

Revisión conceptual del sistema ejecutivo y su estudio en el niño con trastorno por déficit de atención e hiperactividad

R. Sánchez-Carpintero, J. Narbona

EXECUTIVE SYSTEM: A CONCEPTUAL REVIEW AND ITS STUDY IN CHILDREN WITH ATTENTION-DEFICIT HYPERACTIVITY DISORDER

Summary. Objectives. To review the different concepts and definitions of the executive system (ES) and its relationship with attention and working memory. To apply these concepts to the theories about executive dysfunction in children with attention-deficit hyperactivity disorder (ADHD). Development. A functional and terminological definition about ES is made considering previous theories and mainly based on the theory of the control of the action. The concepts of working memory and attention are defined and their relationship with the ES is analysed. The evidence of executive dysfunction in children with ADHD is described and recent hypothesis on the nature of the neuropsychological key deficit of the disorder are discussed. Conclusions. There is a lack of an universally accepted theory about the executive system function, although there is an agreement between different authors in considering that it involves the cognitive processes needed for complex, novel and aimed actions. Attention is a function that is different from the ES, but it is required for the ES functioning. Working memory is one of the most important components of the ES, but it does not account for the whole concept of ES. Although the characteristic pattern of ES dysfunction in children with ADHD is still unknown, there are some recent evidences showing that they have specific difficulties in behavioral inhibition. [REV NEUROL 2001; 33: 47-53]

Key words. Attention. Attention-deficit. Children. Executive function. Executive system. Frontal lobe. Hyperactivity.

INTRODUCCIÓN

La investigación de las funciones ejecutivas cerebrales ha despertado, en los últimos años, un creciente interés. Son abundantes los trabajos que estudian sus alteraciones en distintas enfermedades en el adulto, como la esquizofrenia [1], la enfermedad de Alzheimer [2,3], la corea de Huntington [4] y la enfermedad de Parkinson [5]. Pero es, quizás, superior el número de referencias acerca del desarrollo y disfunción de dicho sistema en el niño [6-8], especialmente en el trastorno por déficit de atención e hiperactividad (TDAH) [9-15].

Las denominaciones función ejecutiva y sistema ejecutivo se han obtenido por traducción de las expresiones anglosajonas *executive function* y *executive system*. En castellano pueden dar lugar a confusión si se toma en cuenta la acepción de la palabra 'ejecutivo' como el que ejecuta o hace una cosa, en lugar de persona que desempeña un cargo directivo en una empresa. Los términos función supervisora o función directiva serían, probablemente, más exactos en castellano, ya que nos estamos refiriendo a una función que realiza tareas de planificación y control de otros sistemas, es decir, tareas directivas y de supervisión. No obstante, en este trabajo se van a emplear los términos función ejecutiva (FE) y sistema ejecutivo (SE), pues es así como se ha generalizado su denominación en castellano.

La definición conceptual de este sistema funcional, tanto en el

adulto como en el niño, pero especialmente en este último, y el establecimiento de las adquisiciones que marcan los hitos de su desarrollo en las primeras décadas de la vida, no están exentos de dificultades.

En primer lugar hay que considerar las imprecisiones a que está sometida la definición de los contenidos funcionales que se atribuyen al SE. Si tomamos como ejemplo, tan sólo, la variada terminología con la que se le denomina, vemos que expresiones como *executive function*, *problem solving* [16], *supervisor attentional system* [17], *working memory* [18] y *attention* [19] con frecuencia hacen referencia a un conjunto de funciones similares, aplicables a un mismo sistema.

En segundo lugar, hay que considerar que el estudio de los sistemas de procesamiento de la información, del aprendizaje, del comportamiento del niño, etc., viene marcado por sus características de maduración progresiva. Es posible que la FE sea una de las últimas en desarrollarse por completo. Parece que gran parte de su asiento anatomofuncional reside en los lóbulos frontales y sus conexiones, áreas cuya mielinización no se completa hasta la tercera década de la vida [20]. A esto se añade que el estudio de estas regiones en pacientes con lesión se dificulta en el niño por fenómenos de plasticidad cerebral, que inciden de forma mucho más intensa en la infancia que en edades posteriores. Es preciso, por tanto, tener en cuenta la edad de aparición de la lesión, así como las eventuales reorganizaciones que ya se hayan establecido en el momento de la exploración. Estas características dificultan la obtención de series, con muestras de pacientes suficientemente representativas de cada estadio evolutivo de las FE, en la edad infantil.

Existe una tercera peculiaridad en el estudio de la FE en el niño y en el adolescente. Se trata del empleo de instrumentos de valoración de las FE que son útiles en adultos, pero en los que no se conoce con profundidad su aplicación para niños de diferentes edades [21].

Finalmente, la diversidad y amplia distribución de las estructuras anatomofuncionales que sustentan la actuación del SE

Recibido: 13.12.00. Aceptado tras revisión externa sin modificaciones: 17.12.00.

Unidad de Neuropediatría. Departamento de Pediatría. Clínica Universitaria de Navarra. Universidad de Navarra. Pamplona, Navarra, España.

Correspondencia: Dra. Rocío Sánchez-Carpintero Abad. Unidad de Neuropediatría. Departamento de Pediatría. Clínica Universitaria de Navarra. Universidad de Navarra. Avda. Pío XII, 36. E-31008 Pamplona, Navarra. E-mail: rsanchezc@unav.es

Este trabajo ha sido financiado con una Ayuda a la Investigación concedida por el Gobierno de Navarra.

© 2001, REVISTA DE NEUROLOGÍA

es una realidad que precisa tomarse en cuenta cuando se emplean, como modelos de estudio de la función, tanto niños con lesión anatómica como aquellos que padecen una disfunción. Estudios en primates y en pacientes adultos con lesiones cerebrales localizadas indican que las regiones frontales constituyen una de las más importantes estructuras anatómicas que sustentan las FE. La complicada organización citomieloarquitectónica y funcional de dichas regiones frontales, revisada recientemente [22], junto con la diversidad y complejidad de las funciones neuropsicológicas que comprenden el SE, hacen que incluso los estudios en adultos sean difíciles de interpretar [23]. De hecho, una sola función puede llevarse a cabo con la participación de diversas regiones del lóbulo frontal y sus conexiones y, a su vez, distintas áreas del córtex prefrontal están implicadas en diferentes aspectos del procesamiento cognitivo, incluso dentro de una misma modalidad.

