A., Hesselink, J. R., y Jernigan, T. L. 1993. MR imaging of the corpus callosum. *AJR. American journal of roentgenology*, 160(5), 949-955.
73. Geschwind, N., y Galaburda, A. M. 1987. *Cerebral lateralization: Biological mechanisms, associations, and pathology*. MIT press.
74. Giedd, J. N., Blumenthal, J., Jeffries, N. O., Rajapakse, J. C., Vaituzis, A. C., Liu, H., ... & Castellanos, F. X. 1999. Development of the human corpus callosum during childhood and adolescence: a longitudinal MRI study. *Progress in Neuro-Psychopharmacology and Biological Psychiatry*, 23(4), 571-588.
75. Giedd, J. N., Rumsey, J. M., Castellanos, F. X., Rajapakse, J. C., Kaysen, D., Vaituzis, A. C., ... y Rapoport, J. L. 1996. A quantitative MRI study of the corpus callosum in children and adolescents. *Developmental Brain Research*, 91(2), 274-280.
76. Gillings R. 1972. *Mathematics in the Time of the Pharaohs*. Dover Publications, Inc., New York.
77. Godfrey, L. R. 2008. From the shoulders of a giant: Perspectives on the legacy of William White Howells (1908–2005). *American Journal of Physical Anthropology: The Official Publication of the American Association of Physical Anthropologists*, 137(S47), 118-126.
78. Gould, S. 1997. *La falsa medida del hombre*. Colección Muy Interesante
79. Gould, S. J. 2006. *The Mismeasure of Man (Revised and Expanded)*. WW Norton & Company.
80. Habib, M., Gayraud, D., Oliva, A., Regis, J., Salamon, G., & Khalil, R. (1991). Effects of handedness and sex on the morphology of the corpus callosum: A study with brain magnetic resonance imaging. *Brain and Cognition*, 16(1).

81. Hahn, M. 1979. Fuller BWS lines: Parental influences on brain size and behavioral development. In *Development and evolution of brain size* (pp. 239-261). Academic Press.
82. Herz, R. S., McCall, C., y Cahill, L. 1999. Hemispheric lateralization in the processing of odor pleasantness versus odor names. *Chemical Senses*, 24(6), 691-695.
83. Hiscock, M. y Kinsbourne, M. 2011. Attention and the right-ear advantage: What is the connection?. *Brain and cognition*, 76(2), 263-275.
84. Hiscock, M., Inch, R., Ewing, C.T., 2005. Constant and variable aspects of dichotic listening right-ear advantage: a comparison of standard and signal detection. *Laterality* 10, 517–534.
85. Hochberg, Z. (2011). Child Growth and the Theory of Life History. In *Evo-Devo of Child Growth*, Z. Hochberg (Ed.). doi:10.1002/9781118156155.ch2
86. Hochman, A. 2013. Against the new racial naturalism. *The Journal of Philosophy*. 110 (6), 331- 351
87. Homewood, J., y Stevenson, R. J. 2001. Differences in naming accuracy of odors presented to the left and right nostrils. *Biological psychology*, 58(1), 65-73.
88. Hooton, E. A. 1926. Methods of racial analysis. *Science*, 63(1621), 75-81.
89. Howells, W. W. 1966. The Jomon population of Japan: a study by discriminant analysis of Japanese and Ainu crania. *Papers of the Peabody Museum of Archaeology and Ethnology*. Harvard University, 57, 1-43.
90. Hugdahl, K. 1996. Brain laterality—beyond the basics. *European Psychologist*, 1(3), 206-220.
91. Hugdahl, K. 2009. Dichotic listening studies of brain asymmetry.
92. Hunt-Grubbe, C. 2007. The elementary dna of Dr Watson. *The Sunday Times*, 14.
93. Hutchinson, A. D., Mathias, J. L., Jacobson, B. L., Ruzic, L., Bond, A. N., y Banich, M. T. 2009. Relationship between intelligence and the size and composition of the corpus callosum. *Experimental brain research*, 192(3), 455.
94. Hyde, K. L., Lerch, J., Norton, A., Forgeard, M., Winner, E., Evans, A. C., & Schlaug, G. 2009. Musical training shapes structural brain development. *Journal of Neuroscience*, 29(10), 3019-3025.
