

## TEMA – 8. FUNCIONES EJECUTIVAS Y APRENDIZAJE: I) NEUROANATOMÍA Y EVALUACIÓN

Joaquín Díaz Atienza  
Psiquiatra infanto-juvenil  
Dr. en Neurociencias

Unidad de Salud Mental Infanto-Juvenil de Almería

### CÓRTEX PREFRONTAL Y CONDUCTA

- ◇ Podríamos decir que las funciones ejecutivas se encargan del “mando y control”. Toda la información sensorial llega al córtex prefrontal en un estado “preprocesado”, necesitando de otros análisis en diferentes áreas.
- ◇ El córtex prefrontal recibe también información emocional y autonómica. Todos estos inputs son conectados a experiencias pasadas.
- ◇ El prefrontal ejerce un control top-down de la información que le llega y que considera relevante para el momento, en tanto que mantiene en “suspense” la información no relevante.
- ◇ Todos estos datos son integrados en el prefrontal frente a objetivos a corto y largo plazo y son utilizados para regular la conducta inmediata y planificación de conductas en el futuro.
- ◇ Se suelen desarrollar representaciones de escenarios “si-entonces”.
- ◇ Además, en oposición a otras redes neuronales que procesan tipos específicos de información (visual, auditiva, olfativa) o ligan esta información con otros tipos de información (ligar la información visual al reconocimiento de un objeto...), el córtex prefrontal procesa contingencias, realizándola de forma flexible a la situación apropiada más que responder de una forma rígida o de forma estereotipada.

Tabla 1: Funciones ejecutivas.

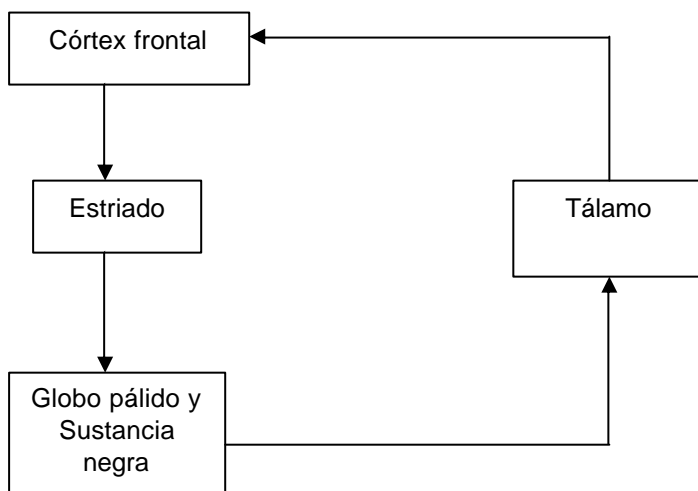
<ul style="list-style-type: none"><li>◇ <b>Regulación cognitiva</b><ul style="list-style-type: none"><li>○ Memoria de trabajo.</li><li>○ Regulación de la atención (incluyendo detección, vigilancia, control de la distraibilidad..)</li><li>○ Planificación</li><li>○ Establecimiento de objetivos y monitorización.</li><li>○ Estimación del tiempo.</li><li>○ Manejo del tiempo.</li><li>○ Organización de estrategias.</li><li>○ Flexibilidad mental, habilidad para cambiar los supuestos (set) cognitivos.</li><li>○ Fluencia y eficiencia del procesamiento.</li><li>○ Pensamiento abstracto y formación de conceptos.</li><li>○ Resolución de problemas novedosos y juicio.</li><li>○ Mantener el auto-conocimiento e identidad a lo largo del tiempo y el espacio.</li><li>○ Integración de la información socio-emocional en planes de futuro y conductas (incluye la sensibilidad hacia las emociones y estados cognitivos de los demás).</li></ul></li><li>◇ <b>Regulación conductual</b><ul style="list-style-type: none"><li>○ Iniciación del movimiento y de la conducta.</li><li>○ Inhibición de las respuestas motoras automáticas.</li><li>○ Mantenimiento del rendimiento motor a lo largo del tiempo.</li><li>○ Parar la respuesta motora cuando sea apropiado.</li><li>○ Habilidad para post-poner la gratificación inmediata (control del impulso).</li><li>○ Anticipación y sensibilidad hacia las consecuencias futuras de las acciones presentes.</li></ul></li><li>◇ <b>Regulación emocional</b><ul style="list-style-type: none"><li>○ Modulación del arousal emocional.</li><li>○ Modulación del humor</li><li>○ Estrategias de auto-alivio</li></ul></li></ul>
--

CÓRTEX PREFRONTAL Y ÁREAS SUBCORTICALES RELACIONADAS.