Estas consideraciones hacen necesario plantear una revisión conceptual del SE que pueda facilitar futuros estudios de una función tan compleja, especialmente en el niño, en el que la alteración madurativa de este sistema puede dar lugar a trastornos tan prevalentes como el TDAH.

DEFINICIÓN TERMINOLÓGICA Y FUNCIONAL DEL SISTEMA EJECUTIVO

Históricamente, el estudio de este sistema funcional se ha llevado a cabo en el marco de la psicología del procesamiento de la información y se ha realizado mediante la construcción de modelos que pretenden explicar el control de la conducta.

En el procesamiento de la información, la mayoría de los autores distinguen entre procesamiento automático y procesamiento controlado. El primero no está necesariamente ligado a la percepción consciente del sujeto, requiere poco esfuerzo por parte de éste y resiste habitualmente a la interferencia provocada por estímulos concurrentes. En cambio, del procesamiento controlado se dice que requiere esfuerzo por parte del sujeto, es consciente y es susceptible de ser interferido por otros estímulos concurrentes. Éste es el tipo de control de la acción que requiere la actuación del SE, al que nos vamos a referir en este estudio.

Norman y Shallice [17] distinguen, acerca del papel de la atención en el control de la conducta, tres modos de control, cada uno de ellos ejercido por un mecanismo diferente:

- *Control totalmente automático*: se refiere a las acciones que se ejecutan con muy poca conciencia, reguladas por medio de esquemas o planes organizados que escapan al control de la conciencia.
- *Control sin dirección consciente*: son acciones parcialmente automáticas que se llevan a cabo por medio de un sistema de contención—en inglés, *contention scheduling* [24]. Este sistema es el que subyace a las acciones rutinarias que se realizan sin control voluntario, ya que están determinadas, únicamente, por el esquema que el estímulo desencadenante ha activado con mayor fuerza. El sistema de contención evita que las acciones que se ejercen bajo el control totalmente automático interfieran con estas otras acciones del sujeto que, siendo rutinarias, precisan de un tipo de conciencia de la acción mayor que las anteriormente explicadas.
- *Control deliberado y consciente*: es el implicado en las acciones complejas, novedosas o no rutinarias, dirigidas a un fin y, por tanto, voluntariamente determinadas. Exige atención por

Tabla I. Funciones integrantes del sistema ejecutivo [16,25-27].

| |
|---|
| Capacidad de planificación de conducta dirigida a una meta |
| Programación de acciones necesarias para alcanzar dicha meta |
| Monitorización de la puesta en marcha del plan para comprobar su ajuste al objetivo y estrategias iniciales |
| Rechazo de la interferencia de estímulos externos que no son relevantes para el plan de acción |
| Flexibilidad para la corrección de errores o para la incorporación de conductas nuevas en función de los estímulos del entorno que son relevantes |
| Capacidad de reconocer la consecución de los objetivos y finalizar la acción |

parte del sujeto. El SE sería el elemento que ejerce el control en este tipo de conductas; Norman y Shallice [17] lo denominan sistema atencional supervisor (SAS).

La intervención del SE, por lo tanto, entra en funcionamiento cuando la acción está encaminada a la consecución de un objetivo, no es rutinaria, hay una dilación temporal entre los elementos de la secuencia de la conducta—evento/respuesta/consecuencias—, existe un conflicto entre las consecuencias inmediatas y a largo plazo de la respuesta, y los requerimientos de la acción suponen una respuesta compleja por parte del sujeto que necesita organizarse en el tiempo [9]. En cuanto al contenido funcional del SE, actualmente existe un consenso al considerar como integrantes del SE las funciones referidas en la tabla I [16,25-27].

Como se hace en la mayoría de los modelos, aquí no se va a considerar la existencia de intenciones o metas como parte integrante del SE sino, más bien, como el elemento al que sirve este sistema actuando como organizador de la conducta para conseguir las.

En resumen, la mayoría de los autores coincide en incluir en el SE aquellas capacidades cognitivas empleadas en situaciones en las que el sujeto debe realizar una acción finalística, no rutinaria o poco aprendida, que exige inhibir las respuestas habituales, que requiere planificación y toma de decisiones y que precisa del ejercicio de la atención consciente.

La atención

Hemos distinguido anteriormente tres modos de procesamiento de la acción: automático, sin dirección consciente y deliberado. El último de ellos se realiza mediante un tipo de control atencional, cuya función hemos atribuido al SE. Que sea un control atencional significa que requiere el ejercicio consciente de la atención para realizarse. Norman y Shallice [17] atribuyen a este control las funciones que diversos autores consideran propias del SE. Para ellos, SE equivale a SAS. Otros autores, como Mirsky [19], hablan también de la atención sin hacer diferencia entre ésta y las FE. Sin embargo, no parece tan claro que sea la atención, por sí sola, el sistema que ejerce dicho control.

No existe actualmente un modelo satisfactorio acerca de la atención. El concepto de atención es amorfo [2], multidimensional [28] y complejo [29]. No es fácil distinguir sus componentes y establecer sus relaciones con otros sistemas, como la memoria de trabajo o las FE. Para intentar esclarecer las relaciones que

existen entre dichos elementos puede ser útil definir los tipos de atención que en la actualidad se consideran y ponderar la relación que puede tener cada uno de ellos con el SE.

Sistema de alerta

El estado de alerta (*alertness*), de vigilia (*arousal*) o de atención [30] suministra la atención tónica o básica. Depende de la formación reticular del tegmento mesencefálico y de los núcleos intralaminares del tálamo, que se proyectan hacia todo el córtex. Sus principales neurotransmisores son colinérgicos, monoaminérgicos y gabérgicos. El procesamiento de la información puede alterarse tanto por exceso como por defecto del funcionamiento de este sistema. Puede considerarse un requisito previo y necesario para la actuación del SE, ya que incluso participa, a través del filtraje talámico, de una cierta selección de estímulos [31]. Sin embargo, no agota las funciones que se atribuyen al SE.

