

Neurofisiología – cátedra 1

Prof. Reg. Adj. a cargo: Nancy China

Sistemas de alerta y atención

Enfoque multicomponente de la atención

2025

Índice

Preguntas para guiar la lectura.....	página 3
Introducción.....	página 4
El enfoque multicomponente de la atención.....	página 5
La atención como mecanismo de alerta. La red de alerta.....	página 6
La orientación a estímulos sensoriales. La red de orientación visual.....	página 14
La atención como un mecanismo selectivo y de capacidad limitada. La red ejecutiva.....	página 19
Una síntesis sobre el estado actual de las investigaciones sobre la atención.....	página 23
Referencias.....	página 24

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. ¿En qué consiste la atención? ¿Qué rol cumple en la conducta?
2. ¿Se trata de un mecanismo reflejo o voluntario?
3. ¿Qué es el alerta? ¿Cuáles son sus manifestaciones?
4. ¿Podemos orientar nuestra atención de manera encubierta? ¿Cómo se relaciona la atención con los movimientos oculares?
5. ¿Por qué necesitamos seleccionar a qué prestarle atención? ¿Qué aspectos de la conducta influyen en dicha selección?
6. ¿De qué manera se manifiestan las alteraciones en los diferentes componentes de la atención como consecuencia de las lesiones cerebrales?

Sistemas de alerta y atención. Enfoque multicomponente de la atención

Introducción

Los órganos de los sentidos recogen permanentemente una gran cantidad de información. Nuestra mente y nuestro cerebro están sometidos a un enorme bombardeo de información. Esto se ha incrementado sobre todo en la sociedad moderna. La información que recibimos es compleja, heterogénea y cambiante. Sin embargo, no toda la información es relevante para nuestra conducta. Sería imposible vivir respondiendo a todos los estímulos provenientes del exterior. Habitualmente, atendemos (prestamos atención) solamente a una fracción de la información sensorial, es decir que seleccionamos aquella que es relevante para nuestros intereses y objetivos en curso.

Por otra parte, no sólo atendemos a los estímulos provenientes del medio externo. Una conducta adecuada también requiere volcar recursos de procesamiento a la búsqueda en la memoria y a la selección de las experiencias pasadas más adecuadas para resolver las situaciones en curso.

Finalmente, el despliegue de los esquemas de acción seleccionados también consume recursos atencionales para controlar la ejecución de la acción. Baste para esto, imaginar las operaciones que requiere el manejo de la maquinaria industrial moderna.

Un mecanismo de atención reflejo: el reflejo de orientación

Tempranamente, los neurofisiólogos se interesaron por un mecanismo reflejo de atención llamado por Pavlov “reflejo de orientación”. El reflejo de orientación está presente tanto en los animales como en las personas, y es una forma de atención refleja, involuntaria. Consiste en una activación general que surge como respuesta a un estímulo novedoso en el ambiente. Por ejemplo, frente a un estímulo novedoso (un ruido), un perro interrumpe la actividad que estaba realizando (si estaba comiendo, deja de hacerlo), si estaba adormecido se despierta y rápidamente gira la cabeza dirigiendo sus ojos y oídos al lugar desde donde proviene el sonido, permanece expectante y explora con sus canales sensoriales la fuente de la novedad. Además de estas *manifestaciones conductuales* observables directamente (suspensión de la actividad previa, orientación de los canales sensoriales hacia el estímulo, a veces, conducta de exploración), hay otros dos índices del reflejo de orientación: las manifestaciones autonómicas y las electrofisiológicas. Las *manifestaciones del sistema nervioso autónomo* consisten en cambios de la frecuencia cardíaca y respiratoria, en la redistribución de la circulación sanguínea (vasoconstricción en

los miembros y vasodilatación cerebral) y en cambios en la conductancia eléctrica de la piel (respuesta psicogalvánica¹). Las *manifestaciones electrofisiológicas* consisten en la modificación de la actividad electroencefalográfica (en las personas adultas, produce la desaparición del ritmo alfa característico del estado de relajación) y en el incremento de la amplitud de los potenciales evocados sensoriales.

El reflejo de orientación es una respuesta específica a los estímulos que constituyen una novedad en el ambiente y desaparece, es decir que se habitúa, cuando el estímulo se presenta repetidamente (siempre que no tenga consecuencias para los intereses del sujeto experimental). Es sencillo imaginarse el valor adaptativo del reflejo de orientación y de la habituación.

La coherencia de esta conducta adaptativa es el resultado de la movilización e integración de muchos mecanismos fisiológicos (cardiocirculatorios, respiratorios, motores, sensoriales, atencionales). En el campo específico de la atención, este reflejo incluye varios componentes que es necesario destacar. Aunque su nombre (orientación) se debe a uno de los aspectos más salientes de esta conducta refleja, es conveniente señalar la presencia de varios componentes atencionales: 1) la modificación fásica del estado de alerta (si el animal estaba dormido o adormecido, el estímulo lo activa), 2) la orientación precisa hacia la localización espacial y hacia la naturaleza de la fuente de estímulos (un perro dirige la mirada y orienta las orejas hacia el estímulo, lo olfatea, etc.), y 3) el carácter selectivo de esta conducta, que se manifiesta en la priorización del procesamiento del estímulo novedoso junto con la supresión de todas las respuestas no relacionadas con la novedad.

El enfoque multicomponente de la atención

Aunque intuitivamente la atención puede parecernos una función única e indivisible, el análisis del reflejo de orientación, así como la investigación psicológica experimental, ponen de manifiesto que bajo el término “atención” se incluye un conjunto de fenómenos diversos. En la actualidad, predomina un enfoque multicomponente que considera a la atención como el producto de un conjunto de subsistemas, cada uno de los cuales lleva a cabo diversas operaciones.

Hay varios aspectos que se han estudiado de la atención. En este texto, nos centraremos en las investigaciones que estudiaron: a) la atención como mecanismo de alerta, b) la orientación de la atención hacia aspectos específicos de los estímulos (por

¹ La conductancia eléctrica de la piel es la facilidad que ofrece la piel al paso de una corriente eléctrica, que se modifica por cambios en la sudoración. La actividad de las glándulas sudoríparas es controlada por el sistema nervioso autónomo.

ejemplo, la localización de estímulos visuales en el campo visual), y c) la atención como mecanismo selectivo de capacidad limitada y de coordinación de los recursos de procesamiento.

El enfoque multicomponente de la atención recibe apoyo desde el campo de las neurociencias; tanto las evidencias neurofisiológicas como las neuropsicológicas apoyan la visión multicomponente, según la cual, la atención es considerada como un sistema compuesto en el que varios subsistemas neurales se relacionan con distintos aspectos de la atención. En los seres humanos, lesiones en diversas áreas del sistema nervioso central, producen trastornos cualitativamente distintos de la atención. La diversidad de las áreas involucradas en la atención también puede observarse en personas sin lesiones (voluntarias normales), mediante estudios con imágenes funcionales como la tomografía por emisión de positrones y la resonancia magnética funcional (técnicas que generan imágenes de las áreas cerebrales que se activan durante tareas mentales definidas). Distintas partes del cerebro se activan según qué aspectos de la atención son los requeridos por la tarea experimental.

En los animales de experimentación, las lesiones controladas en distintas partes del SN, o la manipulación farmacológica, también producen patrones específicos de alteración de los componentes de la atención y revelan la existencia de varios subsistemas neurales con funciones específicas.

