

Revisión

Tanicitos y neurogénesis hipotalámica: una revisión morfológica y funcional del nicho neurogénico periventricular

Pablo León Ortiz¹, Javier Jiménez Salazar¹, Sinaí Vallejo Villagómez¹ y Enrique Canchola^{1,2*}

1. Departamento de Biología de la Reproducción, Universidad Autónoma Metropolitana unidad Iztapalapa, C.P.09310, Ciudad de México, México.
2. Facultad de Medicina UNAM. Ciudad de México, México

*Autor para correspondencia:

Enrique Canchola

 cанcho@xanum.uam.mx

RESUMEN

Los tanicitos son células gliales especializadas localizadas en el epéndimo del tercer ventrículo, cuya morfología y funciones los posicionan como elementos clave en la regulación neuroendocrina del hipotálamo. Su capacidad para transportar señales entre el líquido cefalorraquídeo y el parénquima hipotalámico, así como su participación en la detección de señales metabólicas y hormonales, los convierte en sensores estratégicos del entorno interno. Además, estudios recientes han demostrado su potencial neurogénico, lo que sugiere un papel activo en la plasticidad neuronal y la homeostasis energética. Este artículo revisa la evidencia morfológica y funcional que respalda la participación de los tanicitos en la neurogénesis hipotalámica, destacando sus posibles implicaciones clínicas en enfermedades metabólicas, neurodegenerativas y endocrinas.

Palabras clave: Tanicitos, Hipotálamo, Neurogénesis, Homeostasis.

ABSTRACT

Tanycytes are specialized glial cells located in the ependymal lining of the third ventricle, whose morphology and functions position them as key regulators of hypothalamic neuroendocrine activity. Their ability to transport signals between the cerebrospinal fluid and hypothalamic parenchyma, along with their role in sensing metabolic and hormonal cues, makes them strategic sensors of the internal environment. Recent studies have also revealed their neurogenic potential, suggesting an active role in neuronal plasticity and energy homeostasis. This article reviews the morphological and functional evidence supporting tanycyte involvement in hypothalamic neurogenesis, highlighting their potential clinical implications in metabolic, neurodegenerative, and endocrine disorders.

Keywords: Tanycytes, Hypothalamus, Neurogenesis, Homeostasis.

INTRODUCCIÓN

La neurogénesis es la proliferación, diferenciación, migración, supervivencia e integración de las nuevas neuronas en los circuitos nerviosos ya existentes durante el desarrollo y la diferenciación del sistema nervioso. La neurogénesis, está modulada por mecanismos genéticos y epigenéticos durante la etapa adulta y es regulada por actividades fisiológicas y patológicas, es un proceso compuesto de múltiples etapas, en donde tienen implicación directa células madre neurales y células precursoras de este linaje (**Kempermann et al., 2004; Rizzoti et al., 2017**). Durante más de un siglo se han venido realizando experimentos, enfocados a conocer si en el cerebro adulto las neuronas se reproducen, o si se generan nuevas, a pesar de la opinión de eminentes neuroanatomistas incluyendo a Don Santiago Ramón y Cajal, de que las neuronas no se dividen y que tampoco se reproducen (**Ramon y Cajal, 1894; Allen, 1912**).

La primera evidencia de neurogénesis en mamíferos adultos en la corteza cerebral fue presentada por (**Altman et al., 1965**), mostrando que la neurogénesis cerebral se lleva a cabo, principalmente en dos regiones localizadas en la base del cerebro: 1.- la zona subventricular de la pared del ventrículo lateral y 2.-la zona subgranular del giro dentado del hipocampo. Aunque ya en 1958, Messier y colaboradores habían mostrado evidencia de mitosis en el cerebro de ratones adultos.

Más recientemente, se ha reportado que, en la zona de la pared del tercer ventrículo, en el hipotálamo, se encuentra otra zona neurogénica, donde los tanicitos son muy abundantes (**Kokoeva et al., 2005**).

También se ha reportado neurogénesis en la etapa adulta en otras estructuras nerviosas, específicamente en: hipotálamo, amígdala, striatum y substancia negra, y se han identificado células progenitoras neurales en el área neo cortical de cerebros adultos (**Rojczyk-Gołębiewska et al., 2014; Migaud et al., 2010; Yoo et al., 2018**).

Estas investigaciones han revelado que el hipotálamo, es una estructura clave en la regulación neuroendocrina y homeostática y que también posee capacidad neurogénica, desafiando paradigmas establecidos sobre la plasticidad cerebral (**Sharif et al., 2021**).

