



# Cambios neuropsicológicos y biológicos en el escolar y adolescente

Dra. Marcela Larraguibel  
Unidad de Psiquiatría del Niño y del Adolescente  
Clínica Psiquiátrica Universitaria  
Universidad de Chile

# El cerebro del escolar

**La etapa escolar es un período importante de crecimiento en las habilidades físicas, cognitivas y sociales**

# APRENDIZAJE

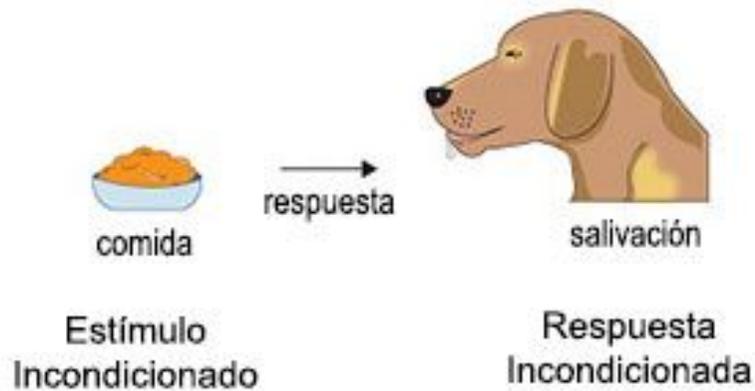
Learning is change. It is change in ourselves, because it is change in the brain. Thus, the art of teaching must be the art of changing the brain

James Zull, 2002

# CONDICIONAMIENTO CLÁSICO O PAVLOVIANO

Un estímulo inicialmente neutro (estímulo condicionado) llega a predecir un evento que puede ser apetitivo o aversivo (estímulo no condicionado), generándose un cambio de conducta (respuesta condicionada).