95. Ikram, M. A., Brusselle, G. G., Murad, S. D., van Duijn, C. M., Franco, O. H., Goedegebure, A., ... y Tiemeier, H. 2018. The Rotterdam Study: 2018 update

- on objectives, design and main results. *European journal of epidemiology*, 32(9), 807-850.
96. International Standards for Anthropometric Assessment (ISAK). 2001. The International Society for the Advancement of Kinanthropometry.
 97. Jäncke, L., Staiger, J. F., Schlaug, G., Huang, Y., y Steinmetz, H. 1997. The relationship between corpus callosum size and forebrain volume. *Cerebral cortex* (New York, NY: 1991), 7(1), 48-56.
 98. Jäncke, L., y Steinmetz, H. 2003. Brain size: A possible source of interindividual variability in corpus callosum morphology. In E. Zaidel & M. Iacoboni (Eds.), *Issues in clinical and cognitive. The parallel brain: The cognitive neuroscience of the corpus callosum* (p. 51–63). MIT Press.
 99. Jarotimi, O. S., & Ijadunola, K. T. 2007. Nutritional status and intelligence quotient of primary schoolchildren in Akure community of Ondo State, Nigeria. *Tanzania Journal of Health Research*, 9(2), 69-76.
 100. Jerison, H. J. 1973. *Evolution of the Brain and Intelligence*. New York and London: Academic Press
 101. Jerison, H. J. 1979. The evolution of diversity in brain size. *Development and evolution of brain size: behavioral implications*, 29-57.
 102. Jiménez, V. 2015. Nicholas Wade: “No soy racista”. *EL PAÍS*, 6 de Marzo.
 103. Johnson, S. C., Farnworth, T., Pinkston, J. B., Bigler, E. D., & Blatter, D. D. 1994. Corpus callosum surface area across the human adult life span: effect of age and gender. *Brain Research Bulletin*, 35(4), 373-377.
 104. Jorde, L., y Wooding, S. 2004. Genetic variation, classification and race. *Nature genetics*, 36 (11). S28-S33.
 105. Junle, Y., Youmin, G., Yanjun, G., Mingyue, M., Qiujuan, Z., y Min, X. 2008. A MRI quantitative study of corpus callosum in normal adults. *Journal of Medical Colleges of PLA*, 23(6), 346-351.
 106. Just, M. A., Cherkassky, V. L., Keller, T. A., Kana, R. K., & Minshew, N. J. 2006. Functional and anatomical cortical underconnectivity in autism: evidence from an fMRI study of an executive function task and corpus callosum morphometry. *Cerebral cortex*, 17(4), 951-961
 107. Kalat, J. 2004. *Psicología biológica*. Editorial Parainfo.
 108. Kanne, S. M., y Finger, S. 1999. Konstantin M. Bykov and the Discovery of the Role of the Corpus Callosum. *Journal of the history of medicine and allied sciences*, 54(4), 572-590.

109. Kertesz, A., Polk, M., Howell, J., & Black, S. E. 1987. Cerebral dominance, sex, and callosal size inMRI. *Neurology*, 37(8), 1385-1385.
110. Kier, E. L., y Truwit, C. L. 1996. The normal and abnormal genu of the corpus callosum: an evolutionary, embryologic, anatomic, and MR analysis. *American Journal of Neuroradiology*, 17(9), 1631-1641
111. Kimura, D. 1961. Cerebral dominance and the perception of verbal stimuli. *Canadian Journal of Psychology/Revue canadienne de psychologie*, 15(3), 166.
112. Kimura, D. 1967. Functional asymmetry of the brain in dichotic listening. *Cortex*, 3(2), 163-178.
113. Kinney, H. C., Brody, B. A., Kloman, A. S., & Gilles, F. H. 1988. Sequence of central nervous system myelination in human infancy: II. Patterns of myelination in autopsied infants. *Journal of Neuropathology & Experimental Neurology*, 47(3), 217-234.
114. Knudsen, E. I. 2004. Sensitive periods in the development of the brain and behavior. *Journal of cognitive neuroscience*, 16(8), 1412-1425.
115. Kolb, B., y Whishaw, I. Q. 2009. *Neuropsicología humana*. Ed. Médica Panamericana.
116. Korányi, A. V. 1890. Über die Folgen der Durchschneidung des Hirnbalkens. *Archiv für die gesamte Physiologie des Menschen und der Tiere*, 47(1), 35-42.