En este contexto, los tanicitos, células gliales especializadas localizadas en el epéndimo del tercer ventrículo han emergido como actores fundamentales en el microambiente neurogénico hipotalámico. Su morfología única, que combina características epiteliales y gliales, les permite establecer conexiones funcionales entre el líquido cefalorraquídeo, la vasculatura cerebral y el parénquima hipotalámico (**Yuan et al., 2011; Cheng, 2013**). Además, diversos estudios han demostrado que ciertos subtipos de tanicitos presentan propiedades progenitoras, capaces de generar nuevas neuronas y células gliales en respuesta a estímulos fisiológicos y ambientales (**Makrygianni et al., 2023**).

La presente revisión tiene como objetivo explorar la relación entre los tanicitos y la neurogénesis en el hipotálamo desde una perspectiva morfológica, funcional y clínica. Se abordarán los tipos celulares, sus mecanismos de señalización, su papel en la plasticidad neuronal y sus implicaciones en la fisiología metabólica y endocrina. Este análisis busca contribuir al entendimiento de los procesos regenerativos en el sistema nervioso central y abrir nuevas vías para el abordaje de patologías neuroendocrinas.

El hipotálamo

El hipotálamo es una estructura muy importante del diencéfalo, se localiza inferior al tálamo y forma el piso del tercer ventrículo. Es una parte integral del sistema límbico, y está implicado en la fisiología neuroendocrina, por lo tanto, tiene una doble función: forma parte del sistema nervioso central y del sistema endocrino, a través de la hipófisis (**Snell Neuroanatomía clínica 2003**). Es el responsable de la fisiología de la homeostasis, del metabolismo, del balance hormonal, de la nutrición, el sueño, estado de ánimo y comportamiento reproductivo, entre otras muchas funciones (**Xu et al., 2005; Ross et al., 2012; Fong et al., 2023; Kreier et al., 2021**).

MORFOLOGÍA DE LOS TANICITOS

Tipos de tanicitos ($\alpha 1$, $\alpha 2$, $\beta 1$, $\beta 2$) y sus características histológicas

Los tanicitos son células ependimarias muy especializadas que desempeñan funciones clave en la intercomunicación entre el sistema nervioso central y el líquido cefalorraquídeo. Su morfología única y su localización estratégica en el sistema ventricular cerebral los convierten en elementos esenciales para la regulación neuroendocrina y la homeostasis cerebral (**Dali et al., 2023**). Fueron descritos por Hortsmann en 1954, y los llamó así por tener una morfología bipolar alargada (“tanus” del griego significa alargado).

Tipos y características de tanicitos

Han sido identificados y caracterizado cuatro tipos de tanicitos que difieren en su morfología, citoquímica, perfil genético, y su ubicación en la pared tercer ventrículo: $\alpha 1$, $\alpha 2$, $\beta 1$, y $\beta 2$ (**Doetsch et al., 1999; Rodríguez et al., 2005; Goodman et al., 2015; Rizzoti et al., 2017; Yoo et al., 2018**):

1. La línea de tanicitos $\alpha 1$, se encuentra en el área del núcleo ventromedial y sus procesos axonales se proyectan a la parte basal de núcleo dorsomedial (**Rodríguez et al., 2005**).
2. La línea de tanicitos $\alpha 2$ se encuentra en el área del núcleo arcuato, la mayoría de sus procesos axonales se proyectan dentro del núcleo, y otros pocos terminan en la cara lateral de surco tuberoinfundibular (**Flament-Durand et al., 1985; Rodríguez et al., 2005**).
3. La línea de tanicitos $\beta 1$, se encuentra en evaginaciones laterales del receso infundibular, y sus procesos axonales se proyectan a la región latero-externa de la eminencia media, y hacia el final del espacio perivascular, algo muy importante a ser considerado, es que están en contacto con células endoteliales de los capilares del sistema porta hipotálamo-hipofisario, además de neuronas que sintetizan GnRH en la región lateral de la eminencia media (**Flament-Durand et al., 1985**).
4. La línea de los tanicitos $\beta 2$, está en el piso del receso infundibular y sus procesos axonales, están en contacto con células endoteliales del sistema porta hipotálamo-hipofisario en la zona medial de la eminencia media (**Flament-Durand et al., 1985; Rodríguez et al., 2005**) y como los tanicitos α , forman un puente entre el “lumen” del tercer ventrículo, con neuronas y los capilares del hipotálamo medio basal, en general los tanicitos β establecen un puente entre el líquido cerebroespinal (CSF) ventricular y la sangre portal (**Flament-Durand et al., 1985**). Ver **Figura 1**.