Sistema atencional posterior

Constituye un sistema atencional diferente al estado de vigilia y se denomina posterior por la localización, preferente aunque no exclusiva, de sus soportes anatomofuncionales en estructuras corticales posrolándicas. Se ha estudiado principalmente en referencia a la percepción de estímulos visuales [32]. En su funcionamiento se requiere la actividad de diversos sistemas subcorticales, como los colículos superiores, implicados en los cambios en la direccionalidad de la mirada, el tálamo, cuya lesión puede producir síntomas de negligencia visuoespacial y también los ganglios basales, especialmente el caudado y la sustancia negra *pars reticulata* [33], que interviene en el inicio del movimiento ocular, realizado en ausencia de control sensorial directo. Las estructuras corticales implicadas constituyen el circuito occipitotemporo-frontal, que interviene en el reconocimiento visuo-perceptivo de los objetos ('qué son'), y el circuito occipitoparietofrontal, responsable del reconocimiento visuoespacial de los objetos ('dónde se sitúan') y de la ejecución visuomotriz, otorgando al sujeto información relevante para actuar sobre el estímulo.

Aunque en el marco del sistema atencional posterior se ha estudiado más el componente de atención visual, su acción se extiende a lo que denominaríamos atención sensorial, que incluye la atención auditiva y la somestésica—parece que convergen en el área polisensorial temporal superior—. Este sistema de atención polisensorial permite al sujeto elaborar un procesamiento de la información desde el exterior, desde los estímulos externos, hacia los procesos internos del sujeto o procesamiento de abajo arriba (en inglés, *bottom-up*) [33], dependiendo del estímulo.

Sin embargo, en diversos trabajos [33], la información se procesa de un modo que no es exclusivamente dependiente del estímulo. En estudios de potenciales evocados cognitivos se evidencia la posible participación del córtex parietal en el procesamiento de información que requiere esfuerzo atencional voluntario [34]. Incluso se hipotetiza que la región inferior del lóbulo parietal es crítica para los primeros estadios de planificación motriz y que desempeña un papel clave en la modulación de la atención selectiva [35]. Es decir, el sistema atencional posterior tiene un cierto papel en el procesamiento de la información más dependiente del sujeto que de estímulos externos (en inglés, *top-down*).

Estamos tratando, por tanto, de un procesamiento atencional

cuyas funciones resultan necesarias para que tengan lugar algunas de las tareas del SE. No obstante, no incluye todas las funciones que se le atribuyen a este último en el control de la acción dirigida a una meta.

Sistema atencional anterior

Por contraposición al procesamiento *bottom-up* de la información, existe el procesamiento *top-down*, o reflexivo y orientado a un fin. Su director sería el plan de conducta trazado por el SE, y el instrumento fundamental para poder llevarlo a cabo, el sistema atencional anterior (SAA) [29].

El SAA se puede subdividir en diferentes tipos de atención: selectiva o de focalización, sostenida y dividida. La atención de focalización es la capacidad de centrarse en un estímulo, obviando los que no son relevantes y que distraen para la tarea en curso. Sus posibles sustratos neurales parecen estar distribuidos en una red que implica estructuras de línea media y ganglios basales. La atención sostenida es la que permite al sujeto mantener la atención focalizada en un estímulo o en una tarea, durante períodos prolongados. Parece que depende anatómicamente del sistema de conexiones frontoparietal derecho. La atención dividida hace referencia a la capacidad de focalizar la atención en más de un estímulo o proceso relevante a un tiempo. Su soporte neural depende del córtex prefrontal dorsolateral y de la porción anterior de la circunvolución del cíngulo [3]. Estos tres elementos son necesarios para el ejercicio de las funciones ejecutivas, pero están en función del plan que, para alcanzar la meta de la acción, ha trazado el SE. Corresponderían al vector de atención de Mesulam [30] y a la atención supervisora de Norman y Shallice [17] una atención directiva, ejecutiva, con direccionalidad. Sus bases anatomofisiológicas se asientan fundamentalmente en el córtex prefrontal, pero también en sus múltiples conexiones con todas las regiones del neocórtex y con diversas estructuras subcorticales, especialmente con los ganglios basales [36].

Las abundantes conexiones de las estructuras anatómicas de los sistemas atencionales posterior y anterior podrían resolver el conflicto que se produce entre los dos tipos de procesamiento, *bottom-up* y *top-down*, de la información. La influencia de la corteza prefrontal sobre áreas asociativas posteriores se ha puesto en evidencia, recientemente, en estudios de registro de célula única sobre primates. En estos trabajos se ha comprobado la existencia de una modulación *top-down*, ejercida por el córtex prefrontal sobre la evocación mnemónica de imágenes relevantes para la tarea que se está realizando [37].

El problema consiste en que, por una parte, precisamos seleccionar los estímulos del entorno que nos son relevantes, pues el cerebro no es capaz de procesarlos todos a la vez; pero, por otra, no podemos obviar por completo estímulos potencialmente necesarios para lograr el fin propuesto para la acción. El SAA tiene una función selectiva, focalizadora y de mantenimiento de aquellos estímulos captados por el sistema de atención sensorial posterior que son relevantes. Permite al sujeto ser consciente sólo de aquellos eventos preeminentes en función de los planes trazados y monitorizados por el SE que, a su vez, dependen de los fines que desea alcanzar el sujeto con su conducta. Para algunos autores, este modo de la atención es la puerta de entrada de los estímulos a la conciencia [31].

Como se ha apuntado con anterioridad, es frecuente dividir la actividad del SAA en diversos componentes: atención de focalización, atención sostenida y atención dividida. A la vez que el sujeto focaliza su atención, debe ser capaz de rechazar estímulo-

los irrelevantes para la tarea propuesta. Esta capacidad se conoce como control de interferencia, y evita concentrar la atención en todos y cada uno de los estímulos que se reciben, facilitando la realización del plan propuesto. Atención focalizada y control de interferencia podrían ser conceptos equivalentes o, por el contrario, considerarse como complementarios. En este último caso, podríamos considerar que el control de interferencia es una de las FE.