117. La Peyronie, D. 1741. Observations par lesquelles on tâche de découvrir la partie du cerveau ou l'âme exerce ses fonctions. *Histoire de L'Academie Royale des Sciences*, 1744, 199-218.
118. Lancisi, G. M. 1712. *Dissertatio de sede cogitantis animae. Opera varia*, Venedig, 1739, 104ff.
119. Lee, A. 1901. Data for the problem of evolution in man. VI.—A first study of the correlation of the human skull. *Proceedings of the Royal Society of London*, 67(435-441), 333-337.
120. Lerner, R. M., y Lerner, R. 1984. *On the nature of human plasticity*. Cambridge University Press.
121. Letzner, S., Simon, A., y Güntürkün, O. 2016. Connectivity and neurochemistry of the commissura anterior of the pigeon (*Columba livia*). *Journal of Comparative Neurology*, 524(2), 343-361.
122. Lewontin, R. C. 1970. Race and intelligence. *Bulletin of the Atomic Scientists*, 26(3), 2-8.

123. Liederman, J., 2003. A plan for the empirical evaluation of the coactivation/equilibration model of callosal function. In: Zaidel, E., Iacoboni, M. (Eds.), *The Parallel Brain: The Cognitive Neuroscience of the Corpus Callosum*. MIT Press, Cambridge, pp. 282–286.
124. Liepmann, H. 1900. Das Krankheitsbild der Apraxie (Motorische asymbolie): Auf Grund eines Falles von einseitiger Apraxie. *Monatschrift für Psychiatrie und Neurologie*, 8, 15-44.
125. Liepmann, H. 1904. On apraxia. *Arch. f. Phychiatrie*, Vol. 38, p. 300.
126. Lorenz, K. 1935. Der Kumpan in der Umwelt des Vogels. Der Artgenosse als auslösendes Moment sozialer Verhaltensweisen. *Journal für Ornithologie. Beiblatt.*(Leipzig).
127. Loring, D. W., Meador, K. J., Lee, G. P., Murro, A. M., Smith, J. R., Flanigin, H. F., ... y King, D. W. 1990. Cerebral language lateralization: evidence from intracarotid amobarbital testing. *Neuropsychologia*, 28(8), 831-838.
128. Loussouarn, G., Lozano, I., Panhard, S., Collaudin, C., El Rawadi, C., y Genain, G. 2016. Diversity in human hair growth, diameter, colour and shape. An in vivo study on young adults from 24 different ethnic groups observed in the five continents. *European Journal of Dermatology*, 26(2), 144-154.
129. Lövblad, K. O., Ramelli, G., Remonda, L., Nirkko, A. C., Ozdoba, C., y Schroth, G. 1997. Retardation of myelination due to dietary vitamin B 12 deficiency: cranial MRI findings. *Pediatric radiology*, 27(2), 155-158.
130. Love, R. 1979. 'Alice in Eugenics-Land': Feminism and Eugenics in the Scientific Careers of Alice Lee and Ethel Elderton. *Annals of science*, 36(2), 145-158.
131. Luders, E., Narr, K. L., Bilder, R. M., Thompson, P. M., Szeszko, P. R., Hamilton, L., y Toga, A. W. 2007. Positive correlations between corpus callosum thickness and intelligence. *Neuroimage*, 37(4), 1457-1464.
132. Luders, E., Narr, K. L., Thompson, P. M., & Toga, A. W. 2009. Neuroanatomical correlates of intelligence. *Intelligence*, 37(2), 156-163.
133. Luders, E., Narr, K. L., Thompson, P. M., & Toga, A. W. 2009. Neuroanatomical Mancuso, L., Costa, T., Nani, A., Manuello, J., Liloia, D., Gelmini, G., y Cauda, F. 2019. The homotopic connectivity of the functional brain: a meta-analytic approach. *Scientific reports*, 9(1), 1-19.
134. Luders, E., Thompson, P. M., y Toga, A. W. 2010. The development of the corpus callosum in the healthy human brain. *Journal of Neuroscience*, 30(33), 10985-10990.

135. Mancuso, L., Costa, T., Nani, A., Manuello, J., Liloia, D., Gelmini, G., y Cauda, F. 2019. The homotopic connectivity of the functional brain: a meta-analytic approach. *Scientific reports*, 9(1), 1-19.