Técnicas histológicas y de inmunohistoquímica utilizadas para su identificación

La descripción de las características morfológicas de los tanicitos ha sido descrita, gracias a la técnica de impregnación argéntica de Golgi (**Torres-Fernández, 2006**).

Los tanicitos α , muestran procesos axonales basales, cuello grueso y rugoso y la parte distal lisa pocas dilataciones que están en contacto con capilares del hipotálamo medio basal (**Rodríguez et al., 2005**).

Los tanicitos $\beta 1$, sus procesos axonales basales, siguen una forma arqueada con una trayectoria latero ventral, hacia el final de estos se encuentran los capilares portales localizados lateralmente en la eminencia media. forman extensiones laterales en el receso infundibular (**Flament-Durand et al., 1985**).

La línea de tanicitos $\beta 2$, se encuentran en el piso del receso infundibular, y sus procesos axonales basales, se caracterizan por tener una superficie lisa, trayectoria derecha, y la ramificación distal está formada, por más ramificaciones paralelas, delgadas y largas que están en contacto con los capilares portales a lo largo de la eminencia media (**Flament-Durand et al., 1985**).

Con técnicas inmunocitoquímicas, también se han caracterizado los cuatro tipos de tanicitos y sus posibles funciones, los tanicitos $\alpha 1, 2$ y $\beta 1$ expresan los genes que codifican para el transportador de glucosa-1, mientras que los tanicitos $\beta 2$ no expresan este gen (**Rodríguez et al., 1979; Blazquez J L et al., 2002**). Los tanicitos $\beta 1$ pero no $\beta 2$, expresan la proteína que se une al factor de crecimiento parecido a insulina IGF-1 (**Cardona-Gómez et al., 2000**), los transportadores de glutamato (GLT-1) y el transportador específico de glutamato/aspartato de astrocitos (GLAST)

GLT-1 está en los tanicitos α y GLAST preferencialmente en los tanicitos β (**Berger et al., 2001**).

Utilizando anticuerpos para algunos marcadores específicos de las vías endocíticas y transcitosis, se ha podido conocer que hay diferencia en los cuatro tipos de tanicitos, para los mecanismos de transporte de moléculas a través de la membrana celular.

En los tanicitos $\beta 2$ está presente la caveolina-1, en el polo ventricular de la célula, y en sus terminales que están en contacto con los capilares portales. En los tanicitos $\beta 1$, esta proteína solo se encuentra en el extremo terminal, y no se encuentra en los tanicitos $\alpha 1, 2$ (**Peruzzo et al., 2004**).

Cabe mencionar que algunas proteínas expresadas en los tanicitos tienen la función de vincular a proteínas de uniones adherentes con proteínas del citoesqueleto, este tipo de proteínas tienen una presencia diferencial en los tanicitos. Los tanicitos $\beta 1, 2$ presentan una fuertemente reactiva a la prueba inmunocitoquímica para α -catenina en el cuerpo de la neurona, además de estar en todo el proceso axonal incluyendo sus terminaciones, mientras que en los tanicitos $\alpha 2$, no son reactivos o presentan un marcaje débil, en cuanto a los tanicitos $\alpha 1$ solo son reactivos en el polo ventricular de la neurona (**Peruzzo et al., 2004**).

También, se ha reportado la presencia de N-Cadherina, solo en procesos axonales incluyendo terminaciones de los tanicitos $\beta 1$ (**Rodríguez et al., 2005**).

FUNCIONES DE LOS TANICITOS

1. Transporte de moléculas entre el líquido cerebro raquídeo (LCR) y el parénquima hipotalámico. Los tanicitos, especialmente los subtipos $\beta 1$ y $\beta 2$, que se localizan en el tercer ventrículo, presentan prolongaciones basales que atraviesan el parénquima hipotalámico hasta contactar con capilares

sanguíneos o neuronas. Esta disposición anatómica les permite actuar como una interfaz dinámica entre el líquido cefalorraquídeo (LCR) y el tejido nervioso circundante (**Bleier, 1971**).

Los tanicitos forman uniones estrechas (tight junctions) que contribuyen a la formación de una barrera selectiva, regulando el paso de iones, metabolitos, hormonas y otras señales moleculares. Además, expresan transportadores específicos como GLUT1 y GLUT2 (para glucosa), así como receptores para leptina, insulina y hormonas tiroideas, lo que les permite captar señales del LCR y transmitirlas al sistema neuroendocrino. Esta función de transporte es esencial para la detección de cambios en el entorno interno y la modulación de respuestas hipotalámicas (**Elizondo-Vega et al., 2015; Bolborea et al., 2021; García-Cáceres et al., 2017**).