En el marco de la neurociencia cognitiva, se ha propuesto un modelo de la atención constituido por tres subsistemas neurales o redes (Posner, 1992, 1994):

- a) Una **red de alerta** relacionada con el control y el mantenimiento del alerta,
- b) Una **red de orientación** relacionada con la dirección de la atención sobre los estímulos sensoriales,
- c) Una **red ejecutiva** relacionada con la selectividad y la administración de recursos atencionales.

A continuación, vamos a exponer un conjunto de datos sobre los mecanismos neurales de la atención siguiendo este modelo de Michael Posner.

La atención como mecanismo de alerta. La red de alerta

Un aspecto de la atención que ha figurado de manera prominente en la investigación psicológica es el alerta o activación. El **alerta** es un mecanismo endógeno, que puede definirse como una disposición general del organismo para procesar información (De Vega, 1984). Desde el punto de vista neurofisiológico, también se lo ha definido como el nivel de activación óptimo para procesar estímulos sensoriales u otro tipo de información.

Hay una estrecha relación entre el estado de alerta y la capacidad para procesar información: una persona dormida (con bajo nivel de alerta) es incapaz de responder adecuadamente a los estímulos, mientras que una despierta (alerta o vigil) es capaz de llevar a cabo diversas tareas complejas como procesar información sensorial, buscar huellas adecuadas en su memoria, organizar acciones complejas, etc. Lo mismo puede decirse de los dos extremos en que la neurología estudia el estado de alerta: un paciente en coma (que está inconsciente debido a daño neurológico) no puede reaccionar a los estímulos, mientras que sí lo puede hacer una persona consciente (alerta).

Fluctuaciones del alerta

El alerta fluctúa normalmente entre dos extremos: el sueño y la vigilia. Y así como el sueño tiene diversas etapas, también el nivel de alerta fluctúa durante la vigilia. Hay oscilaciones rápidas del nivel de alerta llamadas alerta fásica y otras oscilaciones lentas llamadas alerta tónica. Estas fluctuaciones del alerta influyen sobre la velocidad y la precisión con que son procesados los estímulos.

Se llama ***alerta fásica*** a un estado transitorio de preparación para procesar un estímulo en una situación específica. Su característica principal es la rápida elevación del estado de activación. Por ejemplo, se registra un aumento del alerta fásica con la señal de partida en las competencias deportivas (“preparados... listos... ¡ya!”). La señal permite que los corredores pasen más rápidamente al movimiento desde la posición de salida.

En los estudios psicológicos en los que se mide el tiempo de reacción (por ejemplo, el tiempo que un sujeto tarda en detectar un estímulo determinado, como un color, una forma o una letra, en una pantalla de computadora), si al sujeto experimental se le presenta una señal de aviso medio segundo antes de la aparición del estímulo, se produce un estado de alerta fásica. El alerta fásica provocada por la señal de aviso se manifiesta tanto en una reducción del tiempo de reacción (el sujeto detecta más rápidamente el estímulo que si no hubiera recibido la señal de aviso), como en cambios neurofisiológicos, ya que en dicho período se producen modificaciones en el electroencefalograma (EEG).

El ***alerta tónica*** implica cambios más lentos en la disponibilidad del organismo para procesar estímulos. Se pone de manifiesto sobre todo en tareas como la que realizan los operadores de radar. En estas tareas, se requiere un sostenimiento de la atención sobre una fuente de señales, la pantalla del radar, a la espera de la aparición de una señal. En estas condiciones, se observan cambios en el nivel de alerta a lo largo del tiempo: a los 15 minutos, aproximadamente, los operadores de radar presentan una reducción del nivel de alerta tónica que se traduce en un menor rendimiento en la tarea (más lentitud y menor precisión en la detección de señales). Al sostenimiento de la atención también se lo suele denominar “vigilancia”, “atención vigilante” o “mantenimiento” de la atención.

Componentes anatómicos de la red de alerta

La red de alerta (también llamada red de vigilancia) está compuesta, según Posner, por dos estructuras: la formación reticular y la corteza dorsal del lóbulo frontal derecho. La formación reticular (con más precisión las vías noradrenérgicas de la formación reticular) tendría a su cargo el rol activador, pero sería la corteza frontal derecha la que ejerce el control superior que permite modular la activación. Los primeros estudios neurofisiológicos sobre la atención se centraron en la formación reticular.

La formación reticular y su papel en el alerta

Un descubrimiento, que en su momento resultó sorprendente, fue que las estructuras que mantienen y regulan la activación de la corteza cerebral no se sitúan en la misma corteza sino debajo de ella, en la región subcortical y en el tronco cerebral. Esas estructuras reciben el nombre de formación reticular o sustancia reticular.

Las primeras experiencias que condujeron a estas conclusiones fueron las de Bremer (1936). Este autor utilizó, en gatos, una técnica consistente en practicar secciones (cortes) a distintos niveles del SNC y observar el efecto que estas secciones tenían sobre el grado de actividad cortical. Para contar con una medida de la actividad cortical, Bremer utilizó el registro electroencefalográfico (EEG). Interesan los efectos provocados por las secciones practicadas a dos niveles (figura 1):

- 1) Uno de los experimentos consistía en practicar una sección a nivel de la unión del bulbo con la médula espinal. Este experimento recibe el nombre de preparación de "encéfalo aislado" debido a que el cerebro se mantiene unido al tronco encefálico y ambos (encéfalo) quedan separados de la médula. El efecto de esta lesión sobre el EEG no era importante, no modificaba su ritmo, sino que mantenía las características propias del EEG de la vigilia (ritmos rápidos).
- 2) Otro experimento consistía en practicar la sección a un nivel más elevado, a nivel de la parte más alta del tronco cerebral. Este experimento se denomina preparación de "cerebro aislado" porque el corte separaba al cerebro del tronco encefálico (este último quedaba unido a la médula). En este caso, el EEG cortical sí se modificaba, se hacía lento, similar al EEG del sueño. Sin embargo, a diferencia del sueño, la lentificación del EEG era irreversible; el animal ya no recuperaba el estado de vigilia.

Magoun y Moruzzi, en 1949, retomaron esa línea de investigación, pero practicando lesiones más pequeñas, en regiones más circunscriptas del tronco encefálico, con el fin de determinar con precisión qué estructuras eran las responsables de la activación cortical. Sus experimentos les permitieron establecer que la lesión de la formación reticular, localizada en la porción superior del tronco encefálico, era la que producía el

enlentecimiento del EEG. Estos autores concluyeron que la parte alta de la formación reticular era la sede de las células que producían un tono activador de la corteza y que su lesión era responsable de la supresión de la vigilia y de la aparición de ritmos electroencefalográficos característicos del sueño en la corteza cerebral.

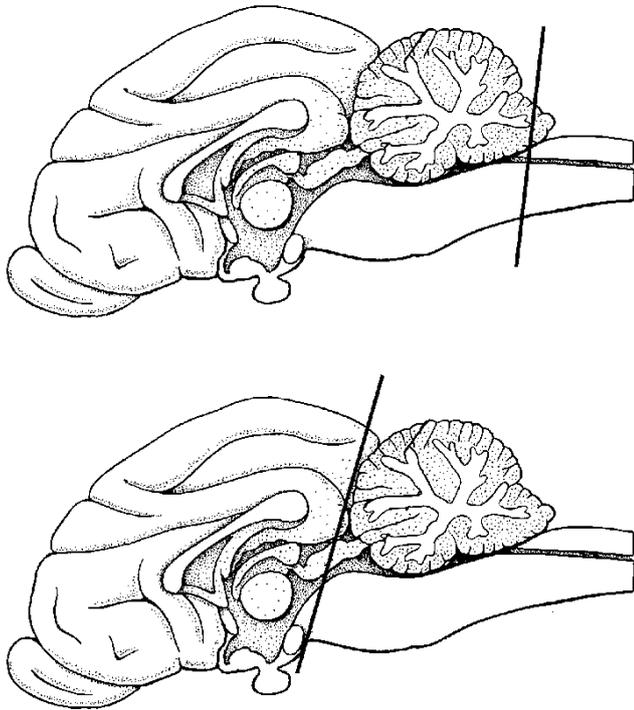


Figura 1. Experimentos de Bremer.

