

SESIÓN 4 — Bases neurológicas: corteza prefrontal y conexiones

Curso: Funciones Ejecutivas y Metacognición (4 sesiones de 1h) ·
Neo-educación

Generado por PDF Project

0. Antes de la sesión (trabajo flipped)

Para aprovechar la hora presencial, el estudiante debió revisar en casa:

- El concepto de **funciones ejecutivas** (memoria de trabajo, control inhibitorio, flexibilidad cognitiva) introducido en las Sesiones 1-3 del AE1.
- Un video de 8 min sobre **neuroanatomía básica del lóbulo frontal**.
- Lectura de una página sobre el **caso clínico de Phineas Gage** como antecedente histórico.

En clase NO repetiremos la definición: dedicaremos el tiempo a mapear las estructuras, conectarlas en circuitos y resolver casos. Trae tus dudas de la lectura anotadas.

1. Objetivos de la sesión

Al cerrar el AE1 el estudiante será capaz de:

1. Identificar las tres subdivisiones funcionales de la corteza prefrontal (dorsolateral, orbitofrontal, cingulada anterior) y su rol en el aprendizaje. 2. Explicar cómo la corteza prefrontal se conecta con tálamo, ganglios basales, cerebelo y amígdala para formar circuitos ejecutivos. 3. Describir el síndrome de lóbulo frontal (Luria, 1966) y aplicarlo al caso EVR (Eslinger & Damasio, 1985). 4. Argumentar por qué la maduración prefrontal hasta los ~20-25 años tiene implicaciones directas para el diseño de la instrucción.

2. Mapa de la corteza prefrontal

La corteza prefrontal (CPF) es la porción más anterior del lóbulo frontal. No procesa información sensorial ni motora primaria: es la "directora de orquesta" del comportamiento dirigido a metas. Fuster (1980, 2008) la definió como el órgano de la organización temporal de la conducta — integra el pasado (memoria) y el futuro (plan) en la acción presente.

Las tres subdivisiones funcionales de la corteza prefrontal

| Subdivisión | Localización | Función ejecutiva principal | ¿Qué falla si se daña? |
|---|---|---|---| | Corteza prefrontal dorsolateral (CPFdl) | Parte superior/lateral del lóbulo frontal | Memoria de trabajo, planificación, razonamiento, control cognitivo | No sostiene la información en mente; pierde el hilo de la tarea | | Corteza orbitofrontal (CPFo) | Cara inferior, sobre la órbita ocular | Valoración, toma de decisiones, regulación afectiva | Decide "bien" sobre el papel pero desastroso en la vida real | | Corteza cingulada anterior (CCA) | Giro cingulado, medial | Detección de conflicto, atención selectiva, motivación | No nota el error; falta de "freno" y de iniciativa |

Cita clave: Miller & Cohen (2001), en su teoría integradora de la función prefrontal y su trabajo *The role of prefrontal cortex in category learning*, sostienen que la CPF representa metas y reglas y las usa para sesgar la actividad de otras regiones del cerebro según el contexto. Aprender es, en este marco, categorizar y aplicar reglas mediante la CPF.

3. Corteza prefrontal dorsolateral (CPFdl)

- Es la base neural de la **memoria de trabajo** (Goldman-Rakic, 1987). Sus neuronas mantienen representaciones activas ("la regla del problema") aunque el estímulo desaparezca.
- Regula la **planificación** y la **flexibilidad cognitiva**: cambiar de estrategia cuando la anterior falla.
- Conecta masivamente con **parietal** (atención espacial) y **temporal** (memoria).
- En el aula: leer un enunciado y retenerlo mientras resuelves, o seguir una rúbrica de 4 pasos, depende de la CPFdl.

Goldman-Rakic (1987) demostró en primates que la CPFdl sustenta la memoria por representación (representational memory) y que su maduración es lenta y vulnerable.

4. Corteza orbitofrontal (CPFo)

- Evalúa **consecuencias y valor** de las acciones; integra señales de recompensa y castigo.
- Conecta con la **amígdala** y el **sistema límbico**: traduce lo emocional en una decisión.
- Daña con relativa frecuencia en traumatismos frontales (su cara inferior es frágil contra el hueso orbitario).
- En el aula: anticipar que "estudiar ahora evita reprobar luego" es una función orbitofrontal.

5. Corteza cingulada anterior (CCA)

- Detecta **conflicto y error** (señal de "algo no encaja").
- Regula la **atención sostenida** y la **motivación/esfuerzo** (Stuss & Knight, 2002/2013).
- Conecta con el **tálamo** (vía núcleo mediodorsal) y con la motora suplementaria.
- En el aula: darse cuenta de que uno se distrajo y volver a la tarea es CCA.

6. Circuitos de conexión: la PFC no trabaja sola

conexiones

La PFC como nodo de redes en bucle

La corteza prefrontal no actúa aislada: forma circuitos en bucle (loops) con estructuras subcorticales. Cada subdivisión proyecta a un núcleo del tálamo y a un territorio de ganglios basales, formando la base de los modelos de circuitos fronto-estriado-talámicos (revisados en Stuss & Knight, 2002/2013).