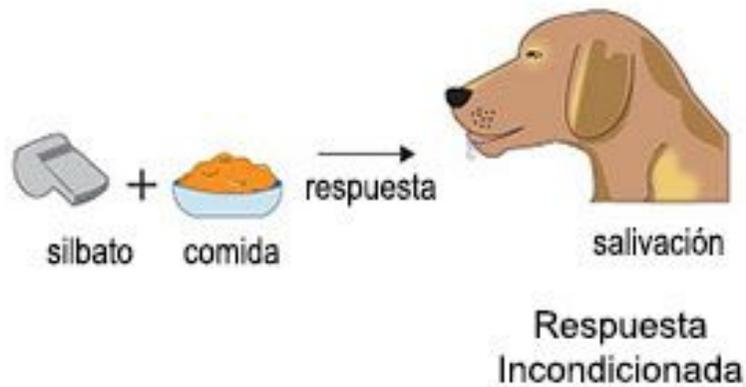
### 1. Antes del condicionamiento



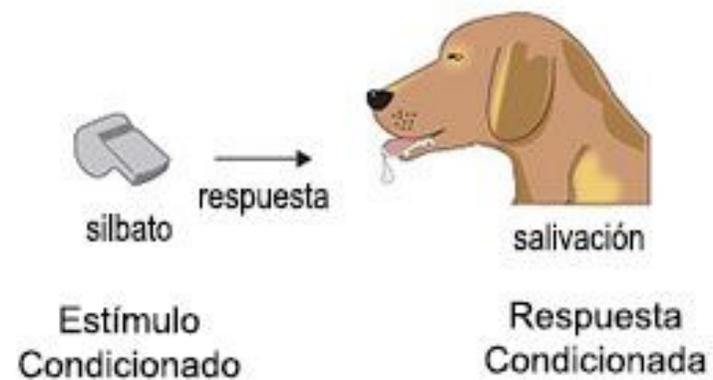
### 2. Antes del condicionamiento



### 3. Durante el condicionamiento



### 4. Después del condicionamiento

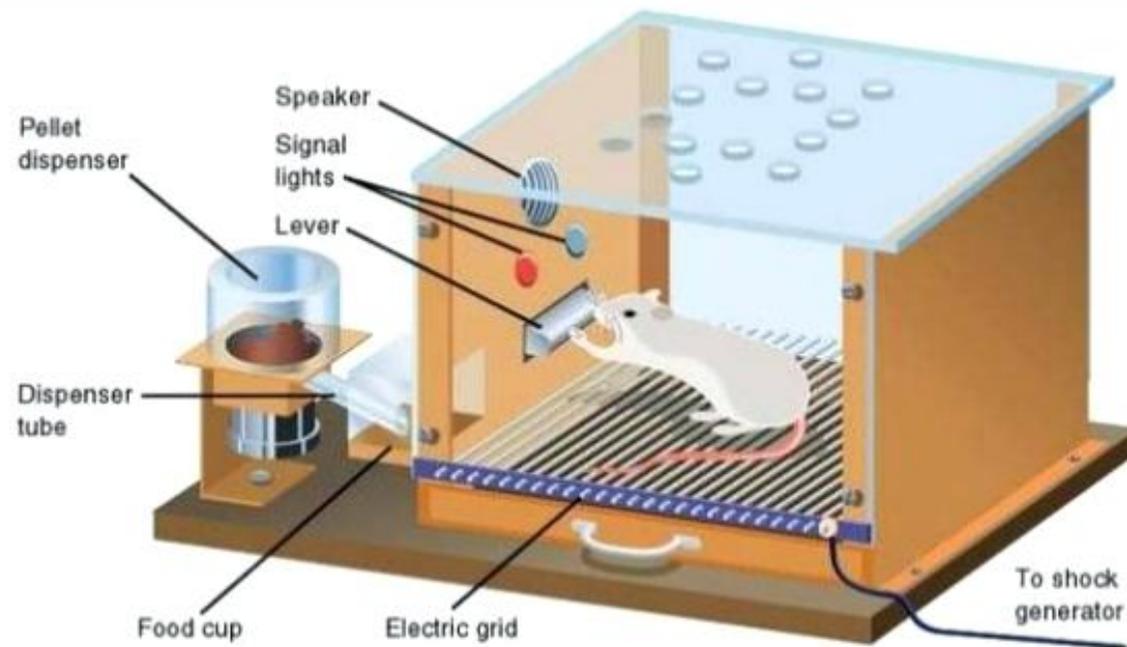


# CONDICIONAMIENTO INSTRUMENTAL U OPERANTE

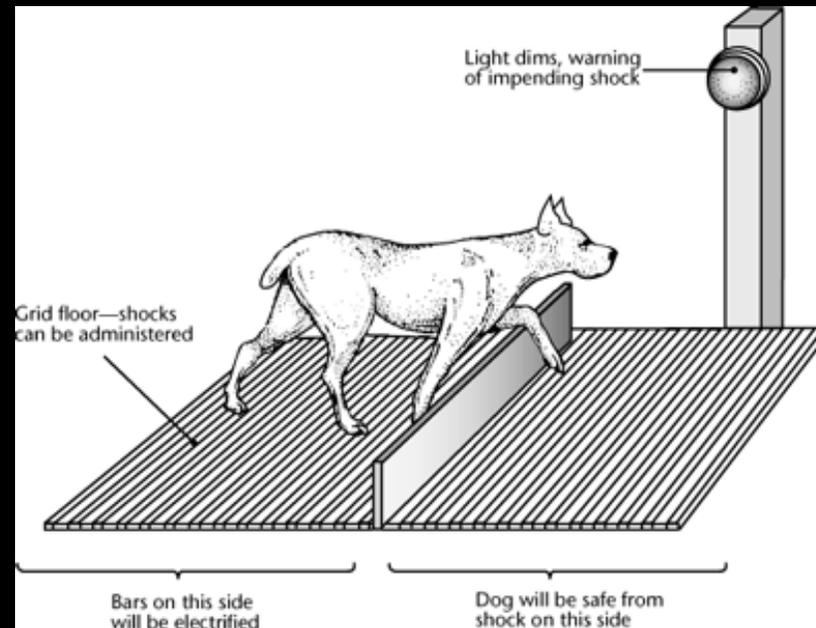
Se establece una asociación entre la conducta y sus consecuencias.

# CONDICIONAMIENTO OPERANTE

## “Skinner Box”

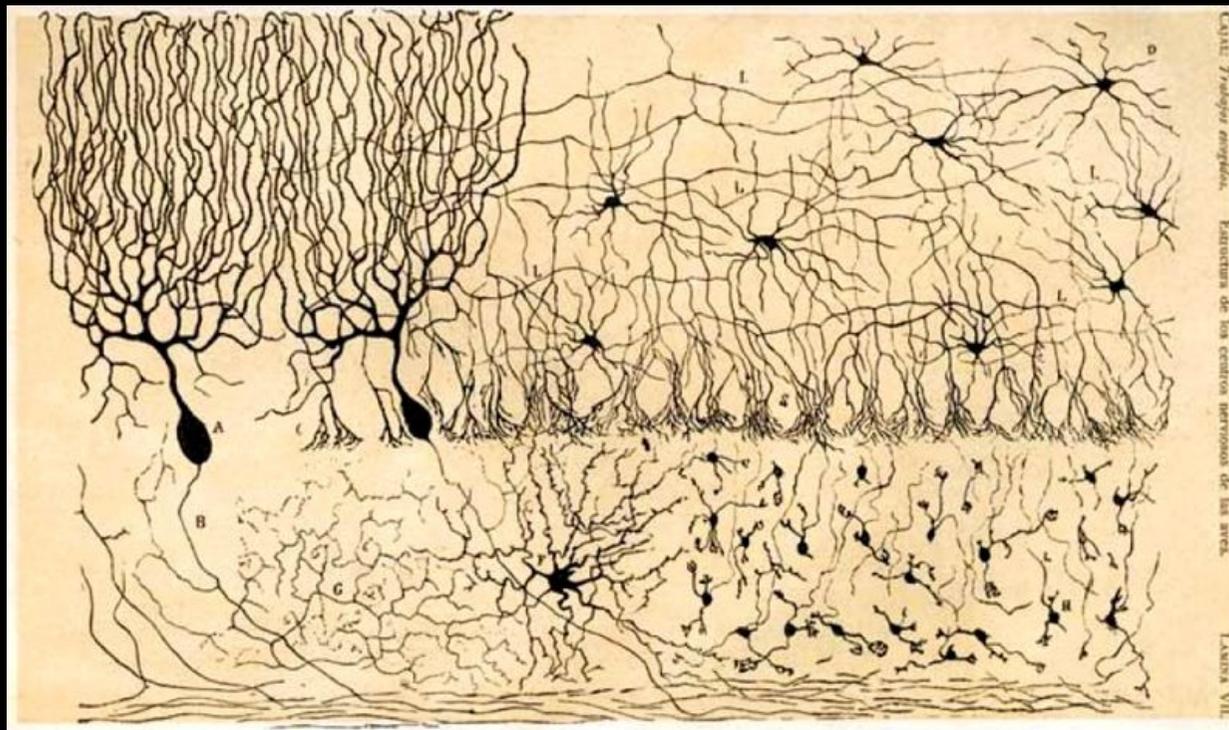


# CONDICIONAMIENTO DE EVITACIÓN



# Ramón y Cajal

Comparó el cerebro con un jardín lleno de árboles «que, en respuesta al cultivo inteligente, pueden aumentar el número de ramas, extender raíces sobre mayor superficie y producir flores y frutos más variados y exquisitos”



# NEUROPLASTICIDAD, APRENDIZAJE Y MEMORIA

- ¿Qué es la **Plasticidad sináptica**?
- Los cambios plásticos en la función sináptica pueden ser:
  - **corto plazo**: dependen de modificaciones post-traduccionales de proteínas existentes
  - **largo plazo**: requiere cambios en la expresión génica, nueva síntesis proteica, y la formación de nuevas sinapsis o la eliminación de algunas ya existentes

# Almacenamiento de la información

- **Cambios morfológicos o estructurales:** crecimiento de nuevos terminales, crecimiento de botones sinápticos, crecimiento de espinas dendríticas, crecimiento de áreas sinápticas funcionales y estrechamiento del espacio sináptico.
- **Cambios moleculares:** cambios conformacionales en moléculas de membrana ya existentes, alteraciones químicas de moléculas de membrana, ya sea por fosforilación, metilación o acetilación, cambios conformacionales de proteínas receptoras, desenmascaramiento de receptores inactivos y aumento de los sitios de enlace para moléculas transientes.
- **Cambios neuroquímicos:** alteraciones en la síntesis y liberación de neurotransmisores.

# APRENDIZAJE

- ¿Qué es el aprendizaje?
- Los procesos esenciales para el aprendizaje son:
  - atención
  - memoria
  - motivación
  - comunicación

# MEMORIA

¿Qué es la memoria?

# NEUROGÉNESIS Y MEMORIA

- El cerebro humano maduro continua generando neuronas en el hipocampo, área importante para el aprendizaje y la memoria.
- La neurogénesis hipocampal ocurre en una región basal llamada el giro dentado. Allí hay células precursoras o troncales que se dividen y dan lugar a células que migran hacia el hipocampo y se diferencian en neuronas, estableciendo conexiones con otras neuronas.
- Se producen algunos miles de nuevas neuronas todos los días, aunque una buena parte de ellas mueren en cuestión de semanas.
- Un comportamiento inquisitivo y la exploración de medios ricos en estímulos aumentan la neurogénesis y la supervivencia de las nuevas neuronas, mientras que el estrés o la ausencia de estímulos la disminuyen.