Arriba: preparación de "encéfalo aislado", en la que el tronco queda unido al cerebro y ambos (encéfalo) quedan separados de la médula. En esta preparación, el EEG es semejante al del estado de vigilia.

Abajo: preparación de "cerebro aislado", en la que el cerebro queda separado del tronco. El EEG es semejante al del sueño.

Estos mismos autores trabajaron luego con animales sanos, utilizando estimulación con electrodos y registro del EEG. Primero, se anestesiaba al animal y se registraba el EEG que, debido a la inducción de la anestesia, estaba lentificado como en el sueño. Luego, se colocaba un electrodo en la formación reticular y se introducía a través del mismo una corriente de intensidad adecuada. Pese a la anestesia, la estimulación de la formación reticular producía una reacción de despertar y cambios equivalentes en la actividad electroencefalográfica del cerebro (ritmos rápidos típicos de la vigilia). Concluyeron que la estimulación de la formación reticular era el mecanismo que producía el pasaje de un estado de sueño (inducido por la anestesia) a un estado de vigilia conductual y electroencefalográfica.

La formación reticular está constituida por un conjunto intrincado de células y fibras nerviosas que se localiza en la región medial de todas las estructuras del tronco cerebral (bulbo, protuberancia y pedúnculos cerebrales) y se extiende hacia arriba hasta alcanzar el tálamo (figura 2). Las neuronas de la formación reticular adoptan una disposición en red o retículo y no tienen la disposición ordenada típica de las neuronas de los núcleos motores y sensoriales del tronco cerebral. La formación reticular se extiende a lo largo del bulbo, la protuberancia y se abre en dos brazos en forma de Y, uno a cada lado de la línea media,

para extenderse a lo largo de los pedúnculos cerebrales. Cada brazo de la formación reticular atraviesa el hipotálamo y el tálamo del lado correspondiente.

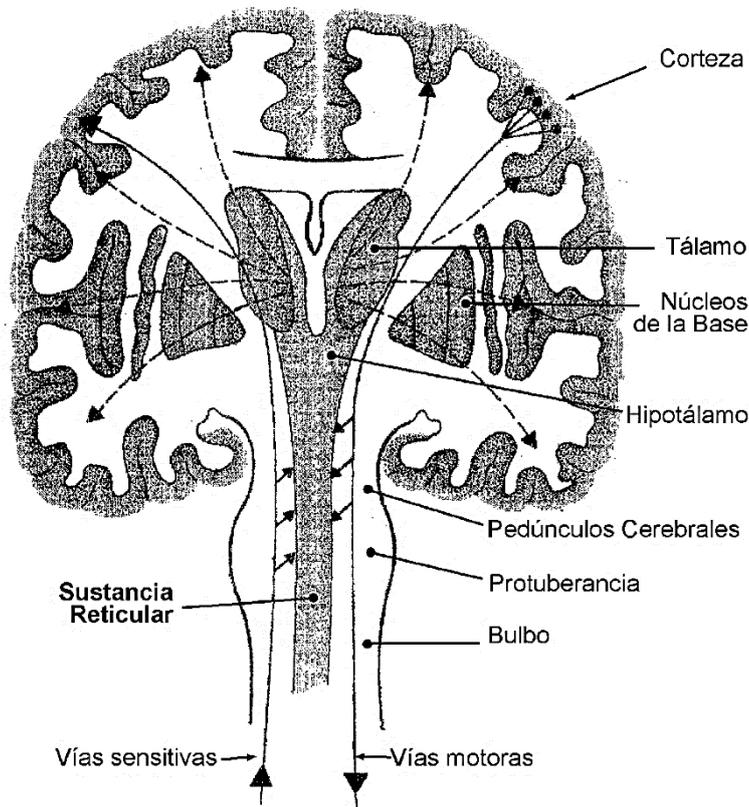


Figura 2. Conexiones de la formación reticular

La formación reticular o sustancia reticular se extiende a lo largo del tronco encefálico, el hipotálamo y el tálamo. Recibe conexiones de las vías sensoriales que van hacia la corteza y de las vías motoras que salen de la corteza.

El tálamo es una formación gris compleja; como ya hemos visto en otros capítulos, el tálamo es una estación de relevo de todas las vías sensoriales y del sistema motor. Para ello, cuenta con núcleos y proyecciones (conexiones) específicos que alcanzan regiones delimitadas de cada corteza sensorial (son núcleos y conexiones específicas para una modalidad sensorial o del sistema motor).

Por otra parte, el tálamo cuenta con núcleos no específicos (no dependen de una única modalidad sensorial) que constituyen la porción talámica de la formación reticular. Son los llamados núcleos intralaminares o sustancia reticular talámica. Estos núcleos dan origen a proyecciones corticales difusas, que alcanzan vastas regiones de la corteza cerebral. Se cree que por intermedio de estos núcleos intralaminares del tálamo y sus proyecciones, la formación reticular ejerce su función activadora sobre la corteza cerebral.

La integridad de la sustancia reticular es esencial para el mantenimiento de la vigilia. Pero no toda la formación reticular tiene una función similar. Como ha quedado claramente de manifiesto a partir de experiencias con animales como las de Magoun y Moruzzi, son las porciones altas de la formación reticular las que tienen una función activadora: las porciones de la mitad superior de la protuberancia, de los pedúnculos cerebrales, del tálamo y del hipotálamo. Las porciones más caudales no tienen función activadora.

El estudio de la localización de las lesiones que producen coma en pacientes neurológicos corrobora la función de la sustancia reticular en el alerta. En la figura 3, se muestra la localización de las lesiones que producen el estado de coma en los humanos. Lesiones, aún pequeñas, que se localizan en la parte alta de la protuberancia, los pedúnculos cerebrales, o la región talámica e hipotalámica, producen la pérdida del estado de vigilia y de la capacidad de reaccionar a los estímulos sensoriales. Las lesiones que producen coma se localizan precisamente en el territorio en el que se encuentra la formación reticular.

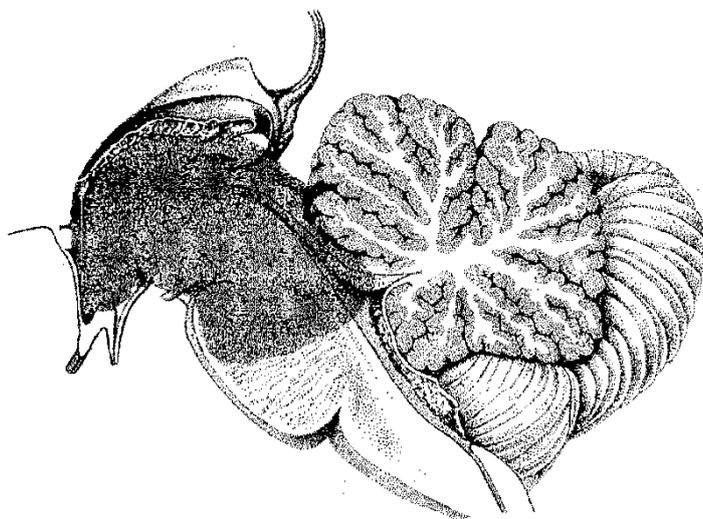


Figura 3. Localización de las lesiones que producen coma en los humanos

En gris oscuro, se indica la localización de las lesiones que producen coma en los humanos. Esta zona coincide con la localización de la formación reticular.

