

La atención: una compleja función cerebral

A. Estévez-González^a, C. García-Sánchez^b, C. Junqué^a

Resumen. Introducción. La atención es un estado neurocognitivo cerebral de preparación que precede a la percepción y a la acción, y el resultado de una red de conexiones corticales y subcorticales de predominio hemisférico derecho. La atención focaliza selectivamente nuestra consciencia para filtrar el constante flujo de la información sensorial, resolver la competencia entre los estímulos para su procesamiento en paralelo, y reclutar y activar las zonas cerebrales para temporizar las respuestas apropiadas. Desarrollo. Desde un punto de vista neurofuncional se revisa y describe la atención como una función cerebral regulada por tres sistemas entrelazados: de alerta o 'arousal', suministrador del tono atencional, dependiente de la integridad del sistema reticular mesencefálico y sus conexiones; de atención posterior o de selectividad perceptiva, dependiente de la integridad de zonas del córtex parietal posterior derecho y sus conexiones; y, de atención anterior o atención supervisora y reguladora de la atención deliberada, integrado principalmente por zonas del cíngulo anterior y prefrontales laterales y sus conexiones [REV NEUROL 1997; 25: 1989-97].

Palabras clave. Atención. Exploración de la atención. Neuroanatomía de la atención.

Summary. Introduction. Attention is a brain neurocognitive state of preparing what precedes perception and action, and is a result of cortical and subcortical networks. Attention selectively focuses our consciousness while filtering the constant flow of sensory information, selects competent parallel processing among stimuli and activates brain zones for ordering appropriate responses. Development. From a neurofunctional point of view this paper reviews and describes attention as a brain function regulated by three interrelated systems: Alertness or arousal providing tonic attention, dependent on the mesencephalic reticular activating system and its connections; posterior attention or attention of perceptive selectivity that depends on zones of the right posterior parietal cortex and its connections; and, anterior attention or supervisory attention that regulates deliberate attention, and supported by zones of the anterior cingulate and lateral prefrontal cortex and the connections of the zones [REV NEUROL 1997; 25: 1989-97].

Key words. Attention. Attention assessment. Neuroanatomy of attention.

INTRODUCCIÓN

Ver o escuchar, atender y percibir no son procesos sinónimos. Atender o 'prestar atención' consiste en focalizar selectivamente nuestra consciencia, filtrando y desechando información no deseada; como un proceso emergente desde diversos mecanismos neuronales manejando el constante flujo de la información sensorial y trabajando para resolver la competencia entre los estímulos para su procesamiento en paralelo, temporizar las respuestas apropiadas y, en definitiva, controlar la conducta [1,2]. Atender exige, pues, un esfuerzo neurocognitivo que precede a la percepción, a la intención y a la acción. Pero aun sabiendo que sin atención nuestra percepción, memoria y aprendizaje o no tienen lugar o se empobrecen, la atención ha sido uno de los últimos procesos complejos cerebrales en adquirir la categoría de 'función cerebral superior'. El interés neurocientífico por la atención puede llegar a sobrepasar al que en su día tuvimos para otras funciones cerebrales superiores, como fue el caso del lenguaje, o el que hoy seguimos teniendo por la memoria y el aprendizaje. Cada vez cobra más razón científica considerar que puede existir un tercer sistema neurofisiológico, el 'sistema atencional', de igual categoría que los dos sistemas cerebrales, el motor (eferente) y el sensorial (aferente), considerados hasta la actualidad como integrantes fundamentales del funcionamiento de nuestro sistema nervioso [3].

Recibido: 07.05.96. Aceptado: 22.05.96.

^a Departament de Psiquiatria i Psicobiologia Clínica. Universitat de Barcelona. ^b Servei de Neurologia. Hospital de la Sta. Creu i Sant Pau. Barcelona, España.

Correspondencia: Dr. A. Estévez-González, Departament de Psiquiatria i Psicobiologia Clínica. Universitat de Barcelona. Pg. de la Vall d'Hebron, 171. E-08035 Barcelona.

©1997, REVISTA DE NEUROLOGÍA

El interés no es sólo teórico sino de gran importancia clínica, justificada en que numerosas enfermedades se acompañan de trastornos de la atención (Tabla I). La atención se ve alterada de modo extraordinariamente frecuente en el amplio abanico de enfermedades neurológicas: traumatismos craneoencefálicos, procesos neuroinfecciosos, demencias subcorticales o, en general, procesos neurodegenerativos, epilepsia, etc. Síndromes neurológicos de etiopatogenia más desconocida, como los denominados trastornos evolutivos de atención (con y sin hiperactividad), el cuadro de heminegligencia y la dislexia negligente centran su sintomatología en un importante trastorno atencional. Pero si nuestro interés no estuviese aún suficientemente justificado, el estudio de los trastornos de atención en pacientes hasta ahora considerados psiquiátricos (esquizofrenia y depresión) ha inducido a sugerir a ciertos autores que en su etiopatogenia puede estar implicado un trastorno de su sistema cerebral atencional [3]. Cornblatt et al [4] son al respecto muy ilustrativos al exponer que, sin descartar explicaciones alternativas, un déficit de atención crónico podría conllevar un déficit en el procesamiento de la información del entorno, social e interpersonal, que en un esfuerzo continuado de iniciar o mantener las relaciones interpersonales podría originar niveles estresantes que podrían exacerbar la sintomatología esquizofrénica.

La complejidad conceptual, neuroanatómica y neurofuncional de la atención hace que no pueda ser reducida a una simple definición, ni estar ligada a una única estructura anatómica o explorada con un único test, y que nos conduzca a considerarla realmente como una etiqueta que sintetiza series de complejos procesos cerebrales [5]. Esta complejidad es revisada y actualizada en este artículo. A fin de unificar la terminología y localización anatómica entre los diferentes estudios que se irán citando, hemos tomado como referencia la parcelación y morfometría sistematizada por Rademacher et al [6],

Tabla I. Cuadros y procesos patológicos frecuentes donde la atención se muestra afectada de manera significativa.

Cuadros difusos	Coma Estados confusionales
Cuadros adquiridos	Heminegligencia Dislexia negligente (' <i>neglect dyslexia</i> ') Simultagnosia
Cuadros de desarrollo	Trastornos de atención con y sin hiperactividad
Patologías con frecuente afectación de la atención	Neurológicas – Traumatismos craneoencefálicos – Demencia subcortical – SIDA – Epilepsia – Neurotóxicas Psiquiátricas – Psicosis-Esquizofrenia – Depresión Pediátricas – Hipoxia perinatal – Prematuridad

haciendo equivaler también las zonas investigadas de cerebros primates no humanos y humanos.

¿QUÉ ES LA ATENCIÓN?

Definir la atención, incluso en lenguaje llano, es difícil, y debemos valernos de metáforas. En el lenguaje cotidiano implica percepción selectiva y dirigida, interés por una fuente particular de estimulación y esfuerzo, o concentración sobre una tarea [5]. El individuo es 'bombardeado' durante la vigilia por señales sensoriales provenientes del exterior e interior del organismo; sin embargo, la cantidad de información entrante excede la capacidad de nuestro sistema nervioso para procesarla en paralelo [2], por lo que se hace necesario un mecanismo neuronal que regule y focalice el organismo [7], seleccionando y organizando la percepción, y permitiendo que un estímulo pueda dar lugar a un 'impacto'; es decir, que pueda desarrollar un proceso neural electroquímico. Este mecanismo neuronal es la atención, cuya capacidad podría irse desarrollando progresivamente desde la infancia al adulto y cuya actividad no se ciñe únicamente a regular la entrada de información, sino que también estaría implicada en el procesamiento mismo de la información [8]. Según Mesulam [7], los aspectos que definirían la integridad de la atención serían la orientación, la exploración, la concentración o la vigilancia; mientras que la 'distractibilidad', la impersistencia, la confusión y la negligencia reflejarían sus déficits.