# MEMORIAS

- Memoria sensorial
- Memoria a corto plazo
- Memoria intermedia
- Memoria a largo plazo

# MEMORIA A CORTO PLAZO

- Capacidad limitada. Se mantiene solo durante segundos
- Activación de circuitos reverberantes de neuronas interconectadas con retroalimentación positiva
- La información se perderá a menos que sea transferida a un almacenamiento de larga duración
- Se ve afectada cuando hay **déficits de la atención**
- Un tipo es la **memoria de trabajo**
- Requiere de una actividad eléctrica continua

# MEMORIA A LARGO PLAZO

- Requiere desde segundos a minutos, periodo en el cual puede interrumpirse por eventos particulares, tales como traumatismos, choque electroconvulsivo, hipotermia, alcohol, drogas u otros tratamientos capaces de generar amnesia.
- Mientras más corto es el intervalo de tiempo entre el aprendizaje y el tratamiento, menor será la probabilidad, que la información sea transferida a una memoria de largo plazo.
- Cuando la memoria ha logrado el almacenamiento de largo plazo no parece ser vulnerable a la injuria
- Requiere cambios que van desde la síntesis de nuevas proteínas a modificaciones funcionales y estructurales permanentes de las conexiones sinápticas y crecimiento de botones y espinas sinápticas que mejoran la interconectividad de los circuitos neuronales
- No requiere actividad eléctrica continua, aunque se detenga la actividad eléctrica cerebral la memoria a largo plazo no se pierde

# TIPOS DE MEMORIA

- **Memoria declarativa o explícita:** encargada de almacenar datos y hechos específicos. Codifica información acerca de hechos. En el Tulving definió dos tipos:
  - **Memoria episódica:** almacena acontecimientos o episodios autobiográficos
  - **Memoria semántica:** guarda información del mundo acerca del conocimiento del mundo, como vocabulario, conceptos o información general recogidos en el curso de experiencias específicas para cuya evocación no es necesario recurrir a marcas temporales.
- **Memoria no declarativa (de procedimiento, instrumental):** capacidad de aprender habilidades o destrezas que se expresan en forma de conductas que se utilizan para realizar actividades de manera automática e incluso inconsciente

# MODULACIÓN EMOCIONAL DE LA MEMORIA

- El contenido emocional de un evento **potencia la formación de una memoria duradera** acerca de la información relacionada con dicho evento.
- Tanto las **emociones positivas como negativas** pueden facilitar el establecimiento de memorias duraderas, las memorias relacionadas con emociones negativas o traumáticas se adquieren mas fácilmente y son particularmente resistentes a la extinción
- La **amígdala y el hipocampo** se ha relacionado con el aprendizaje emocional

# ESTRÉS Y APRENDIZAJE

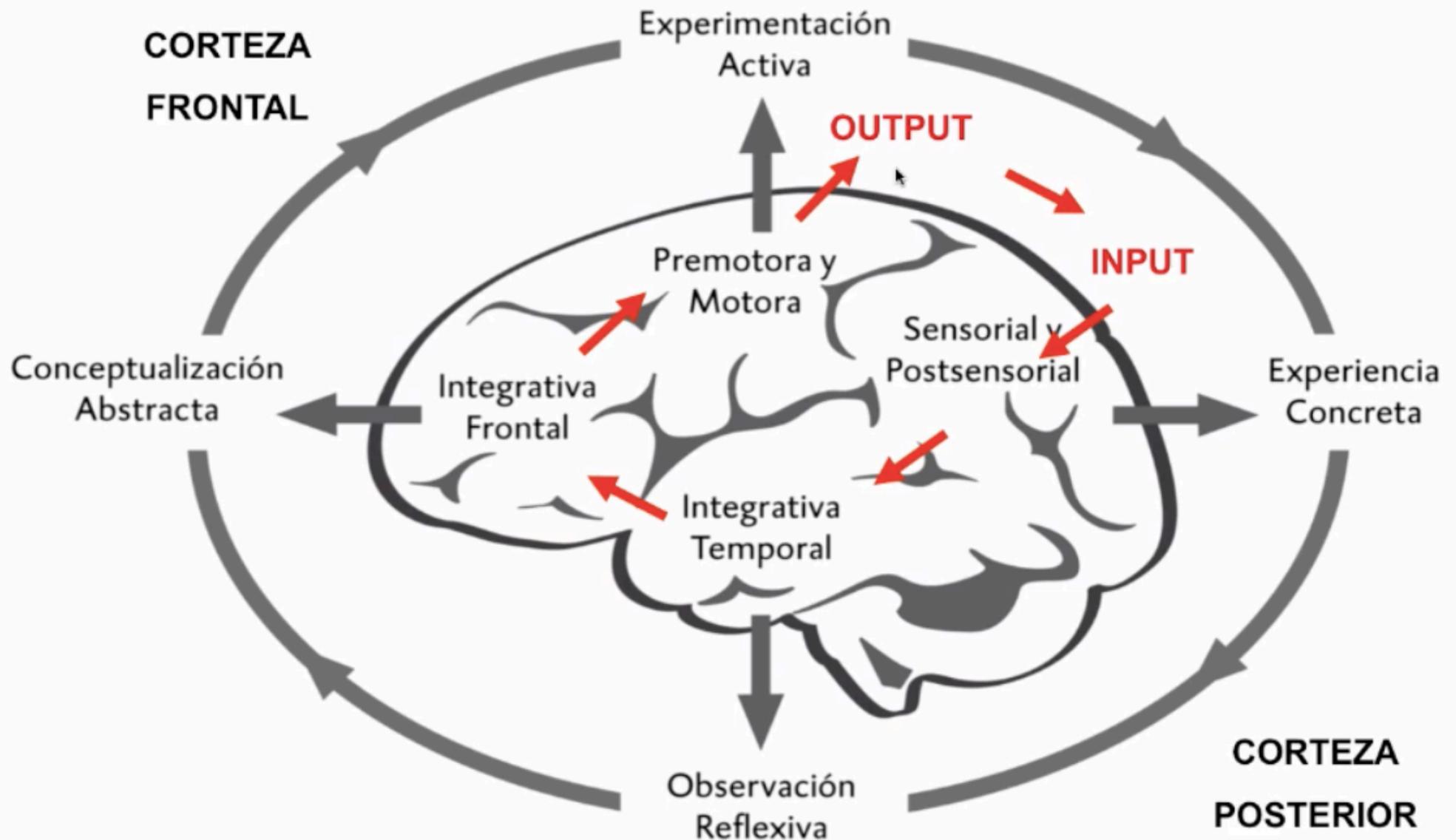
- La **amígdala** está conectada tanto directa como indirectamente a varias regiones del hipocampo, proporcionando varias vías por las cuales puede influir en el funcionamiento hipocampal.
- **Nivel moderado de estrés** produce cambios en sistemas neuroquímicos (catecolaminas, opiáceos, glucocorticoides) que pueden facilitar el aprendizaje.
- **Niveles elevados de estrés en duración e intensidad** se producen cambios transitorios y permanentes en el hipocampo, como modificaciones en la plasticidad sináptica, cambios morfológicos, supresión de la neurogénesis adulta y daño neuronal.
- La total expresión de los efectos deletéreos del estrés sobre el hipocampo requiere la **activación simultánea de la amígdala**.

# APRENDIZAJE Y MEMORIA

Aprender se trata de adquirir información y la memoria se trata de almacenarla.

El aprendizaje es un proceso, y la memoria es el registro de ese proceso.

