


ANTROPOLOGÍA



Neuronas von Economo

(PARTE I). Histología de funciones diferenciadas

Este trabajo, presentado en tres partes, estará dedicado a compartir hallazgos recientes sobre el sistema de neuronas von Economo. Presentamos aquí la primera parte.

 **Lic. Vivina Perla Salvetti**
Ciencias Antropológicas
Facultad de Filosofía y Letras (UBA)
visalvetti@filo.uba.ar

Los estudios comparados de Allman, Hakeem, Hof y Gucht, respecto de la emergencia de neuronas en huso en homínidos y otros mamíferos grandes por evolución convergente, revelan funciones de integración del registro perceptivo del cuerpo y emociones derivadas de la historia vital. El hallazgo que supone la neurogénesis postnatal y posterior desarrollo puberal del sistema von Economo, introduce la comprensión de aquellos factores que favorecen tanto la adaptación del cuerpo al espacio durante la primera infancia, como la crucial aceptación de las transformaciones adaptativo-conductuales durante la adolescencia, cuando tienden a la retroalimen-

tación positiva de las posibilidades perceptivas del propio cuerpo, o la confianza en sí mismo, de carácter saludable, autosostenida y orientada hacia la contribución del bien común.

Los estudios de las funciones de integración del sistema fusiforme, además de aumentar nuestra comprensión sobre el sustrato neuronal que reúne la suma de percepciones y huellas fisiológicas de la experiencia adaptativa, representan a su vez, un aporte sólido a las Neurociencias de la Ética y la Fenomenología kantiana, por cuanto ambas reflexionan sobre la necesidad de incorporar percepciones objetivas que ofrezcan solidez a la elaboración de conceptos abstractos.

INTRODUCCIÓN

Se conoce actualmente como sistema de Neuronas von Economo (NvE) a las redes de neuronas con forma de huso, claramente distinguibles en forma, tamaño y ubicación, de las neuronas piramidales observadas en las capas corticales.

Las primeras descripciones naturalistas de las *neuronas en huso* (o *fusiformes*) fueron documentadas por el médico español Santiago Ramón y Cajal (1899). Aquí resulta pertinente distinguir para evitar confusiones entre las neuronas vinculadas con los *husos musculares*, y las neuronas con el *núcleo en forma de huso* de la neuroglia (Figura 1).

El reconocimiento de las respuestas neuronales vinculadas con la neuroglia, se atribuye a Rudolf Virchow (1921-1902), así como el descubrimiento de las particularidades del tejido nervioso.¹ En 1846, describió la sustancia conectiva no neuronal en cerebro y médula espinal en la que los otros elementos del sistema nervioso (células nerviosas y fibras) estaban embebidos (Virchow, 1846) y denominó a esta sustancia *Nerven Kitt* (pegamento nervioso), término más tarde traducido por neuroglia. Virchow también



Figura 1: Diferencias entre una neurona piramidal y una neurona fusiforme. Descrietas por Ramón y Cajal en 1899, estudiadas después en detalle por Constantin von Economo, las neuronas fusiformes quedaron relegadas al olvido hasta principios del siglo XXI. Se diferencian de las neuronas piramidales en tamaño y forma. ¿Por qué se las denomina así? El termino fusiforme viene de huso. Se denomina huso al soporte donde se arrollan las fibras torcidas para la producción de hilo desde tiempos inmemoriales. Cuando el hilo se va arrollando, el material se acumula en el centro y dispersa en los extremos.

observó que la sustancia intersticial *contenía células especiales con forma de huso*.

Ramón y Cajal realizó las primeras descripciones naturalistas de la citoarquitectura cortical en 1899, y posteriormente en 1913 (Figura 2). Además, realizó descripciones esenciales sobre la identificación, estructura y función de la neuroglia, y describió magistralmente la neurogénesis de las células fusiformes, la morfología de los astrocitos y su relación con las neuronas y vasos sanguíneos (De Felipe, 2005; Salvetti 2020).²

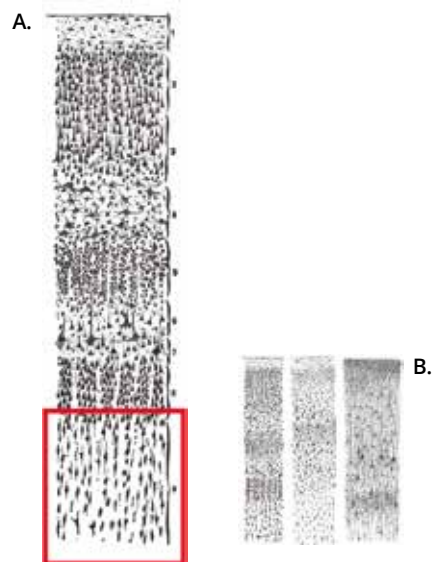


Figura 2: Neuronas Fusiformes descritas por Ramón y Cajal en 1899.

A. Sección vertical de la corteza visual humana Calcarine sulcus, teñida por el método de Nissl -semischematic. 1. Capa plexiforme. 2. Capa de pequeñas pirámides. 3. Capa de pirámides medianas. 4. Capa de grandes células estrelladas. 6. Capa de pequeñas células estrelladas. 6. Segunda capa plexiforme, o capa de pequeñas pirámides con axón arqueado. 7. Capa de pirámides gigantes. 8. Capa de células piramidales de tamaño mediano con axón ascendente. 9. *Capa de células fusiformes y triangulares*.

B. Citoarquitectura corteza cerebral humana. Tres dibujos naturalistas de Santiago Ramón y Cajal, que describen la citoarquitectura cerebral humana. Fueron tomado del libro "Estudio comparativo de las áreas sensoriales de la corteza humana", (1899) páginas 314, 361 y 363.

Izquierda: *corteza visual* de adulto humano teñida de Nissl. Centro: *corteza motora* de adulto humano. (Nissl) Derecha: *corteza de bebé* de 1 1/2 meses, teñida con Golgi

La hipótesis de Ramón y Cajal sobre la neurogénesis de las neuronas en huso durante el desarrollo y maduración del cerebro humano fue confirmada experimentalmente hace poco (Figura 3). El Grupo de Tokio dirigido por Ohtaka-Maruyama, describió en Science cómo la forma de las neuronas en huso responde a mensajes químicos transmitidos por neuronas subplacas sobre neuronas multipolares.³ De este modo el grupo de Tokio confirmó experimentalmente la hipótesis de Cajal realizada hace más de un siglo (Ohtaka-Maruyama et al, 2018; Salvetti 2020).

A partir de la década de 1920, el sistema de neuronas diferenciadas fusiforme pasó a ser conocido como sistema de neuronas von Economo, debido a la difusión alcanzada a principios del siglo XX de trabajos realizados por Constantin Von Economo (1876-1931).