De modo sintético, la atención estaría integrada por componentes perceptivos, motores y límbicos o motivacionales [9], por lo que la neuroanatomía y neurofisiología de la atención se asentaría en el sistema reticular activador, tálamo, sistema límbico, ganglios basales (estriado), córtex parietal posterior y córtex prefrontal. Esta amplia distribución de la atención posiblemente sea causa y frustración de nuestros, por ahora, vanos intentos de encontrar un locus anatómico patológico en sujetos con trastorno evolutivo de atención [10].

Tabla II. Neuroanatomía de la atención visual. Principales estructuras corticales y subcorticales implicadas. Basado en Posner y Petersen [3], Colby [10], Posner y Driver [11], Posner y Dehaene [14], Goldman-Rakic [17], Corbetta et al [18-20] y Salzman [21].

Estructuras subcorticales	Estructuras corticales
Colículo superior	Córtex occipital – Área V1 o estriada o área 17 – Áreas V2 (área 18)+V3+V4 (giro fusiforme) +P-O o áreas 18+19
Tálamo – Pulvinar	Córtex temporal – Córtex temporal superior o área 22 – Surco temporal superior – Córtex temporal medio – Córtex temporal inferior
Ganglios basales – Neoestriado Caudado	Córtex parietal posterior (posterosuperior) – Surco intraparietal – Área intraparietal lateral o rama lateral del surco intraparietal
– Sustancia negra Pars reticular	– Giro parietal inferior (área 39) – Área 7 Córtex frontal – Campos oculares frontales – Área motora suplementaria (área 6 medial) – Córtex prefrontal dorsolateral – Córtex orbitofrontal lateral Córtex cingulado o frontal medial – Anterior (áreas 33 y 24) – Posterior (áreas 23, 16, 29, 30, 31)

ATENCIÓN: LATERALIZACIÓN CEREBRAL

Aunque la atención es una función bilateralizada, cada hemisferio estaría funcionalmente especializado. El hemisferio izquierdo ejerce un control unilateral (contralateral) y el hemisferio derecho un control bilateral, además de regular el sistema de 'arousal' y mantener el estado de alerta [11]. De ahí, y sumado al importante papel regulador del córtex frontal y sus conexiones con el estriado, se ha llegado a afirmar que la regulación 'princeps' de la atención descansa sobre el sistema frontoestriado del hemisferio derecho, a través de vías noradrenérgicas y, en menor medida, serotoninérgicas; mientras el hemisferio izquierdo utilizaría vías dopaminérgicas y, en menor medida, colinérgicas. El hemisferio derecho a través de vías noradrenérgicas se hallaría mejor capacitado para regular la atención selectiva [8]. Para Heilman et al [12, 13] el papel dominante del hemisferio derecho sobre la atención es aún más sobresaliente, ya que aunque cada hemisferio regula su propia activación, el hemisferio derecho puede activar al hemisferio izquierdo en mejor medida que lo haría el izquierdo sobre el derecho.

ATENCIÓN: NEUROANATOMOFISIOLOGÍA [2,10,14]

Pero lo dicho hasta ahora es sólo el resumen de las bases anatómicas y fisiológicas de la atención. La atención visual, que es la modalidad de atención mejor investigada, es el resultado de una red de conexiones corticales y subcorticales [3, 11], de descripción

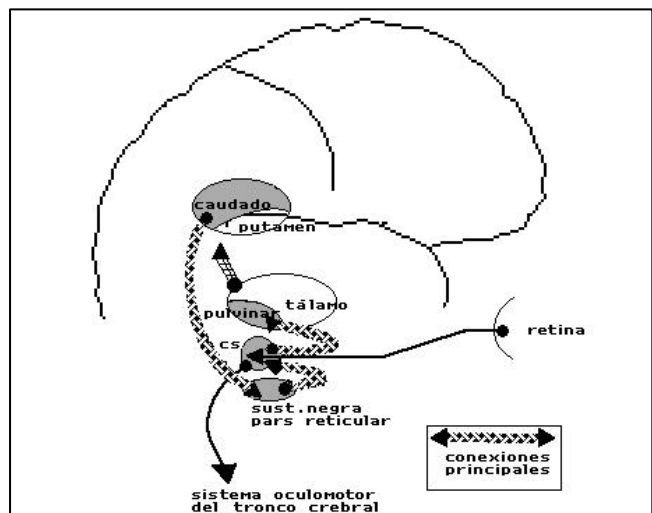


Figura 1. Principales conexiones subcorticales implicadas en la atención visual. Basado en Posner y Petersen [3], Colby [10] y Posner y Dehaene [14]. CS= colículo superior.

prolija, que conforma un circuito cuyo entrada es la información captada en la retina y su salida es a través del sistema oculomotor. El detallado estudio de la atención visual está plenamente justificado cuando conocemos qué pacientes heminegligentes o sujetos con trastornos evolutivos de atención o adquiridos muestran característicamente movimientos erráticos oculares que podrían ser manifestación de su déficit de atención visual, de su dificultad en mantener la fijación en el objetivo y de seguirlo en movimiento [10].

Centrándonos en la atención visual, –pero sin perder de referencia otras modalidades de atención como la somatosensorial o la auditiva, con las que comparte estructuras y circuitos comunes [15,16]–, la base neurofisiológica de la atención es una amplia red neuronal entrelazada de estructuras subcorticales y corticales (Tabla II). El colículo superior, el pulvino (tálamo), el núcleo caudado (neostriado) y la pars reticularis de la sustancia negra constituyen las principales estructuras subcorticales relacionadas con la atención. Las conexiones del caudado a la sustancia negra, de ésta al colículo superior y de éste al tálamo conforman el circuito básico subcortical de la atención (Fig. 1).

Las principales estructuras corticales involucradas en la atención visual incluyen las áreas visuales occipitales (V1, V2...) y visuales temporales (especialmente el córtex temporal inferior: zonas TEO e IT), el córtex parietal posterior, los campos oculofrontales, el córtex prefrontal lateral y el córtex cingulado. Sus principales interconexiones (Fig. 2) se sintetizan en tres circuitos. Uno inferior u occipitotemporal, o arbitrariamente denominado ‘ventral’, que se inicia en el área V1 (equivalente al área 17 de Brodmann), termina en la zona IT (temporal inferior) y mantiene importantes interconexiones con el córtex prefrontal dorsolateral. Un segundo circuito superior u occipito-parieto-frontal, también arbitrariamente denominado ‘dorsal’, que se inicia en la misma área V1, interconecta con el córtex parietal posterior y de aquí a la corteza prefrontal dorsolateral. El córtex parietal posterior también muestra íntimas asociaciones con los campos oculares frontales, y, el córtex prefrontal dorsolateral, con la zona orbitofrontal lateral. Estos dos primeros circuitos no sólo son integrantes del sistema cortical atencional sino que constituyen los dos circuitos paralelos básicos en la percepción visual: el circuito ‘ventral’ para el reconocimiento visuoperceptivo de

