

Marcela S Nadal
Yimy Amarillo
Centro Atómico Bariloche

El tálamo en el centro de la atención

La atención sirve para guiar el pensamiento y, luego, la acción. Lo hace mediante la selección de aquellos estímulos sensoriales que son relevantes para nuestro comportamiento y nuestra supervivencia. Ese proceso de dirigir la atención a ciertos estímulos es controlado conscientemente a partir de nuestros conocimientos previos, objetivos y expectativas. Pero ¿cómo decide el cerebro a qué estímulos prestamos atención? Múltiples investigaciones señalan que una pequeña estructura del tamaño de una nuez ubicada en el centro de nuestro cerebro, el tálamo, es la clave para contestar esta pregunta.

El tálamo, como el resto del cerebro, se caracteriza por su simetría bilateral: su mitad izquierda es idéntica a su mitad derecha, pero sus mitades anterior y poste-

rior difieren. Sus células nerviosas o neuronas están organizadas de una manera compleja que varía en distintos lugares de su volumen. Para facilitar la descripción, los neuroanatomistas lo dividen en partes que denominan núcleos. Hablan, por ejemplo, de núcleos laterales o ventrales, anteriores o posteriores, y de núcleos pulvinares (de *pulvinus*, almohadón), ubicados en la zona lateral posterior. Cerca del extremo posterior emergen unas minúsculas protuberancias llamadas cuerpos o núcleos geniculados (de *geniculum*, pequeña rodilla o articulación).

Por su ubicación central en el cerebro, Galeno de Pérgamo (130-210) —el llamado el padre de la medicina, que vivió en tiempos del Imperio Romano— nombró al tálamo con el término griego que designaba a la habitación central de la casa, donde estaba el lecho conyugal.

¿DE QUÉ SE TRATA?

Recientes descubrimientos indican que el tálamo tiene una clave en el procesamiento por cerebro de las señales que le llegan de los sentidos y, en especial, que determina en cuál estímulo sensorial enfocar la atención.

Los estímulos del mundo externo detectados por la vista, el oído y el sistema somato-sensorial, que incluye la piel, las articulaciones y los músculos, pasan por el tálamo antes de llegar a los centros de procesamiento de la capa más externa del cerebro o *corteza cerebral*.

La última está muy desarrollada en los mamíferos, y es más extensa a medida que avanzamos en la escala evolutiva de los primates. Desplegada, tiene unos 2000cm² en los adultos humanos, en los que está dividida en lóbulos especializados en distintas funciones, por ejemplo, procesar información sensorial, imaginar y realizar predicciones, planear y tomar decisiones, o elegir y activar formas de movimiento. A partir de investigaciones recientes sabemos que la corteza depende del tálamo para llevar a cabo todas estas funciones.

La visión clásica consideraba al tálamo un simple transmisor de la información que recibe de los órganos sensoriales. Según ese modelo, la información de los sentidos llega a un sitio o núcleo específico del tálamo y este la retransmite al área correspondiente de la corteza cerebral, en la que tiene lugar su procesamiento. Luego, las conexiones internas de la corteza o *vías intracorticales* la envían de allí a las áreas ejecutivas del cerebro, ubicadas en el *lóbulo frontal*. Estas se activan cuando el individuo toma decisiones de comportamiento, entre ellas las motoras, que resultan en órdenes del cerebro a los centros de movimiento ubicados en el *tallo cerebral*. En otras palabras, según esta visión clásica todo el procesamiento sensorio-motor tiene lugar en la corteza cerebral.