136. Mansur, D. I., Haque, M. K., Sharma, K., Mehta, D. K., y Shakya, R. 2014. Use of head circumference as a predictor of height of individual. *Kathmandu University Medical Journal*, 12(2), 89-92.
137. Marks, J. 1995. *Human Biodiversity: Genes, Race, and History* Aldine de Gruyter, New York.
138. Martin, M., Mullis I., y Chrostowski, J. 2004. TIMSS 2003 technical report, TIMSS and PIRLS International Study Center, Boston College, Chestnut Hill, MA.
139. McCormick, C. M., Witelson, S. F., y Kingstone, E. 1990. Left-handedness in homosexual men and women: Neuroendocrine implications. *Psychoneuroendocrinology*, 15(1), 69-76.
140. Men, W., Falk, D., Sun, T., Chen, W., Li, J., Yin, D., y Fan, M. 2014. The corpus callosum of Albert Einstein's brain: another clue to his high intelligence?. *Brain*, 137(4), e268-e268.
141. Mezrich, R. 1995. A perspective on K-space. *Radiology*, 195(2), 297-315.
142. Michels, K. B., Greenland, S., & Rosner, y. A. 1998. Does body mass index adequately capture the relation of body composition and body size to health outcomes?. *American Journal of Epidemiology*, 147(2), 167-172.
143. Milham, M. P. 2012. Open neuroscience solutions for the connectome-wide association era. *Neuron*, 73(2), 214-218.
144. Moreno, M. B., Concha, L., Gonzalez-Santos, L., Ortiz, J. J., & Barrios, F. A. 2014. Correlation between corpus callosum sub-segmental area and cognitive processes in school-age children. *PloS one*, 9(8).
145. Myers, R. 1955. The corpus callosum and hemispheric interaction. Thesis (Ph.D.). University of Chicago, Department of Anatomy.
146. Myers, R. E. 1956. Function of corpus callosum in interocular transfer. *Brain*, 79(2), 358-363.
147. Myers, R. E. 1957. Corpus callosum and interhemispheric communication-enduring memory effects. In *Federation Proceedings* (Vol. 16, No. 1, pp. 92-92). 9650 Rockville pike, Bethesda, MD 20814-3998: Federation Amer Soc Exp Biol.

148. Myers, R. E., y Sperry, R. W. 1958. Interhemispheric communication through the corpus callosum: mnemonic carry-over between the hemispheres. *AMA Archives of Neurology & Psychiatry*, 80(3), 298-303.
149. Naidich, T. P., Daniels, D. L., Pech, P., Haughton, V. M., Williams, A., y Pojunas, K. 1986. Anterior commissure: anatomic-MR correlation and use as a landmark in three orthogonal planes. *Radiology*, 158(2), 421-429.
150. Nasrallah, H. A., y McChesney, C. M. 1981. Psychopathology of corpus callosum tumors. *Biological Psychiatry*, 16(7), 663–669.
151. Neumann, C. G., Murphy, S. P., Gewa, C., Grillenberger, M., y Bwibo, N. O. 2007. Meat supplementation improves growth, cognitive, and behavioral outcomes in Kenyan children. *The Journal of Nutrition*, 137(4), 1119-1123.
152. Nieuwenhuys, R., Voogd, J., Huijzen C. 2008. *El Sistema Nervioso Central Humano*.
153. Ocklenburg, S., y Güntürkün, O. 2017. *The lateralized brain: The neuroscience and evolution of hemispheric asymmetries*. Academic Press.
154. Oldfield, R. C. 1971. The assessment and analysis of handedness: the Edinburgh inventory. *Neuropsychologia*, 9(1), 97-113.
155. Olivares, R., Montiel, J., & Aboitiz, F. 2001. Species differences and similarities in the fine structure of the mammalian corpus callosum. *Brain, behavior and evolution*, 57(2), 98-105.
156. Ota, M., Obata, T., Akine, Y., Ito, H., Ikehira, H., Asada, T., & Suhara, T. 2006. Age-related degeneration of corpus callosum measured with diffusion tensor imaging. *Neuroimage*, 31(4), 1445-1452.
157. Owen, R. 1837. On the structure of the brain in marsupial animals. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, (127), 87-96.
158. Ozturk, A. H., Tascioglu, B., Aktekin, M., Kurtoglu, Z., y Erden, I. 2002. Morphometric comparison of the human corpus callosum in professional musicians and non-musicians by using in vivo magnetic resonance imaging. *Journal of neuroradiology*, 29(1), 29-34.