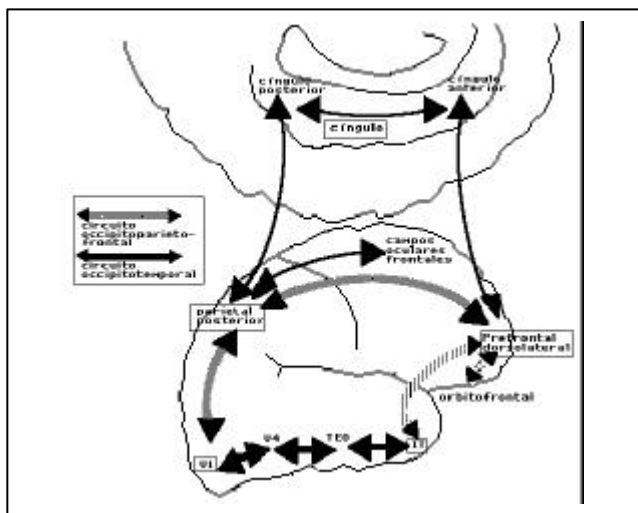


Figura 2. Principales conexiones corticales implicadas en la atención visual. Basado en Desimone y Duncan [2], Posner y Petersen [3], Colby [10] y Posner y Dehaene [14]. Estas conexiones corticales comprenden tres destacados circuitos: Occipitotemporal o ventral para el reconocimiento de los objetos (‘¿qué es?’); occipitoparieto-frontal o dorsal para el reconocimiento espacial o localización (‘¿dónde?’) y ejecución visuomotora; y las conexiones del parietal posterior y prefrontal dorsolateral con el cíngulo. V1, V4 y TEO son áreas visuales occipitales y temporales; IT= zona temporal inferior.

los objetos (‘¿qué son?’, sus características) y el ‘dorsal’ para su reconocimiento visuoespacial (‘¿dónde están?’, localización en el espacio) y la ejecución visuomotora [22]. El tercer circuito corresponde a las interconexiones del córtex parietal posterior, el córtex prefrontal dorsolateral y el cíngulo. Las interconexiones del córtex parietal posterior son más intensas con la zona posterior del cíngulo, mientras que la corteza prefrontal dorsolateral mantendría interconexiones más destacadas con el cíngulo anterior. Las interconexiones entre ambas zonas del cíngulo, anterior y posterior, son también especialmente reseñadas en la figura 2.

El denominado córtex parietal posterior, en realidad posterosuperior, es una zona alrededor del surco intraparietal que incluye al propio surco intraparietal, el área intraparietal lateral, que es en realidad la rama lateral del surco intraparietal, el giro parietal inferior (aproximadamente la zona correspondiente al área 39 de Brodmann) y zonas del área 7 de Brodmann –posiblemente zona 7a para la atención visual y 7b para la atención somatosensorial [16]–. El córtex parietal posterior, de predominio derecho, constituiría el principal asentamiento de un sistema atencional posterior encargado de la atención selectiva y focalizada.

El córtex prefrontal, lateral y medial (cingulado), desempeñaría un papel fundamental en el control voluntario de la atención, como etapa final filogenética y ontogenética de corticalización de la atención, permitiendo que la atención involuntaria del infante se transformase progresivamente en atención controlada y voluntaria [23]. El córtex prefrontal es la región más amplia del cerebro humano, conectado a través de vías cortico-corticales con todas las áreas del neocórtex. Sus funciones vienen determinadas por su naturaleza asociativa, integrando información multimodal. También es rico en conexiones desde regiones subcorticales y límbicas. El córtex prefrontal desempeña un importante papel en priorizar estímulos, referenciarlos a representaciones internas, dirigir apropiadamente la atención, monitorizar la secuencia temporal de acontecimientos, formular con-

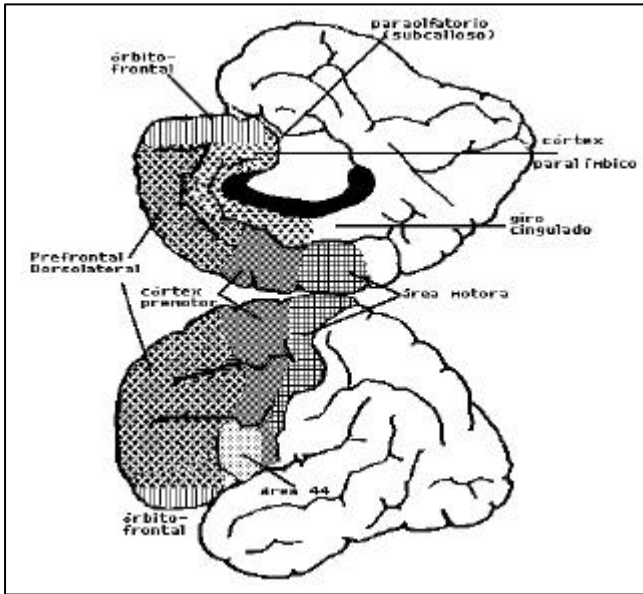


Figura 3. El córtex frontal, basado en Mesulam [25], Damasio [27] y Damasio y Anderson [28].

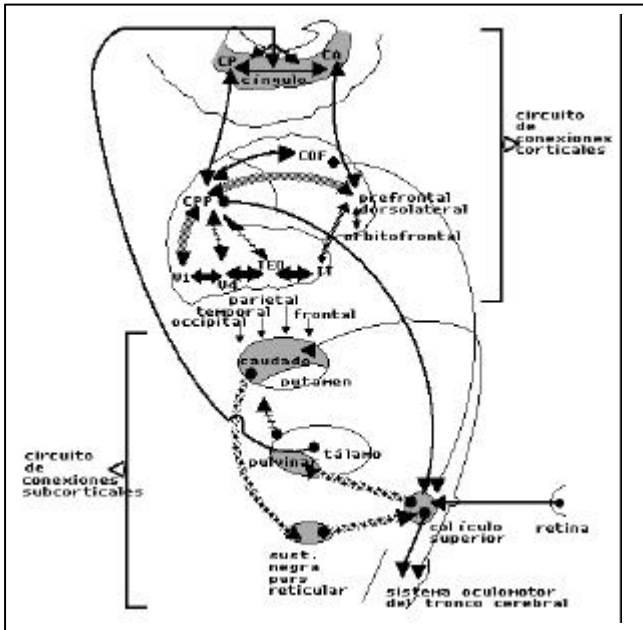


Figura 4. Circuito completo de conexiones corticales y subcorticales implicadas en la atención visual (Figs. 1 y 2). Basado en Desimone y Duncan [2], Posner y Petersen [3], Colby [10], y Posner y Dehaene [14]. CA= cíngulo anterior; CP= cíngulo posterior; COF= campos oculares frontales; CPP= córtex parietal posterior; IT= zona temporal inferior; V1, V4 y TEO son áreas visuales occipitales y temporales.

ceptos abstractos y llevar a cabo otras funciones ejecutivas [24]. El córtex prefrontal (Fig. 3) suele parcelarse en tres: dorsolateral, orbital y medial (destacando el cíngulo), o dos regiones (dorsolateral o heteromodal y orbitomedial o paralímbico) [25,26]. El córtex prefrontal dorsolateral quizá ejerza influencias excitatorias, mientras el córtex orbitofrontal-córtex cíngulo podría ser un sistema eminentemente inhibitorio [5,8], ya que lesiones orbitofrontales producirían 'distractibilidad' asociada a hiperactividad e hiperreactividad.

La imbricación entre las estructuras subcorticales, y sus principales conexiones, y las estructuras corticales, y sus principales

Tabla III. Principales tipos clínicos de atención. Basado en Posner y Petersen [3], Cooley y Morris [8], Posner y Dehaene [14] y Stuss [31].