El barón y médico austríaco Constantin Freiherr von Economo (1876-1931) inició sus investiga-

ciones como asistente de Wagner Jauregg, psiquiatra en Viena. Allí se dedicó a la anatomía y fisiología del cerebro medio, la protuberancia y la vía del nervio trigémino. Von Economo estudió detalladamente el tamaño y número de neuronas fusiformes, y las describió como enormes neuronas alargadas, que presentan el núcleo con forma de huso, y un tamaño que cuadruplica la célula piramidal. Indicó que se trataba de una célula especializada y localizada en el giro insular.

El Dr. von Economo alcanzó gran reconocimiento en su tiempo, luego de describir la encefalitis letárgica como una de las causas principales de la enfermedad de Parkinson post-encefálica, también conocida como Enfermedad de Von Economo.

En 1925, publicó junto a George Koskinas *Die Cytoarchitektonik der Hirnrinde des Menschen Erwachsenen*, obra olvidada durante décadas.

Luego de esos avances sobre patologías neuronales derivadas de lesiones con origen infeccioso, el sistema von Economo fue simplemente archivado en investigación biomédica.

No obstante, el monumental *Atlas citoarquitectónico* de la corteza cerebral humana adulta que Economo y Koskinas presentaron en 1925, fue objeto reciente de revisión por Lazaros C. Triarhou, quien reconoce que su elaboración representó un gigantesco esfuerzo intelectual y técnico.

Las descripciones clásicas de 44 áreas de Brodman fueron ampliadas por von Economo y Koskinas a 107 áreas corticales. Los criterios citoarquitectónicos del Atlas original confirieron la ventaja de un esquema de parcelación más detallado. Von Economo y Koskinas acompañaron su trabajo con grandes placas fotomicrográficas de sus diapositivas histológicas, junto con tablas

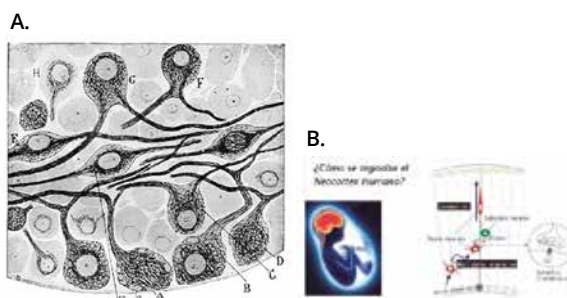


Figura 3: Cambios morfológicos (de multipolar a fusiforme) ocurren durante la migración temprana. A. Según Ramón y Cajal, los cambios morfológicos en las neuronas ocurren durante la migración. Ramón y Cajal elaboró en 1913 la hipótesis que la monopolaridad de las neuronas de los ganglios raquídeos, que representa ahorro de tiempo para la conducción del impulso nervioso, responde a la migración durante la fase embrionaria. Tal dislocación del cuerpo central, acarrearía el pasaje de la forma multipolar primitiva a la monopolar secundaria (fig. 180 publicada en las memorias de Ramón y Cajal, 1917). B. El Grupo dirigido por Ohtaka-Maruyama describió en 2018 que las neuronas subplacas envían señales químicas para controlar la forma en huso que facilita la migración de neuronas fetales. (Imagen original de acceso abierto, publicada en Science).

que contenían información detallada de la capa morfológica indicada, el tamaño de la neurona y el grosor del manto cortical de cada región descrita. El Atlas von Economo-Koskinas, a partir del éxito de la reedición 2007, fue recientemente digitalizado, dado que ofrece información contrastable con los datos que arrojan las IRM (Triarhou, 2007; Scholtens et al, 2018).

Durante décadas se creyó que el desarrollo y/o atrofia de neuronas fusiformes ocurría únicamente en el cerebro humano, hasta que recientemente comenzó a recibir atención al descubrirse en cerebros de algunos primates (no todos), en cetáceos (ballenas, cachalotes y delfines) y en elefantes, tanto asiáticos como africanos. Estas especies son conocidas tradicionalmente por su inteligencia, su sentido de socialización y cooperación para supervivencia. Desde la antigüedad encontramos relatos de naufragos que recibieron ayuda crucial de mamíferos marinos para llegar a la costa y sobrevivir.

No debiera llamar la atención que la publicación del hallazgo de neuronas de huso en el cerebro de estos mamíferos consiguiera impulsar el estudio de las funciones diferenciadas de estas neuronas en el cerebro, y, por ende, en la mente y comportamiento humanos.

Este trabajo está dedicado en la primera parte a describir las funciones recientemente descubiertas de estas neuronas. Para ello iniciaremos con los trabajos de Hof y van der Gucht, quienes realizaron estudios de anatomía comparada de neuronas cerebrales procedente de mamíferos marinos, con avances que complementan observaciones etológicas de elefantes. Seguiremos con los trabajos del Dr. John Allman, quien propuso denominar al sistema von Economo como *neuronas de la intuición*.

Allman vincula las funciones particulares de las neuronas fusiformes en el *Homo sapiens* durante la primera infancia y la adolescencia con una mirada que permite comprender a tales períodos como una suerte de edad de oro para fomentar socialmente la cooperación y solidaridad grupales que favorecen la supervivencia del grupo, y representa una continuidad de conductas aprendidas por las cuales las especies mencionadas son reconocidas en la tradición oral desde tiempos antiguos.

Adelantamos que, en la segunda y tercera parte de este trabajo, procuraremos describir las funciones de las neuronas en huso en otros mamíferos grandes, e inclusive, en homínidos extintos. Estos hallazgos además de aumentar nuestra comprensión sobre el sustrato neuronal que reúne la suma de percepciones y huellas fisiológicas de la experiencia adaptativa, representan a su vez, un aporte sólido a las Neurociencias de la Ética como enfoque multidisciplinar.

NOVEDADES EN LA ESTRUCTURA DE LA CORTEZA CEREBRAL DE LA BALLENA

En 2007 por los estadounidenses Patrick Hof y Estel van der Gucht realizaron un amplio estudio de citofisiología cerebral comparada de mamíferos marinos. Los investigadores introdujeron para discusión académica lo que “representa una de las raras descripciones de la *organización cortical de un cerebro místico*”.⁴ (Hof y van der Gucht, 2007).

El estudio se concentra en describir la citoarquitectura de la ballena jorobada *Megaptera novaeanglae*, cuyo neocortex que presenta abundantes células fusiformes, o von Economo. Los investigadores fueron claros en expresar que buscaban revelar características organizativas que sirvan como correlatos de las especializaciones funcio-

nales que caracterizan la conducta de estos cetáceos.⁵ Hof y van der Gucht encontraron que el neocórtex de la ballena jorobada difiere de otros odontocetos en muchos aspectos.⁶

El equipo de Hof y van der Gucht estudió la corteza cerebral de la ballena jorobada (*Megaptera novaeangliae*) en comparación con otras especies representativas. Si bien la biología de la ballena jorobada está bien documentada, prácticamente no había información en la literatura sobre la estructura de su cerebro más allá de descripciones aisladas de características genéricas de la superficie cortical.