159. Paul, L. K., Brown, W. S., Adolphs, R., Tyszka, J. M., Richards, L. J., Mukherjee, P., & Sherr, E. H. 2007. Agenesis of the corpus callosum: genetic, developmental and functional aspects of connectivity. *Nature Reviews Neuroscience*, 8(4), 287-299.
160. Pearson, K. 1906. On the relationship of intelligence to size and shape of head, and to other physical and mental characters. *Biometrika*, 5(1/2), 105-146.

161. Peters, M. 1991. Sex differences in human brain size and the general meaning of differences in brain size. *Canadian Journal of Psychology/Revue canadienne de psychologie*, 45(4), 507.
162. Powell, T. P., Cowan, W. M., y Raisman, G. 1965. The central olfactory connexions. *Journal of Anatomy*, 99(Pt 4), 791.
163. Preuss, U. W., Meisenzahl, E. M., Frodl, T., Zetzsche, T., Holder, J., Leinsinger, G., ... & Möller, H. J. 2002. Handedness and corpus callosum morphology. *Psychiatry Research: Neuroimaging*, 116(1-2), 33-42.
164. Rafter, N. 2004. Earnest A. Hooton and the biological tradition in American criminology. *Criminology*, 42(3), 735-772.
165. Rapoport, S. I. 1990. Integrated phylogeny of the primate brain, with special reference to humans and their diseases. *Brain Research Reviews*, 15(3), 267-294.
166. Rauch, R., y Jinkins, J. 1994. Analysis of cross-sectional area measurements of the corpus callosum adjusted for brain size in male and female subjects from childhood to adulthood. *Behavioural brain research*, 64(1-2), 65-78.
167. ReFaey, K., Quinones, G. C., Clifton, W., Tripathi, S., y Quiñones-Hinojosa, A. 2019. The Eye of Horus: The Connection Between Art, Medicine, and Mythology in Ancient Egypt. *Cureus*, 11(5).
168. Rigal, 1988. *Motricidad humana. Fundamentos y aplicaciones pedagógicas*. Madrid: Pila Teleña.
169. Rippon, G. 2019. *The Gendered Brain: The new neuroscience that shatters the myth of the female brain*. Random House.
170. Risse, G. L., LeDoux, J., Springer, S. P., Wilson, D. H., y Gazzaniga, M. S. 1978. The anterior commissure in man: Functional variation in a multisensory system. *Neuropsychologia*, 16(1), 23-31.
171. Rogers, L. J., Vallortigara, G., y Andrew, R. J. 2013. *Divided brains: the biology and behaviour of brain asymmetries*. Cambridge University Press.
172. Rubenstein, J. E., Kossoff, E. H., Pyzik, P. L., Vining, E. P., McGrogan, J. R., y Freeman, J. M. 2005. Experience in the use of the ketogenic diet as early therapy. *Journal of child neurology*, 20(1), 31-34.
173. Rushton, J. P., Skuy, M., y Bons, T. A. 2004. Construct validity of Raven's Advanced Progressive Matrices for African and non-African engineering students in South Africa. *International Journal of Selection and Assessment*, 12(3), 220-229.

174. Sagan, C. 1993. Los dragones del Edén: especulaciones sobre la evolución de la inteligencia humana (Vol. 262). Crítica.
175. Sagan, C. 2012. Dragons of Eden: Speculations on the evolution of human intelligence. Ballantine Books.
176. Santamaría, J., Gil, E., Gallego, E., Gómez, C., y Rodríguez-Martínez, E. 2003. Desarrollo diferencial del cuerpo calloso en relación con el hemisferio cerebral. *Revista española de neuropsicología*, 5(1), 49-64.
177. Scammon, R. E. 1930. The measurement of body in childhood. The measurement of man.
178. Scheffler, C., Greil, H., y Hermanussen, M. 2017. The association between weight, height, and head circumference reconsidered. *Pediatric research*, 81(5), 825-830.
179. Schell, L. M. 1995. Human biological adaptability with special emphasis on plasticity: history, development and problems for future research. *Human variability and plasticity*. Cambridge: Cambridge University Press. p, 213-237.
180. Schell-Apacik, C. C., Wagner, K., Bihler, M., Ertl-Wagner, B., Heinrich, U., Klopocki, E., y Von Voss, H. 2008. Agenesis and dysgenesis of the corpus callosum: clinical, genetic and neuroimaging findings in a series of 41 patients. *American journal of medical genetics Part A*, 146(19), 2501-2511.