Sin embargo, el enfoque tradicional presenta varias inconsistencias. En primer lugar, se sabe que existen numerosas conexiones que transmiten señales de la corteza al tálamo; de hecho, muchas más de las que lo hacen del tálamo a la corteza. La actividad de esos circuitos tálamo-corticales genera ritmos cerebrales que se observan durante distintos estados de conducta. Por ejemplo, entre esos ritmos cerebrales se cuentan ciertas ondas rápidas (llamadas beta) que se registran cuando estamos prestando atención, u otras (llamadas delta) que son características de cuando dormimos profundamente. En segundo lugar, solo una minoría de las áreas del tálamo (llamadas *núcleos talámicos de primer orden*) recibe información directa de los sentidos: la gran mayoría de sus áreas contiene los *núcleos talámicos de orden superior*, recibe señales de la corteza y envía respuestas también a la corteza, sea a la misma región cortical o a otras.

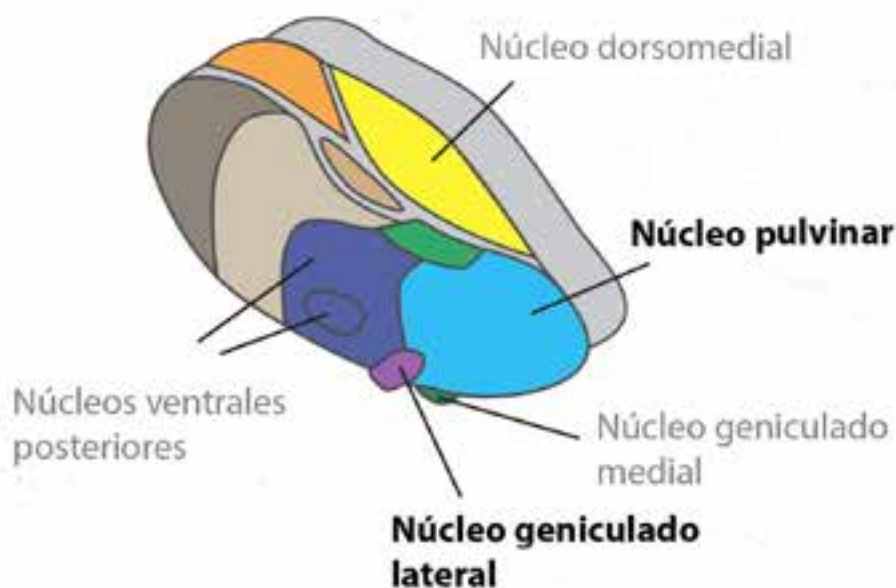
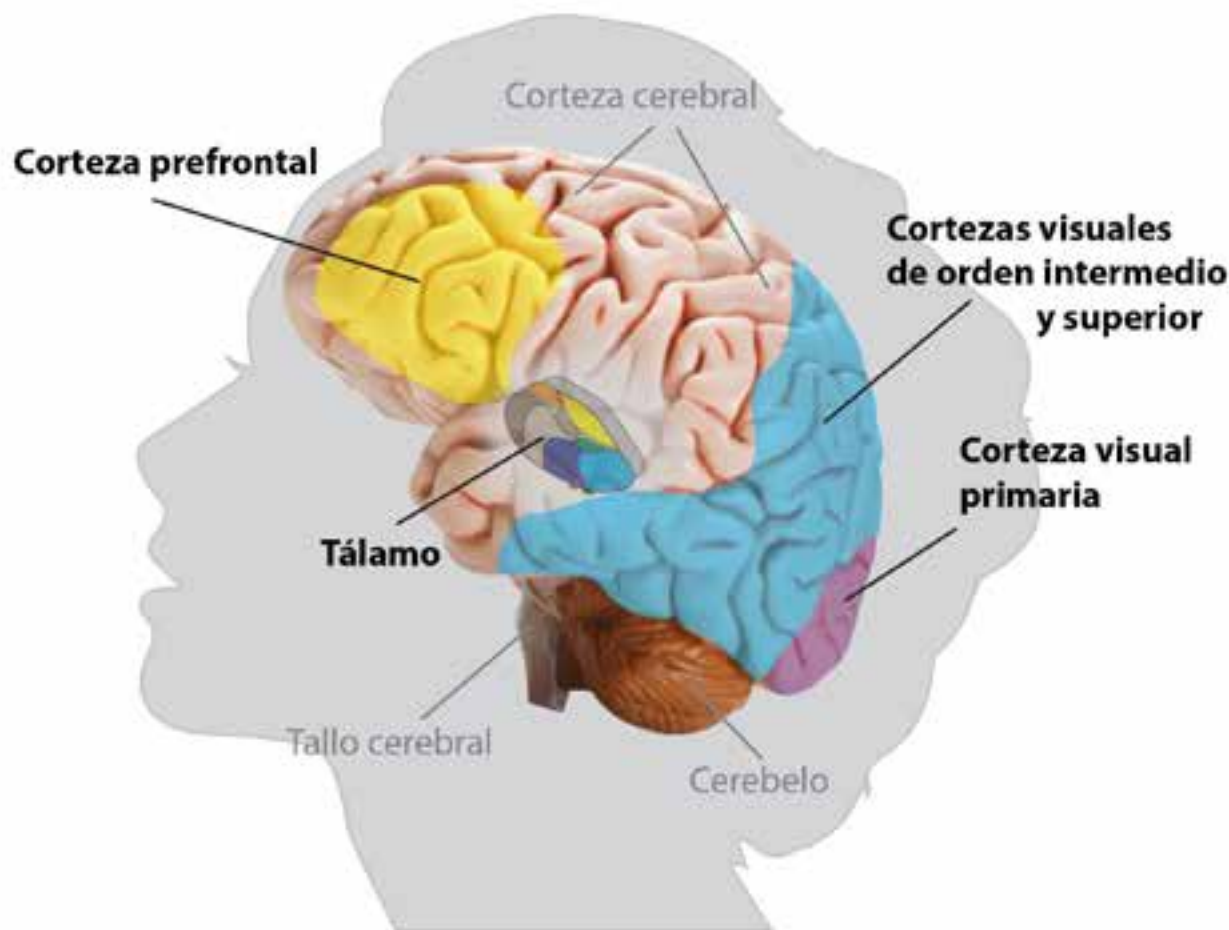
La explicación clásica del funcionamiento cerebral es que la información sensorial progresa a lo largo de una serie de estaciones corticales organizadas jerárquicamente. Las estaciones de menor jerarquía procesan información inicial de los órganos sensoriales y envían el resultado del procesamiento a estaciones de mayor jerarquía. En este modelo clásico, los núcleos talámicos