# El ciclo del aprendizaje de Kolb y la corteza cerebral



# APRENDIZAJE

Cada individuo procesa la información en forma correcta o sesgada de acuerdo con sus atribuciones, valores, expectativas o creencias, aunque condicionado por su particular neurobiología con variantes motivacionales o emocionales, por su personalidad, por su biografía y por la influencia de su entorno social o familiar.



## ¿QUE ES LA ATENCIÓN?

Es la capacidad que tiene el cerebro para seleccionar, de todos los innumerables estímulos, solo la información que le será útil o funcional para la tarea u acción a realizar.

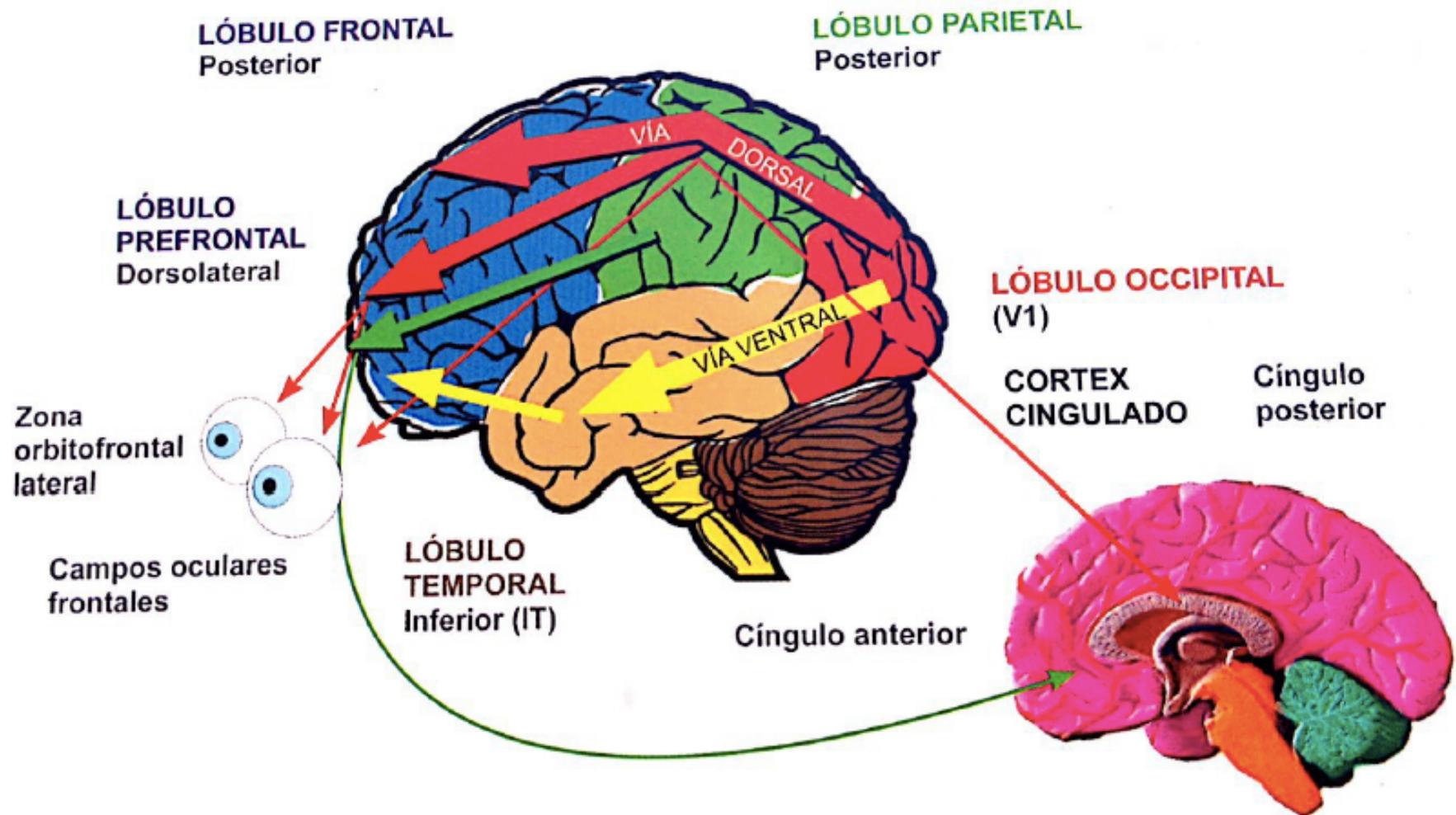


Figura 2: Circuitos cerebrales que participan en la atención

# ATENCIÓN

- **Atención sostenida**
  - Capacidad de **mantener estable el rendimiento en el tiempo**
  - Se mide a través de tareas de ejecución o desempeño continuo, esta última evalúa los tiempos de respuesta y el número de aciertos y errores.
  - **Los errores por omisión son interpretados como producto de la inatención, mientras que los errores por comisión, se asocian a la impulsividad.**
  - Regiones fronto-parietales, principalmente del lado derecho
- **Atención selectiva**
  - Es la capacidad de procesar tan solo **una parte de la información**
  - Área cingulada anterior y parietal posterior
- **Atención dividida**
  - Es la capacidad de **atender a múltiples estímulos**
  - Corteza prefrontal del lado derecho
- La corteza prefrontal y cingulo anterior se encargan del control ejecutivo de la atención.

# CLASIFICACIÓN DE LA ATENCIÓN SEGÚN EL DESARROLLO

- Puede ser clasificada en tres tipos:
  - **Atención casual:** mira pero no está enganchado
  - **Atención establecida:** pasa de una atención casual a enganchar en un estímulo
  - **Atención focalizada:** concentrado, frecuentemente se acompaña de disminución de vocalizaciones y movimientos motores.
- Mejora la atención cuantitativamente y cualitativamente en la etapa preescolar
- Entre los 2 y 3,5 años la cantidad de tiempo que ocupa en la atención casual declina, mientras que en los otros dos tipos de atención aumenta



## ATENCIÓN

- A la edad de 4 años el sistema atencional, altamente gobernado por las conductas dirigidas hacia una meta y el control de impulsos, media la atención focalizada hacia una tarea o actividad (por ejemplo disfrutar en un juego, completar tareas, seguir reglas)



## TIEMPO DE ATENCIÓN PROMEDIO SEGÚN EDAD

- 0 a 1 año 2 a 3 minutos
- 1 a 2 años 7 a 8 minutos
- 2 a 3 años Hasta 10 minutos
- 3 a 4 años Hasta 15 minutos
- 4 a 5 años Hasta 20 minutos
- 5 a 6 años Hasta 25 minutos



**¿QUÉ SON LAS FUNCIONES EJECUTIVAS?**

# ¿QUÉ FUNCIONES ESPECÍFICAS IMPLICAN LAS FUNCIONES EJECUTIVAS?

- Memoria de trabajo
- Atención selectiva
- Planificación
- Seriación
- Monitoreo
- Flexibilidad cognitiva