181. Schepers, G. W. H. 1938. The corpus callosum and related structures in the South African negro brain. *American Journal of Physical Anthropology*, 24(2), 161-184.
182. Schlaug, G., Jäncke, L., Huang, Y., Staiger, J. F., y Steinmetz, H. 1995. Increased corpus callosum size in musicians. *Neuropsychologia*, 33(8), 1047-1055.
183. Schoenemann, P. T., Sheehan, M. J., y Glotzer, L. D. 2005. Prefrontal white matter volume is disproportionately larger in humans than in other primates. *Nature neuroscience*, 8(2), 242-252.
184. Scholz, J., Klein, M. C., Behrens, T. E., y Johansen-Berg, H. 2009. Training induces changes in white-matter architecture. *Nature neuroscience*, 12(11), 1370-1371.
185. Sigman, M. 1982. Plasticity in development: Implications for intervention. Facilitating infant and early childhood development. Hanover, NH: University Press of New England.
186. Singer, C. 1956. Galen on Anatomical Procedures: Translation of the Surviving Books; with Introduction and Notes. Wellcome Historical Medical Museum.

187. Slager, U. T., Kelly, A. B., y Wagner, J. A. 1957. Congenital absence of the corpus callosum: Report of a case and review of the literature. *New England Journal of Medicine*, 256(25), 1171-1176.
188. Smith, R. J. 2005. Relative Size versus Controlling for Size. *Current Anthropology*, 46(2), 249–273. doi:10.1086/427117
189. Spauwen, P. J., Murphy, R. A., Jónsson, P. V., Sigurdsson, S., Garcia, M. E., Eiriksdottir, G., ... y Launer, L. J. 2017. Associations of fat and muscle tissue with cognitive status in older adults: the AGES-Reykjavik Study. *Age and ageing*, 46(2), 250-257.
190. Sperry, R. W., Stamm, J. S., y Miner, N. 1956. Relearning tests for interocular transfer following division of optic chiasma and corpus callosum in cats. *Journal of Comparative and Physiological Psychology*, 49(6), 529.
191. Springer, S. P., y Deutsch, G. 2001. *Cerebro izquierdo. Cerebro derecho*. Barcelona: Ariel Neurociencia.
192. Stanek, K. M., Grieve, S. M., Brickman, A. M., Korgaonkar, M. S., Paul, R. H., Cohen, R. A., & Gunstad, J. J. (2011). Obesity is associated with reduced white matter integrity in otherwise healthy adults. *Obesity*, 19(3), 500-504.
193. Steele, C. J., Bailey, J. A., Zatorre, R. J., & Penhune, V. B. 2013. Early musical training and white-matter plasticity in the corpus callosum: evidence for a sensitive period. *Journal of Neuroscience*, 33(3), 1282-1290.
194. Steinmetz, H., Staiger, J. F., Schlaug, G., Huang, Y., y Jäncke, L. 1995. Corpus callosum and brain volume in women and men. *Neuroreport*, 6(7), 1002-1004.
195. Stievenart, J., Iba-Zizen, M., Tourbah, A., Lopez, A., Thibierge, M., Abanou, A., y Cabanis E. 1997. Minimal surface: a useful paradigm to describe the deeper part of the corpus callosum? *Brain Res Bull* 1997;44(2):117-124.
196. Stockard, C. R. 1921. Developmental rate and structural expression: an experimental study of twins, 'double monsters' and single deformities, and the interaction among embryonic organs during their origin and development. *American Journal of Anatomy*, 28(2), 115-277.
197. Strauss, E., Wada, J., & Hunter, M. 1994. Callosal morphology and performance on intelligence tests. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 16(1), 079-083.
198. Sullivan, E. V., Rosenbloom, M. J., Desmond, J. E., y Pfefferbaum, A. 2001. Sex differences in corpus callosum size: relationship to age and intracranial size. *Neurobiology of aging*, 22(4), 603-611.
199. Sun, T., y Walsh, C. 2006. Molecular approaches to brain asymmetry and handedness. *Nature Reviews Neuroscience*, 7(8), 655-662.