- **Tálamo (núcleo mediodorsal):** puerta de entrada y realimentación de la PFC; regula qué información llega a la conciencia ejecutiva.
- **Ganglios basales (cuerpo estriado, núcleo caudado, putamen):** seleccionan y **habilitan/deshabilitan** acciones; aprendizaje de hábitos y secuenciación (el "freno" y el "acelerador" de la acción).
- **Cerebelo:** coordina la **precisión y el timing** de la ejecución; participa en **aprendizaje procedimental** y, según evidencia reciente, en funciones cognitivas y lingüísticas ejecutivas.
- **Amígdala:** aporta la **carga emocional**; modula la memoria y la decisión de la CPFO. Un miedo no regulado "secuestra" la planificación.

Síntesis: el aprendizaje ejecutivo es un sistema distribuido: la PFC fija la meta, los ganglios basales seleccionan la acción, el tálamo la sincroniza, el cerebelo la afina y la amígdala le da peso emocional.

7. El síndrome de lóbulo Frontal según Luria (1966)

Luria (1966), en *Higher Cortical Functions in Man*, describió que las lesiones frontales no producen ceguera, sordera ni afasia, sino trastornos de la organización de la conducta. Propuso las tres unidades funcionales del cerebro:

Tres unidades funcionales de Luria

clínica

1. Unidad 1 — Activación/tono (tronco + formaciones reticulares): mantener la vigilia necesaria para aprender. 2. Unidad 2 — Recepción, procesamiento y almacenamiento (occipital, temporal, parietal): el "contenido" del conocimiento. 3. Unidad 3 — Programación, regulación y verificación (lóbulo frontal): la forma de la conducta; planificar, controlar y corregir. El síndrome de lóbulo frontal (daño en Unidad 3) se caracteriza por:

- ****Pérdida de la regulación activa:**** el alumno "se deja llevar" por estímulos (perseveración o distractibilidad).
- ****Dificultad para formar intenciones y planes**** estables.
- ****Defecto en el control y la verificación:**** comete errores y no los corrige.
- ****Cambios en la personalidad y la motivación**** (apático o desinhibido).

Implicación didáctica: un estudiante con funciones frontales inmaduras o dañadas sabe el contenido (Unidad 2) pero no lo organiza, planea ni autocorrige (Unidad 3).

8. El caso EVR (Eslinger & Damasio, 1985)

clínica

Paciente EVR — cuando la inteligencia no basta

Eslinger & Damasio (1985) reportaron el caso de EVR, un hombre de 35 años sometido a ablación bilateral del lóbulo frontal (por un meningioma que afectó principalmente la corteza orbitofrontal).

- ****Antes:**** profesional exitoso, juicio social intachable.
- ****Después de la cirugía:**** su ****CI se conservó**** y pasaba pruebas neuropsicológicas "de laboratorio" normales, pero su ****vida real se desintegró****: malas inversiones, divorcio, incapacidad para tomar decisiones prácticas, aunque **analizaba** cada opción interminablemente.
- ****Lección:**** la ****CPFo**** es esencial para ****decidir en situaciones reales**** donde hay riesgo, valor y emoción. La racionalidad "pura" sin valoración afectiva guiada por la PFC orbitofrontal es ****paralizante****.

Conexión con el aula: enseñar solo "contenido" (Unidad 2) es insuficiente; el AE1 busca fortalecer la regulación y la toma de decisiones de aprendizaje (Unidad 3), justo lo que EVR perdió.

9. Maduración prolongada de la corteza prefrontal (~20-25 años)

La corteza prefrontal es la última en madurar del cerebro. La mielinización, la poda sináptica y la consolidación de sus circuitos con ganglios basales y tálamo se extienden hasta los ~20-25 años (y la sustancia blanca sigue optimizándose más allá).

Consecuencias neurobiológicas:

- La **CPFo** y su conexión con la amígdala maduran más tarde → mayor **impulsividad** y **búsqueda de recompensa inmediata** en la adolescencia.
- La **CPFdl** y la **CCA** maduran gradualmente → la **memoria de trabajo** y el control **inhibitorio** mejoran lentamente.
- El **balance amígdala-CPF** está **desequilibrado** a favor de la emoción durante la pubertad.

Esto explica por qué adolescentes con inteligencia normal cometen errores de planificación que un adulto de 25 evita: su "directora de orquesta" aún está ensayando.

10. Implicaciones para el aprendizaje

- **Andamiaje:** el docente debe externalizar la función prefrontal (listas, rutinas, rúbricas) hasta que el alumno la internalice.
- **Metacognición como sustituto:** enseñar a **planificar-observar-evaluar** compensa la inmadurez biológica de la CPFdl/CCA.
- **Emoción primero:** regular la amígdala (clima, seguridad) es prerequisite para que la CPFo decida estudiar.
- **No etiquetar de "vago":** muchos fallos ejecutivos son **desarrollo neurológico normal**, no falta de voluntad.