El SAA, mediante el ejercicio de la atención sostenida, permite mantener la conducta hasta la consecución del fin. Para ello, necesita de la continuidad de la percepción; es decir, precisa de la memoria de los eventos ocurridos en el pasado inmediato y del mantenimiento en dicha memoria del plan de acción trazado por el SE. Se denomina memoria de trabajo a este tipo de memoria a corto plazo y diversos autores, incluidos los de este trabajo, la consideran un componente del SE [18]. Más adelante se tratarán las relaciones de la memoria de trabajo con las FE.

Otra característica de la atención del sistema anterior es la flexibilidad cognitiva, que supone una capacidad de atención dividida y se puede considerar como otra de las FE. Su tarea sería combinar la atención focalizada y la sostenida; es decir, considerar, por una parte, los diversos estímulos, centrarse en los relevantes y mantenerse en ellos y, por otra, ser capaz de desprenderse de los estímulos que han perdido su relevancia y cambiar el plan de acción si así se requiere. En la modalidad de atención visual, el sistema atencional posterior, en concreto los procesos que tienen lugar en el lóbulo parietal en su porción posterior [32], desempeña un papel preponderante en la capacidad de inhibir la atención que previamente se sostenía en un estímulo visual del campo contralateral. Este hecho nos permite, de nuevo, resaltar la idea de que los sistemas de atención que se consideran están estrechamente relacionados entre sí y que sus múltiples conexiones permiten pensar en un sistema funcional de amplia distribución cerebral, formado por redes neurales que implican muy diversas estructuras del cerebro.

Tomando en consideración todo lo hasta ahora expuesto, parece emerger un concepto de atención anterior o supervisora, que está al servicio de las FE. Estas FE son las que poseen las estrategias de planificación, controlan las interferencias y deciden cambiar o finalizan su tarea con flexibilidad, según la información recibida del entorno sensorial, emocional y mnemónico del sujeto. La atención de focalización o selectiva, la atención dividida y la atención sostenida son instrumentos que permiten al sujeto el ejercicio de las FE.

La memoria de trabajo

Para que el SE pueda realizar su función es preciso que el sujeto tenga una continuidad de percepción temporoespacial que le permita operar sobre la información que posee. Necesita que se mantengan constantemente presentes y disponibles el fin al que se dirige su acción, las estrategias que ha planificado para lograrlo y los eventos internos y externos, relevantes para la acción, que están teniendo lugar durante el tiempo en el que se está llevando a cabo la misma. Parece que la función que permite todo ello es la memoria de trabajo (MT). La existencia de un sistema de estas características es tan importante que, incluso, algunos autores consideran innecesaria la actuación de un SE, identificando su acción con los procesos de MT [38].

Al igual que hemos comentado anteriormente acerca de la atención, vamos a considerar la MT como un sistema subsidiario

de las FE, que la emplean como instrumento para poder ejercer su acción. Este tipo de memoria a corto plazo se corresponde, en la teoría de Fuster [39] sobre la función del lóbulo frontal, con dos elementos: la memoria provisional y el *anticipatory set* o preparación. El primero permite referir eventos actuales a los previos en una secuencia y retener la información, obtenida en dicho análisis, que pueda ser relevante para la acción en curso. El segundo permite la representación temporal de los sucesos, desplegándola para poder actuar sobre ellos según los planes trazados, o trazar otros nuevos. Goldman-Rakic, en sus trabajos experimentales en primates, habla de la MT o memoria representativa, que actúa regulando la conducta y que tendría dos componentes: las representaciones sensoriales (componente retrospectivo) y la anticipación de los planes que existen en mente para ponerlos en práctica (componente prospectivo). Baddeley [40] considera que la MT tiene tres elementos: uno de ellos responsable de dirigir la atención hacia cualquiera de los otros dos, que sería el ejecutivo central, y los dos sistemas subsidiarios: el retén fonológico y la representación visuoespacial.

Resumiendo los conceptos revisados en los tres apartados anteriores, podemos afirmar que en este trabajo se considera la FE como un sistema que hace posible aquella conducta del sujeto que se caracteriza por ser consciente y dirigida a un fin. Sus funciones son la planificación de las estrategias necesarias para la consecución del fin, la monitorización de la puesta en marcha del plan y la adaptación o finalización del plan según lo requiera la aparición de nuevos estímulos o circunstancias. Los sistemas atencionales anterior y posterior se van a considerar como instrumentos que permiten que dichas funciones se lleven a cabo sin interferencias. La MT otorga las bases funcionales para la expansión temporal de la información que tiene el sujeto, permitiéndole operar sobre ella, si se considera la acción actual a la luz de la recientemente realizada y a la de los planes previstos para la acción futura.

Es posible que, como apuntan Kimberg et al [38], no sea necesaria la existencia de un SE adicional al ejercicio de la atención y la MT. La motivación e intenciones del sujeto podrían dirigir la actividad conjunta de los distintos tipos de atención y de la MT, dando lugar a la planificación de estrategias y la monitorización de la conducta dirigida a un fin. No obstante, en el momento actual es arriesgado concluir sobre las funciones del SE, la atención y la MT. No existe todavía una teoría unificada y universalmente aceptada acerca del funcionamiento de los sistemas cerebrales que sustentan la capacidad humana de realizar acciones no rutinarias con finalidad.

EL ESTUDIO DEL SISTEMA EJECUTIVO EN EL NIÑO CON TDAH

El estudio de las FE en el niño se ha llevado a cabo fundamentalmente mediante trabajos sobre niños con trastorno por déficit de atención e hiperactividad (TDAH).

Los síntomas básicos que configuran el TDAH son: labilidad atencional, impulsividad, hiperactividad estéril, psicomotricidad torpe y fragilidad de los mecanismos adaptativos al entorno [41]. La definición actual del síndrome distingue tres subtipos: de predominio inatento, de predominio con hiperactividad y subtipo combinado [42]. La mayoría de los autores consideran que el primer subtipo constituye un trastorno diferente.