# FUNCIONES EJECUTIVAS

- Involucra **regiones prefrontales y regiones estriatales** (nucleo caudado y putamen)
- Las funciones ejecutivas se pueden dividir según áreas anatómicas:
  - Región frontal dorsal: determina cuan importante la situación es
  - Región frontal lateral: evalúa el esfuerzo necesario para obtener el resultado
  - Región orbito frontal: determina las acciones apropiadas de acuerdo al contexto social y situacional

# FUNCIONES EJECUTIVAS

- Comienzan a desarrollarse en el primer año de vida y continúan desarrollándose lentamente hacia la adultez
- Alrededor de los **seis meses** se observan las primeras nociones de causalidad
- En el **segundo año** se observan conductas intencionales que implican los primeros precursores de flexibilidad y planificación de la conducta
- En el **prescolar**:
  - Capacidad de aprendizaje y seguimiento de las reglas
  - Flexibilidad
  - Resolución de problemas novedosos

# CAPACIDAD DE APRENDIZAJE Y SEGUIMIENTO DE REGLAS

- Entre los **2 a 3 años** pueden aprender a buscar **conductas alternativas** para obtener un determinado refuerzo y confiar en su memoria para las reglas alternativas y el lugar en que el refuerzo ha sido escondido previamente
- A los **4 años** son capaces de aprender **reglas que interfieren con el aprendizaje previo** y aplicarlas a su conducta (por ejemplo Simon dice...)
- En ocasiones el niño puede verbalizar las reglas pero **no las puede aplicar a su conducta** reflejando una descoordinación entre el nivel de control de impulsos y sus conocimientos cognitivos

# CAPACIDAD DE APRENDIZAJE Y SEGUIMIENTO DE REGLAS

- Entre los **4 a 6 años** solo pueden aplicar **una regla a un problema**. Paulatinamente van adquiriendo la habilidad de aprender y seguir varias nuevas reglas para un problema
- Posteriormente comienzan a desarrollar la habilidad para **adquirir un set de reglas competitivas basadas en una regla adicional** (por ejemplo si el signo dice “go”, rojo=stop y verde = go, pero si el signo dice “stop”, rojo = go y verde = stop). Esta habilidad para cambiar rápidamente un sets de reglas se desarrolla entre los **5 y 6 años**.
- A los **6 años** dan repuestas correctas y flexibles frente a conflictos verbales pero **no frente a conflictos no verbales**

# ¿QUÉ ES LA FLEXIBILIDAD?

- Habilidad para cambiar reglas, conductas y rutinas con una pequeña preparación o costo emocional.
- Se desarrolla desde la lactancia a la adultez, pero su desarrollo más básico es en el preescolar
- Es también un aspecto del temperamento
- Es esencial para el aprendizaje experimental
- Es adaptativo para la entrada a la etapa escolar y ayuda al funcionamiento independiente
- El carácter modificable de las conexiones neuronales contribuye a la adaptabilidad de la conducta



# DEFINICIÓN REGULACIÓN EMOCIONAL

PATRONES DE EXPERIENCIA O EXPRESIÓN EMOCIONAL  
QUE FACILITAN ACTIVIDADES DIRIGIDAS A UNA META

# Regulación afectiva

Los preescolares comienzan a desarrollar habilidades de autorregulación para modular sus comportamientos y emociones en relación con las demandas situacionales (Eisenberg et al., 2004).

Ellos también comienzan a reconocer las expresiones emocionales y comprender las emociones y señales de comportamiento de otros, que a su vez pueden facilitar la autorregulación (Denham et al., 2012).

Factores biológicos



Factores  
experenciales

Regulación emocional

Botton-up

Regulación de la  
acción

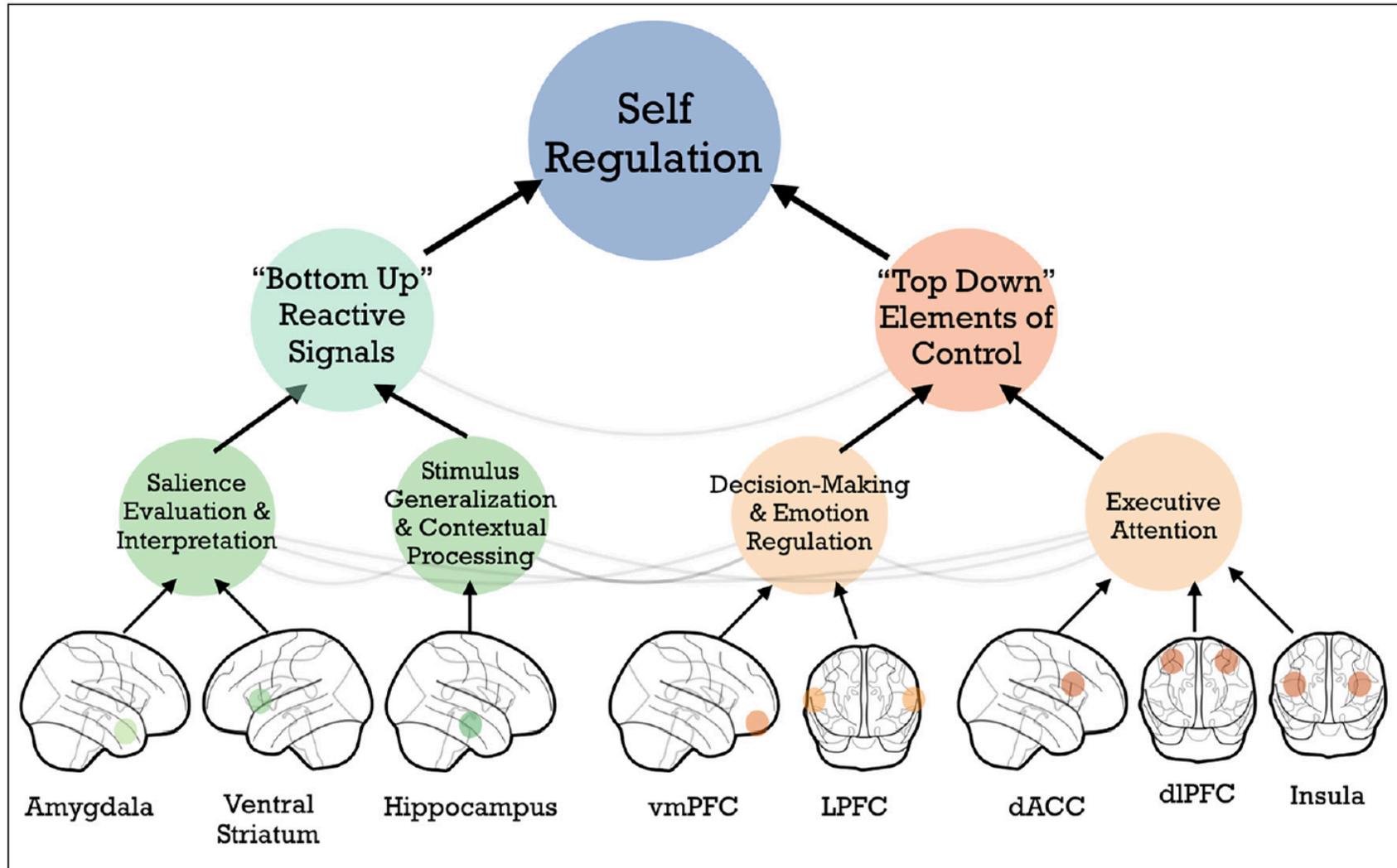
Regulación de la  
emoción

Regulación de la  
cognición

Procesos de  
regulación  
emocional  
externos

Procesos de  
regulación  
emocional  
internos

Top-down



MARCO RDOC: PROPONE CONSTRUCCIONES EN DIFERENTES DOMINIOS FUNDAMENTALES PARA LA AUTORREGULACIÓN DEL NIÑO Y DESARROLLO CONDUCTUAL.