El hallazgo más sorprendente en esta especie de ballena fue la presencia de *células fusiformes grandes*, (Figura 4), similares en morfología y distribución a las descritas en los homínidos, que pueden proporcionar una base neuromorfológica

para las diferencias funcionales, así como un *reflejo de su evolución convergente*.⁷

Según lo observado por Hof y Gucht, la extensión de las neuronas en huso ofrece una llamativa conexión fisiológica entre el registro de emociones y el de percepciones corporales. Sostienen que tales conexiones modulares confieren *niveles óptimos de inteligencia social para relaciones de cooperación tendientes al bienestar y supervivencia del grupo*.⁸

El hallazgo descrito de *células fusiformes* en el neocórtex, es decir, en regiones donde no se habían visto en homínidos (Figura 5), representa toda una especialización histológica.⁹ Estudios

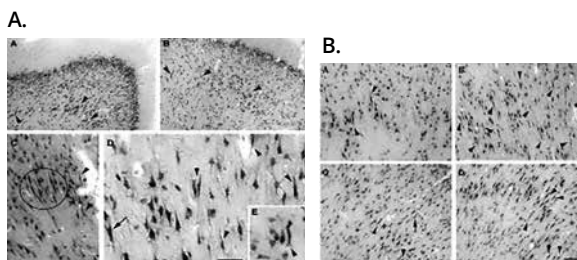


Figura 4. Hallazgo de células fusiformes en el neocórtex de la ballena jorobada.
(Izquierda) Hallazgo de neuronas fusiformes en *neocórtex* de ballena jorobada. (Hof y van der Gucht, 2007) Células fusiformes (puntas de flecha) en el cíngulo anterior (A) y las cortezas insulares (B). Observe su morfología alargada con dendritas apicales y basales claramente visibles (C y D; puntas de flecha), (Figura 15 en artículo original Hof y van der Gucht) (Derecha) **Densidad de neuronas fusiformes en neocórtex de ballena jorobada.** Distribución y densidades locales de células fusiformes en el neo-córtex de ballena jorobada. Las células fusiformes son más numerosas en la corteza cíngulo pregenual (A) y en la corteza frontoinsular (B). También se encuentran en densidades más bajas en la punta de la región frontopolar (C) y a lo largo de los giros orbitales (D). (Figura 16 original Hof y van der Gucht 2007).

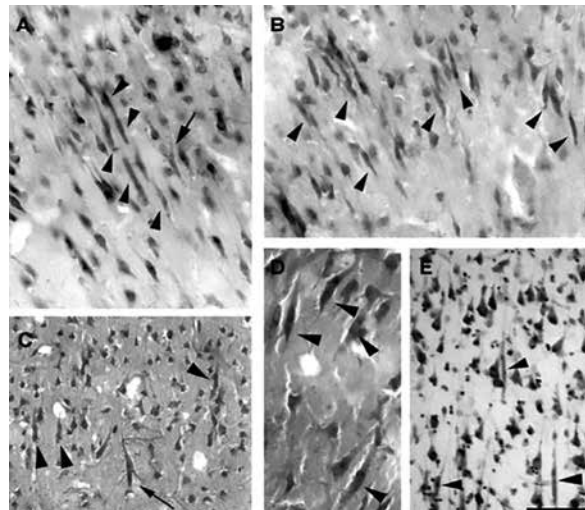


Figura 5. Comparación con muestras histológicas de otras especies (Hof y Van Der Gucht (2007). Células fusiformes en la corteza cíngulo anterior (A) y la ínsula (B) de la ballena de aleta, y en la corteza cíngulo anterior de la ballena de esperma (C) y la ínsula de la ballena asesina (D). Las células fusiformes (señaladas con puntas de flecha) en estas especies exhiben una morfología similar a la observada en la ballena jorobada y están presentes en las mismas regiones corticales. E) Muestra comparativa de cerebro humano que muestra células fusiformes más delgadas que A y C. Los investigadores confirmaron en jorobada la presencia de una compleja y extensa corteza "límbica", que incluye las cortezas cíngulo, retrosplenial e insular, y mostraron que la corteza frontopolar y orbital es más sustancial en los cetáceos de lo que generalmente se consideraba hasta aquí. (Figura 19 original de Hof y Van der Gucht, 2007).

previos demostraron que las células fusiformes representan una clase de *neuronas de proyección* que envían un axón a la sustancia blanca subcortical y *contribuyen a la conectividad de la corteza prefrontal y los centros subcorticales seleccionados*.

La función de las neuronas del huso requiere de estudios más exhaustivos. Existe evidencia procedente de estudios de sus funciones en el cerebro humano respecto que *representan una clase de neuronas de proyección* que envían un axón subcorticalmente y posiblemente de manera callosa (Allman et al., 2010).

Las neuronas en huso pueden estar involucradas en el control de integración de funciones cerebrales complejas que involucran emociones, control de vocalización, expresión facial o función autónoma, así como regulación de la función visceral, olfativa y gustativa.

Desde la mirada evolutiva, lo observado sugiere que la presencia de las células fusiformes no está necesariamente relacionada con un alto cociente de encefalización, sino con el tamaño absoluto del cerebro.¹⁰

Recordamos que los *escenarios ontogenéticos* y *adaptacionistas* actúan en sinergia en lugar de alternativas. Desde un punto de vista evolutivo, es interesante considerar que, en el linaje de los primates, las neuronas fusiformes observadas en humanos y grandes simios, probablemente aparecieron por primera vez en el ancestro común de los homínidos hace unos 15 millones de años.

En el momento de una posible reaparición de células fusiformes en cetáceos, aparecerían en el ancestro de los *grandes simios*, *presentando un caso interesante y raro de evolución paralela*

caracterizado por la aparición de un tipo morfológico único de neuronas de proyección, en un número muy restringido pero significativo de mamíferos grandes, especies altamente sociales, todas caracterizadas por una evolución relativamente reciente, una maduración lenta, tasa de reproducción baja con pocas crías, un cerebro enorme y gran tamaño corporal dentro de sus grupos (Marino, 2002). Los estudios de Hof y Gucht (2007) impulsaron las investigaciones del grupo de Hakeem (2008) sobre elefantes, quien además de realizar estudios citológicos de NvE, publicó un cladograma fundamentado en genética molecular, que revela la evolución convergente las especies mencionadas (Figuras 6 y 7).