2. Desempeñan un papel activo en la regulación del metabolismo energético y la señalización hormonal. Su capacidad para detectar niveles de glucosa, leptina y otras hormonas circulantes los convierte en sensores metabólicos clave. A través de la liberación de factores paracrinos o mediante interacciones sinápticas con neuronas hipotalámicas, los tanicitos pueden influir en circuitos que controlan el apetito, el gasto energético y la secreción hormonal (**Rodríguez et al., 2005**).

3. Se ha demostrado que los tanicitos modulan la actividad de neuronas del núcleo arcuato, una región crítica para la regulación del hambre y la saciedad. Asimismo, su participación en la captación y liberación de hormonas tiroideas sugiere un rol en la modulación del eje hipotálamo-hipófisis-tiroides. Estas funciones los posicionan como intermediarios entre señales periféricas y respuestas centrales. Para mayor información consultar a (**Recabal, 2017; Clasadonte et al., 2018; Rodríguez-Vázquez et al., 2024**).

NEUROGÉNESIS EN EL HIPOTÁLAMO ADULTO

Estudios realizados utilizando marcadores moleculares específicos, ha permitido saber que el hipotálamo adulto conserva nichos neurogénicos que permiten la plasticidad sináptica estructural y funcional para la adaptación y respuesta a los cambios. Estos nichos o zonas neurogénicas se localizan en los núcleos de la zona periventricular (**Yuan et al., 2011; Cheng, 2013**), incluyendo el núcleo paraventricular, en el núcleo arcuato o arqueado parte infundibular y en la región de la eminencia mediana (**Rojczyk-Gołębiewska et al., 2014; Niwa et al., 2015; Bartkowska, 2023**).

En mamíferos, la neurogénesis adulta se demostró por primera vez en la zona subventricular del ventrículo lateral (ZSV) (**Evans et al., 2002; Bartkowska, 2023**).

Investigaciones posteriores mostraron que la neurogénesis adulta persiste en otras estructuras cerebrales, como la corteza cerebral, la corteza piriforme, el cuerpo estriado y la amígdala. Sin embargo, el origen de las células recién generadas en estas estructuras no está claro. La evidencia acumulada indica que las neuronas recién generadas en el cuerpo estriado o la amígdala derivan de la ZSV, mientras que, en el hipotálamo adulto, la proliferación de células progenitoras ocurre en las células ependimarias que recubren el tercer ventrículo, específicamente de los tanicitos las cuales dan origen a nuevas neuronas (**Akers K G et al 2014**).

En el hipotálamo hay dos regiones neurogénicas constituidas por tanicitos estas son: la pared lateral del tercer ventrículo, a nivel del núcleo paraventricular y el núcleo arcuato o arqueado (**Rojczyk-Gołębiewska et al., 2014; Flament-Durand et al., 1985; Bartkowska et al., 2023; Nogueira et al., 2022; Lee et al., 2012**).

Concerniente a los tanicitos α o β y su capacidad como células progenitoras de la neurogénesis en el hipotálamo adulto, aún hay controversia, sin embargo, algunos estudios sugieren que los tanicitos β , son las células proliferantes en los hipotálamos jóvenes (**Lee et al., 2012**), mientras que los tanicitos α , son las células progenitoras del hipotálamo adultos (**Robins et al., 2013; Nogueira et al., 2022**).

Los tanicitos han sido identificados como posibles células madre neurales en el hipotálamo adulto. En condiciones fisiológicas o tras ciertos estímulos (como el ayuno, el ejercicio o la exposición a frío), algunos tanicitos pueden proliferar y diferenciarse en neuronas o astrocitos, contribuyendo a la plasticidad estructural del hipotálamo.

Es importante considerar que la plasticidad inducida por tanicitos permite al hipotálamo adaptarse a cambios ambientales y metabólicos, lo que refuerza su papel como centro integrador de señales internas y externas (**Clasadonte et al., 2018**).

IMPLICACIONES CLÍNICAS Y FISIOLÓGICA

El hipotálamo, como ya se ha mencionado previamente, es un centro nervioso muy importante ya que es el regulador neuroendocrino, integrando señales nerviosas y hormonales para mantener la homeostasis del organismo. Recientemente se ha podido conocer que la mayoría sus funciones están estrechamente relacionadas con la actividad de los tanicitos, los cuales tienen un papel emergente en la medicina regenerativa y la fisiología adaptativa, con implicaciones clínicas en enfermedades metabólicas, endocrinas y neurodegenerativas. Todo ello ha ubicado a estas células como elementos clave en la regulación de la homeostasis energética y hormonal. Entre sus principales funciones se destacan: regulación del apetito y el metabolismo energético, control de la temperatura corporal. Mantiene la homeotermia mediante mecanismos de termorregulación, balance hídrico y regulación de la sed, modulación de ritmos circadianos y sueño, regulación hormonal, respuesta al estrés y conducta sexual y reproductiva (**García-Segura et al., 2008**). Regulación del apetito y el metabolismo energético, secreción de factores liberadores hipofisiarios: A través de los núcleos arcuatos- infundíbulo donde se modula la ingesta alimentaria y el gasto energético (**Rodríguez et al., 2005**).