primarios alimentan las áreas corticales de más baja jerarquía mientras que los núcleos talámicos de orden superior reciben información de estas áreas corticales y la transmiten a áreas corticales de jerarquías superiores. Los núcleos talámicos de orden superior, en consecuencia, funcionarían como nexo entre áreas corticales, pero no aportarían mucho al procesamiento de la información.

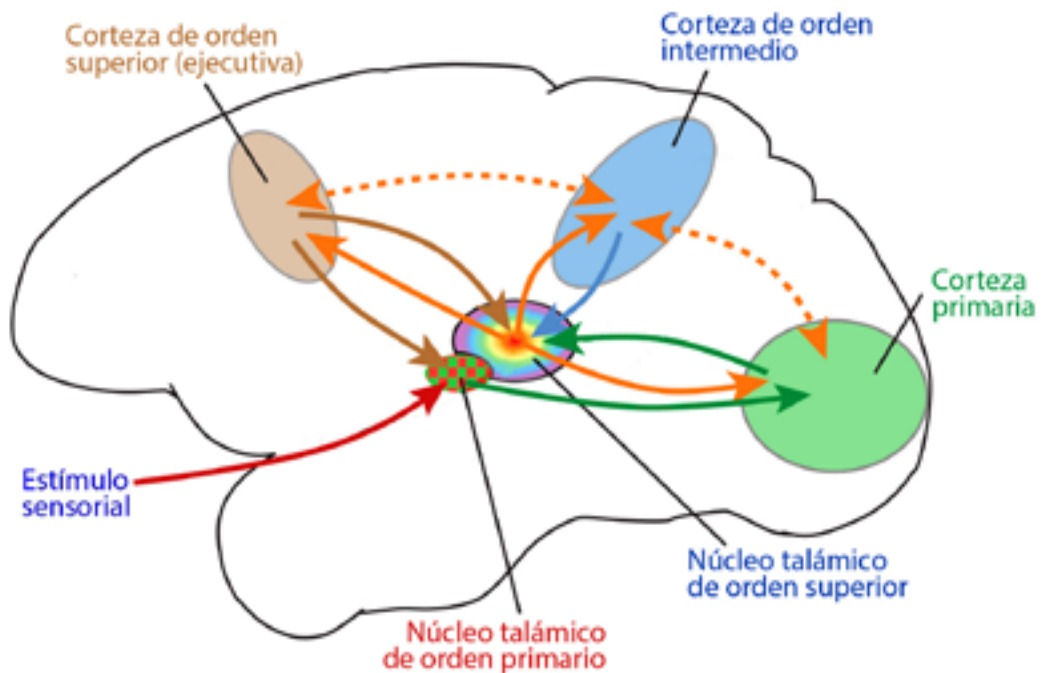
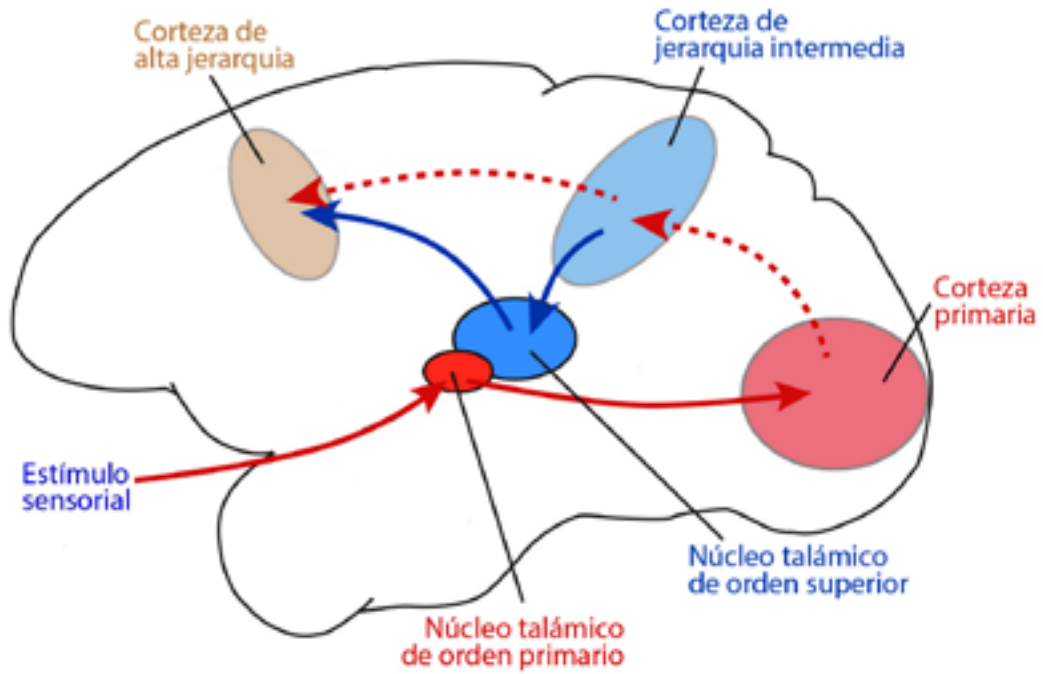
En la última década, sin embargo, esta visión ha sido cuestionada, ya que se demostró que en el tálamo existe una importante actividad de procesamiento, la cual modifica la información que reciben sus estructuras antes de transmitirla a otras áreas del cerebro. Aun los núcleos talámicos de primer orden procesan la información sensorial, sea por acción de las abundantes conexiones entre el tálamo y la corteza, como por la de otras estructuras localizadas dentro y fuera del tálamo. Un reciente artículo publicado en *Nature Neuroscience*, citado entre las lecturas sugeridas, analiza las evidencias a favor de esta nueva visión del tálamo, como se explica a continuación.