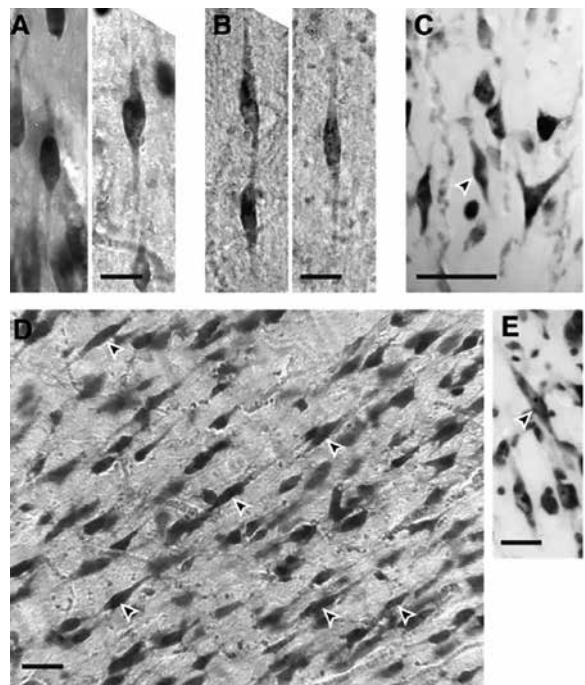


Figura 6: Fotomicrografías de NvE en el cerebro de Elefante (Hakeem et al,2008).

A: NvE en corteza frontoinsular de elefante africano (área FI). Escala = 25 μ m. B: Un par de NvE y una sola NvE en la corteza frontal dorsolateral (DL). Escala = 25 μ m. C: Una NvE (flecha) y neuronas cercanas de capa 5 en ACC de un elefante hindú. Escala = 70 μ m. D: Una vista de aumento más bajo del área FI en elefante africano. Las NvE se indican con flechas. Escala = 50 μ m. E: Una NvE (flecha) en el área FI del cerebro de un delfín mular. Escala = 60 μ m. (Figura 1 en la publicación original).

Si bien las funciones que desempeñan estas neuronas en las especies de cetáceos en las que se encuentran requieren más estudios, su presencia y distribución en áreas corticales específicas *son consistentes con la evidencia sustancial de comportamiento y complejidad social en cetáceos* (Rendell y Whitehead, 2001).¹¹

En conclusión, las observaciones registran la aparición de un gran número de células fusiformes, haciendo un caso de *evolución convergente con homínidos*. Los cerebros de cetáceos y primates se pueden considerar como alternativas evolutivas en la complejidad neurobiológica y sería convincente investigar cuántas características cognitivas y conductuales convergentes resultan de una organización neocortical tan distintiva.

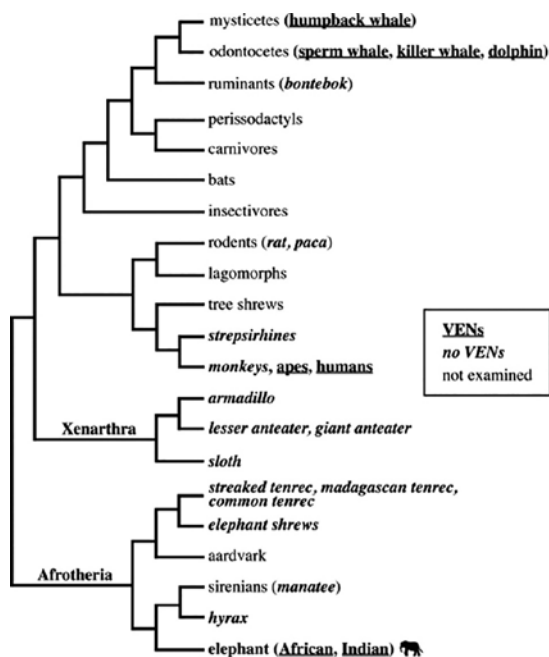


Figura 7. Distribución filogenética de las NvE. (Hakeem et al, 2008). Las especies en las que se han observado NvE se indican con subrayados; las especies que han sido examinadas y se ha comprobado que no poseen NvE se indican con cursiva. Tenga en cuenta que mientras que los elefantes africanos e indios tienen NvE, comparten este rasgo solo con otros grupos de cerebro grande (cetáceos y humanos / grandes simios) y no con sus parientes más cercanos, el hyrax de roca, el manatí, la musaraña elefante gigante y los tenrecs. (Figura 5 en el artículo publicado).

Los datos publicados por Hof y Gucht (2007) también muestran que la citoarquitectura de la corteza cerebral de los cetáceos es mucho más variable *entre* las especies de lo esperado. En vista del hecho que muchas especies de cetáceos son naturalmente esquivas, están mal documentadas y en grave peligro de extinción, los presentes hallazgos también proporcionan un marco anatómico para futuras investigaciones correlativas y comparativas del cerebro y comportamiento particulares de especies en riesgo.

PARTICULARIDADES DEL SISTEMA VON ECONOMO EN EL CEREBRO HUMANO

John Allman, del California Institute of Technology, viene investigando junto a Hakeem y Hof desde hace años, el sistema de las neuronas von Economo (NvE) en tanto sistema de células diferenciadas cuyas funciones únicas pueden ayudarnos a comprender la expresión de sentimientos y emociones, y con ello, la especificidad de la mente humana (Allman, 2000 y 2001).

Los estudios citológicos de Allman realizados al comenzar el tercer milenio, presentan hallazgos sorprendentes que revelan las neuronas von Economo bajo una nueva luz. Dichos hallazgos, fueron contextualizados con la información disponible, de modo que permitan realizar inferencias sobre las funciones de este sistema neuronal específico, cuyo desarrollo o atrofia presenta enormes consecuencias para la psiquis humana. El descubrimiento del mismo tipo de neuronas en el sistema de animales de enorme inteligencia como ballenas, delfines y elefantes, ofrecen pistas sobre las funciones de cooperación social que ha sido observada en este grupo de mamíferos (Figuras 8 y 9).

Allman describe su neurogénesis particular, donde *su crecimiento y consolidación depende del vínculo*

lo con la madre y de condiciones socioambientales específicas. Además, por otra parte, su disfunción ha sido asociada recientemente con las severas dificultades para interacción social que presentan personas diagnosticadas con autismo o esquizofrenia (Seeley et al, 2006; Allman et al, 2005).

Las NvE son neuronas de proyección, y se distinguen en tamaño y forma de sus vecinas. Poseen una sola dendrita basal grande, a diferencia de las neuronas piramidales, que tienen una serie de dendritas basales más pequeñas. La gran dendrita basal puede haber resultado de una transformación durante la evolución de los programas genéticos para el desarrollo de neuronas piramidales para concentrar el crecimiento del componente primario de la dendrita basal y suprimir la ramificación secundaria y terciaria. Las NvE tienen una arborización dendrítica estrecha que abarca las capas de la corteza y pueden muestrear y transmitir rápidamente la salida

de una matriz de neuronas en forma encolumnada (Figuras 10 y 11).