En enfermedades metabólicas, como la obesidad y la diabetes tipo 2, los tanicitos pueden modular la actividad de neuronas hipotalámicas involucradas en el control del apetito y el gasto energético. Alteraciones en su función de transporte o señalización podrían contribuir a la resistencia a la leptina o a la disfunción del eje hipotalámico (**Elizondo-Vega et al., 2015; Bolborea et al., 2021; García-Cáceres et al., 2017**).

En enfermedades neurodegenerativas, su capacidad para generar nuevas neuronas y astrocitos sugiere un papel potencial en la reparación de circuitos neuronales dañados. Aunque esta aplicación aún está en fase experimental, se ha propuesto que la estimulación de la neurogénesis hipotalámica mediada por tanicitos podría ser beneficiosa en trastornos como el Alzheimer o el Parkinson (**Qi et al., 2025; Fabian-Fine et al., 2025**).

Los tanicitos participan en la regulación del eje hipotálamo-hipófisis mediante el control del acceso de hormonas al parénquima cerebral y la modulación de la liberación hormonal (**Müller-Fielitz et al., 2017; Prevot et al., 2018**).

Su respuesta adaptativa a estímulos como el ayuno, el estrés o los cambios hormonales sugiere que podrían ser clave en la plasticidad neuroendocrina, permitiendo al organismo ajustarse a condiciones fisiológicas cambiantes (**Brunner et al., 2024**).

CONCLUSIONES

Los tanicitos representan una población celular altamente especializada en el epéndimo del tercer ventrículo, cuya morfología y funciones los posicionan como elementos clave en la regulación neuroendocrina y metabólica del hipotálamo. Su capacidad para actuar como sensores del medio interno, transportar señales entre el líquido cefalorraquídeo y el parénquima hipotalámico, y participar en procesos de neurogénesis adulta, revela su papel multifuncional en la homeostasis cerebral.

La evidencia acumulada sugiere que los tanicitos no solo contribuyen al mantenimiento de la arquitectura neuroglial, sino que también responden de manera adaptativa a estímulos nutricionales, hormonales y ambientales, modulando circuitos neuronales implicados en el control del apetito, el gasto energético y la secreción hormonal. Esta plasticidad funcional y estructural abre nuevas perspectivas terapéuticas en el abordaje de enfermedades metabólicas, neurodegenerativas y endocrinas.

El estudio morfológico y funcional de los tanicitos continúa siendo un campo en expansión, con implicaciones profundas para la comprensión de la neurogénesis en regiones no tradicionales del cerebro adulto. Avanzar en el conocimiento de estos mecanismos podría permitir el desarrollo de estrategias clínicas innovadoras basadas en la estimulación de nichos neurogénicos hipotalámicos.

Los Autores declaran que no existe conflicto de interés.

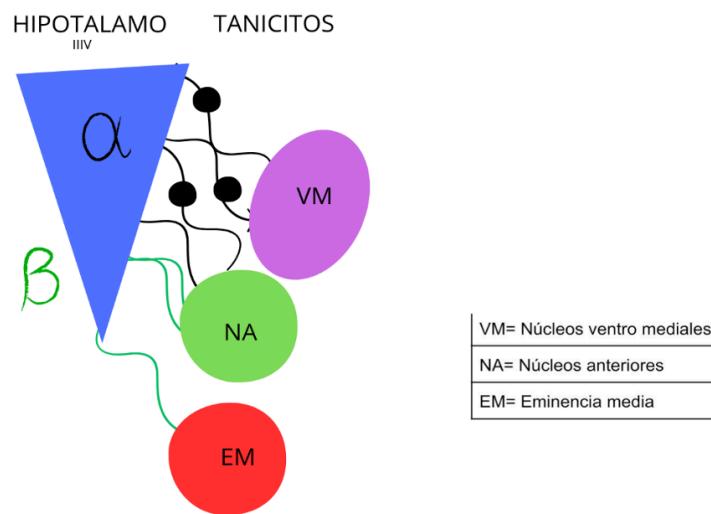


Figura 1. Esquema en vista sagital del hipotálamo, localización y proyección de los tanicitos; Tanicitos α de la pared dorso-lateral del III ventrículo a los núcleos ventro mediales y núcleos anteriores hipotalámicos; Tanicitos β de la pared ventro-lateral III ventrículo a núcleos anteriores hipotalámicos y Eminencia media. Elaboración propia.