- REGULACIÓN DE LA FRUSTRACIÓN

Disminución de la activación de la amígdala

- CONTROL EJECUTIVO

Top-down Corteza prefrontal

- POSTERGACIÓN DE LA GRATIFICACIÓN

Disminución de la activación del estriado ventral

- CONOCIMIENTO EMOCIONAL

Amígdala, ínsula, giro temporal superior y CPF

# DIFERENCIAS POR GÉNERO

- SÍNTOMAS EXTERNALIZANTES



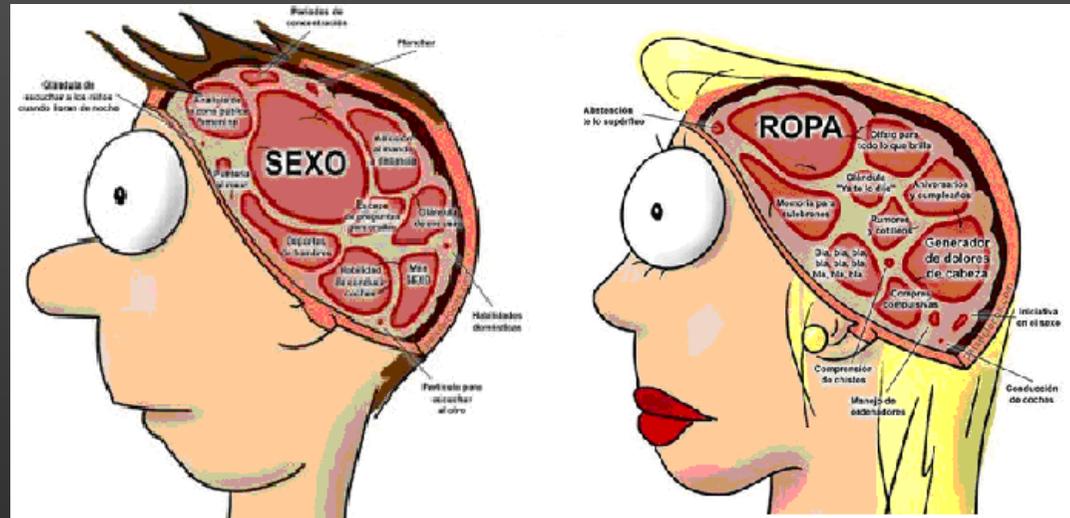
- SÍNTOMAS INTERNALIZANTES



# DIFERENCIAS POR GÉNERO

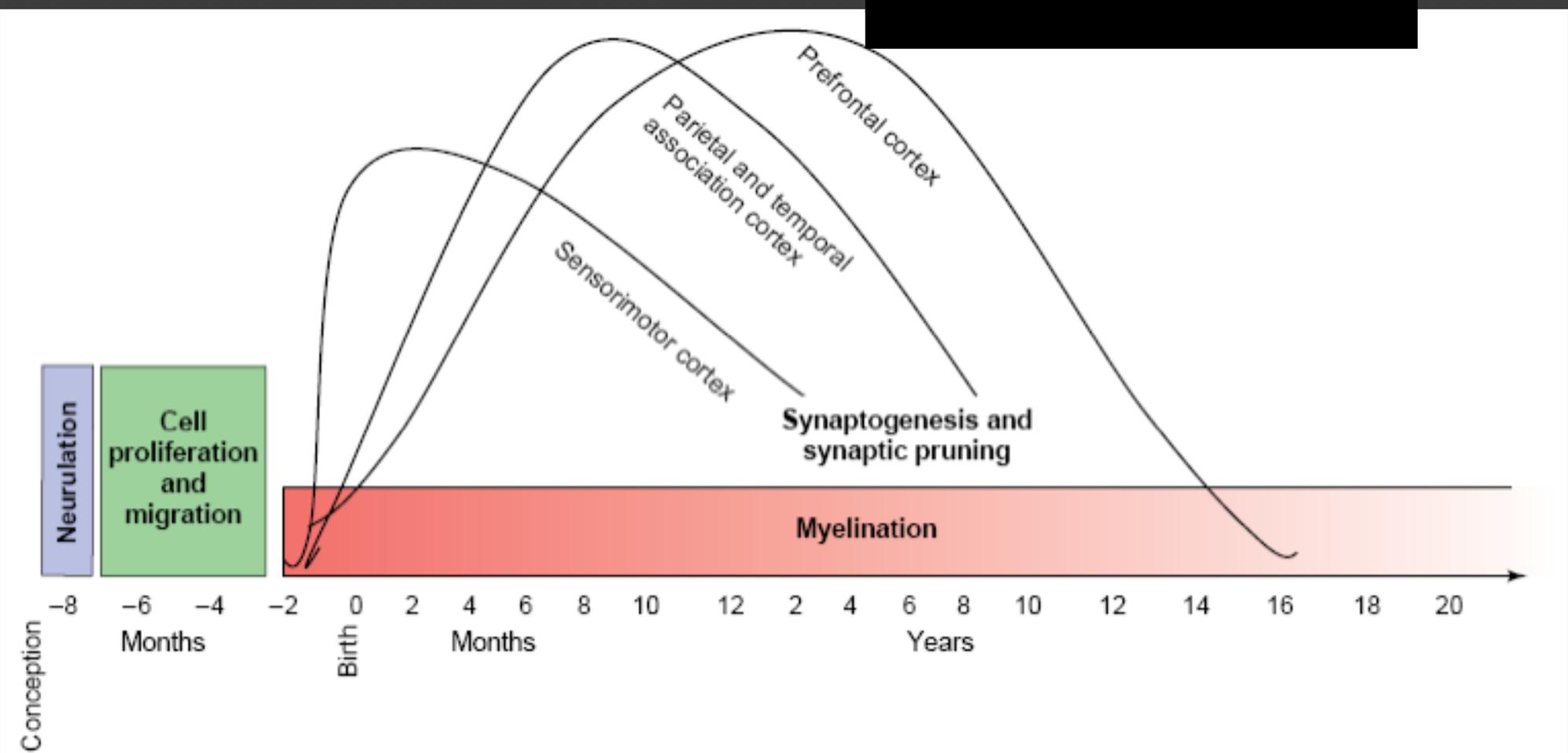
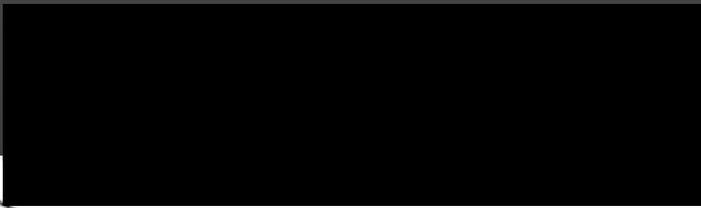
- DESARROLLO DEL LENGUAJE MAS LENTO EN LOS NIÑOS
- MADURACIÓN COGNITIVA MAS RÁPIDA EN LAS NIÑAS
- NIVELES MAS BAJOS DE CONTROL INHIBITORIO DESDE LA PRIMERA INFANCIA A LA MEDIANA EN LOS NIÑOS
- TEMPERAMENTO: LOS NIÑOS MUESTRAN NIVELES MÁS ALTOS DE IMPULSIVIDAD, ACTIVIDAD Y ALTA INTENSIDAD AL PLACER (SURGENCIA) QUE LAS NIÑAS
- TEMPERAMENTO: LAS NIÑAS MUESTRAN NIVELES RELATIVAMENTE MÁS ALTOS DE CONTROL EJECUTIVO QUE LOS NIÑOS
- NIÑAS MAS SENSIBILIDAD SOCIAL, EMPATÍA, PROSOCIABILIDAD Y REGULACIÓN EMOCIONAL QUE LOS NIÑOS DESDE LA INFANCIA A LA ADOLESCENCIA