Un rasgo distintivo de la formación reticular es que sus neuronas proyectan sus axones ampliamente desde el tronco cerebral, tanto en dirección rostral como en dirección caudal; algunas conectan con núcleos del tronco, otras descienden hasta la médula espinal y otras ascienden hasta el tálamo y el hipotálamo. Esta amplia distribución de las conexiones permite a la formación reticular ejercer amplias influencias sobre otras estructuras del SNC. En esto, se distingue de los sistemas sensoriales y del sistema motor en los que se observa una disposición ordenada y estricta, con estaciones de relevo (sinapsis) establecidas de manera discreta (figura 4). Otra característica de la organización de la formación reticular es que, tanto las aferencias sensoriales (que van desde la periferia a la corteza) como las eferencias motoras (que van desde la corteza a la periferia) establecen conexiones que pueden tener un efecto activador. A su vez, se piensa que existe una relación de ida y vuelta entre estas

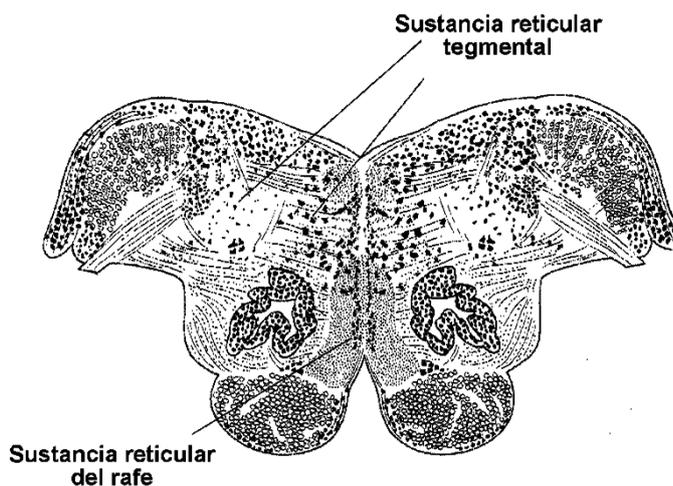


Figura 4. Disposición de las neuronas de la sustancia reticular

estructuras y la corteza cerebral. La formación reticular ejerce una acción activadora sobre la corteza, pero al mismo tiempo experimenta ella misma la influencia reguladora de la corteza tal como se ilustra en la figura 2.

Los datos estructurales y los estudios fisiológicos hasta aquí mencionados hicieron pensar inicialmente que la formación reticular era una estructura homogénea, que actuaba como sistema de activación difuso, participando en la regulación del ciclo sueño-vigilia y en el nivel de alerta cortical.

Estudios microscópicos detallados, y sobre todo estudios con técnicas histoquímicas, permitieron establecer que la formación reticular, aun con sus amplias conexiones, no tiene una organización tan difusa como se pensaba. Mediante técnicas de tinción que tiñen a las neuronas que utilizan un determinado tipo de neurotransmisor se pudieron identificar grupos de neuronas a partir de sus características morfológicas y bioquímicas. Así se pudo poner en evidencia la existencia de distintos grupos de neuronas dentro de la formación reticular que se diferencian por utilizar un tipo de neurotransmisor. Dentro de la formación reticular, hay tres sistemas de neuronas interconectadas a las que se las denomina por el neurotransmisor que utilizan: a) el sistema noradrenérgico (utiliza el neurotransmisor noradrenalina, b) el sistema dopaminérgico (utiliza dopamina) y c) el serotoninérgico (utiliza serotonina o 5 hidroxitriptofano -5HT-). Todos ellos son neurotransmisores monoaminérgicos.

En relación con estos hallazgos, también se pudo establecer que la formación reticular posee varias funciones, al menos cuatro: 1) la ya mencionada función de regulación del alerta, 2) la modulación de los reflejos musculares, 3) la regulación de funciones autonómicas, como la frecuencia respiratoria y cardíaca y 4) la modulación de la sensación de dolor (recuadro 1)

La corteza frontal derecha y su participación en el alerta

La participación de la corteza frontal derecha en el control del alerta queda en evidencia a partir del estudio de pacientes con lesiones cerebrales. Pacientes con lesiones del área frontal del hemisferio derecho tienen dificultades para mantener el estado de alerta. Otra fuente de confirmación del rol del lóbulo frontal derecho son los estudios con imágenes funcionales del cerebro: si se mide el flujo sanguíneo en sujetos normales, mientras ejecutan tareas que requieren vigilancia sostenida, se observa una activación de la corteza frontal derecha.

El sistema noradrenérgico y su participación en el alerta

El neurotransmisor noradrenalina (NA) parece estar relacionado con el sostenimiento de la atención. La vía noradrenérgica se origina en los pedúnculos cerebrales (en el locus

coeruleus y en los núcleos del tegmento lateral) y se proyecta de manera difusa hacia el tálamo y la corteza cerebral; dentro de la corteza, el área frontal es la más inervada por este sistema de neurotransmisión. El bloqueo de la NA con otras sustancias influye sobre el mantenimiento del estado de alerta. Ya habíamos señalado que una señal de aviso produce un estado de alerta fásica y aumenta la velocidad de procesamiento de los estímulos. Se ha probado, en monos y en voluntarios humanos, que las sustancias que bloquean la acción de la NA reducen el efecto facilitador de las señales de aviso sobre la velocidad de procesamiento del estímulo, es decir bloquean el alerta fásica.

Recuadro 1. Los sistemas de neurotransmisión de la formación reticular (FR) y sus funciones

El **sistema noradrenérgico** utiliza el neurotransmisor noradrenalina (NA). Este sistema se origina en dos grandes grupos celulares de la formación reticular: el locus coeruleus y los núcleos del tegmento lateral. Es el sistema dentro de la FR que posee la forma de proyección más difusa, está vinculado al control de la frecuencia respiratoria, cardíaca y de la presión arterial. En la atención, es el subsistema más vinculado con el alerta.

El **sistema dopaminérgico** utiliza dopamina (DOPA) como neurotransmisor. Se origina en el locus niger o sustancia negra, uno de los núcleos de la sustancia reticular del tegmento ventral de los pedúnculos cerebrales, y se proyecta al núcleo estriado (uno de los ganglios de la base), al sistema límbico y a la corteza. Su proyección es mucho más organizada que la del sistema noradrenérgico. Tiene dos grupos: a) el sistema mesoestriatal, se proyecta desde la sustancia negra y el tegmento ventral hacia varios núcleos del estriado; este sistema juega un rol importante en el control del movimiento voluntario; la destrucción selectiva o por degeneración del sistema mesoestriatal resulta en el síndrome o enfermedad de Parkinson. b) El sistema mesocortical-mesolímbico proyecta desde el tegmento ventral hasta las áreas corticales y límbicas; las funciones de esta vía no son totalmente conocidas, pero se piensa que juega un papel importante en la cognición. El sistema dopaminérgico ha sido relacionado con la atención ejecutiva. También se sabe que los sistemas dopaminérgicos son un sitio primario de acción de drogas estimulantes (como las anfetaminas) y de drogas antipsicóticas.