Atención	Especificación
Alerta o 'arousal'	Nivel de consciencia del estadio IV del sueño a la hipervigilia
'Span' o amplitud de atención	El 'span' acústico suele explorarse con reproducciones de ritmos; el auditivo-verbal, con el subtest Dígitos WAIS/WISC; y el visuoespacial con el test de Cubos de Corsi
Atención selectiva o focal ('Selective attention')	Proceso por el que se responde a un estímulo o tarea y se ignoran otras. Suele equivaler a la atención posterior explorada con tareas de cancelación, tareas de emparejamiento visual, etc
Atención de desplazamiento entre hemisferios visuales ('Shifting attention')	Proceso para seleccionar preferencialmente información prioritaria en uno y otro hemisferio visual. Suele explorarse con el paradigma de Posner
Atención serial ('Serial attention')	El prototipo son las 'pruebas de cancelación'
Atención dividida o dual o compartida ('Simultaneous/divided/sharing attention')	Proceso por el que se responde simultáneamente a un doble estímulo, poniendo en marcha una doble 'activación'. Suele explorarse con paradigmas de tareas con interferencia
Atención de preparación ('Preparing attention')	Proceso de preparación de respuestas apropiadas. Suele explorarse registrando eléctricamente las neuronas que se 'disparan' (activan) previas a las respuestas
Atención sostenida o capacidad atencional o concentración o vigilancia ('Sustaining/concentrating attention')	Proceso de mantenimiento persistente del estado de alerta a pesar de la frustración y el aburrimiento. Suele explorarse con tareas tipo CPT
Inhibición ('Suppressing attention')	Atención para inhibir una respuesta natural. Suele explorarse con los paradigmas de Stroop y Go/NoGo

circuitos (Fig. 4), aumentan nuestra impresión de la complejidad de la red neuronal córtico-subcortical sobre la que se asienta la neuroanatomofisiología de la atención. Este detalle anatomofisiológico de la atención nos podría confirmar que el daño etiológico en trastornos atencionales de desarrollo y adquiridos podría producirse en multitud de 'locus' diferentes, lo que conllevaría que agrupáramos como sujetos con trastorno de atención (con y sin hiperactividad) a individuos cuya etiología 'lesional' se situara en diferentes lugares de estos circuitos, a pesar de que sus manifestaciones deficitarias fueran similares [10]; algo parecido podría recordarse para los pacientes que muestran heminegligencia [10].

ATENCIÓN: TIPOS Y SISTEMAS. SU APLICACIÓN Y EXPLORACIÓN CLÍNICAS

Pero conocidas las bases neuroanatómicas de la atención, ¿cómo interactúan todas estas estructuras y sus circuitos y cuál es su papel específico en la atención? La respuesta debe ser compleja en una función cerebral tan profusa como es la atención. Se han formulado en la actualidad diversos modelos de funcionamiento neurocognitivo [2,3,9,29,30], que intentaremos sintetizar con vistas a una descripción y aplicación clínicas.

Implícitamente se reconocen diversos tipos de atención (Ta-

Tabla IV. Sistemas y tipos de atención. Basado en Posner y Petersen [3], Cooley y Morris [8], Posner y Driver [11], Posner y Dehaene [14], Pardo et al [16] y Corbetta et al [18-20].

1. Sistema de alerta o 'Arousal'	
Funciones	
	– Nivel base de consciencia, como estado generalizado de receptividad a la estimulación y a la preparación de respuestas
Denominaciones sinónimas	
	– Consciencia – Atención matriz de Mesulam – Atención tónica o primaria – Tono de atención
Localización neuroanatómica	
	– Sistema reticular activador – Tálamo – Sistema límbico – Ganglios basales – Córtex frontal
Paradigmas de exploración clínica	
	– Neuroelectrofisiológicos
2. Sistema atencional posterior o atención posterior	
Funciones	
	– Atención de orientación a estímulos visuales. Es decir, explorando ('scanning': orientación y localización) el espacio visual
Denominaciones sinónimas	
	– Sistema de atención selectiva posterior – Sistema atencional visuoespacial – Sistema de atención perceptiva
Localización neuroanatómica	Función específica
– Córtex parietal posterior (Fig. 5)	– Controlar la 'shifting attention' (atención de desplazamiento o intercambio entre ambos hemisferios visuales)
– parietal posterior derecho	• Control de ambos hemisferios visuales
– parietal posterior izquierdo	• Control del hemisferio visual derecho
– Pulvinar lateral	– Filtrar información relevante de la no relevante
– Colículo superior	– Facilitar el 'shifting' de atención visual y la orientación del organismo hacia los objetos de interés
Tipos de atención posterior	Paradigmas de exploración clínica
– 'Shifting attention'	– 'Posner's spatial cuing paradigm'
– Atención selectiva espacial o de localización de estímulos	– Tareas de búsqueda visual y de cancelación (Fig. 6)
– Atención serial	– Tareas de cancelación (Fig. 7)

Tabla IV. (Continuación).

3. Sistema atencional anterior o atención anterior	
Funciones	
	– Atención para la acción: recluta y controla las áreas cerebrales para ejecutar las tareas cognitivas complejas
Denominaciones sinónimas	
	– Sistema de atención selectiva anterior – Sistema atencional supervisor de Norman y Shallice – Sistema atencional frontal – Atención ejecutiva – Atención ligada a la acción – Atención motora
Localización neuroanatómica	Función específica
– Cingulado anterior (Fig. 8)	– Subsistema atencional medio
– Prefrontal dorsolateral (Fig. 8)	
– Neocórtex (caudado)	
– Orbitofrontal	
– Sistema frontal superior	Subsistema para el control de los movimientos oculares y ligado íntimamente al sistema atencional posterior
– Cingulado anterior	
– Área motora suplementaria (Fig. 9)	
Tipos de atención anterior (Tabla V)	

bla III), regulados por tres sistemas atencionales interrelacionados (Tablas IV y V) y que pueden ser explorados clínica o experimentalmente con conocidas pruebas, tests o paradigmas (Tabla VI).

La atención puede ser desmenuzada en, al menos, nueve tipos de aplicación clínica [3,8,14,31], recogidos y especificados en la tabla III. Éstos son: 1. La vigilia o alerta ('arousal') que corresponde al nivel de consciencia determinado por registros neuroeléctricos y pruebas de la clínica neurológica, aunque deberíamos precisar que en sentido estricto el 'arousal' es el parámetro de la intensidad o grado de alerta, en contraposición a la profundidad del sueño o del estado comatoso; 2. El 'span' atencional o amplitud de nuestra atención, indistinguible y coincidente con el span o amplitud de memoria, y que suele especificarse por el número de estímulos (series de golpes rítmicos, de dígitos, de posiciones de cubos en un tablero) que somos capaces de repetir inmediatamente, distinguiéndose un span de diversas modalidades (acústico, auditivo-verbal, visuoespacial); 3. La 'atención selectiva o focal', un término excesivamente amplio ya que todos los tipos de atención que siguen o cualquier tipo de atención no automática implica atención selectiva o focalizada, pero que de modo particular suele aplicarse a la atención perceptiva regulada, entre otras estructuras, por el córtex parietal posterior y cuyo paradigma de exploración serían las pruebas de búsqueda visual (Fig. 6). Estas tareas de búsqueda visual pueden emplear paradigmas variantes de la 'working memory' o memoria de trabajo [2], que es la memoria de almacenamiento y manipulación temporal durante el procesamiento de la información, como la que empleamos para repetir los números de un teléfono pero en orden inverso al que nos dictan; 4. La 'atención de desplazamiento' entre hemisferios visuales, prototipo de atención regulada por el 'sistema atencional posterior', cuyo paradigma de exploración es conocido como paradigma con señal de aviso espacial ('Posner's spatial cuing paradigm' o 'Posner's

Tabla V. Tipos de atención anterior. Son referenciadas las figuras 8 y 10-13. Basado en los estudios de Posner y Petersen [3], Posner y Driver [11], Posner y Dehaene [14], Pardo et al [16], Corbetta et al [18-20] y Stuss [31].