# El cerebro en el adolescente



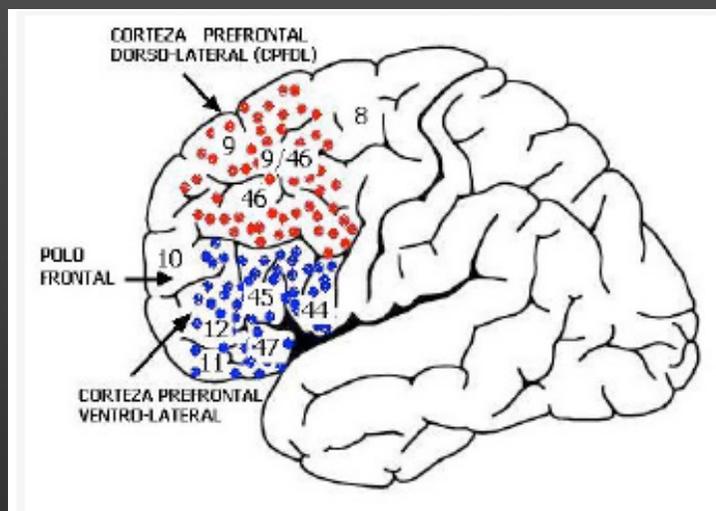
# DESARROLLO CEREBRAL EN EL ADOLESCENTE

- Hacia los 14 a 15 años emerge nuevamente la maduración del **sistema límbico**, precisamente cuando el adolescente manifiestan emociones fuertes
- La últimas áreas en madurar son la **corteza frontal y prefrontal**



# FUNCIONES DE LA CORTEZA FRONTAL EN ADOLESCENTES

- **Raciocinio**
- **Reflexión** juiciosa
- **Memoria**
- **Frena conductas** con gran componente impulsivo bajo el impacto de una gran emotividad (bloquea los comportamientos demasiados riesgosos)
- **Integración** del cúmulo de informaciones que recibe el cerebro
- **Controla** las funciones cognitivas superiores



**Figura 2.** Cara lateral del hemisferio izquierdo de la corteza cerebral humana. Se muestran los tres componentes básicos de la superficie prefrontal lateral: la CPFDL, la CPFVL y el polo frontal. Se indican, además, las áreas citoarquitectónicas de acuerdo con la nomenclatura de Brodman (1908).

## CORTEZA FRONTAL

Estudios han utilizado RNM para averiguar si la actividad cerebral durante el **procesamiento de información emocional** en los adolescentes (de 10 a 18 años de edad) difiere de los adultos (de 20 a 40 años).

SE PIDE A LOS SUJETOS QUE MIREN ROSTROS QUE PRESENTAN **EXPRESIONES FACIALES DE MIEDO** MIENTRAS SE LES HACE UNA RNM CEREBRAL.





# CORTEZA FRONTAL

- Cuando los adolescentes (especialmente los más jóvenes) procesaron la información emocional, la **actividad detectada en la amígdala superó a la detectada en el lóbulo frontal**, mientras que en los adultos ocurrió lo contrario.
- La amígdala está implicada en los **procesos emocionales**, mientras que el lóbulo frontal lo está en **el pensamiento y el razonamiento de nivel superior**.

# DESARROLLO CEREBRAL

El desarrollo cerebral que ocurre desde la concepción hasta la adultez puede ser dividido en :

- Procesos aditivos:
  - Proliferación de neuronas
  - Sinaptogénesis
  - Mielinización
- Procesos sustractivos:
  - Muerte celular programada (apoptosis)
  - Poda sináptica
- Procesos de reorganización.

# ADOLESCENCIA

- Comportamientos riesgosos
- Escaso juicio
- Poca reflexión
- No está equipado para hacer planes a largo plazo
- Falta de control de impulsos (los adolescentes se vuelven más impulsivos cuando están en grupo, porque las emociones sociales son muy fuertes)