El **sistema serotoninérgico** utiliza la serotonina (o 5-HT, 5-hidroxitriptofano). Es el sistema más extenso de los existentes en la sustancia reticular del tronco cerebral (posee más neuronas que los dos anteriores juntos). Se origina en el núcleo del rafe y otros núcleos próximos. Hay una proyección serotoninérgica descendente hacia la médula espinal, que modula la sensibilidad espinal y a las neuronas motoras (la aplicación de serotonina deprime las entradas sensitivas aferentes disminuyendo la sensibilidad al dolor y aumenta la actividad de las neuronas motoras incrementando el tono muscular). Hay una proyección ascendente que sale de los núcleos del rafe pedunculares y protuberanciales y se proyecta al cerebro anterior incluyendo la corteza, las estructuras límbicas, el estriado, el tubérculo olfatorio, el hipocampo y el diencéfalo. El sistema serotoninérgico (y también, el noradrenérgico) son sitios de acción de drogas antidepresivas.

En la actualidad, se conocen más funciones de la formación reticular; ellas son: 1) la ya mencionada función primordial en el sostén y la regulación del estado de alerta, incluyendo su participación en el ciclo sueño-vigilia; 2) participa en el control de la función motora mediante la modulación de la respuesta refleja al estiramiento del músculo (reflejo miotático) y del tono muscular (lo hace mediante las vías retículo-espinales originadas en el bulbo y la protuberancia); 3) también está involucrada en el control de la

respiración y de la frecuencia cardíaca; 4) la última función conocida de la formación reticular es en la modulación del dolor mediante la regulación del flujo de información somatosensitiva ascendente que logra mediante su influencia sobre el asta posterior medular (punto de ingreso de las aferencias somatosensitivas).

La orientación a estímulos sensoriales. La red de orientación visual

Nos referimos con el término “orientación” a los procesos que permiten dirigir el foco de la atención hacia una determinada fracción del mundo exterior. Orientar es, entonces, ajustar los canales sensoriales para que capturen mejor una fracción de los estímulos que entran dentro del rango sensible de cada sistema sensorial. Podemos orientar nuestro oído hacia los tonos agudos porque nos pareció escuchar una sirena, o podemos dirigir nuestra mirada hacia el hemisferio visual izquierdo para explorar un objeto que brilla intensamente. Aunque estén muy relacionados, no es conveniente confundir la selección de un blanco con la orientación sensorial hacia él. En el reflejo de orientación, por ejemplo, lo que determina que cierto estímulo sea tratado prioritariamente es su carácter novedoso. La selección precede a la orientación, y no debe confundirse con ella. La orientación consiste en los mecanismos por los cuales se concentran los canales sensoriales adecuados en un objetivo previamente seleccionado.

Una gran parte de la investigación sobre la orientación a estímulos sensoriales se ha realizado en la esfera visual. Esto se debe a que los cambios de orientación visual se pueden observar desde el exterior. En efecto, existe una estrecha relación de la orientación a estímulos visuales con los cambios en la posición de los ojos. Cuando dirigimos nuestra atención hacia un blanco visual y logramos fijar nuestra mirada en él, su imagen es captada por los fotorreceptores de la fóvea central de la retina. Ésta es la región retiniana que posee la mayor concentración de fotorreceptores, por lo que aumenta la eficacia del análisis visual en términos de agudeza visual. De modo que podemos estudiar la orientación visual sobre la base de los movimientos oculares que permiten ubicar el objetivo visual en la fóvea central. Sin embargo, conviene aclarar que podemos atender a la localización de un estímulo de manera encubierta, sin que ocurra un movimiento de los ojos, es decir, sin desplazar la mirada hacia el objetivo que estamos atendiendo. En otras palabras, la orientación hacia una localización visual habitualmente se pone de manifiesto por los movimientos oculares, pero la atención no se reduce a ese movimiento de enfoque, sino que se expresa sobre todo en la detección de los eventos visuales que ocurren en alguna región del campo visual, más allá de si esa información visual cae en la fóvea central de la retina o en una parte más periférica.

En experimentos con personas sanas, a quienes se les indica por medio de una señal que deben atender a una localización en el campo visual (por ejemplo, hacia la derecha), la respuesta a los eventos que ocurren en esa localización es más rápida y la señal de aviso

produce un aumento de la actividad eléctrica que se puede registrar en el cuero cabelludo a través de la técnica de los potenciales evocados. Además, después de una señal de aviso, el estímulo puede ser detectado en la localización indicada, aunque tenga intensidades menores a lo habitual. Esta facilitación del procesamiento en una localización visual, ocurre dentro de los 50-150 milisegundos posteriores a la señal de aviso que indicó orientar la atención hacia esa zona y sólo dentro de la localización indicada. Estos experimentos se han realizado también en monos reemplazando la indicación hacia una localización por recompensas adecuadas.

De manera similar, cuando se le pide a alguien que mueva sus ojos hacia un blanco visual, se verifica una mejoría en la eficacia del procesamiento visual en esa localización, que comienza aún antes de que los ojos se muevan. Es decir que hay un cambio encubierto de la atención que no es el resultado del movimiento de los globos oculares, sino que por el contrario, parece funcionar como una guía para el movimiento de los ojos hacia localizaciones adecuadas en el campo visual. Es más, hay evidencia de que los movimientos sacádicos de los ojos (movimientos rápidos que permiten fijar sucesivamente distintos puntos visuales) requieren un cambio de atención hacia la localización blanco antes de que los propios movimientos sacádicos se realicen.

Componentes anatómicos de la red de orientación visual

Según Posner, la red de orientación visual está integrada por estructuras organizadas verticalmente en tres niveles: la corteza cerebral, la región subcortical y el tronco encefálico. Esto surge de los estudios electrofisiológicos con electrodos implantados. Cuando un mono atiende a estímulos visuales, hay tres áreas cerebrales que han mostrado aumento de su actividad eléctrica: 1) el lóbulo parietal posterior (corteza), 2) el pulvinar (núcleo subcortical talámico) y 3) el colículo superior (estructura que se localiza en el tronco encefálico, a nivel del mesencéfalo). La lesión de cualquiera de estas tres áreas produce alteración en la habilidad para los cambios encubiertos de la atención y cada daño provoca un déficit diferente.

Los daños en el ***área parietal posterior*** afectan sobre todo el “desenganche” del foco atencional de un blanco previo, e impiden dirigir el foco atencional hacia un blanco localizado en el hemicampo visual opuesto al lado de la lesión. Sin embargo, estas lesiones no afectan los desplazamientos del foco atencional dentro del hemicampo visual homolateral a la lesión.

Por ejemplo, las personas con lesiones en el lóbulo parietal derecho no pueden dirigir el foco atencional visual hacia objetivos que se localizan en el hemicampo visual izquierdo, pero muestran buena orientación visual hacia blancos dentro del hemicampo visual derecho. Como resultado, los pacientes no exploran la mitad izquierda de su campo visual,

quedan “enganchados” en la mitad derecha. Esta condición se conoce como *heminegligencia*. Esto se pone dramáticamente en evidencia en la copia de dibujos (figura 5) o en la lectura de números, por ejemplo, al intentar leer el número 2.456, el paciente lee “56”.