REFERENCIAS

- Akers, K. G., Martinez-Canabal, A., Restivo, L., Yiu, A. P., De Cristofaro, A., Hsiang, H. L., Wheeler, A. L., Guskjolen, A., Niibori, Y., Shoji, H., Ohira, K., Richards, B. A., Miyakawa, T., Josselyn, S. A., & Frankland, P. W. (2014). Hippocampal neurogenesis regulates forgetting during adulthood and infancy. *Science* (New York, N.Y.), 344(6184), 598–602. <https://doi.org/10.1126/science.1248903>
- Allen E. 1912. The cessation of the mitosis in the central nervous system of the albino rat. *J. Comp. Neurol.* 22(6):547–568
- Altman J., Das GD. 1965). Autoradiographic and histological evidence of postnatal hippocampal neurogenesis in rats. *J. Comp. Neurol.* 124:319–335.
- Bartkowska, K., Turlejski, K., Koguc-Sobolewska, P., & Djavadian, R. (2023). Adult Neurogenesis in the Mammalian Hypothalamus: Impact of Newly Generated Neurons on Hypothalamic Function. *Neuroscience*, 515, 83–92.<https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2023.02.012>
- Blázquez, J. L., Guerra, M., Pastor, F., Peruzzo, B., Amat, P., & Rodríguez, E. M. (2002). Antibodies obtained by xenotransplantation of organ-cultured median eminence specifically recognize hypothalamic tanyocytes. *Cell and tissue research*, 308(2), 241–253. <https://doi.org/10.1007/s00441-002-0528-9>
- Berger UV and Hediger MA. 2001. Differential distribution of the glutamate transporters GLT-1 and GLAST in tanyocytes of the third ventricle. *J Comp Neurol.* 433(1):101-114.
- Bleier R. (1971). The relations of ependyma to neurons and capillaries in the hypothalamus: a Golgi-Cox study. *The Journal of comparative neurology*, 142(4), 439–463. <https://doi.org/10.1002/cne.901420404>
- Bolborea, M., & Langlet, F. (2021) What is the physiological role of hypothalamic tanyocytes in metabolism?. *American journal of physiology. Regulatory, integrative and comparative physiology*, 320(6), R994–R1003. <https://doi.org/10.1152/ajpregu.00296.2020>
- Brunner, M., Lopez-Rodriguez, D., Estrada-Meza, J., Dali, R., Rohrbach, A., Deglise, T., Messina, A., Thorens, B., Santoni, F., & Langlet, F. (2024). Fasting induces metabolic switches and spatial redistributions of lipid processing and neuronal interactions in tanyocytes. *Nature communications*, 15(1), 6604. <https://doi.org/10.1038/s41467-024-50913-w>
- Cardona-Gómez GP, Don Carlos L, Garcia-Segura LM. 2000. Insulin-like growth factor I receptors and estrogen receptors colocalize in female rat brain. *Neuroscience*. 99(4):751-760
- Clasadonte, J., & Prevot, V. (2018). The special relationship: glia-neuron interactions in the neuroendocrine hypothalamus. *Nature reviews. Endocrinology*, 14(1), 25–44. <https://doi.org/10.1038/nrendo.2017.124>
- Cheng MF. 2013. Hypothalamic neurogenesis in the adult brain. *Front Neuroendocrinol.* 34(3):167-78.
- Dali, R., Estrada-Meza, J., & Langlet, F. (2023). Tanyocyte, the neuron whisperer. *Physiology & behavior*, 263, 114108. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2023.114108>
- Doetsch, F., Caille, I., Lim, D. A., Garcia-Verdugo, J. M., and Alvarez-Buylla, A. (1999). Subventricular zone astrocytes are neural stem cells in the adult mammalian brain. *Cell* 97, 703–716. doi: 10.1016/S0092-8674(00)80783-7
- Elizondo-Vega, R., Cortes-Campos, C., Barahona, M. J., Oyarce, K. A., Carril, C. A., & García-Robles, M. A. (2015). The role of tanyocytes in hypothalamic glucosensing. *Journal of cellular and molecular medicine*, 19(7), 1471–1482. <https://doi.org/10.1111/jcmm.12590>
- Evans, J., Summers, C., Moore, J., Huentelman, M. J., Deng, J., Gelband, C. H., & Shaw, G. (2002). Characterization of mitotic neurons derived from adult rat hypothalamus and brain stem. *Journal of neurophysiology*, 87(2), 1076–1085. <https://doi.org/10.1152/jn.00088.2001>
- Fabian-Fine, R., Roman, A. G., & Weaver, A. L. (2025). Alzheimer Disease: The proposed role of tanyocytes in the formation of tau tangles and amyloid beta plaques in human brain. *bioRxiv : the preprint server for biology*, 2025.04.08.647836. <https://doi.org/10.1101/2025.04.08.647836>
- Flament-Durand J and Brion JP. 1985. Tanyocytes: morphology and functions: a review. *Int Rev Cytol.* 1985;96:121–155.
- Fong, H., Zheng, J., & Kurrasch, D. (2023)The structural and functional complexity of the integrative hypothalamus. *Science* (New York, N.Y.), 382(6669), 388–394. <https://doi.org/10.1126/science.adh8488>
- García-Cáceres, C., Fuente-Martín, E., Argente, J., & Chowen, J. A. (2017). Emerging roles of glial cells in the control of body weight. **Molecular Metabolism*, 6*(4), 393–407. <https://doi.org/10.1016/j.molmet.2017.02.004>