1. **Regiones corticales**

- ◇ El lóbulo frontal está dividido en tres áreas: *Córtex premotor, córtex motor primario, y córtex prefrontal*. Todas estas regiones están íntimamente conectadas entre ellas, con otras regiones corticales y subcorticales. Sin embargo, cada una de ellas presenta funciones específicas. (Figura -1).
- ◇ El córtex prefrontal es la última estructura en desarrollarse, tanto filogenético como ontogenéticamente.
- ◇ Basándose en características citoarquitectónicas y de conectividad, el córtex prefrontal se divide, a su vez, en tres regiones, siendo cada una de ellas parte de un sistema cortico-subcortical: *el circuito dorsolateral, el circuito orbitofrontal y el circuito cingulado anterior* (Figura – 2). También se incluye el cerebelo.

Figura 1: Circuitos córtico-estriado-talámico-cortical



2. **Ganglios basales y el tálamo**

Los *ganglios basales* está formado por el estriado (caudado y putamen y acumbens), pálido y la parte reticulada de la sustancia negra. Son ricos en neurotransmisores excitatorios e inhibitorios (glutamato, dopamina, serotonina, acetilcolina y gamma-aminobutírico (GABA)).

El *tálamo* es un núcleo subcortical que integra los inputs sensoriales, motores e información emocional-cognitiva, enviando esta información al córtex. Juega un importante papel en el mantenimiento del arousal.

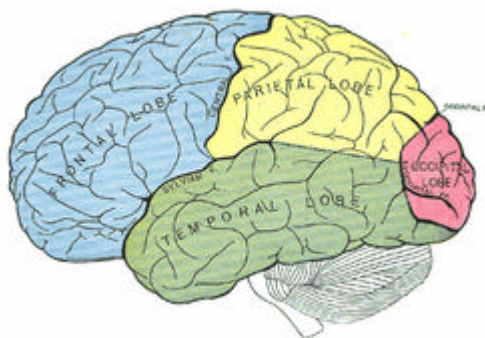
Los ganglios basales y el tálamo están conectados a áreas específicas del córtex a través de un determinado número de circuitos paralelos córtico-estriado-tálamo-corticales. Las neuronas corticales envían inputs excitatorios (glutaminérgicas) hacia regiones específicas del estriado dorsal (caudado o putamen) o al estriado ventral (núcleo accumbens). Las regiones específicas del estriado, a su vez, proyectan hacia el globo pálido/sustancia negra, quién, a su vez, proyecta hacia núcleos específicos del tálamo. El tálamo las envía (excitatorias), a su vez a una región específica del córtex, cerrando el circuito. Los circuitos del estriado ventral que procesan la emoción y las respuestas autonómicas forman parte del sistema límbico. Los cuales, a su vez, forman parte de un circuito que integran las funciones autonómicas, la emoción y la memoria. Los circuitos descritos siguen un patrón funcional general como el descrito, aunque también implicar al cingulado anterior, el córtex orbitofrontal medial, amígdala e hipocampo.

Tanto el estriado como otras estructuras de los ganglios basales sirven para seleccionar y ejecutar los programas cognitivos y motores. Estas funciones están subcomandadas, a su vez,

por una compleja red de neuronas excitadoras e inhibitoras que implican a una gran variedad de neurotransmisores.

El estriado a nivel celular se divide en dos partes: la matriz y los estriosomas. La matriz regula la función motora y los estriosomas las conductas emocionales y cognitivas. De aquí la complejidad de los síntomas cuando se ve afectada cualquier parte del circuito descrito.

Figura 2. El cerebro



### **El cerebelo.**

Actualmente al cerebelo se le reconoce un importante rol en la regulación de procesos tales como el lenguaje, organización visoespacial, memoria, planificación y secuenciación, respuesta emocional, y personalidad. Su relación con las funciones ejecutivas está ampliamente apoyado. Sabemos que el córtex prefrontal dorsolateral proyecta hacia el neocerebelo, igual que éste lo hace hacia el prefrontal dorsolateral.