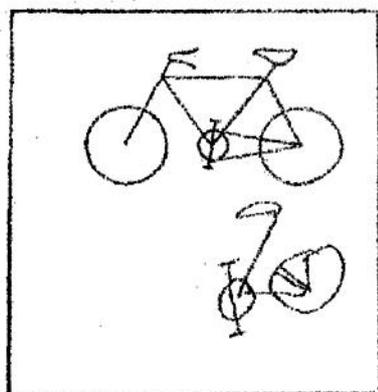
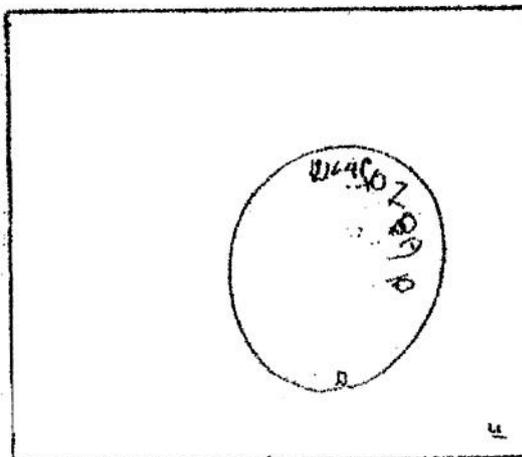
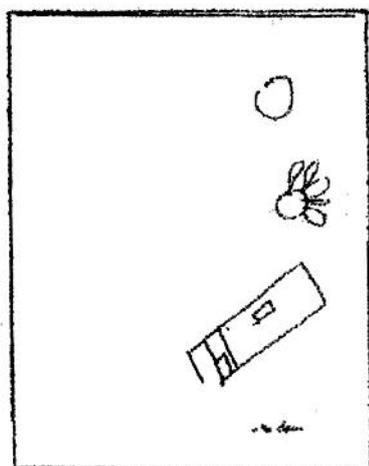


Figura 5. Dibujos a la orden y a la copia de pacientes con lesión parietal derecha

Se observa el uso de la hoja limitado a la parte derecha y la desatención a los detalles ubicados a la izquierda del modelo (bicicleta).

Las lesiones del lóbulo parietal no afectan sólo la orientación visual. Lesiones extensas en esta región producen también negligencia de otros estímulos sensoriales, por ejemplo, negligencia de los estímulos auditivos provenientes de un hemiespacio externo y negligencia de los estímulos somatosensitivos; en este último caso, el paciente desatiende, es decir, ignora la mitad de su propio cuerpo contralateral a la lesión, no la reconoce como propia.

El efecto del daño del lóbulo parietal tiene una cualidad distinta según cuál sea el lado dañado. La lesión del lóbulo parietal derecho tiene un efecto global mayor que el daño del izquierdo. Hay hipótesis diferentes para explicar esta asimetría. Una propuesta sostiene que el lóbulo parietal derecho es dominante para la atención espacial y controla la atención a ambos lados del espacio, mientras que el lóbulo parietal izquierdo juega un rol secundario. Los estudios con tomografía por emisión de positrones apoyan esta hipótesis: el lóbulo parietal derecho se activa con cambios de atención en ambos campos visuales,

mientras que el lóbulo parietal izquierdo se activa sólo cuando los cambios de atención ocurren en el hemicampo visual derecho.

Lesiones en el **colículo superior** afectan la habilidad para producir cambios o el desplazamiento del foco atencional, que se manifiesta por un enlentecimiento para pasar de un objetivo visual a otro. En estos casos, la lentificación del cambio del foco atencional afecta a estímulos visuales sin importar el lado del campo visual en que el que se localicen. La lentificación independiente de la localización sugiere que lo que está afectado es el desplazamiento de la atención hacia la nueva localización. Esto parece corroborarse en el hecho de que no sólo es lento el desplazamiento de la atención hacia un nuevo blanco, sino que inmediata y velozmente se vuelve a la localización previa no bien desaparece el estímulo. Este retorno contrasta con lo que ocurre en personas normales, y aún en personas con lesiones en el lóbulo parietal, en quienes hay una baja probabilidad de que la atención retorne a una localización ya examinada.

Finalmente, pacientes con lesiones en el **tálamo** (y monos con lesiones químicas más circunscriptas a un núcleo del tálamo, el **pulvinar**) también muestran dificultades con la orientación hacia estímulos localizados en el lado opuesto a la lesión. Pero aquí no se trata de negligencia como ocurre como consecuencia de lesiones del lóbulo parietal, sino que la dificultad afecta el sostenimiento de la atención sobre un blanco ya enfocado. El problema reside en una incapacidad para inhibir la respuesta a eventos distractores que ocurren en otras localizaciones y, en consecuencia, se abandona el objetivo que se debe sostener. Esto es coherente con lo que se observó en sujetos sanos mediante estudios con tomografía por emisión de positrones (PET). Cuando a los sujetos se les pide que filtren estímulos irrelevantes, se observan aumentos metabólicos selectivos en el pulvinar del lado opuesto al estímulo que está siendo atendido.

Esto sugiere una hipótesis sobre la participación de estas distintas áreas en los cambios en la orientación visual:

- 1) El lóbulo parietal tiene la función de “desenganchar” la atención del foco actual.
- 2) Los colículos superiores del tronco encefálico se activan para desplazar el foco de atención hacia el nuevo objetivo.
- 3) El pulvinar restringe la entrada de estímulos al área seleccionada de manera de eliminar distractores provenientes de otras localizaciones.

Por otro lado, así como se puede orientar la atención a una localización espacial, es posible orientar la atención a un objeto de distinta escala (grande o pequeño). Si miramos a una gran letra “T”, por ejemplo, pero compuesta por puntos que son pequeñas letras “x”, podemos atender a la forma global, o a sus constituyentes (figura 6). Es decir que se debe ajustar el sistema a una escala de tamaño a la cual se mostrará más sensible.

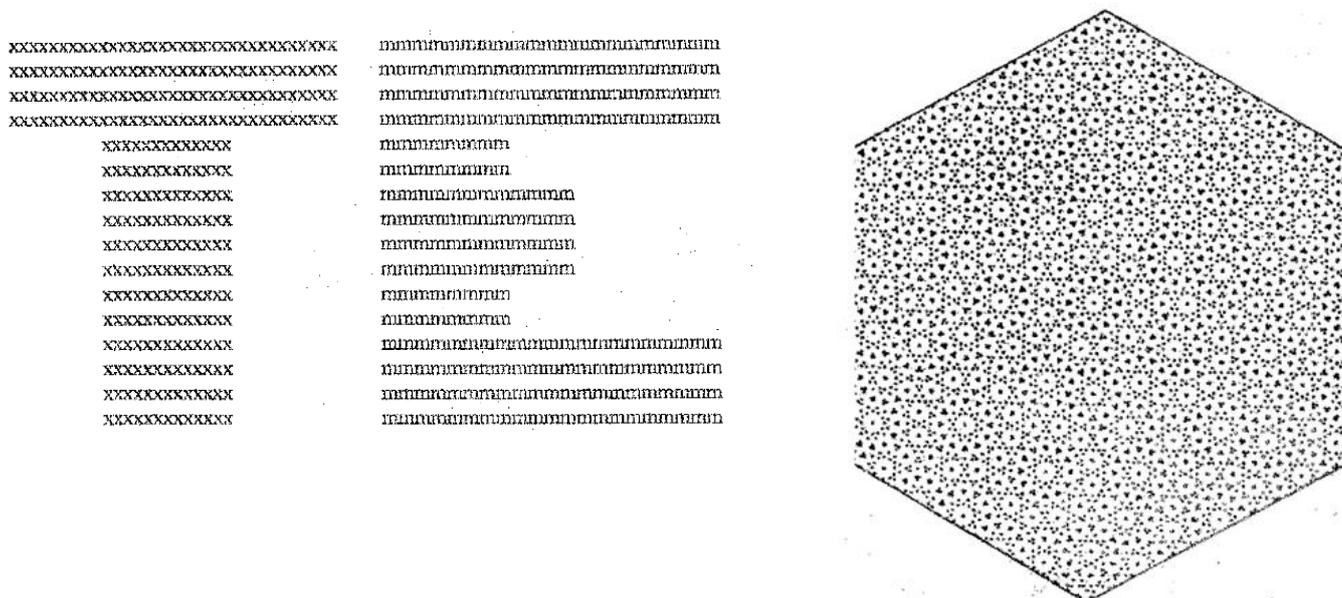


Figura 6.