Las neuronas fusiformes son observables en cerebros humanos y en pequeñas cantidades en la semana 36 después de la concepción, *siguen siendo escasas en el momento del nacimiento*, aunque aumentan en número durante los primeros 8 meses después del nacimiento.¹²

Otro hallazgo importante que arrojó la investigación, reveló *un mayor número de NvE en el hemisferio derecho que en el izquierdo*, excepto en sujetos muy jóvenes. La mayoría de las NvE emergen postnatalmente, lo que se puede ver en la variación en número, concentración y en la formación del predominio hemisférico de las NvE en el lado derecho durante los primeros

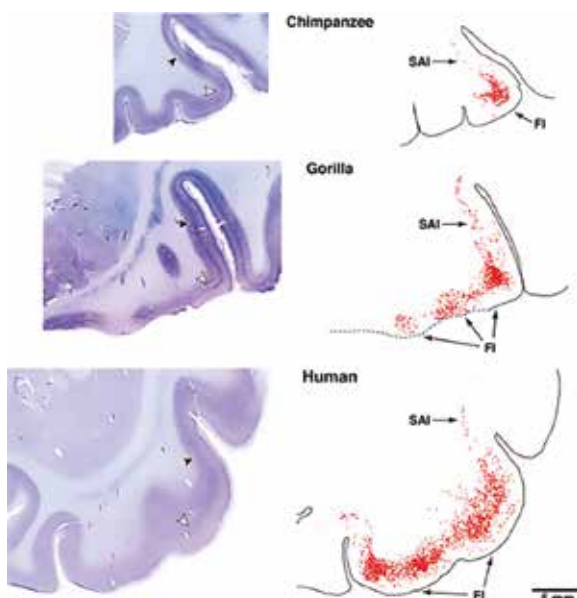


Figura 8. Neuronas Von Economo (NvE) Estudio comparativo entre especies (Allman et al. 2010). Distribución de las NvE en el área FI (corteza fronto-insular) en un chimpancé macho de 39 años, un gorila macho de 27 años y un bebé humano de año y medio. (Figura 3 del artículo original).

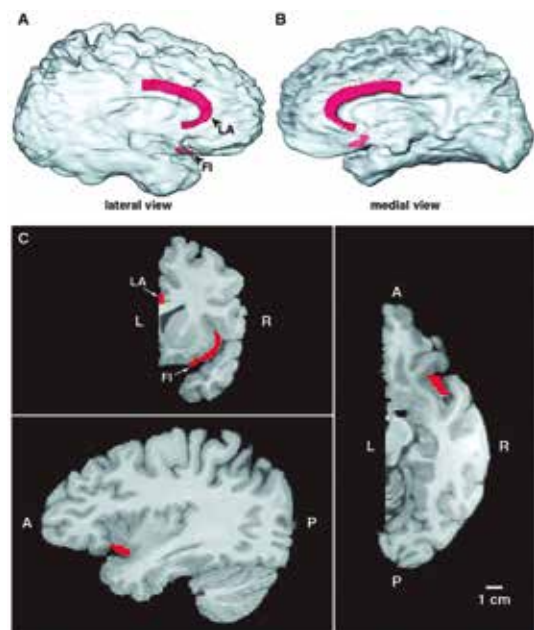


Figura 9. Regiones de Neuronas Von Economo en el cerebro humano A y B. Ubicación de las regiones FI (corteza fronto-insular) y LA (Límbico anterior, componente de la corteza cingulada) que contienen NvE en exploraciones de del hemisferio derecho de mujer adulta joven. (LA y FI están etiquetados en rojo) C Vista lateral y medial de una reconstrucción tridimensional del hemisferio derecho. (Figura 2 del artículo original de Allman et al, 2010 publicado en Brain).

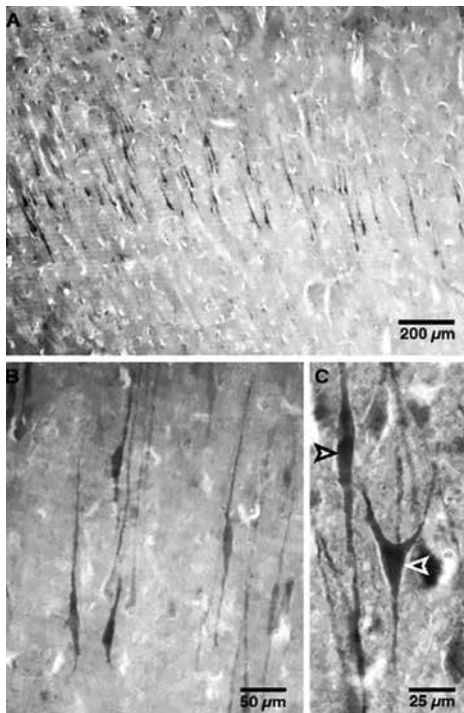


Figura 10. Neuronas von Economo, área FI humana (Allman, 2010).
 a Fotomicrografía de neuronas de la capa 5 del área FI en un sujeto masculino de 51 años de edad. b La mayoría de las neuronas teñidas son NvE en la capa 5. c Tinción de una NvE (punta de flecha blanca) y una célula de horquilla (punta de flecha negra) en la capa 5 del mismo sujeto. (Figura 10 del artículo original).

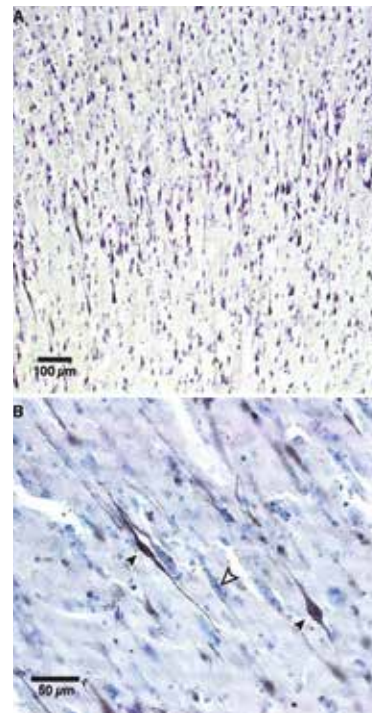


Figura 11. Neuronas von Economo, área FI humana (Allman, 2010).
 Se observa fuerte tinción de las somas y las dendritas NvE en el área FI.
 A. Fotomicrografía en el área FI de un sujeto masculino de 51 años de edad. B. imagen de la capa 5 que ilustra que NvE y un subconjunto de neuronas piramidales marcadas con el anticuerpo. Las puntas de flecha negras indican NvE marcadas por el anticuerpo; la punta de flecha blanca indica NvE no marcada. (Figura 11 del artículo original).

meses después del nacimiento. Esta aparición podría producirse por la transformación de otro tipo de células en las NvE o por neurogénesis postnatal. La forma del huso largo y delgado de las NvE con dendritas apicales y basales, a veces ondulantes, se asemeja mucho a la de las neuronas migratorias con procesos de avance y arrastre ondulados, y esto es particularmente evidente en los cerebros infantiles.