- Garcia-Segura LM, Lorenz B, DonCarlos LL. 2008. The role of glia in the hypothalamus: implications for gonadal steroid feedback and reproductive neuroendocrine output. *Reproduction*. 2008 Apr;135(4):419-429.
- Goodman, T., & Hajhosseini, M. K. (2015). Hypothalamic tanycytes-masters and servants of metabolic, neuroendocrine, and neurogenic functions. *Frontiers in neuroscience*, 9, 387. <https://doi.org/10.3389/fnins.2015.00387>
- Horstmann E. 1954. Die Faserglia des Selachiergehirns. *Zeitschrift für Zellforschung*. 39(6):588—617.
- Kempermann G, Wiskott L and Gage FH. 2004. Functional significance of adult neurogenesis. *Current Opinion in Neurobiology*. 14:186–191.
- Kokoeva MV, Yin H, Flier JS. 2005. Neurogenesis in the hypothalamus of adult mice: potential role in energy balance. *Science*. 310(5748):679-683.
- Kreier, F., Swaab, D. F. (2021). History of hypothalamic research: "The spring of primitive existence". *Handbook of clinical neurology*, 179, 7–43. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819975-6.00031-5>
- Lee DA, Bedont JL, Pak T, Wang H, Song J, Miranda-Angulo A, Takiar V, Charubhumi V, Balordi F, Takebayashi H, Aja S, Ford E, Fishell G, Blackshaw S. 2012. Tanycytes of the hypothalamic median eminence form a diet-responsive neurogenic niche. *Nat Neurosci*. 15(5):700-702.
- Makrygianni, E. A., & Chrousos, G. P. (2023). Neural Progenitor Cells and the Hypothalamus. *Cells*, 12(14), 1822. <https://doi.org/10.3390/cells12141822>
- Messier B, Leblond CP, Smart I. 1958. Presence of DNA synthesis and mitosis in the brain of young adult mice. *Exp Cell Res*. 14(1):224-226
- Migaud M, Batailler M, Segura S, Duittoz A, Franceschini I, Pillon D. 2010. Emerging new sites for adult neurogenesis in the mammalian brain: a comparative study between the hypothalamus and the classical neurogenic zones. *Eur J Neurosci*. 32(12):2042-252.
- Müller-Fielitz, H., Stahr, M., Bernau, M., Richter, M., Abele, S., Krajka, V., Benzin, A., Wenzel, J., Kalies, K., Mittag, J., Heuer, H., Offermanns, S., & Schwaninger, M. (2017). Tanycytes control the hormonal output of the hypothalamic-pituitary-thyroid axis. *Nature communications*, 8(1), 484. <https://doi.org/10.1038/s41467-017-00604-6>.
- Niwa A, Nishibori M, Hamasaki S, Kobori T, Liu K, Wake H, Mori S, Yoshino T, Takahashi H. 2015. Voluntary exercise induces neurogenesis in the hypothalamus and ependymal lining of the third ventricle. *Brain Struct Funct*. 221(3):1653-1666.
- Nogueira, A. B., Hoshino, H. S. R., Ortega, N. C., Dos Santos, B. G. S., & Teixeira, M. J. (2022). Adult human neurogenesis: early studies clarify recent controversies and go further. *Metabolic brain disease*, 37(1), 153–172. <https://doi.org/10.1007/s11011-021-00864-8>
- Peruzzo B, Pastor FE, Blázquez JL, Amat P, Rodríguez EM. 2004. Polarized endocytosis and transcytosis in the hypothalamic tanycytes of the rat. *Cell Tissue Res*. 317(2):147-64.
- Prevot, V., Dehouck, B., Sharif, A., Ciofi, P., Giacobini, P., & Clasadonte, J. (2018). The Versatile Tanycyte: A Hypothalamic Integrator of Reproduction and Energy Metabolism. *Endocrine reviews*, 39(3), 333–368. <https://doi.org/10.1210/er.2017-00235>
- Qi, G., Tang, H. , Hu, J., Kang, S., & Qin, S. (2025). Potential role of tanycyte-derived neurogenesis in Alzheimer's disease. *Neural regeneration research*, 20(6), 1599–1612. <https://doi.org/10.4103/NRR.NRR-D-23-01865>
- Ramón y Cajal S. The Croonian lecture – La fine structure des centres nerveux. *Proceedings of the Royal Society of London*, 55, 444–468.
- Recabal, A., Caprile, T., & García-Robles, M. A. (2017). Hypothalamic neurogenesis as an adaptive metabolic mechanism. *Frontiers in Neuroscience*, 11, 190. <https://doi.org/10.3389/fnins.2017.00190.>
- Robins SC, Stewart I, McNay DE, Taylor V, Giachino C, Goetz M, Ninkovic J, Briancon N, Maratos-Flier E, Flier JS, Kokoeva MV, Placzek M. 2013. α -Tanycytes of the adult hypothalamic third ventricle include distinct populations of FGF-responsive neural progenitors. *Nat Commun*. 4:2049.
- Rodríguez EM, González CB, Delannoy L (1979) Cellular organization of the lateral and postinfundibular regions of the median eminence in the rat. *Cell Tissue Res* 201:377–408
- Rodríguez EM, Blázquez JL, Pastor FE, Peláez B, Peña P, Peruzzo B, Amat P. 2005. Hypothalamic tanycytes: a key component of brain-endocrine interaction. *Int Rev Cytol*. 247:89-164