El cerebelo está anatómicamente organizado para procesar la información en paralelo, así como para preservar la modularidad. Igualmente, presenta conexiones con otras áreas cerebrales implicadas en el procesamiento de material cognitivo.

Estudios de neuroimagen han demostrado como reaccionan al mismo tiempo el prefrontal dorsolateral y el cerebelo ante tareas cognitivas. Normalmente, se acepta que ambas regiones se activan ante tareas difíciles o novedosas, tareas cambiantes o que requieren una respuesta rápida y concentración, así como aquellas que requieren de la memoria de trabajo (Diamond, 2000).

Se ha propuesto un Síndrome Cognitivo-emocional cerebelar con un parecido clínico al producido por lesiones prefrontales e indisoluble de los déficits motores. Incluye los siguientes síntomas: alteraciones del lenguaje, alteraciones conductuales, irritabilidad, problemas atencionales y síntomas cercanos a los trastornos del espectro autista. También suele presentarse déficit en la puesta a punto en cambios de planes, fluencia verbal, razonamiento abstracto y memoria de trabajo. Sin embargo, en niños a los que se les ha extirpado astrocitomas cerebelares, han presentado los siguientes síntomas: Alteración de memoria en el 100%, déficit de atención 83%, déficit en funciones ejecutivas 74%, alteraciones conductuales 48% y alteración en la regulación afectiva (Arsen y cols, 2004).

### **CIRCUITOS FRONTO-SUBCORTICALES**

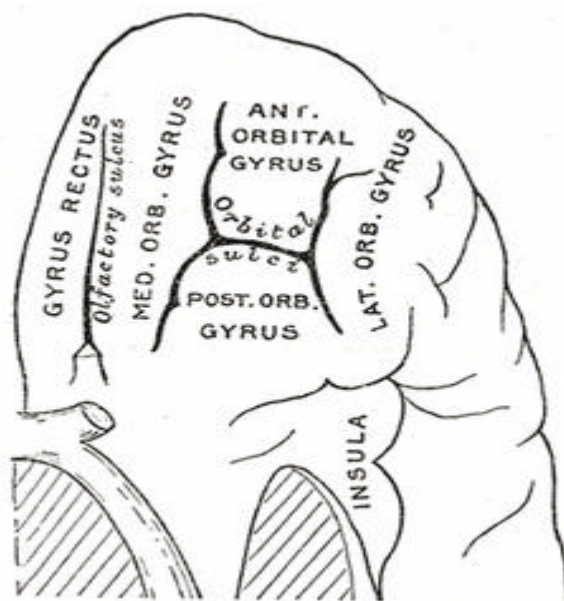
Existen circuitos de otras áreas cerebrales que conectan con los ganglios basales y el tálamo. Nosotros nos referiremos a aquellos que presentan un rol importante en las funciones ejecutivas.

#### **1. Circuito dorsolateral.**

El área dorsolateral prefrontal está localizada en la parte alta y lateral del córtex frontal y recibe conexiones de los lóbulos temporales y parietales. Se encarga de llevar información acerca de la localización (¿Dónde?), caras (¿quién?), acerca del significado de los objetos (¿qué?) y de

la interpretación de las emociones de los demás (¿Qué sienten?). Por tanto, presenta un rol muy importante en el control, regulación e integración de la actividad cognitiva. Media en el mantenimiento y focalización de la atención, control de la distraibilidad, y sitúa el foco cognitivo así como la flexibilidad cognitiva cuando es necesario, está implicado en la memoria y generación de la actividad no verbal y de la fluencia verbal. Las personas con disfunciones severas del área prefrontal dorsolateral “olvidan recordar”. Sus déficits alteran la memoria de trabajo, presentando dificultades para mantener una cierta información “online”, alterando aquellas funciones que la necesitan.