Tipos de atención anterior	Paradigmas de exploración clínica	Localización específica
Atención dividida o dual o compartida (Fig. 8)	<i>Tapping</i> con interferencia	HD Cingulado anterior Prefrontal dorsolateral (lób. parietal inferior)
Atención de preparación	Registros neuro-eléctricos	HD Frontal dorsolateral
Inhibición (Fig. 10)	Paradigma <i>Stroop</i>	HD Cingulado anterior Prefrontal dorsolateral
Atención sostenida (Figs. 11 y 12)	CPT	HD Orbitofrontal lateral Frontal dorsolateral (áreas 9 y 46) Ganglios basales (Tálamo) (Córtex parietal)
Atención selectiva a propiedades del objeto (Fig. 13)		Circuito orbitofrontal lateral (Fig. 12) Orbitofrontal lateral Caudado derecho Pálido izquierdo Premotor inferior izquierdo (córtex insular derecho) (colículo inferior) (tálamo posterior)
	.si al color	Además: HI: área 19 y giro lingual (áreas 17 y 18)
	.si a la forma	HD: giro temporal superior, surco parietoccipital, zona occipital ventromedial, giro fusiforme (V4), giro parahipocámpico
	.si al movimiento	HI: temporal medial y parietal inferior

HD= hemisferio derecho; HI= hemisferio izquierdo.

covert orienting paradigm'), necesaria para focalizar nuestra atención sobre un área del campo visual, desenfocar y enfocar a otra área del mismo o distinto campo visual; 5. La 'atención serial' o mecanismo atencional necesario para llevar a cabo tareas de búsqueda y cancelación de un estímulo repetido entre otros que ejercen como distractores (Fig. 7); 6. La 'atención dividida o dual' o compartida, cuando dos o más tareas deben llevarse a cabo al mismo tiempo, procesarse en paralelo, como sucede al teclear o *tapping* (golpes sucesivos digitales) al mismo tiempo que leemos un texto; 7. 'Atención de preparación' o proceso atencional para llevar a cabo una operación cognitiva, movilizandolos esquemas o respuestas más apropiadas a la tarea que debemos desempeñar, y que implica la activación de las zonas cerebrales donde debe realizarse el proceso neurocognitivo; 8. 'Atención sostenida' o capacidad atencional o concentración o vigilancia, por la que mantenemos nuestro estado de alerta a acontecimientos que se suceden lenta o rápidamente durante un período prolongado de tiempo, como así sucede con el test de ejecución continua o CPT ('*Continuous Performance Test*'); el déficit en este tipo de atención puede constituir la alteración central en los denominados trastornos de atención con hiperactividad [32]; y, 9. La 'inhibición' de respuestas automáticas o naturales, como las necesarias para llevar a cabo la prueba de

Tabla VI. Pruebas, tests y paradigmas de exploración de la atención.

Principal aplicación	Fuente
Pruebas generales y escala para la evaluación de la atención en la vida diaria	' <i>Ponsford & Kinsella's Attentional Rating Scale</i> ' [37]; ' <i>Weber's Attentional Capacity Test</i> ' [38]
' <i>Span</i> '	- acústico - audioverbal - visuoespacial
	- Reproducción de golpes rítmicos - Subtest dígitos WAIS [39] - Cubos de Corsi [40]
Atención selectiva	Pruebas de búsqueda visual [2, 14]; ' <i>Embedded Figures Test</i> ' [40]
Atención serial	Pruebas de cancelación. ' <i>Letter Cancellation Task</i> ' [41]; ' <i>Albert's Visual Neglect Test</i> ' [33]
Atención de desplazamiento	' <i>Posner's covert orienting paradigm</i> ' [20, 42]
Atención dividida	' <i>Tapping</i> ' interferido [43]; ' <i>Trail Making Test</i> ' [44]
Inhibición	' <i>Stroop's paradigm</i> ' [44]; ' <i>Go/NoGo paradigm</i> ' [45]
Atención sostenida	CPT [46]

Stroop: inhibir la respuesta a la lectura de una palabra, que es el nombre de un color, para dar prioridad al color con la que se halla escrita.

Si ahora reconsideramos las estructuras neuroanatómicas involucradas en la atención (Tabla II), los tipos clínicos de atención (Tabla III) y las diferentes propuestas de funcionamiento neurocognitivo [2, 3, 9, 29, 30], y tomamos como punto de partida el modelo propuesto por Posner y Petersen [3, 34], podemos describir la atención como una función cerebral regulada por tres sistemas neurofuncionales entrelazados (Tabla IV): de alerta o *arousal*, de atención posterior o perceptiva y de atención anterior o supervisora.

El primer sistema es el de alerta o *arousal* neurofisiológico, dependiente de la integridad del sistema reticular activador y de sus influencias reguladoras talámicas, límbicas, frontales y de los ganglios basales. Este sistema, que sería equivalente a lo que Mesulam [7] denomina 'atención matriz' o 'atención estado' reguladora de la capacidad de información global, suministra la atención tónica o difusa o primaria, o lo que de una manera más amplia denominamos 'consciencia' y cuya patología devendría en déficit (estados confusionales), ausencia (estados comatosos) o exceso (hipervigilia farmacológica).

El segundo sistema, cuya principal utilidad sería permitirnos 'orientarnos hacia' y 'localizar' los estímulos, es decir, ser selectivos con la información prioritaria, es el denominado 'sistema atencional posterior' o de atención perceptiva o de exploración ('*scan*') de la información del entorno o selectiva posterior, propuesto por Posner y Petersen [3]. Este sistema dependería de la integridad de zonas del córtex parietal posterior (de predominio derecho), pulvinar lateral y del colículo superior. Cada una de estas estructuras mantendría a su vez funciones específicas tal como se detalla en la tabla IV. Así, el pulvinar estaría implicado en la supresión de los estímulos ruidos o irrelevantes y en la potenciación de las señales significativas, como procesos atencionales que preceden a la percepción y a la acción [47]. Del córtex parietal posterior, ilustrado en la figura 5, dependería el control de la 'atención de desplazamiento' ('*shifting attention*'), pero mientras el córtex parietal posterior del lado izquierdo con-

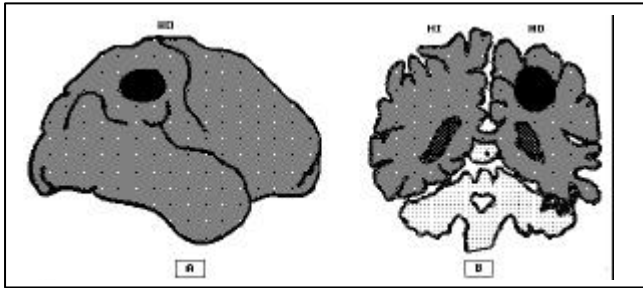


Figura 5. Localización esquemática del córtex parietal posterior (posterosuperior) derecho, que es la principal zona cortical del sistema atencional posterior. A) En una vista lateral sobre el HD (hemisferio derecho). B) En una sección coronal, aproximadamente a 34 mm del extremo posterior del córtex. Adaptado de los estudios llevados a cabo con PET por Corbetta et al [20].

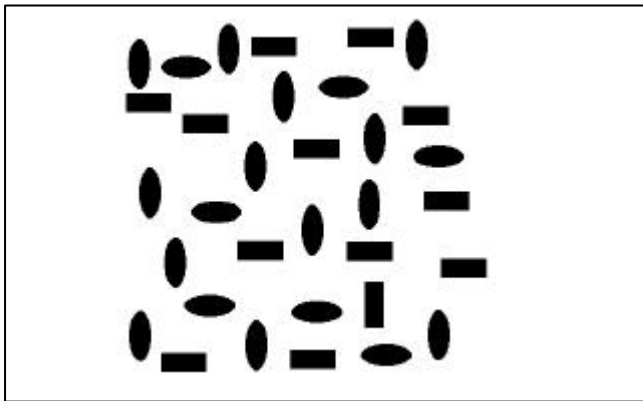


Figura 6. Ejemplo de tarea de búsqueda visual para un rectángulo vertical entre un amplio número de distractores de rectángulos horizontales y elipses verticales y horizontales. Basado en Posner y Dehaene [14].