Los núcleos primarios del tálamo desempeñarían un papel crucial en la selección de señales sensoriales relevantes para alcanzar un objetivo, mientras que los núcleos talámicos de orden superior determinarían cómo interpretar y utilizar esa información. Presumiblemente, la información del mundo exterior se compararía con la que se encuentra almacenada como memoria en la corteza para construir mapas que, gracias a los circuitos entre esas dos partes del cerebro, se estarían actualizando constantemente a medida que recibimos nueva información sensorial. Según este nuevo modelo, los núcleos talámicos primarios funcionarían como filtros dinámicos que dejan pasar solo la información sensorial relevante para el individuo en ese momento y bloquean el paso de información irrelevante que podría actuar como distractor. Por otra parte, los núcleos talámicos de orden superior tendrían la función de seleccionar y coordinar la actividad de las múltiples áreas corticales participantes. Como resultado de tal selección guiada por la experiencia y las necesidades del individuo, el tálamo estaría cumpliendo la tarea de decidir a qué estímulo orientar la atención. De esta manera, dichos núcleos talámicos de orden superior funcionarían como un director de orquesta que decide, según los propósitos del individuo, cuáles áreas corticales deben entrar en actividad en cada momento.

Se ha demostrado que nuestro sistema visual responde más intensamente a un estímulo cuando le prestamos atención. Sin embargo, ese estímulo puede no provenir del área en que tenemos enfocada la vista. Se han realizado experimentos en los que se pide a un sujeto que fije la vista en el punto central de su campo visual pero que preste atención a objetos ubicados en la periferia de



Ubicación del tálamo en el cerebro y esquema de su anatomía. Las áreas de la corteza cerebral resaltadas en colores se conectan principalmente con los núcleos del tálamo indicados en el mismo color. En letra negra, las áreas relacionadas con el procesamiento de información visual y con la selección de a qué estímulo visual atender. El esquema ampliado del tálamo ilustra sobre algunos núcleos de primer orden –que reciben información directa de los sentidos– y de orden superior –que reciben señales de la corteza y envían respuestas también a la corteza, sea a la misma región cortical o a otras–. Los núcleos ventrales posteriores son de primer orden y reciben información somatosensorial, es decir, del tacto, la temperatura, la percepción del propio organismo. El núcleo geniculado medial, también de primer orden, recibe señales auditivas. El núcleo geniculado lateral, igualmente de orden primario, atiende la vía visual. El núcleo pulvinar es de orden superior principalmente relacionado con la vía visual. El núcleo dorsomedial está fuertemente interconectado con la corteza ejecutiva prefrontal.



Esquema clásico y nuevo de las funciones del tálamo.

Según el modelo conceptual clásico (esquema superior) el tálamo es solo una estación de relevo en la cual los núcleos de primer orden retransmiten sin modificaciones a la corteza primaria la información recibida de los sentidos (flechas rojas continuas). Esta disemina dicha información de esta por las vías intracorticales (flechas rojas discontinuas) para ser procesada en las áreas de jerarquías superiores de la corteza cerebral, las que también interactúan por vías córtico-tálamo-corticales (flechas azules) con los núcleos talámicos de orden superior.