200. Tanaka-Arakawa, M. M., Matsui, M., Tanaka, C., Uematsu, A., Uda, S., Miura, K., ... & Noguchi, K. 2015. Developmental changes in the corpus callosum from infancy to early adulthood: a structural magnetic resonance imaging study. *PloS one*, 10(3).
201. Tanner, J. 1966. *Educación y desarrollo físico*. Edit. Siglo XXI, México DF.
202. Tanner, J. M. 1981. *A history of the study of human growth*. Cambridge University Press.
203. Tomasch, J. 1954. Size, distribution, and number of fibres in the human corpus callosum. *The Anatomical Record*, 119(1), 119-135.
204. Verstynen, T. D., Weinstein, A. M., Schneider, W. W., Jakicic, J. M., Rofey, D. L., & Erickson, K. I. 2012. Increased body mass index is associated with a global and distributed decrease in white matter microstructural integrity. *Psychosomatic medicine*, 74(7), 682.
205. Vesalius, A. 1999. *De humani corporis fabrica* (No. 2). Norman Publishing.
206. Wade, N. 1994. Method and madness: How men and women think. *New York Times Magazine*, Julio 12, 32.
207. Wade, N. 2014. *A troublesome inheritance: Genes, race and human history*. Penguin.
208. Wade, N. 2015. *Una herencia incomoda*. Barcelona. Ariel
209. Weeks, R., Horwitz, B., Aziz-Sultan, A., Tian, B., Wessinger, C. M., Cohen, L. G., ... & Rauschecker, J. P. 2000. A positron emission tomographic study of auditory localization in the congenitally blind. *Journal of Neuroscience*, 20(7), 2664-2672.
210. Westerhausen, R., Kreuder, F., Sequeira, S. D. S., Walter, C., Woerner, W., Wittling, R. A., ... y Wittling, W. 2004. Effects of handedness and gender on macro-and microstructure of the corpus callosum and its subregions: a combined high-resolution and diffusion-tensor MRI study. *Cognitive brain research*, 21(3), 418-426.
211. Westerhausen, R., y Hugdahl, K. 2008. The corpus callosum in dichotic listening studies of hemispheric asymmetry: a review of clinical and experimental evidence. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 32(5), 1044-1054.
212. Wilson, D., Mundy-Castle, A., y Panditji, L. 1990. Birth order and intellectual development among Zimbabwean children. *The Journal of social psychology*, 130(3), 409-411.

213. Witelson, S. F. 1985. The brain connection: the corpus callosum is larger in left-handers. *Science*, 229(4714), 665-668.
214. Witelson, S. F. 1989. Hand and sex differences in the isthmus and genu of the human corpus callosum: a postmortem morphological study. *Brain*, 112(3), 799-835.
215. Witelson, S. F., Kigar, D. L., Scamvougeras, A., Kideckel, D. M., Buck, B., Stanchev, P. L., y Black, S. 2008. Corpus callosum anatomy in right-handed homosexual and heterosexual men. *Archives of Sexual Behavior*, 37(6), 857-863.
216. Witelson, S. F., Kigar, D. L., y Harvey, T. 1999. The exceptional brain of Albert Einstein. *The Lancet*, 353(9170), 2149-2153.
217. Wolf, D., Fischer, F. U., Fesenbeckh, J., Yakushev, I., Lelieveld, I. M., Scheurich, A., y Fellgiebel, A. 2014. Structural integrity of the corpus callosum predicts long-term transfer of fluid intelligence-related training gains in normal aging. *Human brain mapping*, 35(1), 309-318.
218. Xu, J., Li, Y., Lin, H., Sinha, R., y Potenza, M. N. 2013. Body mass index correlates negatively with white matter integrity in the fornix and corpus callosum: a diffusion tensor imaging study. *Human brain mapping*, 34(5), 1044-1052.
219. Yakovlev, P. I., y Lecours, A. R. 1967. The myelogenetic cycles of the regional maturation of the brain. A symposium organized by the council for international organizations for medical sciences. *Regional development of the brain in early life*, 3-70.
220. Zaslavsky C. 1993. *Multicultural Mathematics: Interdisciplinary Cooperative-learning Activities* . Zaslavsky C (ed): J Weston Walch, Portland, M.
221. Zinn, J. G. 1749. *Dissertatio inauguralis medica sistens experimenta quaedam circa corpus callosum, cerebellum, duram meningem, in vivis animalibus instituta*. Oct. 1749. Apud Abram Vandenhoeck.