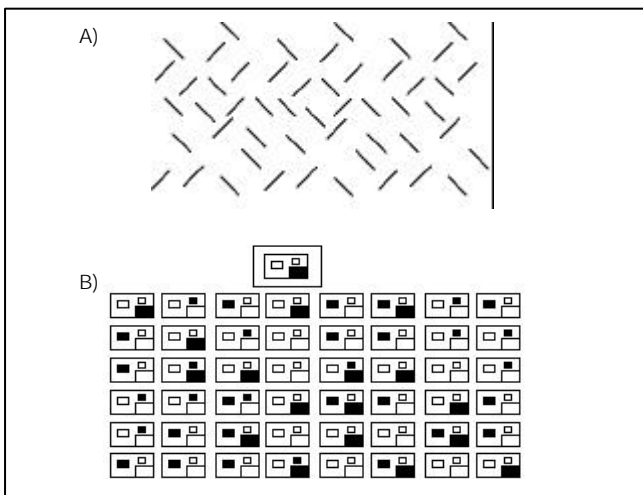


Figura 7. Dos ejemplos de tareas de cancelación (atención serial). A) Basado en el test de Albert [33] para la exploración de heminegligencia, el paciente debe ir tachando ('cancelando') las líneas, sin olvidar ninguna. B) El paciente debe marcar las figuras que son iguales al modelo (figura recuadrada superior).

trolaría la atención perceptiva del hemicampo espacial contralateral, el córtex parietal posterior derecho controlaría ambos hemisferios [20]. Así es como la enfermedad por excelencia de este segundo sistema, la heminegligencia, es más acusada y permanente tras lesión del hemisferio derecho [14]. Aunque la interacción entre ambos córtex parietales posteriores sería mediada por el cuerpo calloso [14,48], es adecuado considerar que el hemisferio derecho monitoriza el todo del espacio extrapersonal

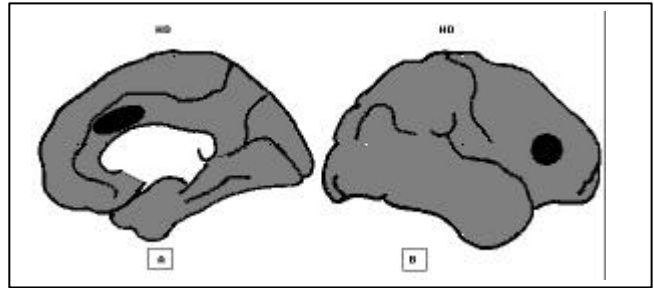


Figura 8. Localización esquemática de zonas de activación, basada en los estudios de Corbetta et al [19], recogidas con PET en tareas de atención dividida o dual. A) Sección sagital medial que muestra la zona activada del cíngulo anterior del HD (hemisferio derecho). B) Vista lateral que muestra la zona activada del córtex prefrontal dorsolateral del HD.

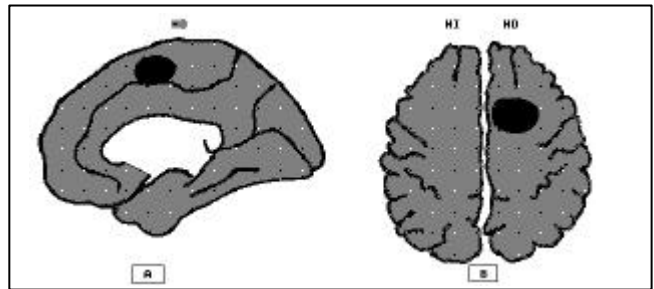


Figura 9. Localización esquemática que muestra, con PET, la activación del área motora suplementaria del HD (hemisferio derecho) en tareas atencionales, según los estudios de Corbetta et al [20]. A) Sección sagital medial. B) Sección horizontal (aproximadamente 43 mm del extremo anterior).

[49], quizá liberando y facilitando al hemisferio izquierdo para llevar a cabo otro tipo de actividades cognitivas [48].

De este sistema atencional posterior dependerían la integridad de los tipos clínicos de 'atención de desplazamiento', la 'atención selectiva espacial' (búsqueda visual, Fig. 6) o la 'atención serial' (tareas de cancelación, Fig. 7).

El tercer sistema o 'sistema atencional anterior' equivaldría a lo que Mesulam [7] denomina como 'vector de atención', porque regula la dirección y el objetivo de la atención dentro de los espacios conductuales relevantes (extrapersonal, mnemónico, semántico, visceral, etc.). También sería equivalente a lo que Norman y Shallice [30] califican como 'sistema atencional supervisor', del que dependería la atención para la acción o atención deliberada o atención ejecutiva distinta de la atención perceptiva, que tendría un papel en el control de la acción plasmado en las funciones, ya adscritas por Luria a las regiones prefrontales, de programación, regulación, verificación de la actividad y modificación de la conducta [23,50]. En síntesis, de este tercer sistema atencional dependería nuestra sensación subjetiva del esfuerzo mental de atención [51] y su disfunción daría lugar, entre otros síntomas, a perseveraciones y 'distractibilidad' o trastorno de la vigilancia o concentración, y cuyo prototipo de trastorno podría constituirlo los trastornos de atención con y sin hiperactividad [32]. Este tercer sistema también es de predominio derecho (Fig. 8). Estaría integrado por zonas del cíngulo anterior, prefrontales dorsolaterales (y orbitofrontales) y el núcleo caudado del neocórtex. El cíngulo anterior, al que algunos autores [16] etiquetan como un 'subsistema atencional medio', junto a zonas del área motora suplementaria (Fig. 9), conformarían el 'subsistema frontal superior (y medial)' implicado también en el control de los movimientos oculares y mediando las interacciones entre la fijación ocular, los movimientos ocu-

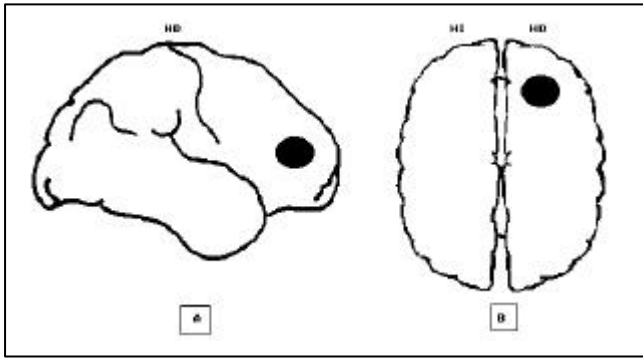


Figura 10. Localización esquemática de zonas activadas, recogidas con PET, con el paradigma de Stroop llevado a cabo por Bench et al [1]. En este estudio las zonas activadas correspondieron a zonas en el hemisferio derecho (HD): A) (visión sagital) del córtex frontal dorsolateral polar, centrada la activación sobre el área 10 de Brodmann; y, B) (visión horizontal) del córtex cingulado anterior. Hallazgos parecidos fueron mostrados en otros estudios [35,36].

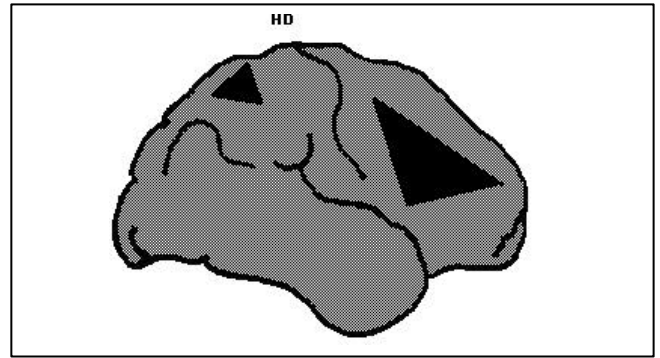


Figura 12. Localización esquemática de zonas activadas, recogidas con PET, en tareas de atención sostenida llevadas a cabo por Pardo et al [16]. En este estudio las zonas activadas correspondieron a zonas en el hemisferio derecho (HD) del córtex parietal posterosuperior, centrada la activación sobre el área 7 de Brodmann, y del córtex prefrontal dorsolateral, centrada la activación sobre las áreas 8, 44, 46 y, sobre todo, el área 9 de Brodmann.

