

Neurofisiología – cátedra 1

Prof. Reg. Adj. a cargo: Nancy China

Modelo funcional del sistema nervioso

Primer cuatrimestre de 2024

Índice

Preguntas para guiar la lectura.....	página 3
Modelo funcional del sistema nervioso.....	página 4
Sistemas de entrada de la información.....	página 5
Sistema de salida de la información.....	página 6
Control ejecutivo.....	página 6
Memoria.....	página 7
Atención.....	página 7
Alerta.....	página 7
Algunos ejemplos.....	página 7
Referencias.....	página 10

Preguntas para guiar la lectura

A continuación, se plantea una serie de preguntas para dirigir la lectura del presente material; léelas atentamente. Es posible que no tengas los conocimientos suficientes para responder algunas (o muchas de ellas). Sin embargo, podés reflexionar sobre qué se está preguntando y anotar las ideas que te van surgiendo, aunque no constituyan una respuesta formal.

Activar los conocimientos previos, aunque sean insuficientes, es una parte muy importante para aprender nuevos conceptos. ¿Por qué? Porque aprender conceptos implica asociar nuevas ideas a las ideas preexistentes, estructurarlas y darles una nueva organización.

1. ¿Cuáles son las etapas jerárquicas de los sistemas de entrada y salida de la información?
2. ¿Cuáles son las funciones del sistema de control ejecutivo?
3. ¿Qué tipo de información se integra en una representación del espacio? ¿Qué tipo de regiones corticales integran dicha información?
4. ¿Cuáles son las funciones de los sistemas de memoria?
5. ¿Qué regiones participan en el control de los aspectos emocionales de la conducta?
6. ¿Qué es el alerta? ¿Qué estructuras participan en la regulación del nivel del alerta?
7. ¿Qué sistemas intervienen en una conducta específica como atajar una pelota?

Modelo funcional del sistema nervioso

No existe un modelo de funcionamiento del sistema nervioso central humano que sea, a la vez, exhaustivo y satisfactorio. La complejidad del objeto de estudio y la insuficiencia de nuestros conocimientos hacen que cualquier intento resulte parcial y sobresimplificado. Sin embargo, desde el punto de vista didáctico, es útil contar al menos con un esquema en el cual colocar todas las piezas que luego serán analizadas una a una de manera aislada.

Tamaroff y Allegri (1995) propusieron un modelo funcional simple que sirve para esos fines y que se reproduce con pocas modificaciones en la figura 1.