El agrupamiento de rasgos en conjuntos (perceptos) varía según la escala con la que se enfoque la atención visual (el zoom).

A la izquierda, si nos orientamos a los detalles, vemos las letras “x” y “m”; en cambio, si nos orientamos a la configuración global, vemos las letras “TE”. A la derecha, podemos ver círculos de distintos tamaños según enfoquemos la atención a la configuración más o menos global.

Hay evidencias de estudios que utilizan la tomografía por emisión de positrones y en pacientes lesionados cerebrales, a favor de un papel del hemisferio derecho para el procesamiento global y del hemisferio izquierdo para un procesamiento local. Pacientes con lesiones en hemisferio derecho, frente a una lámina como la recién mencionada, pierden la orientación global y copian la letra pequeña (orientación local) debido a que el procesamiento está llevado a cabo por el hemisferio izquierdo. Pacientes con lesiones en el hemisferio izquierdo copian la letra grande (orientación global) y pierden los constituyentes locales (figura 7).

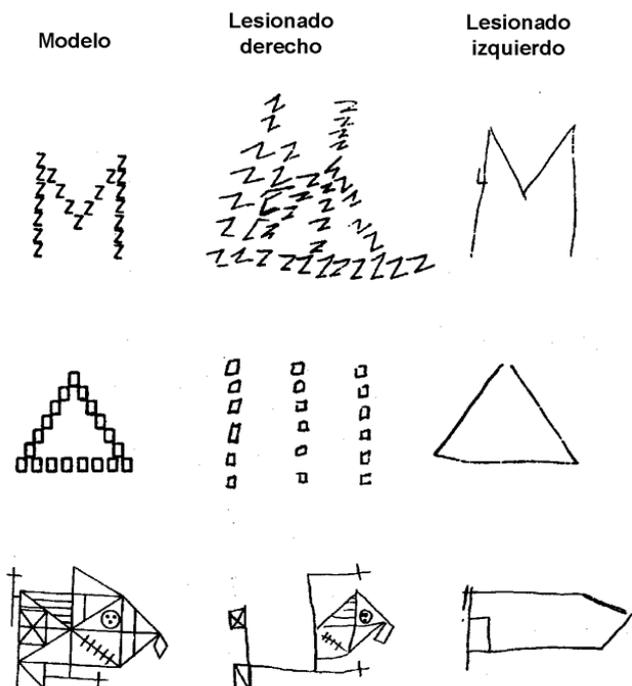


Figura 7.

Los pacientes con lesiones en el hemisferio derecho copian los detalles del modelo (trabaja el hemisferio izquierdo).

Los pacientes con lesiones en el hemisferio izquierdo copian la configuración global (trabaja el hemisferio derecho).

Otro aspecto importante es cómo participa la atención visual en el reconocimiento de patrones. Una teoría sostiene que la atención influye en la combinación de rasgos separados en perceptos unitarios. De acuerdo con esta visión, los rasgos simples constituyentes de un estímulo complejo no están combinados hasta que uno orienta la atención hacia ellos. La atención es necesaria para la búsqueda de un conjunto de rasgos.

La atención como un mecanismo selectivo y de capacidad limitada. La red ejecutiva

Los mecanismos de la atención permiten seleccionar una fracción relevante de todos los mensajes concurrentes, en función de nuestros intereses y objetivos. Esa fracción seleccionada será procesada intensamente, mientras que el resto de la información que recibimos recibirá un tratamiento más reducido o nulo.

La atención tiene una capacidad limitada. Esto se hace evidente si intentamos realizar dos tareas al mismo tiempo, por ejemplo, leer y escuchar lo que dice un noticiero. En general, no podemos realizar dos tareas complejas al mismo tiempo, aunque hay algunas excepciones.

Por un lado, podemos dirigir nuestra atención alternadamente entre dos focos distintos, como leer una frase y luego escuchar un párrafo del noticiero. Aunque no sea lo más eficiente, esta movilidad permite obtener información desde dos fuentes diferentes.

Por otro lado, hay algunas tareas complejas que se pueden ejecutar paralelamente. Es el clásico ejemplo de sostener una conversación coherente mientras se conduce un

automóvil. En este último caso, lo que permite la ejecución de dos tareas complejas simultáneamente es que una de ellas está considerablemente automatizada, por lo que consume menos recursos atencionales. De cualquier modo, los ejemplos citados no cuestionan la idea básica de que la atención es un mecanismo de capacidad limitada; los ejemplos ponen de manifiesto la complejidad que impone coordinar las operaciones que son necesarias para organizar la conducta.

La capacidad limitada también se expresa en que no toda la información que ingresa a nuestros sistemas sensoriales alcanza la conciencia. Por ejemplo, nuestros ojos reciben información proveniente de todo el campo visual, pero nuestra atención selecciona un blanco (un objetivo relevante) dentro del campo visual y orienta el foco de la atención visual hacia ese blanco. Como se mencionó antes, en esto hay que distinguir dos aspectos: la selección de la información que será procesada (selección del blanco) y la orientación del canal sensorial para que procese de manera óptima el blanco seleccionado. De las operaciones de selección, se ocupa la red ejecutiva que desarrollaremos a continuación, y de los mecanismos para la orientación nos ocupamos en el punto anterior de este capítulo.

Se han estudiado los factores que influyen en la limitación de aquello a lo que podemos atender al mismo tiempo. En la percepción, las personas se muestran más hábiles para atender a distintos aspectos del mismo objeto que para atender al mismo aspecto en diferentes objetos. Otro factor limitante se relaciona con la similitud de la información atendida. Es más difícil atender a dos fuentes de información cuando ambas ingresan por la misma modalidad que si se presentan en modalidades separadas. De igual manera, tareas que deben ser transformadas en códigos similares o que se vinculan con contenidos semánticos similares, son más difíciles de atender que cuando su contenido o código son diferentes. Detrás de todos estos fenómenos, se encuentra una limitación general que es la cantidad de información a la que podemos atender simultáneamente. Si dos mensajes son de naturaleza diferente, podemos alternar más fácilmente nuestra atención entre ellos porque son procesados por sistemas diferentes e independientes. Pero esto no ocurre si ambos mensajes deben ser procesados por la misma modalidad, si utilizan el mismo código o si su contenido semántico es similar porque involucran el procesamiento en el mismo sistema.

Tal vez, la principal fuente de interferencia sea la simultaneidad de los eventos que deben ser atendidos. Debido a ello, uno de los paradigmas más utilizados en las investigaciones sobre la selectividad de la atención consiste en suministrar simultáneamente al sujeto experimental dos estímulos (por ejemplo, dos mensajes diferentes, uno a cada oído) para observar cómo la naturaleza de los estímulos y sobre todo su relación temporal influye en la detección de señales. (Este mismo paradigma sirve para observar el papel selectivo de los objetivos del sujeto en la detección de señales. En la

situación experimental, el objetivo del sujeto puede determinarse a partir de la consigna que se le imparte. Por ejemplo, el experimentador le dice “preste atención a lo que escuche por el oído derecho” y esto hace que se priorice una de las fuentes de información y se desatienda la otra, de manera que desde ésta no se detecte ninguna señal).

La detección de blancos que ocurren simultáneamente constituye la mejor imitación experimental para explorar la capacidad limitada de la atención. La simultaneidad genera una gran interferencia, incluso cuando los blancos ocurren en modalidades separadas y aunque la única tarea del sujeto sea decir si se han presentado uno o dos blancos. Estos hallazgos sugieren que un sistema común está involucrado cuando cualquier señal debe ser detectada conscientemente.