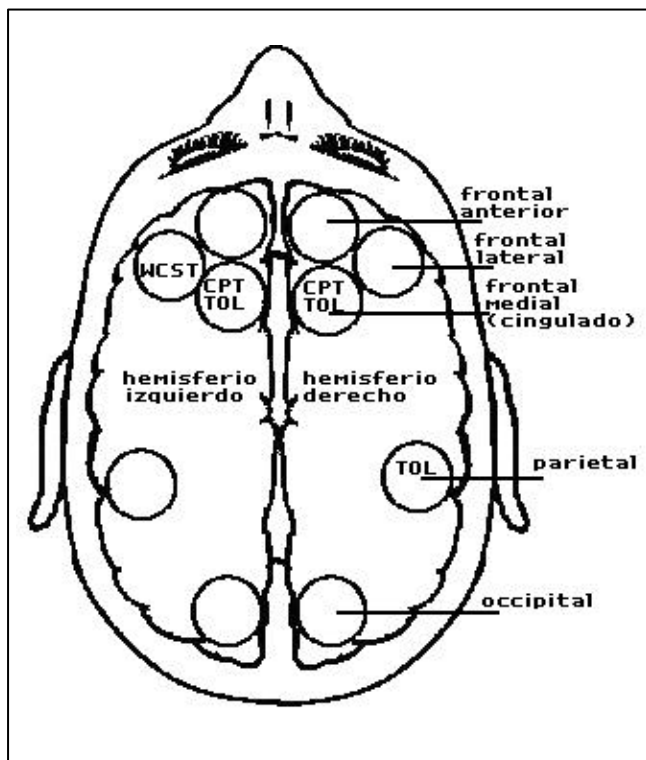


Figura 11. Según los estudios de Rezaei et al [24], mediante SPECT se observa que con el test de clasificación-categorización de Wisconsin (WCST) se produce una mayor activación sobre la corteza dorsolateral prefrontal del hemisferio izquierdo. El test de ejecución continua (CPT, 'continuous performance test'), que es una prueba de vigilancia o atención sostenida, activa bilateralmente el córtex frontal medial (cingulado). Asimismo, el test de las torres de Londres (TOL), que es una prueba de aprendizaje procedimental, aunque con alguna mayor actividad del lado izquierdo, además de zonas parietales del hemisferio derecho.

lares y la atención visual dirigida [52], por lo que estaría ligado íntima y funcionalmente al sistema atencional posterior, en el córtex parietal, ya que el córtex cingulado anterior está fuertemente interconectado con el córtex parietal posterior además de con el córtex prefrontal dorsolateral [17]. Pero la interrelación entre los sistemas atencionales posterior y anterior también tendría fundamentos neuroquímicos a través de vías de conexión noradrenérgicas de predominio derecho, que, partiendo del lo-

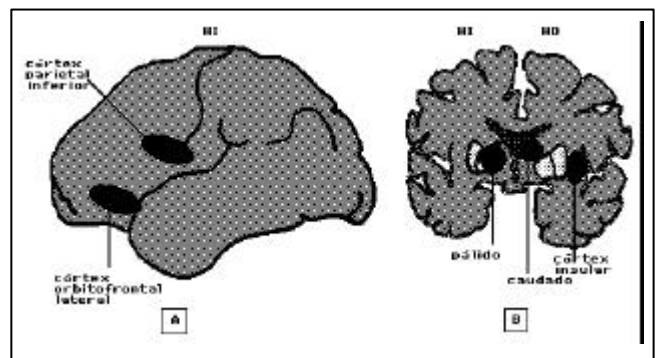


Figura 13. Localización esquemática de las zonas principalmente activadas, recogidas con PET, en tareas de atención selectiva visual a color, forma y movimiento-velocidad, según los estudios de Corbetta et al [19]. Estas zonas (pálido izquierdo, caudado derecho, córtex insular derecho, córtex premotor inferior izquierdo y córtex orbitofrontal lateral izquierdo), conforman el circuito orbitofrontal lateral. A) Vista lateral del HI (hemisferio izquierdo). B) Sección coronal (aproximadamente 12 mm del extremo anterior).

cus coeruleus, se proyectarían al sistema atencional anterior y de éste se extenderían al sistema atencional posterior [3,34].

De este sistema atencional anterior dependería la integridad de los tipos clínicos (Tabla V) de 'atención dividida' (Fig. 8), la 'atención de preparación', 'inhibición' (Fig. 10), 'atención sostenida' (Figs. 11 y 12) y atención selectiva a propiedades del objeto (Fig. 13), como el color, forma y movimiento.

CONCLUSIONES

'Prestar atención' equivale a una 'actitud' cerebral de preparación que se manifiesta como un esfuerzo neurocognitivo que precede a la percepción, a la intención y a la acción. Así, el sistema nervioso focaliza selectivamente nuestra consciencia para filtrar el constante fluir de la información sensorial, resolver la competencia entre los estímulos para su procesamiento en paralelo y reclutar y activar las zonas cerebrales para temporizar las respuestas apropiadas. Numerosas enfermedades neurológicas se acompañan de trastornos de la atención, justificando su interés clínico. Entre ellas destacan dos cuadros: la heminegligencia y los trastornos evolutivos de atención (con y sin hiperactividad).

La complejidad del proceso atencional impide ligar la atención a una única estructura anatómica o explorarla con una única prueba o test. La alerta, la orientación, la focalización, la exploración, la concentración o la vigilancia y la inhibición de res-

puestas automáticas son sólo algunos de los muchos aspectos que conviene analizar en este proceso, cuya disfunción causa 'distractibilidad', impersistencia, perseveración, confusión o negligencia.

La atención es el resultado de una red de conexiones corticales y subcorticales de predominio derecho, posiblemente a través de vías noradrenérgicas. Desde un punto de vista neurofuncional podemos describir la atención como una función cerebral regulada por tres sistemas entrelazados: de alerta o *arousal*, de atención posterior o perceptiva y de atención anterior o aten-

ción supervisora. El primero, suministrador del tono atencional, depende de la integridad del sistema reticular mesencefálico y de sus influencias subcorticales y corticales. El segundo sistema, que nos permitiría ser selectivos con la información prioritaria, dependería de la integridad de zonas del córtex parietal posterior derecho y sus conexiones corticales y subcorticales. Por último, el tercer sistema, regulador de la dirección y el objetivo de la atención o atención deliberada, estaría integrado por zonas del cíngulo anterior, prefrontales laterales y el núcleo caudado del neocórtex.