# ¿POR QUÉ EL DERECHO ROMANO FIJÓ LA MAYORÍA DE EDAD A LOS 25 AÑOS DE EDAD?

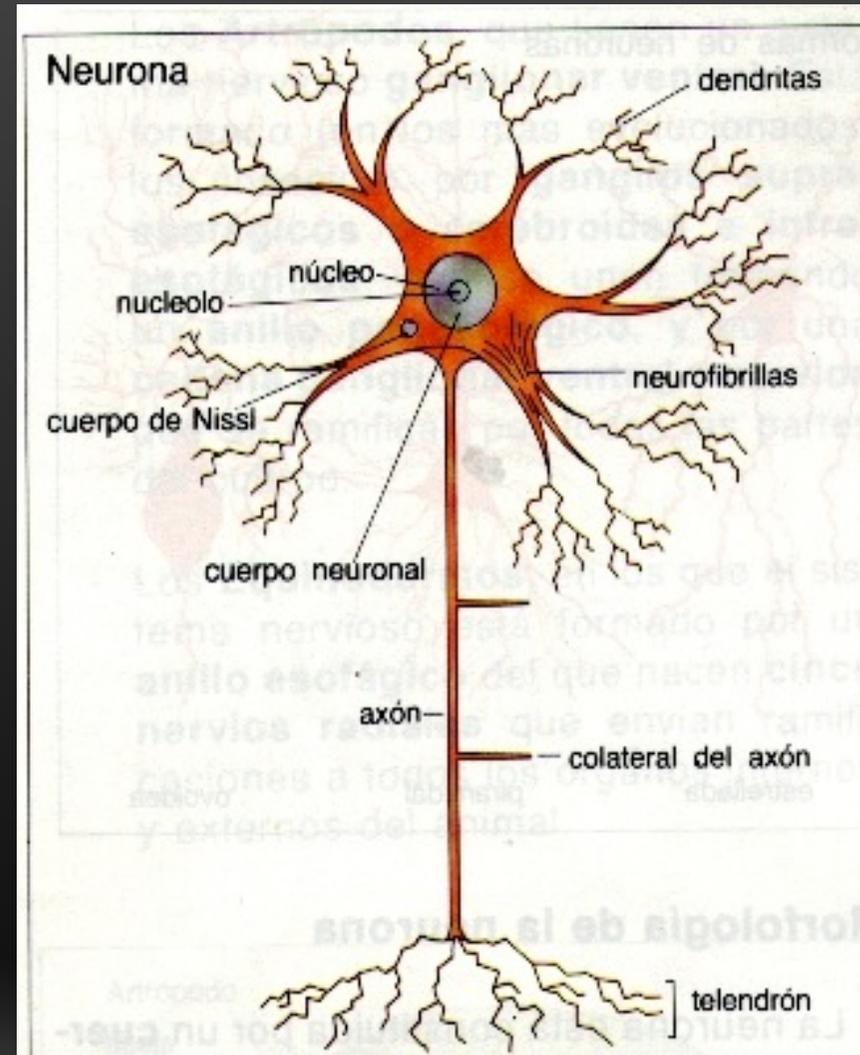
- A los 25 años damos por lograda la maduración cerebral o cuando menos la consideramos compatible con dicha madurez
- Se necesita una corteza prefrontal madura para obtener una conducta con sentido común
- El adolescente, al no haber alcanzado la madurez de dicha estructura neurológica, no puede exteriorizar un comportamiento maduro



¿Qué pasa a nivel neuronal  
en la adolescencia?

# CÉLULA NEURONAL

- Dendrita: parte receptora de la neurona
- Axón: transmite información desde el cuerpo celular a otras células.
- Mielina: capa de células adiposas que recubre a la mayoría de los axones. La vaina de mielina aísla al axón y acelera la transmisión de impulsos nerviosos.



# ¿CÓMO CAMBIAN LAS NEURONAS EN LA ADOLESCENCIA?

- Los cuerpos celulares no cambian mucho durante la adolescencia
- Aumento de la proliferación de las **dendritas**
- Los **axones** se siguen desarrollando durante este período evolutivo.
- Incremento de las conexiones entre neuronas (**sinaptogénesis**)
- Incremento de la **mielinización**.



## TIPOS DE MUERTE CELULAR

- **Necrosis**: destrucción lítica de células individuales o grupos de células
- **Apoptosis**: es una ordenada y compartamental desmantelación de células o grupos de células. Es un ejemplo de **muerte celular programada**. Útil en el desarrollo de la organogénesis e histogénesis para conservar la homeostasis de los tejidos, su funcionamiento y la eliminación de exceso de células.

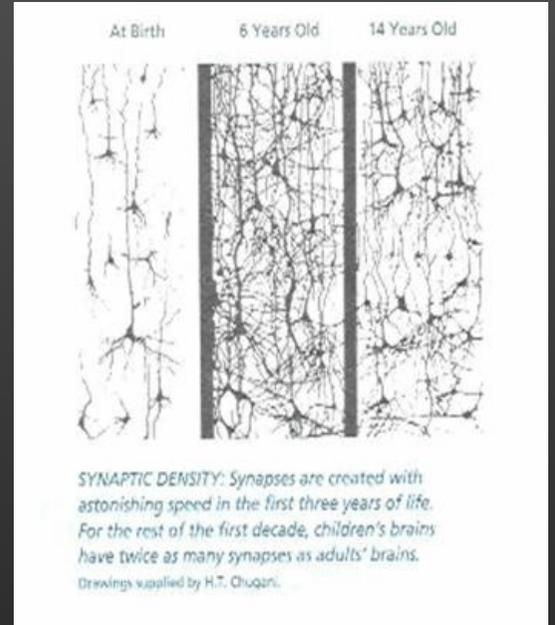
# APOPTOSIS

- Durante el período de organización de las conexiones sinápticas aquellas neuronas que **no se conectan a un “blanco” viable** se mueren.
- En la apoptosis, **la célula decide morirse** en respuesta a un estímulo específico, no necesariamente tóxico, poniendo en marcha un programa de eventos metabólicos y genéticos
- La apoptosis neuronal **ocurre normalmente y en forma masiva** durante el desarrollo del sistema nervioso
- En **condiciones patológicas**, podría constituir el principal mecanismo de la neurodegeneración.

# PODA NEURONAL

- Se establecen casi **el doble de conexiones sinápticas** de las que se utilizarán en toda la vida.
- La **experiencia selecciona las sinapsis** adecuadas y reduce las menos funcionales (estabilización selectiva).
- Esta reducción implica una **selección de las conexiones más funcionales** (amplificación selectiva), ya que los axones que logran activar con más frecuencia la estructura postsináptica tienen mayor probabilidad de mantenerse, y a la inversa.
- El decremento del conexionado sináptico, del número de neuronas y de receptores pre y post sinápticos, conlleva finalmente a una **mejor actividad funcional del SNC**.

# PODA NEURONAL



- Se pierden 30.000 sinapsis por segundo durante algunos períodos de la adolescencia
- Esto resulta en una pérdida de aproximadamente la mitad de las conexiones sinápticas corticales presentes antes de la pubertad
- Afecta preferentemente sinapsis **excitatorias**

# PODA NEURONAL

- **Eliminación de sinapsis excitatorias:**
  - **reducción de utilización de energía** del cerebro (disminución del metabolismo de la glucosa, utilización de oxígeno y flujo cerebral)
  - reacciones cerebrales más **selectivas** a los estímulos
- Las consecuencias de la remodelación sináptica son especialmente prominentes en la **corteza prefrontal**
  - **Pérdida del input de glutamato excitatorio**
  - **Marcados cambios en el input dopaminérgico**

# OTROS CAMBIOS NEUROBIOLÓGICOS EN LA ADOLESCENCIA

- El volumen de materia gris del Hipocampo y Amígdala continúa aumentando
- El centro de recompensa del cerebro, el estriado ventral, **está menos activo** durante la adolescencia que en la adultez.
- La respuesta del receptor cortical **GABA-benzodiazepina** aumenta en modelos animales hacia la pubertad



## CONSECUENCIAS

En condiciones óptimas esto conlleva a un aumento de la complejidad de los mecanismos regulatorios psicobiológicos, afectivos y sociales hacia la adultez, entre los que destacan **la empatía, la activación de memorias autobiográficas, la inteligencia social, el sentido del humor, el desarrollo moral**, entre otros.



## CONSECUENCIAS

Quedan expuestas regiones cerebrales vulnerables a expresiones genéticas o experiencias adversas tempranas que pueden ser desenmascaradas debido a la restructuración cerebral y experiencias estresantes vitales