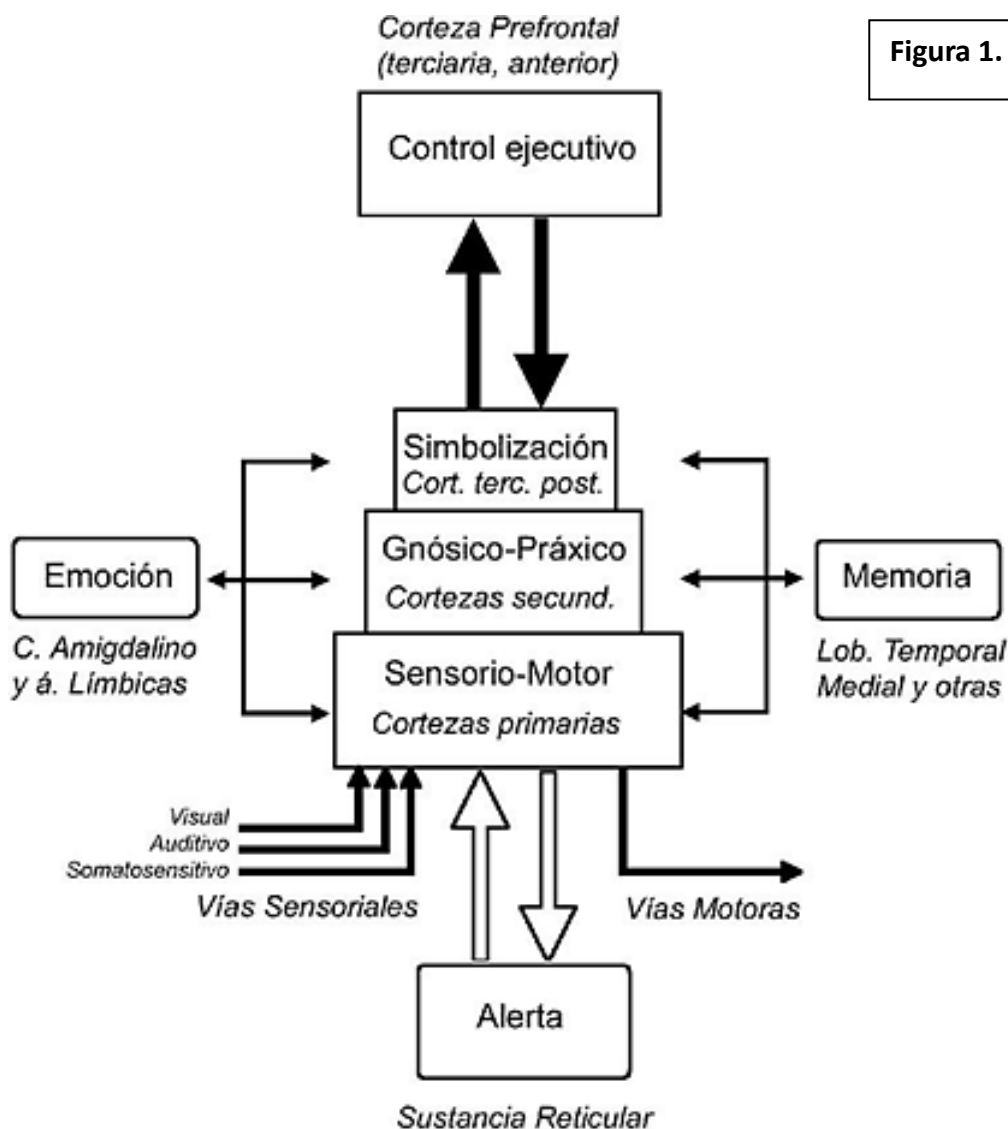


Figura 1. Modelo funcional del SN

El modelo incluye:

- 1) Sistemas de entrada y de salida de la información que poseen una organización jerárquica: nivel sensorio-motor, nivel gnósico-práxico y nivel de simbolización.
- 2) Un nivel supramodal responsable del control ejecutivo y la iniciativa.
- 3) Dos sistemas en paralelo: la memoria y la emoción.
- 4) Un sistema de alerta responsable de la activación.

Sistemas de entrada de la información

Los sistemas de entrada de la información están constituidos por los distintos sistemas sensoriales (visual, auditivo, somatosensitivo, olfativo, gustativo). Cada sistema de entrada se origina en los *receptores sensoriales específicos* (neuronas especializadas para captar la energía del estímulo: luz, temperatura, etc.) y transporta esta información modal¹ hacia los niveles superiores corticales a través vías sensoriales. Las *vías sensoriales* están formadas por agrupaciones de neuronas ubicadas en distintos puntos del sistema nervioso central, que se conectan entre sí hasta llegar a la corteza cerebral. La información sensorial ingresa así a la corteza cerebral por las denominadas áreas corticales primarias. Las *áreas corticales primarias* constituyen lo que Tamaroff y Allegri llaman **nivel sensorio-motor**. Luego, la información pasa a las *áreas corticales secundarias* (o *áreas de asociación unimodal*²), responsables del procesamiento y el almacenamiento de información de una única modalidad sensorial, que sirve para el reconocimiento sensorial (por ejemplo, el reconocimiento visual de objetos, rostros, letras, etc.). Las áreas corticales secundarias o unimodales constituyen el **nivel gnósico-práxico**. La información de entrada tiene un tercer nivel de tratamiento en las *áreas corticales terciarias* (o *de asociación multimodal o heteromodal*), donde se combina información proveniente de varios canales sensoriales en un formato más abstracto. Por ejemplo, se combina la información visual, propioceptiva y auditiva en representaciones del espacio tridimensional; otro ejemplo es la combinación de información sensorial multimodal para producir representaciones semánticas (conceptos).