Tabla II. Estudio de la asimetría de núcleos caudados en pacientes con TDAH [49-51].

| Estudio | Controles | | TDAH | |
|---------------------|------------|------------|------------|------------|
| | Izdo> Dcho | Dcho> Izdo | Izdo> Dcho | Dcho> Izdo |
| Hydn et al, 1993 | 73% | - | - | - |
| Filipek et al, 1997 | 67% | - | 27% | - |
| Mataró et al, 1997 | 47% | 16% | 18% | 46% |

Tabla IV. Funciones ejecutivas cuya actuación depende de la integridad del componente de inhibición comportamental de la teoría híbrida de Barkley [9].

| Funciones ejecutivas |
|--|
| Memoria de trabajo no verbal |
| Internalización de lenguaje |
| Autorregulación del afecto, motivación y vigilia |
| Sintaxis de la conducta |

En la actualidad existen numerosas evidencias acerca de la existencia de una disfunción del SE en estos niños. En la primera descripción del síndrome que se conoce, Still et al [43] proponían que, junto con factores hereditarios, podría hallarse alguna alteración cerebral en el origen del trastorno. Ello daría lugar a defectos en el control moral, en la capacidad de inhibición volitiva y en la capacidad de mantener la atención y concentrarse. En cuatro de 15 casos en los que midieron la circunferencia craneal, observaron una región frontal anormalmente estrecha.

Las siguientes aportaciones a la definición del trastorno son, probablemente, las derivadas de la observación de secuelas en las epidemias de encefalitis letárgica en EUA (1917-1918) y en las padecidas en Europa. Los supervivientes jóvenes con menor grado de afectación por la enfermedad no llegaban a padecer el síndrome rigidoacínético; sin embargo, la descripción clínica de su conducta destacaba por la coincidencia con los rasgos que actualmente observamos en los niños con TDAH [44,45]. Se conoce que las lesiones histopatológicas en dicha encefalitis afectaban selectivamente al tronco del encéfalo y a las regiones basales telencefálicas, con sus vías monoaminérgicas.

En 1972 se comenzó a considerar el problema atencional como el síntoma más representativo del trastorno [46]. En ese momento es cuando se puede considerar que comienza a investigarse el posible origen neurobiológico del TDAH en un trastorno del SE, ocasionado por lesión o disfunción en las estructuras anatómicas que lo sustentan. Hay evidencias recientes acerca de la alteración del sistema frontal y sus conexiones con los ganglios basales en el niño con TDAH. Hydn et al [47] midieron la anchura del córtex cerebral anterior y encontraron que éste es menor en el lado derecho en pacientes con TDAH, comparado con los controles. Lou et al [48] observaron en pacientes con TDAH, mediante SPECT cerebral con xenón 133, hipoperfusión de ganglios basales. Posteriormente se han realizado estudios de medición de área cerebral y volumetría mediante resonancia magnética (RM). Las mediciones sobre el volumen de ganglios basales no siempre coinciden entre los distintos autores. La medida que con mayor frecuencia coinci-

Tabla III. Funciones integrantes del primer componente de la teoría híbrida acerca del sistema ejecutivo [9].

| Inhibición comportamental |
|---------------------------------------|
| Inhibición de respuestas prepotentes |
| Inhibición de respuestas ya iniciadas |
| Control de interferencia |

de en todos los estudios revisados es la asimetría entre el tamaño de los núcleos caudados de ambos lados. En general, se aprecia que en sujetos normales hay una asimetría a favor de mayor tamaño del caudado izquierdo, que no se aprecia en sujetos con TDAH [49-51]. No obstante, es preciso tener en cuenta que esta asimetría no se observa en todos los sujetos (Tabla II).

Asimismo, se ha observado reducción del área en la región rostral del cuerpo caloso, medida por RM cerebral [52,53], lo cual puede indicar alteraciones de la parte anterior de la circunvolución del cíngulo [54], aunque hay autores que han encontrado reducción de área en regiones posteriores del cuerpo caloso y no en regiones anteriores [55].

Estos hallazgos se complementan con los de otros autores que han encontrado, mediante RM funcional, ausencia de activación de la porción anterior de la circunvolución del cíngulo en una tarea de control de interferencia de tipo Stroop, en contraste con la activación que se aprecia en voluntarios sanos [56].

También se ha apreciado, mediante estudio con PET cerebral, hipometabolismo en el córtex prefrontal superior en sujetos adultos con TDAH, durante la realización de una tarea atencional [57], aunque este hallazgo no se ha podido replicar en adolescentes con TDAH [58]. No obstante, se ha demostrado, mediante RM funcional, que los adolescentes con TDAH tienen una menor funcionalidad del sistema frontal y sus conexiones—regiones prefrontales mesial e inferior derechas y caudado izquierdo—, en tareas de control motor [59].

A pesar de que las evidencias son cada vez más numerosas a favor de una función deficiente del lóbulo frontal y sus conexiones en el TDAH, todavía no se han establecido claramente cuáles son los déficit neuropsicológicos básicos que constituyen el trastorno. Ello puede ser, por una parte, el resultado lógico de la ausencia de teorías operacionales universalmente aceptadas acerca del SE y, por otra, la consecuencia de la dificultad en definir el TDAH y la consiguiente heterogeneidad de las muestras de pacientes obtenidas para los estudios. El trabajo más reciente llevado a cabo en este campo es el de Barkley [9]. Antes de proponer su hipótesis acerca de qué elementos del SE están alterados en los sujetos con TDAH, propone un modelo de funcionamiento del SE, que denomina modelo híbrido. Este modelo se basa en diferentes teorías sobre el SE propuestas previamente por otros autores. El primer elemento del modelo es la inhibición comportamental (IC), cuyos tres componentes se pueden observar en la tabla III. La actuación de este elemento es imprescindible para que puedan tener lugar las funciones ejecutivas (Tabla IV) que, según la teoría propuesta por Barkley, permiten la autorregulación de la conducta. Este autor propone considerar como déficit clave en el TDAH la dificultad de IC y, por tanto, las dificultades para inhibir respuestas prepotentes, para frenar respuestas que ya estaban en marcha y para resistir la interferencia. Esta capacidad de IC es esencial para que puedan tener lugar

las FE. Por lo tanto, los déficit de los pacientes con TDAH detectados mediante pruebas de función ejecutiva se considerarían secundarios a la alteración de la IC, así como los constatados en la atención sostenida, que Barkley identifica con la conducta orientada a un fin.