Figura 3. Superficie orbitaria del lóbulo frontal izquierdo



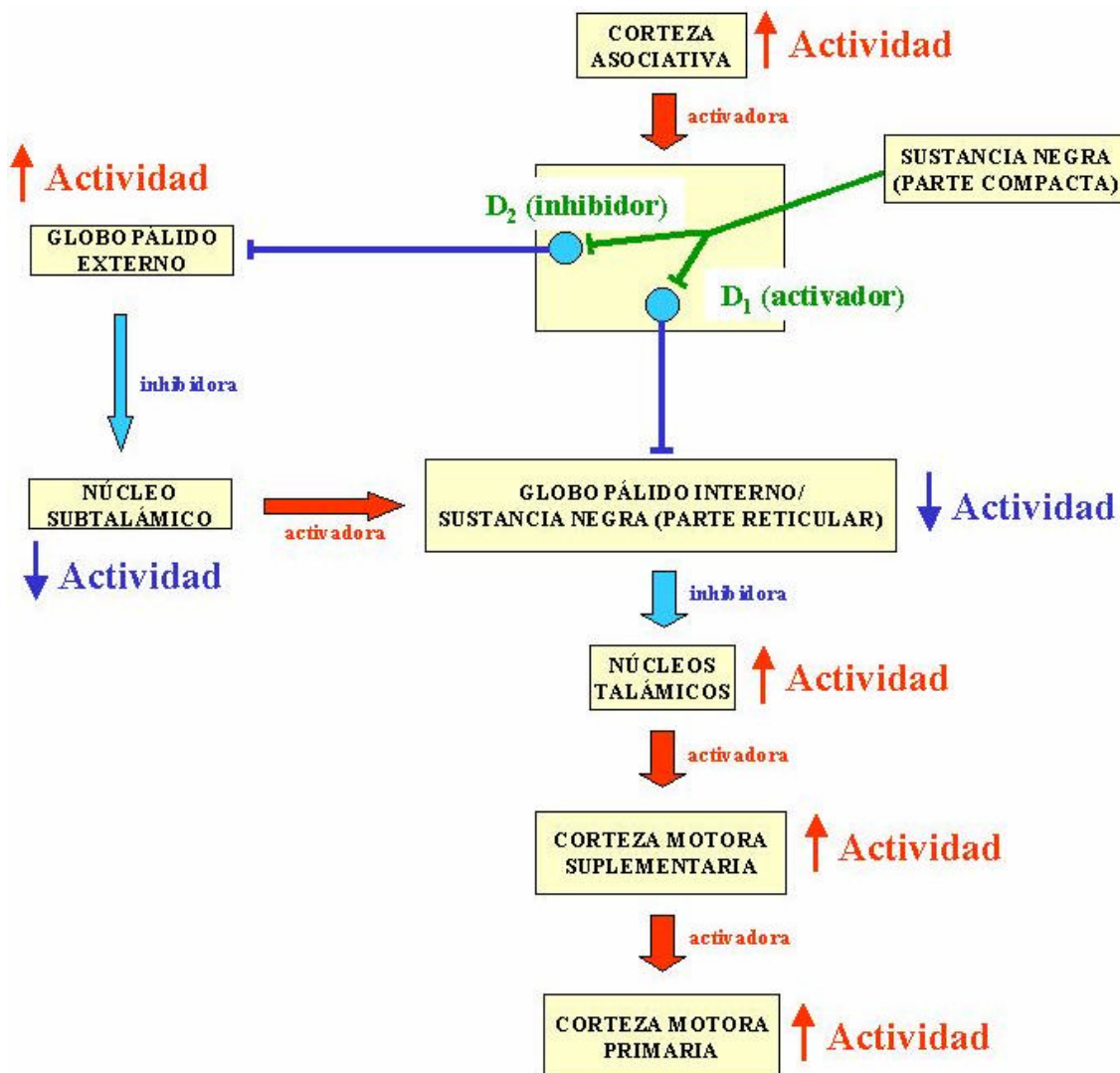
### **Circuito orbitofrontal.**

Está situado en la parte más anterior del córtex frontal y está considerado como una estructura de convergencia polimodal. Forma parte del circuito límbico y consta de dos subcircuitos: el orbitofrontal lateral que conecta con el caudado ventromedial, el globo pálido, la parte reticulada de la sustancia negra, el núcleo ventral anterior del tálamo y retornan al al córtex medial orbitofrontal. El subcircuito medial orbitofrontal sigue las mismas vías, aunque inicialmente envía conexiones al estriado ventral. Estos circuitos integran información emocional y autonómica y recuerdos de programas conductuales. Modulan la conducta social, incluyendo aspectos de empatía, moralidad, autocontrol y restricciones sociales. Su alteración pueden originar conductas de tipo psicopático por ausencia de empatía y comprensión de los sentimientos de los demás.