Hay también un buen conjunto de evidencias de que otras operaciones mentales interfieren con la detección de señales. Ellas son: a) el almacenamiento de información recientemente ingresada (retener una lista de palabras, por ejemplo), b) la generación de ideas desde la memoria de largo plazo, c) el desarrollo de esquemas complejos de acción. De manera que muchas de las entradas perceptuales no serán conscientemente atendidas cuando algunos de estos aspectos ocupan el foco de la atención.

Atender, en este sentido, está conjuntamente determinado por los eventos ambientales, los objetivos actuales del individuo y sus intereses. Cuando están adecuadamente balanceados, estos dos tipos de entradas conducirán a la selección de la información relevante para el logro de los objetivos y darán coherencia a la conducta. El sistema debe además ser suficientemente flexible como para permitir que los objetivos e intereses sean re-priorizados sobre la base de los cambios en los eventos ambientales.

Componentes anatómicos de la red ejecutiva

A partir de datos anatómicos provenientes del estudio de pacientes lesionados cerebrales y de datos obtenidos en sujetos normales con técnicas de neuroimagen funcional, Posner sostiene que existe una red relacionada con la atención ejecutiva a la que llama “red ejecutiva”.

Esta red está constituida por varias áreas organizadas verticalmente en los niveles de la corteza cerebral, de los núcleos subcorticales y del tronco encefálico. Se han identificado dos estructuras en el nivel de la corteza cerebral: la ***corteza cingular anterior*** y la corteza frontal próxima a esta región (incluye las áreas de la corteza frontal conocidas como ***área motora suplementaria*** y ***campo ocular frontal***). Estas estructuras están estrechamente conectadas con un conjunto de estructuras subcorticales, los ***ganglios de la base***, y ambos reciben influencias de la ***vía dopaminérgica originada en el tronco encefálico***.

Una de las evidencias de que las estructuras mencionadas están involucradas en la atención ejecutiva consiste en que, cuando una lesión produce un daño extenso en el lóbulo frontal, destruyendo su región medial y la corteza cingular anterior, se pierde la selectividad y se desorganiza la respuesta balanceada a los estímulos del ambiente. Luria (1974) señaló que pacientes con lesiones frontales extensas muestran incapacidad para desarrollar conductas orientadas hacia un objetivo y se distraen fácilmente porque han perdido la capacidad de inhibir sus respuestas hacia estímulos irrelevantes. Estos pacientes -relata Luria- habitualmente comienzan a realizar la tarea que les proponemos, pero, tan pronto como aparece en escena un extraño, o en la cama vecina una enfermera susurra algo, el paciente deja de realizar la tarea, transfiere su atención al recién llegado o se une involuntariamente a la conversación de su vecino. Muchas veces, es más fácil obtener la respuesta del paciente tomándole el test a su vecino, que dirigiéndose directamente al paciente.

Una estructura clave en la red ejecutiva es la corteza cingular anterior. La circunvolución del cíngulo es la parte de la corteza cerebral que tapiza la porción más profunda de la hendidura interhemisférica y rodea al cuerpo calloso. La porción vinculada con la atención es la anterior. La organización interna del cíngulo anterior muestra bandas alternantes de neuronas que tienen profusas conexiones con la corteza frontal dorsolateral y con el lóbulo parietal posterior. Esta doble conexión del cíngulo anterior y su organización interna sugiere que juega un rol integrativo ya que la corteza frontal dorsolateral está vinculada con el procesamiento semántico mientras que el lóbulo parietal posterior es importante para la atención espacial. De esta manera, la corteza cingular anterior puede proveer una importante conexión entre dos aspectos ampliamente diferentes de la atención: atención al contenido semántico y a la localización visual.

Hay evidencia suplementaria que aportan los estudios con imágenes funcionales con tomografía por emisión de positrones. El cíngulo anterior se activa durante tareas de lenguaje y durante tareas que implican la selección de blancos visuales, lo que confirma la utilización de las conexiones mencionadas más arriba en los procesos de detección de señales visuales y verbales. Además, la magnitud de la activación en el giro cingular anterior aumenta a medida que el número de blancos a ser detectados se incrementa, es decir que su activación es proporcional a la tarea de detección. De esta manera, esta área parece estar vinculada con las operaciones mentales relacionadas con la detección del blanco.

Como se mencionó más arriba, la función selectiva de la red ejecutiva no se aplica sólo a la selectividad necesaria para detectar blancos y contribuir por esta vía a la ubicación de determinados procesos sensoriales en el foco de la consciencia. También se ha implicado la participación de esta red en la administración de los recursos necesarios para operaciones complejas que requieren no sólo el direccionamiento consciente de los

procesos sensoriales, sino también las búsquedas de estrategias adecuadas en la memoria de largo plazo y el control voluntario de la conducta. Un hecho sorprendente que los sujetos sanos sólo experimentan durante los sueños (o en situaciones de estrés extremo) es la vivencia de disociación entre la consciencia y el control voluntario. Durante los sueños, podemos estar bien conscientes de los eventos que ocurren en el sueño, pero somos incapaces de ejercer un control voluntario sobre ellos. En relación con este aspecto de la función ejecutiva, se ha reportado que ciertas lesiones en el giro cingular anterior pueden producir vivencias de pérdida de control sobre la propia conducta. Estos pacientes pueden pensar que alguna otra persona controla la actividad de sus brazos o que algún otro controla sus procesos de pensamiento (nota 3).

En los niveles sináptico y molecular, se ha establecido que el cíngulo anterior recibe entradas del sistema dopaminérgico. Como se mencionó al estudiar el alerta, el sistema dopaminérgico se origina en los núcleos tegmentales de la formación reticular y desde allí, sus fibras se proyectan hacia arriba. El sistema dopaminérgico se proyecta, entre otras estructuras, al cíngulo anterior directamente, e indirectamente por medio de una estación intermedia en los ganglios basales.

En la enfermedad de Parkinson, producida por la degeneración de una parte del sistema dopaminérgico, hay un compromiso general de la atención.

Una síntesis sobre el estado actual de las investigaciones sobre atención

Para Posner (1994), el conocimiento actual acerca de la atención podría resumirse en tres hipótesis generales de trabajo que guían la investigación:

- 1) En el cerebro existe un sistema atencional. Este sistema está, al menos en parte, separado de otros sistemas de procesamiento de datos.
- 2) La atención está sustentada por redes de áreas anatómicas. No es la propiedad de una única área cerebral ni es la función colectiva del trabajo del cerebro como un todo.
- 3) Las áreas cerebrales involucradas en la atención no llevan a cabo la misma función, cada área tiene asignada diferentes operaciones.

En la actualidad, no se conoce detalladamente el sistema atencional completo del cerebro. Sí se conocen aspectos relevantes sobre las áreas que soportan las tres funciones atencionales mayores:

- a) la orientación a los estímulos sensoriales; en especial, se han estudiado los mecanismos relacionados con la orientación de la atención en el espacio visual;

- b) la selectividad de la atención, que permite la detección de eventos blanco, ya sea de blancos externos (por vía sensorial) como blancos internos (desde la memoria); y
- c) el mantenimiento del estado de alerta.

Referencias

De Vega M. (1984). *Introducción a la Psicología Cognitiva*. Alianza Editorial. Madrid.

Luria A. (1974). *El cerebro en acción*. Fontanela. Barcelona.

Posner M. (1994). Attention in Cognitive Neuroscience: an overview. En E. Gazzaniga (Ed.) *Principles of Neuroscience*.

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