El modelo híbrido aporta una teoría sobre las FE y una hipótesis acerca de las alteraciones neuropsicológicas que padecen los sujetos con TDAH. Actualmente, muchas investigaciones acerca del trastorno están orientadas a profundizar en esta dirección para comprobar la hipótesis, distinguiendo entre los dos subtipos de TDAH, predominantemente inatento o de predominio con hiperactividad/subtipo combinado. En un estudio reciente [60] se han aplicado diversos tests de funciones ejecutivas a 122 niños, 32 con TDAH subtipo de predominio inatento, 64 con subtipo combinado y 28 controles sanos. Los niños con TDAH obtuvieron peores resultados en WCST (del inglés, *Wisconsin Card Sorting Test*) y en test tipo Stroop. Estas diferencias estaban mediadas por el subtipo de TDAH, de forma que el subtipo combinado demostró alteraciones en los tests que suponen IC, como son el número de errores perseverativos en el WCST y en la parte de interferencia del Stroop. Los sujetos con subtipo de predominio inatento realizaron mayor número total de errores en el WCST y menor número de respuestas en la parte de palabras del test Stroop. No

obstante, tests de impulsividad como el MFF (del inglés, *Matching Familiar Figures*) no mostraron diferencias significativas entre los tres grupos. Es necesario, por tanto, continuar profundizando en el estudio de las alteraciones neuropsicológicas que conforman el TDAH.

CONCLUSIONES

El SE es un construto de la psicología del procesamiento de la información que explica los procesos cognitivos necesarios para la realización de acciones complejas, novedosas y con un objetivo. En la actualidad no existe todavía una teoría universalmente aceptada acerca de su funcionamiento, sus componentes y su estrecha relación con el sistema atencional.

Existe cada vez una mayor evidencia de que los niños con TDAH padecen una alteración del SE. Aún no se conoce bien el patrón de disfunción característico de este trastorno, aunque hay pruebas recientes de dificultades específicas en la capacidad de IC. Dichas dificultades parecen confirmarse en los niños con TDAH subtipo de predominio con hiperactividad o combinado. Parece, por tanto, que estos sujetos podrían constituir un grupo diferente de los de predominio inatencional, indicando la presencia de dos trastornos diferentes.

BIBLIOGRAFÍA

- Karatekin C, Arsanow RF. Working memory in childhood-onset schizophrenia and attention-deficit/hyperactivity disorder. *Psychiatry Res* 1998; 80: 165-76.
- Patterson MB, Mack JL, Geldmacher DS, Whitehouse PJ. Executive functions and Alzheimer's disease: problems and prospects. *Eur J Neurol* 1996; 3: 5-15.
- Perry RJ, Hodges JR. Attention and executive function deficits in Alzheimer's disease. A critical review. *Brain* 1999; 122: 383-404.
- Jason GW, Suchowersky O, Pajurkova EM, Graham L, Klimek ML, Garber AT, et al. Cognitive manifestations of Huntington disease in relation to genetic structure and clinical onset. *Arch Neurol* 1997; 54: 1081-8.
- Le-Bras C, Pillon B, Damier P, Dubois B. At which step of spatial working memory do striatofrontal circuits intervene in humans? *Neuropsychologia* 1999; 37: 83-90.
- Arnold GL, Kramer BM, Kirby RS, Plumeau PB, Blakely BM, Sanger-Cregan LS, et al. Factors affecting cognitive, motor, behavioral and executive function in children with phenylketonuria. *Acta Paediatr* 1998; 87: 565-70.
- Levin HS, Cuhane KA, Hartmann J, Evankovich K, Mattson AJ, Harward H, et al. Developmental changes in performance on tests of purported frontal lobe functioning. *Dev Neuropsychol* 1991; 7: 377-95.
- Welsh MC, Pennington BF, Groisser DB. A normative-developmental study of executive function: a window on prefrontal function in children. *Dev Neuropsychol* 1991; 7: 131-49.
- Barkley RA. ADHD and the nature of self-control. New York: Guilford Press; 1997.
- Loge DV, Staton RD, Beatty WW. Performance of children with ADHD on test sensitive to frontal lobe dysfunction. *J Am Acad Child Adolesc Psychiatry* 1990; 29: 540-5.
- Grodzinsky GM, Diamond R. Frontal lobe functioning in boys with attention deficit-hyperactivity disorder. *Dev Neuropsychol* 1992; 8: 427-45.
- Reader MJ, Harris EL, Schuerholz LJ, Denkla MB. Attention deficit hyperactivity disorder and executive dysfunction. *Dev Neuropsychol* 1994; 10: 493-512.
- Seidman LJ, Biederman J, Faraone SV, Weber W, Ouellette C. Toward defining a neuropsychology of attention deficit hyperactivity disorder: performance of children and adolescents from a large clinically referred sample. *J Consult Clin Psychol* 1997; 65: 156-60.
- Seidman LJ, Biederman J, Faraone SV, Weber W, Mennin D, Jones J. A pilot study of neuropsychological function in girls with ADHD. *J Am Acad Child Adolesc Psychiatry* 1997; 36: 366-73.
- Seidman LR, Biederman J, Weber W, Hatch M, Faraone SV. Neuropsychological function in adults with attention-deficit hyperactivity disorder. *Biol Psychiatry* 1998; 44: 260-8.
- McCarthy RA, Warrington EW, eds. *Cognitive Neuropsychology. A Clinical introduction*. San Diego CA: Academic Press; 1990. p. 343-64.
- Norman D, Shallice T. Attention to action: willed and automatic control of behavior. In Davidson RJ, Schwartz GE, Shapiro D, eds. *Consciousness and Self-regulations. Advances in research and theory*. Vol. 4. New York: Plenum Press; 1986. p. 1-18.
- Goldman-Rakic PS. Circuitry of primate prefrontal cortex and regulation of behavior by representational memory. In Plum F, Mountcastle V, eds. *Handbook of Physiology. The nervous system*. V. Bethesda: American Physiological Society; 1987. p. 373-417.
- Mirsky AF. Disorders of attention: a neuropsychological perspective. In Lyon RG, Krasnegor NA, eds. *Attention, memory and executive function*. Baltimore: Paul H. Brookes; 1996. p. 71-96.
- Herschkowitz N. Brain development in the fetus, neonate and infant. *Biol Neonate* 1988; 54: 1-9.
- Smith ML, Kates MH, Vriezen ER. The development of frontal functions. In Segalowitz SJ, Rapen I, eds. *Handbook of Neuropsychology*. Vol. 7. Amsterdam: Elsevier Science Publishers; 1992. p. 309-30.
- Estévez-González A, García-Sánchez C, Barraquer-Bordas LL. Los lóbulos frontales: el cerebro ejecutivo. *Rev Neurol* 2000; 31: 566-77.
- Stuss DT, Benson DF. Neuropsychological studies of the frontal lobes. *Psychological Bull* 1984; 95: 3-28.
- Ruiz-Vargas JM. Atención y control: modelos y problemas para una integración teórica. *Rev Psicol Gral Aplic* 1993; 46: 125-37.
- Lezak MD. The problem of assessing executive function. *Int J Psychol* 1982; 17: 281-97. Citado en Patterson MB, Mack JL, Geldmacher DS, Whitehouse PJ. Executive functions and Alzheimer's disease: problems and prospects. *Eur J Neurol* 1996; 3: 5-15.
- Luria AR. *The working brain*. London: Penguin Books; 1973. p. 79-80.
- Mateer C, Williams D. Effects of frontal lobe injury in childhood. *Dev Neuropsychol* 1991; 7: 359-76.
- Dinklage D, Barkley RA. Disorders of attention in children. In Segalowitz SJ, Rapen I, eds. *Handbook of Neuropsychology*. Vol. 7. Amsterdam: Elsevier Science Publishers; 1992. p. 279-307.
- Estévez-González A, García-Sánchez C, Junqué C. La atención: una compleja función cerebral. *Rev Neurol* 1997; 25: 1989-97.
- Mesulam MM. Attention, confusional states and neglect. In Mesulam MM, ed. *Principles of behavioral Neurology*. Philadelphia: Davis Company; 1985. p. 125-68.
- Young GB, Pigott SE. Neurobiological basis of consciousness. *Arch Neurol* 1999; 56: 153-7.
- Posner MI, Petersen SE. The attention system of the human brain. *Ann Rev Neurosci* 1990; 13: 24-42.
- Colby C. The neuroanatomy and neurophysiology of attention. *J Child Neurol* 1991; 6 (Suppl): S88-116.
- Ford JM, Sullivan EV, Marsh L, White PM, Lim KO, Pfefferbaum A. The relationship between P300 amplitudes and regional grey matter