El concepto de organización jerárquica en los sistemas sensoriales refiere al hecho de que, en la corteza cerebral, el procesamiento de la información sensorial va adquiriendo niveles crecientes de abstracción en la medida en que la información es analizada en etapas sucesivas (procesamiento serial). Por ejemplo, en el sistema visual, las neuronas que están

¹ El término “modal” hace referencia a una modalidad sensorial.

² Las áreas de asociación unimodal integran (combinan) distinto tipo de información dentro de una misma modalidad sensorial; por ejemplo, el área de asociación unimodal visual combina información acerca de la luminosidad, el contraste (que define la silueta de distintos objetos) y el color de una imagen.

en las partes iniciales del sistema (desde la retina hasta el área cortical primaria visual) se activan cuando un punto luminoso aparece en su campo perceptivo³, de manera que esa neurona sólo puede representar un punto. Más adelante en la secuencia de etapas, las neuronas responden, no a la luminosidad de un punto, sino a la luminosidad de una línea. Esto ocurre como consecuencia de que estas neuronas que responden a líneas reciben conexiones desde las neuronas que responden a los puntos que forman esa línea. Más adelante aún, las neuronas responden a la intersección de líneas, a siluetas, y finalmente a objetos visuales. De esta manera, se van representando rasgos visuales cada vez más abstractos. Luego, ya en un nivel de procesamiento multimodal, la información visual se combina con otras modalidades sensoriales, que resulta en una representación más abstracta: el concepto.

Sistema de salida de la información

El sistema de salida de la información es el sistema motor, que se ocupa de planificar, coordinar y ejecutar los movimientos. Utiliza vías diferentes a las de los sistemas de entrada, pero también está organizado jerárquicamente. Sin embargo, la jerarquía ocurre en sentido inverso: el procesamiento va de más abstracto a más concreto. Primero se deciden y organizan los objetivos y la planificación de la acción en el **nivel supramodal**. Luego, se definen las secuencias específicas de movimientos en las *áreas premotoras (áreas motoras secundarias)* que forman parte del **nivel gnósico-práxico**. Desde aquí, se pasa a un **nivel sensorio-motor** de procesamiento en el *área motora primaria*, en donde se elaboran los comandos concretos para las neuronas que contactarán directamente con los músculos. El área motora primaria es el canal de salida cortical del sistema motor. Los comandos necesitan ajustes posteriores que son llevados a cabo por los componentes subcorticales del sistema motor (ganglios de la base, cerebelo, núcleos motores del tronco cerebral y sustancia gris de la médula espinal). Los objetivos y el plan de la acción son los niveles más abstractos y los comandos motores destinados a los músculos son el nivel más concreto del sistema de salida motor.

Control ejecutivo

Los tres niveles jerárquicos de los sistemas de entrada y salida de la información están bajo el control de un **nivel supramodal** encargado del control ejecutivo. Esta función depende de la corteza de asociación heteromodal anterior (terciaria), denominada *corteza prefrontal*. La función incluye aspectos de la mente y de la conducta como la anticipación,

³ Podemos asociar la idea de “campo receptivo visual” a la idea de un píxel, que tiene un tamaño y una ubicación precisa en una imagen.

la planificación, la búsqueda y la selección de respuestas, la iniciativa y el monitoreo de la acción.

Memoria

Los sistemas de memoria tienen la función de almacenar la información. Hay varios sistemas de memoria que almacenan los múltiples aspectos de la experiencia. Lo que comúnmente conocemos como memoria, el almacenamiento de los recuerdos, es el sistema de memoria más complejo. Para codificar y recuperar los recuerdos es necesaria la integridad de la *corteza temporal medial* (que incluye el hipocampo y otras estructuras).

Emoción

La *corteza de asociación multimodal límbica*, el *complejo amigdalino*, y el *eje hipotálamo-hipofisiario* forman parte del sistema que controla los aspectos emocionales de la conducta. Procesan información sensorial relevante y generan o modulan las respuestas conductuales y viscerales vinculadas a la supervivencia y la reproducción, a través del sistema nervioso autónomo y el sistema neuroendócrino.