Por último y no menos importante, los investigadores recuerdan cómo los neuropéptidos de bombesina, NMB y GRP tienen una participación crucial en la liberación de enzimas digestivas, donde los sentimientos viscerales y el control de los intestinos interactúan con los circuitos involucrados en la toma de conciencia, la motivación y la toma de decisiones conscientes.

En este contexto, la expresión de NMB y GRP representa un aspecto conservador evolutivo de las NvE que refleja funciones muy básicas del control visceral, y permite a los investigadores vincular las funciones integradoras de las NvE con el *marcador somático* propuesto por el neurofisiólogo Antonio Damasio (Damasio, 1999; Salvetti 2013). Todo hace inferir que, de modo similar a como observamos en el sistema de neuronas espejo, el desarrollo óptimo de las funciones integradoras de las NvE dependen en gran medida del entorno y estímulo socio-ambiental, particularmente, del tipo de vínculo desarrollado con la madre y el entorno espacial (Allman et al, 2010; Gilbert et al, 2006).

Allman considera que las neuronas de von Economo *“funcionan como controladores del tráfico aéreo”* de las percepciones y emociones asociadas con la experiencia. Y eso lo consiguen *canalizando señales de zonas alejadas entre sí con el encéfalo. De hecho, la corteza cingular anterior*, una de las dos zonas donde están concentradas estas neuronas, se activa con las emociones intensas y también durante tareas complejas que requieren juzgar y discriminar, como la detección de patrones irregulares de algún tipo. Esta zona de la corteza parece fundamental en el *autocontrol* cuando experimentamos sensaciones intensas como amor, o enojo. Un ejemplo llamativo del papel de la corteza cingular anterior en las *emociones y la discriminación de las mismas*, advierte que estas neuronas se activan intensamente y de modo diferenciado cuando una madre oye llorar a su propio hijo y no a cualquier otra criatura (Allman et al, 2002 y 2010).

La otra zona donde están presentes las NvE, la *corteza ínsula frontal*, (FI) forma parte de un circuito complejo relacionado con el tacto, *la percepción del propio cuerpo* y emociones más complejas. La actividad de la ínsula anterior inferior, está relacionada con los cambios fisiológicos en el cuerpo, la toma de decisiones, el reconocimiento de errores y la conciencia (Bush y Allman, 2004; Allman et al, 2001).

El desarrollo de las funciones de las NvE se encuentra involucrado con el funcionamiento ejecutivo de un cuerpo que crece y madura, proceso acompañado necesariamente de grandes cambios hormonales y movilizaciones del sistema emocional y motor hasta alcanzar el autocontrol durante la adolescencia. Houdé (2010) sostiene que la perturbación emocional es consistente con el hecho que los adolescentes a menudo están incrustados psicológicamente en un período

de gran reactividad emocional y sensibilidad con sentimientos negativos, que pueden derivarse de los cambios fisiológicos del crecimiento y desarrollo hormonal y corporal. Inmerso en el torbellino de tales cambios, alcanzar la madurez y el control cognitivo que corresponde con la adultez implica *reconocer y aceptar la necesidad de equivocarse como etapa necesaria*. En esta etapa crucial, el reconocimiento de las funciones de retroalimentación de las NvE a medida que el adolescente *admite errores y equivocaciones como parte del proceso*, contribuye a un desarrollo emocional adaptativo, introduce confianza en sí mismo y permite proyectarse al futuro, impulsado por procesos de retroalimentación positiva favorecidos por el sistema NvE (Allman 2010).

En el caso de los humanos adultos, estudios recientes vinculan las neuronas von Economo con el sentido del yo, la empatía y la capacidad para organizar y supervisar otras partes del cerebro. Son neuronas especialmente adaptadas para integrar nuestras emociones y ayudan a concentrarnos. Aunque no producen pensamientos por sí mismas, pueden vincular con éxito diferentes grupos neuronales y *reconducir el flujo neuronal* (Allman et al, 2010).

De todas las especies en que están presentes estas grandes neuronas, los cerebros humanos presentan más cantidad y mayor tamaño relativo. El gran tamaño de las NvE en relación con las piramidales y otros tipos de células cerebrales, les permite tener largos árboles dendríticos y axónicos, que *introducen una rápida comunicación entre zonas alejadas del cerebro*. La necesidad adaptativa de comunicación rápida en cerebros con alto grado de encefalización, representa una presión selectiva hacia la evolución convergente de largas y extensas neuronas en huso en mamíferos de gran tamaño (Allman et al, 2010).

Las neuronas von Economo en la corteza fronto-insular (FI) impulsan la retroalimentación de las emociones, tanto la retroalimentación negativa (para evitar conductas nocivas para sí y el grupo) como positiva (que impulsan a imaginar y trabajar por un futuro mejor) ambas vinculadas con *respuestas inmediatas ante los imprevistos*.

Muchos concluyen que, la evolución de las neuronas von Economo favorecen una adaptación

relacionada con el tamaño del cerebro grande. El comportamiento social complejo a menudo requiere respuestas inmediatas, y esto hace que la *capacidad de responder rápidamente a las condiciones cambiantes* (que los humanos solemos describir como chispazos de intuición) sea crucial (Allman et al, 2005).