BIBLIOGRAFÍA

- Bench CJ, Frith CD, Grasby PM, et al. Investigations of the functional anatomy of attention using the Stroop test. *Neuropsychologia* 1993; 31: 907-22.
- Desimone R, Duncan J. Neural mechanisms of selective visual attention. *Ann Rev Neurosci* 1995; 18: 193-222.
- Posner MI, Petersen SE. The attention system of the human brain. *Ann Rev Neurosci* 1990; 13: 25-42.
- Comblatt BA, Lenzenweger MF, Dworkin RH, Erlenmeyer-Kimling L. Childhood attentional dysfunctions predict social deficits in unaffected adults at risk for schizophrenia. *Br J Psychiatry* 1992; 161 (Suppl): 59-64.
- Van Zomeren AH, Brouwer WH. *Clinical Neuropsychology of Attention*. New York: Oxford University Press; 1994.
- Rademacher J, Galaburda AM, Kennedy DN, et al. Human cerebral cortex: Localization, parcellation, and morphometry with Magnetic Resonance Imaging. *J Cogn Neurosci* 1992; 4: 352-74.
- Mesulam MM. Attention, confusional states, and neglect. In Mesulam MM, ed. *Principles of Behavioral Neurology*. Philadelphia: FA Davis Company; 1985. p. 125-68.
- Cooley EL, Morris RD. Attention in children: A neuropsychological based model for assessment. *Dev Neuropsychol* 1990; 6: 239-74.
- Mesulam MM. Large-scale neurocognitive networks and distributed processing for attention, language and memory. *Ann Neurol* 1991; 28: 597-613.
- Colby C. The neuroanatomy and neurophysiology of attention. *J Child Neurol* 1991; 6 (Suppl): S88-116.
- Posner MI, Driver J. The neurobiology of selective attention. *Curr Opin Neurobiol* 1992; 2: 165-9.
- Heilman KM, van Den Abell T. Right hemisphere dominance for attention: The mechanism underlying hemispheric asymmetries of inattention (neglect). *Neurology* 1980; 30: 327-30.
- Heilman KM, Bowers D, Valenstein E, Watson RT. The right hemisphere: Neuropsychological functions. *J Neurosurg* 1986; 64: 693-704.
- Posner MI, Dehaene S. Attentional networks. *Trends Neurosci* 1994; 17: 75-9.
- Hyllard SA. Electrophysiology of human selective attention. *Trends Neurosci* 1985; 8: 400-5.
- Pardo JV, Fox PT, Raichle ME. Localization of a human system for sustained attention by positron emission tomography. *Nature* 1991; 349: 61-4.
- Goldman-Rakic PS. Topography of cognition: Parallel distributed networks in primate association cortex. *Ann Rev Neurosci* 1988; 11: 137-56.
- Corbetta M, Miezin FM, Dobmeyer S, et al. Attentional modulation of neural processing of shape, color, and velocity in humans. *Science* 1990; 248: 1556-9.
- Corbetta M, Miezin FM, Dobmeyer S, et al. Selective and divided attention during visual discriminations of shape, color and speed: Functional anatomy by Positron Emission Tomography. *J Neurosci* 1991; 11: 2383-402.
- Corbetta M, Miezin FM, Shulman GL, Petersen SE. A PET study of visuospatial attention. *J Neurosci* 1993; 13: 1202-26.
- Salzmann E. Attention and memory trials during neuronal recording from the primate pulvinar and posterior parietal cortex (area PG). *Behav Brain Res* 1995; 67: 241-53.
- Mishkin M, Ungerleider LG, Macko KA. Object vision and spatial vision: Two cortical pathways. *Trends Neurosci* 1983; 6: 414-7.
- Luria AR. *El Cerebro Humano y los Procesos Psíquicos*. Barcelona: Fontanella; 1979.
- Rezaei K, Andreasen NC, Alliger R, et al. The neuropsychology of the prefrontal cortex. *Arch Neurol* 1993; 50: 636-42.
- Mesulam MM. Frontal cortex and behavior. *Ann Neurol* 1986; 19: 320-5.
- Grafman J. Neuropsychology of prefrontal cortex. In Zaidel DW, ed. *Neuropsychology*. New York: Academic Press; 1994. p. 159-81.
- Damasio HC. Neuroanatomy of frontal lobe in vivo: A comment on methodology. In Levin HS, Eisenberg HM, Benton AL, eds. *Frontal lobe function and dysfunction*. New York: Oxford University Press; 1991. p. 92-121.
- Damasio AR, Anderson WA. The frontal lobes. In Heilman KM, Valenstein E, eds. *Clinical Neuropsychology*. New York: Oxford University Press; 1993. p. 409-60.
- Heilman KM, Valenstein E, Watson RT. The neglect syndrome. In Frederiks JAM, ed. *Handbook of Clinical Neurology*. Clinical Neuropsychology. Amsterdam: Elsevier Science Publisher; 1985. p. 153-83.
- Norman DA, Shallice T. Attention to action. Willed and automatic control of behavior. In Davidson RI, Schwartz GE, Shapiro D, eds. *Consciousness and Self Regulation*. New York: Plenum Press; 1986. p. 1-18.
- Stuss DT. The frontal lobes and executive functions: An overview of operational definitions, theory and assessment. Program and Abstracts, 5th Nordic Meeting in Neuropsychology. Uppsala 1995.
- Swanson JM, Posner M, Potkin S, et al. Activating tasks for the study of visual-spatial attention in ADHD children: A cognitive anatomic approach. *J Child Neurol* 1991; 6 (Suppl): S117-25.
- Albert ML. A simple test of visual neglect. *Neurology* 1973; 23: 658-64.
- Robertson IH, Tegner R, Tham K, et al. Sustained attention training for unilateral neglect: Theoretical and rehabilitation implications. *J Clin Exp Neuropsychol* 1995; 17: 416-30.
- Larrue V, Celsis P, Bes A, Marc-Vergnes JP. The functional anatomy of attention in human: Cerebral blood flow changes induced by reading, naming, and the Stroop effect. *J Cereb Blood Flow Metab* 1994; 14: 958-62.
- Vendrell P, Junqué C, Pujol J, et al. The role of prefrontal regions in the Stroop task. *Neuropsychologia* 1995; 33: 341-52.
- Ponsford J, Kinsella G. The use of a rating scale of attentional behaviour. *Neuropsychol Rehab* 1991; 1: 241-57.
- Weber AM. A new clinical measure of attention: The Attentional Capacity Test. *Neuropsychology* 1988; 2: 59-71.
- Wechsler D. *Escala de Inteligencia de Wechsler para Adultos*. Madrid: TEA; 1976.
- Lezak M. *Neuropsychological Assessment*. New York: Oxford University Press; 1995.
- Diller L, Weinberg J. Hemi-inattention in rehabilitation: The evolution of a rational remediation program. *Adv Neurol* 1977; 18: 63-82.
- Posner MI. Orienting of attention. *Q J Exp Psychol* 1980; 32: 3-25.
- Kinsbourne M, Hiscok M. Cerebral lateralization and cognitive development: Conceptual and methodological issues. In Hynd GW, Obrzut JE, eds. *Neuropsychological Assessment and the School-Age Child*. New York: Grune-Stratton; 1981. p. 125-66.
- Spree O, Strauss E. *A Compendium of Neuropsychological Tests*. Administration, norms, and commentary. New York: Oxford University Press; 1991.
- Trommer BL, Hoepfner J, Lorber R, Armstrong K. The Go-No-Go paradigm in attention deficit disorder. *Ann Neurol* 1988; 24: 610-4.
- Rosvold HE, Mirsky AF, Sarason I, et al. A continuous performance test of brain damage. *J Consult Psychol* 1956; 20: 343-50.
- Robinson DL. Functional contributions of the primate pulvinar. *Prog Brain Res* 1993; 95: 371-80.
- Mangun GR, Luck SJ, Plager R, et al. Monitoring the visual world: Hemispheric asymmetries and subcortical processes in attention. *J Cognit Neurosci* 1994; 6: 267-75.
- Andersen RA. Encoding of intention and spatial location in the posterior parietal cortex. *Cereb Cortex* 1995; 5: 457-69.
- Shallice T, Burgess P. Deficits in strategy application following frontal lobe damage in man. *Brain* 1991; 114: 727-41.
- Editorial. Interview with Michael I. Posner. *J Cognit Neurosci* 1996; 8: 83-7.
- Petit L, Tzourio N, Orssaud C, et al. Functional neuroanatomy of the human visual fixation system. *Eur J Neurosci* 1995; 7: 169-74.