### **2. Circuito cíngulo anterior.**

Es considerado como parte del sistema límbico. En concreto, las regiones sub-callosales del cíngulo que está especialmente conectado con las zonas orbitofrontales están involucradas en la regulación autonómica de la expresión emocional. La región suparacallosal se activan en el control ejecutivo, atención dividida, detección de errores, monitorización de respuestas y en la iniciación y mantenimiento de conductas. Presenta un rol muy especial en la atención, arousal, emoción y motivación. La lesión del cíngulo anterior dará lugar a falta de motivación, apatía, respuestas monosilábicas, desinterés hacia el ambiente exterior, atención pobre, hipoactividad, aplanamiento afectivo y mutismo.

Figura 4. Ganglios basales. Vía dopaminérgica



### ESPECIALIZACIÓN HEMISFÉRICA DE CÓRTEX PREFRONTAL

Tradicionalmente se ha adjudicado al hemisferio izquierdo las funciones cognitivas relacionadas con el lenguaje, en tanto que en el hemisferio derecho procesaba las funciones visoespacial. Actualmente este planteamiento es considerado una simplificación excesiva y se considera que el hemisferio derecho está especializado en resolver cognitivamente las situaciones novedosas, en tanto que el izquierdo en la rutinización de las representaciones y estrategias, incluyendo el lenguaje (Podell y cols, 2001).

El lóbulo frontal izquierdo está más especializado en los contenidos de la memoria de trabajo y de las demandas típicas de contextos específicos, en tanto que el frontal derecho desempeña un papel crítico en el ajuste de las respuestas del organismo para cambiar los estímulos ambientales.

La lesiones del hemisferio izquierdo están básicamente asociadas con déficits relacionados con el lenguaje (reducción de la fluencia verbal y lenguaje espontáneo), en tanto que las

producidas en el hemisferio derecho se dan en el procesamiento visoespacial y en la comunicación no verbal.

Tanto el prefrontal izquierdo como el derecho presentan, igualmente, diferencias en cuanto al procesamiento emocional: los síntomas depresivos y ansiosos presentan reactividad en el prefrontal derecho, en tanto que los llantos y risas inmotivados, indiferencia, euforia y los síntomas maniacos aparecen en el prefrontal derecho.

## EVALUACIÓN DE LAS FUNCIONES EJECUTIVAS EN LA INFANCIA

Los déficit en las funciones ejecutivas no son exclusivas del TDAH, sino que suelen presentarse en una amplia variedad de trastornos neuropsiquiátricos y recogemos en la Tabla 2.

Tabla 2. Algunos trastornos neuropsiquiátricos en niños y adolescentes.

1. TDAH.
2. Trastornos de conducta.
3. Depresión.
4. Trastorno bipolar.
5. Trastorno obsesivo-compulsivo.
6. Síndrome de la Tourette.
7. Enfermedad de Huntington.
8. Enfermedad de Wilson.
9. Esquizofrenia.
10. Autismo.
11. Síndrome de Asperger.
12. Trastorno del desarrollo no verbal.
13. Síndrome de Turner.
14. Síndrome X-Frágil.
15. Fenilcetonuria.
16. Tumores frontales.
17. Traumatismos cerebrales.
18. Epilepsia parcial compleja del lóbulo frontal.
19. Síndrome de Williams.
20. Hidrocefalia.
21. Síndrome alcohólico fetal.
22. Leucodistrofia metacromática.
23. Tumores cerebelares.

Por tanto, si tenemos en cuenta la gran variedad de trastornos que pueden presentar déficits en las funciones ejecutivas, es fácil comprender que su evaluación debe realizarse con un amplio rango de fuentes de información: desenvolvimiento diario, habilidades intelectuales, rendimiento académico, aspectos del temperamento y personalidad, ajuste social etc... La información debe conseguirse a través del niño, la escuela y la familia.

### 1. **Evaluación conductual:**

Debe realizarse una evaluación conductual a través de la observación y la entrevista con los padres y profesores. Al mismo tiempo se debería realizar una entrevista psiquiátrica con vistas a detectar o descartar cualquier tipo de comorbilidad.

## 2. ***Evaluación neuropsicológica:***

En concepto funcional de función ejecutiva es un constructo multidimensional y de límites imprecisos. Por tanto, la aproximación evaluativa nos proporcionará una información útil, aunque insuficiente para entender en su totalidad lo que se define como funciones ejecutivas.

Este apartado está basado en el artículo de Soprano (2003) que se ha añadido como material complementario en este tema.