(FIN DE LA PRIMERA PARTE). **EAB**

Notas

- 1 Rudolf Virchow (1821-1902) es considerado el padre de la biología molecular y la anatomía patológica. En 1845 introdujo métodos experimentales en la observación microscópica de tejido enfermo. Virchow desarrolló el concepto que las unidades básicas de la vida eran las células del organismo viviente. y que sus condiciones patológicas resultarían en alteraciones funcionales del tipo correspondiente de tejido, (epitelial, conectivo, muscular o nervioso) debidas a factores externos, estableciendo así los fundamentos de la Patología celular desde entonces. En medio de discusiones sobre la generación espontánea de la vida, Virchow definió en 1855 el principio central en biología: "Toda célula proviene de otra célula" (*omnis celula ex celulla*). Este axioma fundante fue presentado en 1855 en colaboración con Robert Remak (1815-1865) y con posterioridad y de manos de Pasteur se volvería universalmente conocido. (Pérgola y Okner, 1986: 339-361).
- 2 Las descripciones iniciales a cargo de Ramón y Cajal publicadas en 1899 condujeron a una profundización de los estudios sobre la neuroglia en 1913, tal como cita en sus memorias "Por nuestra parte, hace años (1913) topamos también en la substancia blanca del cerebro con un elemento especial, que designamos *neuróglia heterotípica, fusiforme, y con escasas expansiones*" Sin embargo, Ramón y Cajal dando muestras de su habitual honestidad intelectual, reconoce que la "revelación de la generalidad de este corpúsculo microglial y la descripción de las diversas formas que adopta en el cerebro, se debe a Río Hortega, el cual ha puesto también de manifiesto sus fases evolutivas y su origen leucocítico. Para ello se ha valido de su método especial del carbonato de plata. Acaso algún autor extranjero, quizá Roberston, vislumbró, en preparaciones imperfectas, tan interesantes elementos; mas como ni los describió con precisión ni los dibujó tampoco, es imposible decidir a ciencia cierta qué cosa sea lo que calificó de mesoglia. También debemos a Río Hortega la demostración de que las *Stabchenzellen* de Nissl, constituyen una variedad de la microglia" (Ramón y Cajal, 1899, 1913 y 1917).
- 3 El Grupo del Instituto Metropolitano de Ciencias Médicas de Tokio, dirigido por Chiaki Ohtaka-Maruyama, publicó recientemente en Science un trabajo que describe el *cambio de forma en las neuronas fetales* durante su migración desde lo profundo del cerebro hacia su destino en la neocorteza. El equipo de investigación siguió la migración de un tipo especial de neuronas fetales, que forman *sinapsis transitorias* con neuronas recién nacidas y envían señales para controlar el viaje. Durante el desarrollo del feto, la neurogénesis profunda deriva de divisiones celulares repetidas de células progenitoras, para producir enormes cantidades de neuronas excitadoras, que al inicio presentan forma multipolar, y migran a la corteza de manera lenta, serpenteante, y sin dirección establecida. El Grupo observó el momento cuando las neuronas multipolares *cambiaron repentinamente hacia una forma de huso* con dos protuberancias, y comenzaron a migrar rápidamente hacia la superficie del cerebro en procesos de locomoción dirigida. El Dr. Ohtaka-Maruyama (2018) presentó la hipótesis que las neuronas subplacas expresan proteínas para atraer y transformar las sinapsis transitorias de neuronas multipolares recién nacidas en neuronas migratorias en huso. Observó asimismo que estimular las neuronas recién nacidas con el neurotransmisor glutamato, que imita la actividad sináptica, mejora la migración radial.
- 4 Uno puede concordar o no en las referencias místicas, aunque el exhaustivo estudio realizado merece cuanto menos, leerse con respeto por su rigurosidad en la presentación de los datos histológicos y las referencias a funciones neurofisiológicas observadas.
- 5 El orden de los cetáceos, reúne mamíferos completamente adaptados a la vida acuática. El término cetáceo fue acuñado por Aristóteles para referirse a todos los animales acuáticos que cuentan con respiración pulmonar. Los cetáceos se separaron de los mamíferos terrestres entre hace 50 y 60 millones de años y adquirieron, durante su adaptación a un medio totalmente acuático, muchas de sus características actuales, incluida la ecolocalización, capacidades auditivas y comunicativas notables, así como una organización social compleja.
- 6 Los *odontocetos* representan un suborden dentro de los cetáceos, conocidos también como cetáceos dentados. Entre los odontocetos se encuentran los delfines y las orcas además de la ballena jorobada. Precisamente se caracterizan por la presencia de dientes (*odonto: diente*) en lugar de barbas, como ocurre en el suborden de los misticetos. Entre los misticetos se encuentran la Ballena Franca, avistada en nuestras costas patagónicas, así como los animales más grandes que existen sobre la Tierra, como la Ballena Azul. Tanto los odontocetos como los misticetos integran el orden de los cetáceos.
- 7 La *evolución convergente*, convergencia evolutiva, o simplemente convergencia, se da cuando dos estructuras funcionalmente similares han evolucionado independientemente a partir de estructuras ancestrales distintas y por procesos de desarrollo adaptativo muy diferentes. Sus semejanzas indican restricciones comunes impuestas por la filogenia y la biomecánica de los organismos. A menudo los biólogos distinguen entre evolución convergente y evolución paralela. Se considera que la evolución paralela involucra patrones de desarrollo similares en líneas evolutivas diferentes pero próximas. En cambio, la reversión evolutiva es la pérdida independiente del mismo carácter avanzado en varios linajes de una filogenia. (Fontdevila y Moya, 2003)
- 8 Se sabe que es probable que las proyecciones tálamocorticales de los cetáceos se basen en un cableado muy diferente al de las especies terrestres. Además, *el desarrollo de pequeños módulos que forman proyecciones organizadas puede favorecer las redes locales* resulten más rentables en términos de demandas de energía en un *cerebro muy grande, donde es probable que se opte por redes intrahemisféricas*, en lugar de callosales, que ofrecen conexiones más lentas. Tales restricciones *apoyarían la economía de cableado y la eficacia de la señalización*, crucial para respaldar una función cortical indefinida, pero altamente especializada. Hemos visto en otros informes ofrecidos en esta parte dedicada a la *Neurofisiología de la adaptación física* al medio, que la conectividad intrahemisférica es crucial en el desarrollo de cerebros eficientes.

- ⁹ Los datos de Hof y van der Gucht muestran *neuronas fusiformes no ambiguas* en el cerebro de la ballena jorobada, con la diferencia de que su distribución parece incluir mayor volumen en *cingulado* y *corteza insular*. Además, las células fusiformes se encuentran en regiones donde no se habían visto en homínidos como el córtex polar frontal, aunque es probable que no haya homología funcional o topográfica entre la región frontopolar en misticetos y homínidos, así como en muchos otros casos.
- ¹⁰ De hecho, el estudio del cerebro de otros taxones no relacionados directamente con los cetáceos y primates, pero caracterizado por cerebros grandes, como el elefante, será crucial en este contexto. Su posible participación de las NvE en el control de vocalizaciones en las ballenas, puede ser particularmente interesante en el contexto del rico repertorio de canciones en especies de cetáceos (Weinrich et al., 2006) aunque la regulación de tales comportamientos en estas especies probablemente se basa en otros sistemas que en primates. Por qué y cómo el tamaño cerebral absoluto sería la fuerza motriz de la evolución de las células fusiformes queda por determinar. Es posible que su presencia se correlacione con ciertos aspectos observados en los patrones sociales, como la necesidad de socializar, que se sabe que aumenta el tamaño del cerebro en ungulados, parientes cercanos de los cetáceos. La gregariedad puede verse como una medida de la socialidad y esto, a su vez, sería coherente con el papel propuesto de las células fusiformes en la cognición social (Allman et al., 2005). Por último, es probable que muchos aspectos de la conectividad cortical y subcortical difieran en los cetáceos de las especies terrestres, como lo demuestran los patrones únicos y la regulación hemisférica del sueño y la vigilia. Si las células fusiformes contribuyen a tales funciones y patrones de comportamiento, al tiempo que representan hipótesis interesantes, permanecen dentro del ámbito especulativo.
- ¹¹ A pesar de la relativa escasez de información sobre muchas especies de cetáceos, es importante señalar en este contexto que los cachalotes, las orcas y las ballenas jorobadas exhiben complejos patrones sociales que incluyen habilidades de comunicación, formación de coaliciones, cooperación, transmisión cultural, e incluso el uso de herramientas.
- ¹² En la figura 2 observamos que Ramón y Cajal en 1888 describió este desarrollo diferenciado.