Alerta

El *sistema reticular del tronco cerebral* y sus conexiones corticales y subcorticales regulan el ciclo de sueño y vigilia, y el nivel de alerta durante la vigilia. Este sistema básico de activación está bajo el control de otros niveles superiores que regulan la atención hacia los estímulos sensoriales y hacia la acción (intención).

Algunos ejemplos

¿Cómo se representaría en este modelo funcional una función psicológica compleja como el lenguaje? Las bases neurales del lenguaje incluyen partes de varios de los componentes del modelo funcional. Por ejemplo, las áreas secundarias sensoriales auditivas analizan la información modal específica del lenguaje (la representación auditiva de las palabras), las áreas premotoras almacenan los movimientos articulatorios del habla, y las áreas terciarias multimodales contienen las representaciones semánticas (conceptos).

Aunque en la cursada se analizarán algunos sistemas, es importante tener presente que en toda conducta, incluso en la más simple, interviene un conjunto amplio de sistemas. Es decir que la idea popular de que en cada momento utilizamos sólo una pequeña fracción de nuestro cerebro está bastante lejos de la realidad. Incluso en conductas sencillas como cruzar una calle, hacer las compras en un supermercado o atajar una pelota, procesamos muchos y variados tipos de información y, por lo tanto, están involucradas muchas regiones del cerebro.

Tomemos por ejemplo el caso de un arquero de fútbol que se dispone a atajar el pelotazo disparado por un jugador del equipo rival. Esta respuesta “simple” del arquero implica la intervención de múltiples sistemas cerebrales de manera integrada:

- El reconocimiento de la pelota y la determinación de la dirección y la velocidad del movimiento están a cargo del **sistema visual**. Este sistema se origina en la retina, incluye a las vías visuales, que transportan la información hacia la corteza visual primaria y las cortezas visuales secundarias. La corteza visual secundaria occípito-temporale está especializada en el reconocimiento de objetos (a partir de su forma y color), mientras que la corteza visual secundaria occípito-parietal está especializada en la percepción del movimiento y la profundidad.
- El arquero necesita información acerca de la postura y el movimiento de su cuerpo; por ejemplo, si está con los brazos en alto o a los lados del cuerpo, si está desplazándose y con qué velocidad lo hace. Esta información es procesada por el **sistema somatosensitivo**. El sistema somatosensitivo se origina en receptores especializados de la piel, los músculos, los huesos y las articulaciones. Sus vías ascienden por el sistema nervioso central, con estaciones de relevo en la médula espinal, el tronco cerebral y el tálamo, hasta alcanzar el área somatosensitiva primaria del lóbulo parietal. Las áreas secundarias somatosensitivas permiten combinar la información táctil, térmica y propioceptiva para trazar un mapa del propio cuerpo.
- Para estimar si la pelota puede entrar al arco, la información sobre la dirección y la velocidad del movimiento, que provee el sistema visual, tiene que integrarse en un mapa espacial. En dicho mapa del espacio, también están representados la cancha, el arco, el propio arquero, otros jugadores, así como cualquier otro estímulo pertinente. La corteza de asociación multimodal (terciaria) localizada en el lóbulo parietal posterior derecho lleva a cabo la **integración de la información sensorial** (visual, somatosensitiva, auditiva, etc.) y elabora una *representación multimodal del espacio tridimensional*.
- A partir de la integración de toda la información sensorial, el arquero puede estimar el posible punto de interceptación de la pelota y seleccionar el programa motor más adecuado para llegar hasta ese punto y atajarla. La selección de la conducta apropiada se hace sobre la base de la información sensorial, los modelos de respuesta almacenados en la memoria (motora) y los intereses y objetivos en curso del individuo. Esta compleja tarea está a cargo del **sistema de control ejecutivo**, que depende de la corteza de asociación multimodal prefrontal (anterior). Este sistema también tiene a su cargo el monitoreo de la acción y la realización de los ajustes necesarios.