Esta autora sigue los planteamientos de Lezak en el sentido de fragmentar las funciones ejecutivas en distintas áreas, como forma de entender mejor su complejidad. Considera cuatro aspectos básicos:

- *Volición:*

Consiste en la capacidad del niño para formalizar un objetivo y establece activamente las conductas y planes para conseguirlo. En la volición intervienen la motivación y la conciencia de uno mismo como requisitos básicos para que pueda presentarse el deseo. Se evalúa a través de la entrevista con el niño y familiares.

- *La planificación – organización:*

En definitiva se trata de la capacidad del sujeto para, una vez decido alcanzar un objetivo, detectar los pasos necesarios, así y los elementos que se consideren necesarios para alcanzar el objetivo. En definitiva establecer, desde el punto de vista organizativo, la estrategia pertinente. Este aspecto necesita además del concurso del control de los impulsos, recursos de memoria y de la atención.

Existen distintas pruebas para evaluarlas: la prueba de cubos del WSC-R, además de medir la capacidad visoespacial, nos indica las habilidades del niño para organizarse en base al objetivo que se le propone. Lo mismo podríamos decir de los laberintos. La figura de Rey es otra prueba que implica memoria visual y capacidad de ejecución. Nosotros utilizamos la Torre de Hanoi, aunque está, igualmente la de Londres, entre la más usada.

- *Intencionalidad:*

*“Plasmar una intención o plan en una actividad productiva requiere iniciar, mantener, cambiar y detener secuencias de conducta complejas de una manera ordenada e integrada”.* En su evaluación se suelen utilizar pruebas de flexibilidad cognitiva y conductual. Las más utilizadas son las pertenecientes al paradigma *go-nogo*. Igualmente, aquellas que nos puedan indicar la persistencia en la realización de una tarea.

- *Ejecución efectiva:*

La ejecución de un plan se considera efectiva cuando se dan las condiciones necesarias de autorregulación, autocontrol y duración e intensidad en el tiempo necesarios.

## TEST MÁS IMPORTANTES PARA EVALUAR LAS FUNCIONES EJECUTIVAS

Véase Tabla 3.

Tabla 3. Pruebas para evaluar las funciones ejecutivas.

1. Behavior Rating Inventory of Executive Functions (BRIEF)
2. Delis-Kaplan Executive Function System (EID-KEFS)
3. Test de clasificación de tarjetas de Wisconsin (WCST)
4. Test de emparejamiento de figuras familiares (MFFT)
5. Test de emparejamiento de imágenes (AI)
6. Escalas Magallanes de impulsividad computarizada (EMIC)
7. Test Stroop de colores y palabras
8. Tareas de ejecución no-ejecución
9. Torre de Londres
10. Torre de Hanoi.
11. Torre de Toronto.
12. Torre NEPSY
13. Laberintos de Porteus y laberintos del WISC
14. Torre de senderos
15. Torre de senderos en color.
16. Test de usos de objetos.
17. Test de usos alternativos.
18. Test de fluidez verbal (oral y escrita).
19. Test de fluidez visual.

Solo veremos brevemente:

**1. BRIEF (Behavior rating inventory of executive functions)**

Existen dos versiones, una para padres y otra para profesores. Contienen 86 apartados y evalúa ocho áreas. Creemos que es una de los instrumentos más útiles para planificar la intervención terapéutica, incluyendo el ámbito psicopedagógico:

**3. Inhibición.**

Mide la capacidad para inhibir la impulsividad de forma apropiada al plan en ejecución.

**4. Cambio.**

Capacidad para cambiar el foco de atención de forma apropiada. Flexibilidad.

**5. Control emocional.**

No solo influye la función ejecutiva en las emociones, sino que éstas, a su vez, interfieren o facilitan las mismas. En éste área se mide la influencia de la función ejecutiva en la expresión emocional.

**6. Memoria de trabajo.**

Mide la capacidad para mantener determinada información útil para la realización de una tarea. Más adelante se abordará este aspecto de forma específica.

**7. Organización y planificación.**

Pueden considerarse la base de las habilidades en la resolución de problemas. La organización implica ordenar la información de forma adecuada y jerarquizada en base a su importancia para realizar un plan. Planificación es el establecimiento de un camino secuenciado para conseguir un objetivo de la mejor forma posible.