11. Ejercicios resueltos

Localiza la subdivisión

Tip aplicado: cruza el síntoma con la tabla de la CARD neuroanatomía

Enunciado: Un estudiante de 16 años, tras un golpe frontal, puede repetir instrucciones pero no sostiene el hilo de un problema de varios pasos y se distrae; su razonamiento lógico basal está intacto. ¿Qué subdivisión prefrontal está afectada y por qué? Resolución: Está afectada la corteza prefrontal dorsolateral (CPFdl). El paciente conserva el contenido (Unidad 2 de Luria, lógica intacta) pero falla en mantener información activa (memoria de trabajo) y en la planificación de pasos múltiples —funciones que Goldman-Rakic (1987) localizó en la CPFdl—. La distracción refleja también déficit de control ejecutivo dorsolateral. ---

Empareja estructura y aporte

Tip aplicado: recuerda el bucle fronto-estriado-talámico

Enunciado: Relaciona cada estructura con su aporte al circuito ejecutivo: (a) Tálamo, (b) Ganglios basales, (c) Cerebelo, (d) Amígdala. Opciones: 1) selecciona/habilita acciones, 2) da carga emocional, 3) afina timing y aprendizaje procedimental, 4) sincroniza y realimenta a la PFC. Resolución: (a)-4, (b)-1, (c)-3, (d)-2. El tálamo (núcleo mediodorsal) realimenta la PFC; los ganglios basales seleccionan acciones (modelo de Stuss & Knight, 2002/2013); el cerebelo afina la ejecución y el aprendizaje procedimental; la amígdala aporta la valencia emocional que modula la decisión de la CPFo. ---

Análisis del caso EVR

Tip aplicado: separa "prueba de laboratorio" de "vida real"

Enunciado: EVR obtenía puntajes normales en tareas neuropsicológicas pero arruinaba su vida financiera. Explica este contraste con Miller & Cohen (2001) y con la función de la CPFo. Resolución: Las tareas de laboratorio son descontextualizadas y sin riesgo, y pueden resolverse con la CPFdl y el conocimiento (Unidad 2). Pero decidir en la vida real requiere que la CPFo integre valor, riesgo y señales de la amígdala —justo la estructura dañada en EVR (Eslinger & Damasio, 1985)—. Según Miller & Cohen (2001), la PFC representa metas/reglas para sesgar otras áreas; sin la CPFo, EVR tenía la regla pero no el peso afectivo que convierte la regla en decisión, por eso analizaba sin decidir. ---

Diseña andamiaje por maduración

Tip aplicado: externaliza la función prefrontal inmadura

Enunciado: Tienes un grupo de 14 años (CPF aún inmadura). Diseña dos estrategias concretas de aula basadas en la maduración prefrontal hasta los 20-25 años. Resolución: 1. Rúbrica externa y visible (paso 1, 2, 3 en la pizarra): sustituye la planificación interna inmadura de la CPFdl —el andamiaje hace externa la función prefrontal—. 2. Gestión del clima emocional (acuerdos, seguridad, sin humillación): protege la amígdala para que la CPFo pueda decidir estudiar en lugar de defenderse. Ambas compensan el desequilibrio amígdala-CPF propio de la adolescencia descrito en la Sección 9. ---

12. Cierre del Aprendizaje Esperado 1

Con esta sesión cierra el AE1: ya tenemos el mapa neural de las funciones ejecutivas (CPFdl, CPFo, CCA), sus circuitos (tálamo, ganglios basales, cerebelo, amígdala), el síndrome de lóbulo frontal de Luria (1966), el caso EVR de Eslinger & Damasio (1985) y la maduración hasta los 20-25 años. El AE2 (metacognición) construirá sobre esta base biológica.

Síntesis y autoevaluación del cierre del AE1

P (Pregunta): ¿Por qué un alumno puede "saber mucho" y aun así fracasar en organizar su estudio? E (Evidencia): Luria (1966) separa Unidad 2 (contenido) de Unidad 3 (programación/regulación frontal); el caso EVR (Eslinger & Damasio, 1985) muestra conservación de CI con colapso de la vida real por daño orbitofrontal. D (Discusión en pareja, 3 min): ¿En qué situaciones de tu propio estudio falla tu CPFdl (memoria de trabajo) vs. tu CPFo (decidir estudiar)? BOX (Cierre / entrega): Escribe una frase que resuma: "Mi corteza prefrontal madura hasta los ~25 años, por eso hoy necesito [andamiaje concreto] para [función ejecutiva específica]." Entrega en la plataforma como evidencia de cierre del AE1. --- Referencias reales citadas: Luria (1966); Miller & Cohen (2001); Stuss & Knight (2002/2013); Eslinger & Damasio (1985); Fuster (1980/2008); Goldman-Rakic (1987); instrumentos de evaluación ejecutiva tipo Connors' Continuous Performance Test (Connors, 2002) y baterías cognitivas del estudio CATIE (Lieberman et al., 2005).