- La selección de la respuesta más adecuada (correr y colocarse frente a la pelota, saltar para detener un tiro alto o lanzarse lateralmente para una pelota baja y alejada) es el comienzo de la acción, pero la respuesta aún debe completar otros pasos. A continuación, debe planificarse el movimiento a partir de patrones motores e implementarse cada uno de sus componentes (dirección y velocidad del movimiento elegido, papel de cada uno de los miembros y del tronco, cantidad de pasos, arqueado de la columna, velocidad, etc.) para especificar los patrones motores en términos de comandos concretos para cada uno de los músculos. Todo esto está a cargo del **sistema motor**, que incluye a la corteza motora secundaria del lóbulo frontal (corteza premotora), la corteza motora primaria y los circuitos de regulación en paralelo que ajustan el tono muscular, la iniciación y velocidad del movimiento. El asta anterior de la médula espinal recibe los comandos desde los niveles superiores y hace el ajuste final tomando en cuenta la información del segmento corporal correspondiente, y finalmente emite los comandos a los músculos.
- Pero la respuesta motora no es la única que forma parte de la respuesta. También es necesario movilizar los recursos del organismo para adaptarse a las exigencias del momento. Esto está a cargo de los **sistemas emocionales-motivacionales**, que incluyen el complejo amigdalino y otras estructuras límbicas. En muchas situaciones emocionalmente relevantes, el complejo amigdalino recibe información sensorial, evalúa su relevancia biológica y modula la respuesta visceral (frecuencia respiratoria y cardíaca, tensión arterial, metabolismo energético, etc.) y motora a través de sus conexiones con el hipotálamo, el tronco cerebral y el sistema nervioso autónomo.
- Para el arquero es importante tener un nivel adecuado de activación y concentrarse en la información relevante, por ejemplo, enfocar la atención visual en el jugador que va a patear y en los que podrían interceptar el tiro e inhibir información irrelevante para el caso, como la posición de los jugadores alejados o el vencimiento de la hipoteca de su casa. La concentración de la atención en un determinado foco y la inhibición de la información irrelevante también está a cargo del sistema de control ejecutivo, que como mencionamos más arriba, depende de la corteza de asociación prefrontal. El control atencional se ejecuta a través el **sistema de alerta y atención** uno de cuyos componentes es la sustancia reticular del tronco cerebral.
- La memoria interviene proporcionando información sobre conocimientos previos y episodios similares experimentados en el pasado (en una situación similar, el delantero pateó sobre el ángulo derecho, tal jugador suele utilizar el pie izquierdo, el defensor no es suficientemente rápido, etc.). También registra el episodio actual para su utilización futura y para fanfarronear ante los compañeros si la pelota fue atajada con éxito. Hay además sistemas específicos de memoria que almacenan los patrones de las

habilidades motoras aprendidas a fuerza de entrenamiento. Los **sistemas de memoria** incluyen, entre otras estructuras, a la corteza del hipocampo localizada en la parte medial del lóbulo temporal que es necesaria para el almacenamiento de las experiencias o sucesos, y a los ganglios de la base que, además de participar en la regulación de la respuesta motora, son necesarios para el almacenamiento del aprendizaje de habilidades sensorio-motoras.

La respuesta adecuada del arquero depende del buen funcionamiento de todos los sistemas. Por ejemplo, si el equipo del arquero está perdiendo por goleada, es posible que su sistema emocional motivacional esté deprimido, lo cual probablemente afectará su nivel de alerta y, por lo tanto, también afectará la velocidad y precisión con que procesará la información y seleccionará e implementará su respuesta.

Como vemos, aún una conducta relativamente simple como atajar una pelota implica la participación de un conjunto amplio de sistemas de procesamiento, cuyos componentes neurales están localizados en diversas partes del sistema nervioso.⁴

Referencias

Tamaroff, L. y Allegri, R. (1995). *Introducción a la neuropsicología clínica*. Buenos Aires: La cuádrica.

⁴ Los batracios como el sapo están provistos de los sistemas necesarios para localizar y calcular el desplazamiento de los insectos en el espacio y dirigir hacia allí su lengua para atraparlos. Sin duda, esta habilidad del sapo está codificada en sus genes, así como su capacidad para perfeccionarla mediante el aprendizaje y la memoria. En cambio, es muy poco probable que el sapo posea un sistema de memoria que le permita registrar la experiencia como tal (memoria de sucesos o episódica).