- Rodríguez-Vázquez, E., Aranda-Torrecillas, Á., López-Sancho, M., Castellano, J. M., & Tena-Sempere, M. (2024). Emerging roles of lipid and metabolic sensing in the neuroendocrine control of body weight and reproduction. *Frontiers in endocrinology*, 15, 1454874. <https://doi.org/10.3389/fendo.2024.1454874>
- Rizzoti, K., Lovell-Badge, R. (2017) Pivotal role of median eminence tanycytes for hypothalamic function and neurogenesis. *Molecular and cellular endocrinology*, 445, 7–13. <https://doi.org/10.1016/j.mce.2016.08.020>
- Ross, M.H. and Pawlina W. 2012. *HISTOLOGÍA*. Texto y Atlas color con Biología Celular y Molecular. China: Editorial Medica Panamericana. pp. 751.
- Rojczyk-Gołębiewska E, Pałasz A, Wiaderkiewicz R. 2014. Hypothalamic subependymal niche: a novel site of the adult neurogenesis. *Cell Mol Neurobiol*. 34(5):631-642.
- Sharif, A., Fitzsimons, C. P., & Lucassen, P. J. (2021) Neurogenesis in the adult hypothalamus: A distinct form of structural plasticity involved in metabolic and circadian regulation, with potential relevance for human pathophysiology. *Handbook of clinical neurology*, 179, 125–140. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819975-6.00006-6>
- Snell RS *Neuroanatomia clínica* 5 edición, Buenos Aires, medica panamericana 2003
- Torres-Fernández O. 2006. La técnica de impregnación argéntica de Golgi. Conmemoración del centenario del premio nobel de Medicina (1906) compartido por Camillo Golgi y Santiago Ramón y Cajal. *Biomédica*. 26:498-508.
- Xu Y, Tamamaki N, Noda T, Kimura K, Itokazu Y, Matsumoto N, Dezawa M, Ide C. 2005. Neurogenesis in the ependymal layer of the adult rat 3rd ventricle. *Exp Neurol*. 192(2):251-64
- Yoo, S., & Blackshaw, S. (2018). Regulation and function of neurogenesis in the adult mammalian hypothalamus. *Progress in neurobiology*, 170, 53–66. <https://doi.org/10.1016/j.pneurobio.2018.04.001>
- Yuan TF, Arias-Carrión O. 2011. Adult Neurogenesis in the Hypothalamus: Evidence, Functions and Implications. *CNS Neurol Disord Drug Targets*. 10(4):433-439.