Según el nuevo modelo conceptual (esquema inferior), el tálamo participa en la selección y el procesamiento de la información. Los núcleos de orden primario del tálamo (cuadrículado rojo y verde) filtran la información sensorial mediante el control dinámico ejercido por áreas ejecutivas de la corteza cerebral (flechas marrones continuas). Los núcleos talámicos de orden superior (multicolor) interactúan bidireccionalmente con múltiples áreas corticales y coordinan su conectividad para reconfigurar mapas funcionales que corresponden a la asignación atencional.

dicho campo. El núcleo talámico de primer orden encargado de procesar la información visual es el núcleo geniculado lateral, al cual llegan directamente las señales de la retina y del cual salen señales a la corteza visual primaria, que es la estación cortical visual de menor jerarquía. Tanto en humanos como en primates superiores, se demostró que las neuronas del núcleo geniculado lateral aumentan su actividad cuando el individuo presta atención a un objeto que está dentro de su campo receptivo, aunque no fije la mirada en ese objeto. Cuando el sujeto deja de prestar atención a un objeto en su campo visual, la actividad de las neuronas del núcleo geniculado lateral disminuye.

Los resultados más convincentes de estudios sobre asignación de la atención provienen de experimentos en los que se manipula la respuesta de dos sistemas sensoriales, por ejemplo, el sistema visual y el auditivo. ¿Qué sucede cuando recibimos un estímulo visual y otro auditivo que compiten por nuestra atención? Para determinarlo se han realizado experimentos con ratones en los que se evaluó la actividad del núcleo geniculado lateral cuando el animal recibía estímulos visuales y auditivos simultáneos. Como era de esperar, la actividad de las neuronas de dicho núcleo aumentó cuando el animal prestaba atención al estímulo visual y disminuyó cuando prestaba atención al estímulo auditivo.

Los resultados de esos experimentos fortalecen la hipótesis de que al fijar la atención los núcleos talámicos de primer orden realizan un filtrado dinámico de los es-

tímulos sensoriales que reciben. Se ha postulado que la corteza prefrontal, que es un área cortical de muy alta jerarquía, asociada con la toma de decisiones, controla dinámicamente la acción filtrante del núcleo geniculado lateral. Múltiples evidencias sugieren, sin embargo, que ese control es bidireccional, ya que el tálamo es responsable de mantener una actividad persistente en la corteza frontal. Esto muestra la importante influencia de la actividad del tálamo en la función ejecutiva del cerebro. Específicamente, significa que es tarea del tálamo promover ciertas interacciones entre grupos de neuronas corticales de tal forma que el resultado de esa actividad desencadene el comportamiento adecuado.

En síntesis, la nueva visión del tálamo le asigna funciones cognitivas que hasta hace poco eran atribuidas a la corteza cerebral. Antes de actuar, debemos prestar atención a nuestro alrededor, formarnos una representación interna de lo que percibimos con nuestros sentidos, relacionar esa representación con experiencias almacenadas en la memoria, tomar decisiones, y prepararnos para actuar si hace falta. Ahora sabemos que todos estos procesos ocurren por la actividad iterativa y sincronizada entre diferentes núcleos del tálamo y diferentes áreas de la corteza cerebral. Luego de considerar el tálamo durante décadas como una simple estación de relevo de la información sensorial, hoy le hemos asignado una responsabilidad crucial en el proceso de dirigir la atención. Finalmente, si se nos permite el juego de palabras, el tálamo está en el centro de la atención. 

LECTURAS SUGERIDAS

HALASSA MM & KASTNER S, 2017, 'Thalamic functions in distributed cognitive control', *Nature Neuroscience*, 20: 1669-1679.

SCHMITT LI et al. 2017, 'Thalamic amplification of cortical connectivity sustains attentional control', *Nature*, 545: 219-223.



Marcela S Nadal

Doctora (PhD) en biología celular y molecular, New York University.

Investigadora adjunta del Conicet en el Centro Atómico Bariloche.

Auxiliar docente, Universidad Nacional del Comahue.

marcela.nadal@cab.cnea.gov.ar



Yimy Amarillo

Médico cirujano, Universidad Nacional de Colombia.

Doctor (PhD) en fisiología y neurociencias, New York University.

Investigador adjunto del Conicet en el Centro Atómico Bariloche.

Auxiliar docente, Universidad Nacional del Comahue.

amarillo@cab.cnea.gov.ar