Bibliografía

- ALLMAN John (2000) *Evolving Brains* Nueva York: Scientific American Library.
- ALLMAN John, Hakeem Atiya, Erwin J, Nimchinsky y Hof P (2001) "Anterior cingulate cortex: The evolution of an interface between emotion and cognition" *Annals of the New York Academy of Sciences*, 935: 107-117.
- ALLMAN John, Hakeem Atiya y Watson Karl (2002) "Two phylogenetic specializations in the human brain" *The Neuroscientist* 8 (4): 335-346.
- ALLMAN John, Watson Karli, Tetreault Nicole, y Hakeem Ativa (2005) "Intuition and autism: a possible role for Von Economo neurons" *Trends in Cognitive Sciences* vol. 9 (8):367-373 <https://doi.org/10.1016/j.tics.2005.06.008>.
- ALLMAN John, Tetreault N, Hakeem A. et al., (2010) "The von Economo neurons in frontoinsular and interior cingulate cortex in great apes and humans" *Brain Structure and Function* 214: 495-517. Doi: 10.1007/s00429-010-0254-0.
- BUSH Eliot y Allman John (2004) "Three-dimensional structure and evolution of primate primary visual cortex" *Anatomical Record* 281 A: 1088-1094.
- DAMASIO, Antonio (1999) *El error de Descartes. La razón de las emociones*. Editorial Andrés Bello. Santiago de Chile.
- DE FELIPE, Javier (2005) "Cajal y sus dibujos: ciencia y arte" *Arte y Neurología*. Editado por A. M. Araguz. Madrid: Editorial Saned.
- FONTDEVILA, Antonio y MOYA Andrés (2003) *Evolución: Origen, adaptación y divergencia de las especies*. Madrid: Editorial Síntesis.
- GILBERT Sam, Spengler Stephanie, Simons Jon, Steele Doyglas (2006) "Functional Specialization within Rostral Prefrontal Cortex (Area 10): A Meta-analysis" *Journal of Cognitive Neuroscience* 18 (6): 932-948. <https://doi.org/10.1162/jocn.2006.18.6.932>
- HAKEEM Atiya, et al (2008) "Neuronas von Economo en el cerebro del elefante." *Anat. Rec.* 292: 242-248. <https://doi.org/10.1002/ar.20829>.
- HOF, Patrick R. y Van Der GUCHT, Estel (2007) "Structure of the cerebral cortex of the humpback whale, *Megaptera novaeangliae* (Cetacea, Mysticeti, Balaenopteridae)" *The Anatomical Record*. Publicado en línea el 23 de enero de 2007. <https://doi.org/10.1002/ar.20407>.
- HOUDÉ O, Rossi S, Lubin A y Joliot M (2010) "Mapeo del procesamiento numérico, la lectura y funciones ejecutivas en el cerebro en desarrollo: un meta-análisis de 52 estudios con RMN que incluye 842 niños" *Developmental Science* 1: 1-10.
- MARINO, L. (2002) "Convergence in complex cognitive abilities in cetaceans and primates" *Brain Behavior and Evolution* 59: 21-32 Doi: 10.1159 / 00006373.
- OHTAKA-MARUYAMA, Chiaki, Okamoto M, Endo K., Oshima M, Kaneko N, Yura K, Okado H, Miyata T & Maeda N. (2018) "Synaptic transmission from subplate neurons controls radial migration of neocortical neurons". *Science* 360 (6386):313-317.
- PÉRGOLA, Federico y OKNER Osvaldo (1986) "Historia de la Medicina. Desde el origen hasta nuestros días". Ediciones Médicas (EDIMEC) Buenos Aires.
- RAMON Y CAJAL, Santiago (1899) "Estudio comparativo de las áreas sensoriales de la corteza humana" Imágenes disponibles en Mark Hill "Embriología" https://embryology.med.unsw.edu.au/embryology/index.php/Main_Page (2/agosto/2019)
- RAMON Y CAJAL, Santiago (1913) "Contribución al conocimiento de la neuroglia del cerebro humano". *Trab Lab Invest Biol Univ Madrid* 11: 255-315.
- RAMÓN Y CAJAL, Santiago (1917) *Recuerdos de mi vida. Historia de mi labor científica* (Tomo II). Madrid: Imprenta y Librería de N. Moya.

- RENDELL L & WHITEHEAD H (2001) "Culture in whales and dolphins" *The Behavioral and brain sciences* 24 (2): 309-24; discusión 324-82.
 - SALVETTI, Vivina Perla (2013) "De la Ética a la Genética de los afectos: un abordaje antropológico con herramientas de las Neurociencias." Ponencia ofrecida en I Jornadas Internacionales de Filosofías del Cuerpo/ Cuerpos de la Filosofía, 26 y 27 de noviembre de 2013 en FFyL, UBA. Versión actualizada en: https://www.academia.edu/39989002/2015__Etica_y_Genetica_de_Los_afectos._Actualizado_2019.
 - SALVETTI, Vivina Perla (2020) "Arte, Ciencia y Método en Ramón y Cajal. Sus aportes a la Kinesiología actual." *ALMA Cultura & Medicina* 6 (3): 8-23. EAB, Buenos Aires.
 - SCHOLTENS Lianne H, Reus Marcel, de Lange Siemon, van den Heuvel Martijn (2018) "An MRI Von Economo - Koskinas atlas" *NeuroImage* 170: 249-256. DOI: 10.1016/j.neuroimage.2016.12.069
 - SEELEY Williams, Carlin Danielle, Allman John, Macedo Marcelo, Bush Clarissa, Miller Bruce y De Armond Stephen (2006) "Early frontotemporal dementia targets neurons unique to apes and humans" *Annals of Neurology* 60 (6): 660-667. <https://doi.org/10.1002/ana.21055>.
 - TRIARHOU, Lazaros C. (2007) "The Economo-Koskinas Atlas Revisited: Cytoarchitectonics and Functional Context" *Stereotactic and Functional Neurosurgery* 85 (5): 195-203. DOI: 10.1159 / 000103258
 - VIRCHOW Rudolf (1846) "Über das granuliert Ansehen der Wandungen der Gerhirnventrikel" *Allg. Z. Psychiatr.* 3: 424-450.
-