- volumes depends upon the attentional system engaged. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 1994; 90: 214-28.
35. Mattingley JB. Right hemisphere contributions to attention and intention. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 1999; 67: 5.
 36. Cummings JL. Frontal-subcortical circuits and human behaviour. *Arch Neurol* 1993; 50: 873-80.
 37. Tomita H, Ohbayashi M, Nakahara K, Hasegawa I, Miyashita Y. Top-down signal from prefrontal cortex in executive control of memory retrieval. *Nature* 1999; 401: 699-703.
 38. Kimberg DY, D'Esposito M, Farah M. Frontal lobes: cognitive neuropsychological aspects. In Feinberg TE, Farah M, eds. *Behavioral Neurology and Neuropsychology*. New York: McGraw-Hill; 1997. p. 409-18.
 39. Fuster JM. The prefrontal cortex and temporal integration. In Jones EG, Peters A, eds. *Cerebral cortex*. Vol. 4. Association and auditory cortices. New York: Raven Press; 1989.
 40. Baddeley A. Working memory. *Science* 1992; 255: 556-9.
 41. Narbona J. Déficit de atención e hiperactividad. En Narbona J, Chevrier-Muller C, eds. *El lenguaje del niño. Desarrollo normal, evaluación y trastornos*. Barcelona: Masson; 1997. p. 327.
 42. American Psychiatric Association. *DSM-IV Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders*. 4 ed. Washington: APA; 1994. Edición española: *DSM-IV. Manual de Diagnóstico y Estadística de los Trastornos Mentales*. Barcelona: Masson; 1995.
 43. Still GF, Cantab MD, Lond FRCP. The coulstonian lectures on some abnormal psychical conditions in children. *Lancet* 1902: 1008-12, 1077-82, 1163-8.
 44. Ebaugh FG. Neuropsychiatric sequelae of acute epidemic encephalitis in children. *Am J Dis Chil* 1923; 25: 89-97.
 45. Von Economo C. *La encefalitis letárgica. Sus secuelas y su tratamiento*. Madrid: Espasa-Calpe; 1932. p. 192-3.
 46. Douglas V. Stop, look and listen: the problem of sustained attention and impulse control in hyperactive and normal children. *Can J Behav Sci* 1972; 4: 261-82.
 47. Hydn GW, Semrud-Clikeman M, Lorys AR, Novey ES, Eliopoulos D. Brain morphology in developmental dyslexia and attention deficit disorder/hyperactivity. *Arch Neurol* 1990; 47: 919-26.
 48. Lou HC, Enriksen L, Bruhn P, Borner H, Nielsen JB. Striatal dysfunction in attention deficit hyperkinetic disorder. *Arch Neurol* 1989; 46: 48-52.
 49. Filipek PA, Semrud-Clikeman M, Steingard RJ, Renshaw PF, Kennedy DN, Biederman J. Volumetric MRI analysis comparing subjects having attention-deficit hyperactivity disorder and normal controls. *Neurology* 1997; 48: 589-601.
 50. Mataró M, García-Sánchez C, Junqué C, Estévez-González A, Pujol J. Magnetic resonance measurement of the caudate nucleus in adolescents with attention-deficit hyperactivity disorder and its relationship with neuro-psychological and behavioral measures. *Arch Neurol* 1997; 54: 963-8.
 51. Hydn GW, Hern KL, Novey ES, Eliopoulos D, Marshal R, González JJ, et al. Attention-deficit hyperactivity disorder and asymmetry of the caudate nucleus. *J Child Neurol* 1993; 8: 339-47.
 52. Baumgardner TL, Singer HS, Denckla MB, Rubin MA, Abrams MT, Colli MJ, et al. Corpus callosum morphology in children with Tourette syndrome and attention deficit hyperactivity disorder. *Neurology* 1996; 47: 477-82.
 53. Hydn GW, Lorys AR, Semrud-Clikeman M, Nieves N, Huettner MIS, Lahey B. Attention deficit disorder without hyperactivity: a distinct behavioral and neurocognitive syndrome. *J Child Neurol* 1991; 6 (Suppl): S35-41.
 54. Semrud-Clikeman M, Filipek PA, Biederman J, Steingard R, Kennedy D, Renshaw P, et al. Attention-deficit hyperactivity disorder: Magnetic resonance imaging morphometric analysis of the corpus callosum. *J Am Acad Child Adolesc Psychiatry* 1994; 33: 875-81.
 55. Steere G, Arnsten AFT. Corpus callosum morphology in ADHD. *Am J Psychiatry* 1995; 152: 1105-7.
 56. Bush G, Frazier JA, Rauch SL, Seidman LJ, Whalen PJ, Jenike MA, et al. Anterior cingulate cortex dysfunction in attention-deficit/hyperactivity disorder revealed by fMRI and the counting Stroop. *Biol Psychiatry* 1999; 45: 1542-52.
 57. Zametkin AJ, Nordahl TE, Gross M, King C, Semple WE, Rumsey J, et al. Cerebral glucose metabolism in adults with hyperactivity of childhood onset. *N Engl J Med* 1990; 323: 1361-6.
 58. Zametkin AJ, Liebenauer LL, Fitzgerald GA, King AC, Minkunas DV, Herscovitch P, et al. Brain metabolism in teenagers with attention deficit hyperactivity disorder. *Arch Gen Psychiatr* 1993; 50: 333-40.
 59. Rubia K, Overmeyer S, Taylor E, Braummer M, Williams SC, Simmons A, et al. Hypofrontality in attention deficit hyperactivity disorder during higher-order motor control: a study with functional MRI. *Am J Psychiatry* 1999; 56: 891-6.
 60. Houghton S, Douglas G, West J, Whiting K, Melvyn W, Langford S, et al. Differential patterns of executive function in children with attention-deficit hyperactivity disorder according to gender and subtype. *J Child Neurol* 1999; 14: 801-5.