## **8. Orden.**

Forma parte de la organización y consiste en la habilidad para mantener todos los elementos necesarios localizados y disponibles.

## **9. Control.**

Es la monitorización de la acción y de la cognición en base a los logros y fracasos en las distintas tareas. Comprende la habilidad para controlar el propio rendimiento y evaluar los resultados de las acciones realizadas. Otro aspecto es la capacidad de autocontrol a través de la toma de conciencia de los efectos que nuestras conductas provocan en los demás.

### **2. Test de clasificación de tarjetas de Wisconsin.**

El niño debe descubrir el criterio de clasificación de una serie de cartas a través del emparejamiento y que varían en función de tres características: color, forma y número. Aunque el explorador proporciona información cada vez que el niño acierta, no explicita el criterio de clasificación. Cada diez clasificaciones correctas, se cambia el criterio sin aviso, debiendo el niño descubrir el nuevo criterio por sí mismo. Suelen aparecer errores de perseveración que intentan minimizarlo con las nuevas baremaciones.

Es una buena prueba para medir las funciones ejecutivas y se emplea frecuentemente para evaluar la función prefrontal. En definitiva, evalúa el razonamiento abstracto y la habilidad para cambiar con más o menos flexibilidad de estrategia frente a los cambios estímulares ambientales.

### **3. Tareas de ejecución no-ejecución.**

Son pruebas sencillas de realizar y están encaminadas a medir la capacidad de inhibición de respuesta. En definitiva son pruebas de interferencia.. La más clásica es la denominada *Tapping de Luria*. Consiste en la tarea de golpear dos veces cuando el examinador golpea una, y al contrario. Se alcanza el techo de rendimiento a los siete años. Otra prueba es la *Tarea noche-día*, consiste en presentar tarjetas con fondo negro y estrellado y otras con fondo blanco y soleado: el niño debe decir noche en esta última y día en la primera. Se requiere una respuesta verbal ante un estímulo incongruente visual. En el *tappnig* se trata, evidentemente, de una respuesta motora ante un estímulo auditivo.

### **4. Torre de Hanoi.**

Consiste en presentar al niño tres ejes verticales. En el primero de ellos se colocan de forma creciente y un mínimo de tres debiéndolos colocar en el tercero de ellos. Solo puede hacerlo de uno en uno y colocarlos de mayor a menor. Se mide el tiempo y el número de intentos. Esta prueba necesita un buen recurso de memoria de trabajo, tanto para mantener las normas como para anticipar movimientos en base a la predicción mental de configuraciones intermedias. Nosotros utilizamos la versión computarizada.

### **5. Laberintos.**

Nosotros utilizamos los laberintos del WISC-R. El niños debe partir del centro y realizar un trazo con el lápiz hasta la salida sin levantarlo, sin realizar falsos recorridos n traspasar la línea continua. No solo mide la coordinación vasomotora, sino igualmente la capacidad de planificación y control de la impulsividad.

### **6. El Stroop.**

Existen bastantes versiones. Nosotros utilizamos uno realizado por ordenador. En pantalla aparece una palabra que indica un color que puede coincidir o no. Es decir, puede parece la palabra verde pero escrita en azul. En esta circunstancia el niño debe pulsar la tecla F (falso). Cuando coincide palabra y color pulsa la tecla V. Mide el tiempo de reacción a cada estímulo (interferencia), así como los errores y aciertos con sus respectivos tiempos de respuesta. El

*Efecto Stroop* consiste en un mayor número de errores y latencia de respuesta cuando no coinciden color y palabra. Se expresa en un Índice de Interferencia que en los niños normales es cero o cercano a cero.

#### BIBLIOGRAFÍA

Aarsen FK, Van Dongen HR, Paquier PF y cols. Long-term sequelae in children after cerebellar astrocytoma surgery. *Neurology* 2004;62:1311-1316.

Diamond A. Close interrelation of motor development and cognitive development and of the cerebellum and prefrontal cortex. *Child Dev*, 2000; 71:44-56.

Podell K, Lowell M, Goldberg E: Lateralization of frontal lobe functions, in Duffy JD (ed): *The frontal Lobes and Neuropsychiatric Illness*. Washington, DC, American Psychiatric Publishing, 2001, 83-99.

Soprano AM. Evaluación de las funciones ejecutivas en el niño. *Rev Neurol* 2003; 37(1): 44-50.