REVISIÓN CONCEPTUAL DEL SISTEMA EJECUTIVO Y SU ESTUDIO EN EL NIÑO CON TRASTORNO POR DÉFICIT DE ATENCIÓN E HIPERACTIVIDAD

Resumen. *Objetivos.* Revisión de las distintas teorías acerca del sistema ejecutivo (SE) y sus relaciones con la atención y la memoria de trabajo. *Descripción de la disfunción del SE en niños con trastorno por déficit de atención e hiperactividad (TDAH) y revisión de las teorías acerca del déficit neuropsicológico básico en el trastorno.* Desarrollo. Se realiza una definición terminológica y funcional del SE, revisando las distintas teorías existentes y tomando como punto principal de partida las teorías del control de la acción de Norman y Shallice. Asimismo, se define el concepto y se analizan las relaciones existentes entre la memoria de trabajo, la atención y el SE. Finalmente se revisa la evidencia sobre la alteración del SE en el niño con TDAH y las hipótesis recientes acerca de la posible naturaleza de la disfunción neuropsicológica que lo caracteriza. *Conclusiones.* Actualmente no existe una teoría universalmente aceptada acerca del funcionamiento del SE, pero los diversos autores coinciden en considerar que comprende los procesos cognitivos necesarios para la realización de acciones complejas, novedosas y con un objetivo. La atención es un componente distinto del SE, pero imprescindible para su actuación. La memoria de trabajo es uno de sus componentes principales, pero tampoco agota sus funciones. Aunque no se conoce bien el patrón de disfunción del SE característico del TDAH, hay evidencias recientes de dificultades específicas en la capacidad de inhibición comportamental. [REV NEUROL 2001; 33: 47-53]

Palabras clave. Atención. Déficit de atención. Función ejecutiva. Hiperactividad. Lóbulo frontal. Memoria de trabajo. Niños. Sistema ejecutivo.

REVISÃO CONCEPTUAL DO SISTEMA EXECUTIVO E SEU ESTUDO NA CRIANÇA COM PERTURBAÇÃO POR DÉFICE DE ATENÇÃO E HIPERATIVIDADE

Resumo. *Objectivo.* Revisão das distintas teorias relacionadas com o sistema executivo (SE) e suas relações com a atenção e a memória de trabalho. *Descrição da disfunção do SE em crianças com perturbação por défice de atenção e hiperactividade (PDAH) e revisão das teorias sobre défice neuropsicológico cardinal na perturbação.* Desenvolvimento. Realiza-se uma definição terminológica e funcional do SE, revendo as distintas teorias existentes e tomando como ponto principal de partida as teorias do controlo da acção de Norman e Shallice. Desta forma define-se o conceito e analisam-se as relações existentes entre a memória de trabalho, a atenção e o SE. Finalmente é revista a evidência sobre a alteração do SE na criança com PDAH e as recentes hipótese sobre a possível natureza da disfunção neuropsicológica que o caracteriza. *Conclusões.* Actualmente não existe uma teoria universalmente aceite sobre o funcionamento do SE, no entanto os diversos autores concordam em considerar que compreende os processos cognitivos necessários para a realização de acções complexas, novas e com um objectivo. A atenção é um componente distinto do SE, mas é imprescindível para a sua actuação. A memória do trabalho é um dos seus componentes principais, no entanto não esgota as suas funções. Embora o padrão de disfunção do SE característico da PDAH não esteja completamente esclarecido, existem evidências recentes de dificuldades específicas na capacidade de inibição comportamental. [REV NEUROL 2001; 33: 47-53]

Palavras chave. Atenção. Crianças. Défice atencional. Função executiva. Hiperactividade. Lobo frontal. Memória do trabalho. Sistema executivo.