

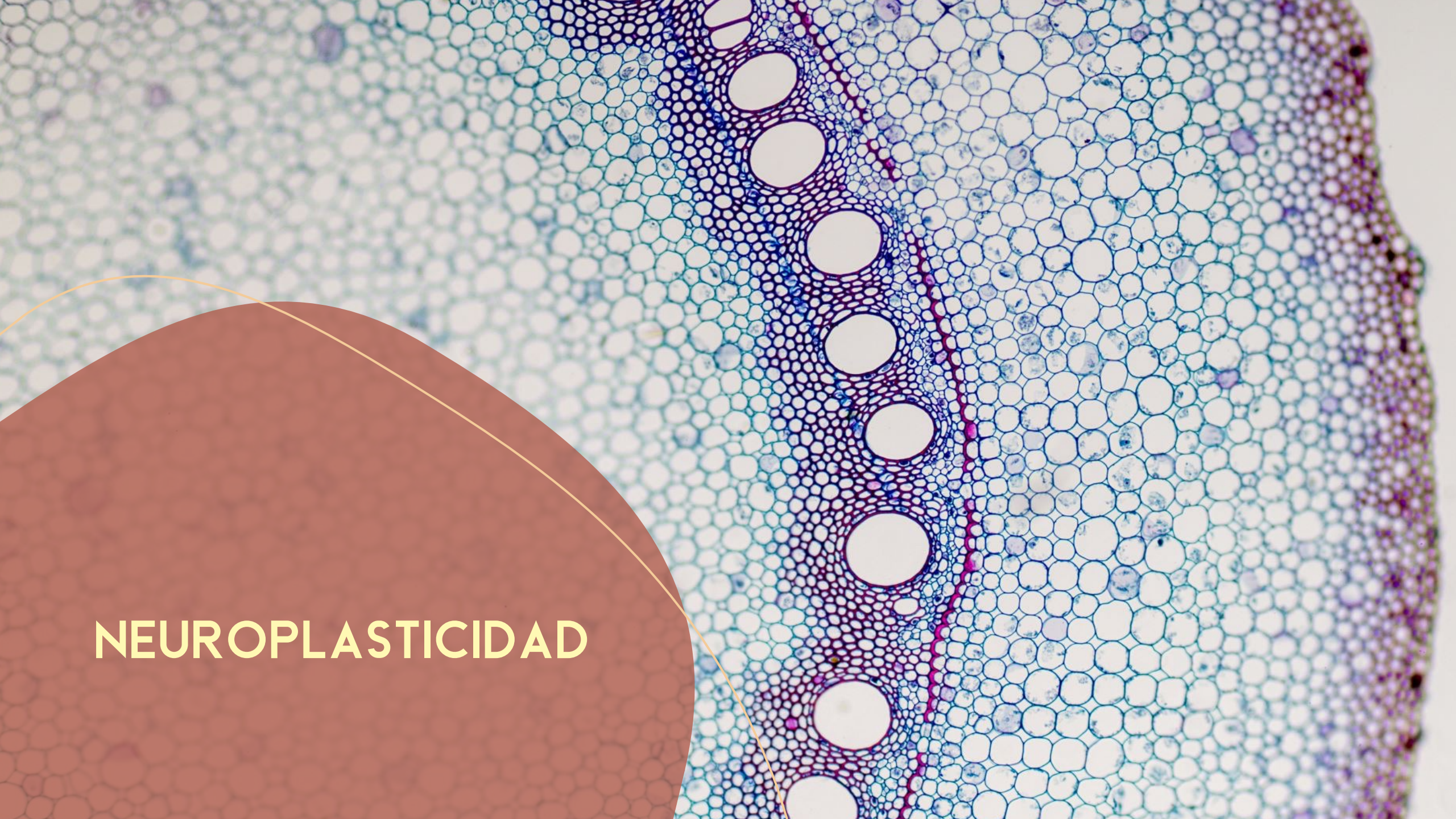


# NEUROPLASTICIDAD Y APRENDIZAJE

María Vélez Coto

1. Neuroplasticidad.
  1. Origen.
  2. Principios de la plasticidad.
2. Tipos de plasticidad.
  1. Por manifestación
  2. Por tipo de mecanismo
  3. Por edades
3. Factores relacionados con la plasticidad cerebral.
  1. Reserva cognitiva
  2. Factores sociales
  3. Otros
4. Actividad

# ÍNDICE



**NEUROPLASTICIDAD**

# ORIGEN

- 1890, James. *"Rutas específicas en el cerebro por el uso repetido a través de los hábitos conductuales"*.
  - No tenía el concepto de neurona!
- 1894, Cajal:
  - *"El aprendizaje exige la formación de nuevas conexiones entre neuronas"*.
  - *"La inteligencia se manifiesta por la plasticidad neuronal: algunas neuronas expanden sus procesos, mientras otras reducen su actividad"*.



# ORIGEN

- 1913, Cajal:
  - *"Los caminos nerviosos son algo fijo, concluido, inmutable. Todo puede morir, nada puede ser regenerado"*.
  - Formula las leyes del crecimiento continuo, del crecimiento en línea recta y de atrofia por desuso.
  - Especuló con la posibilidad de que existiesen formas de compensación neuronal dinámica en el córtex neuronal después de una lesión.

# NEUROPLASTICIDAD

- Proceso que representa la capacidad del sistema nervioso de modificarse para **generar/reorganizar/eliminar** conexiones neuronales en respuesta a:
  - La información nueva.
  - Estimulación sensorial.
  - Desarrollo.
  - Disfunción.
  - Daño.

# NEUROPLASTICIDAD

- Principales consecuencias:
  - Aprendizaje y memoria
  - Rehabilitación
- Alteraciones:
  - Trastornos del desarrollo.
  - Epilepsia, Parkinson.
  - Trastornos cognitivos.
- No fácilmente definido:
  - Cambios moleculares.
  - Campos comportamentales.

Experiencia

Hormonas

Sustancias

Recompensas  
naturales

Estrés

Envejecimiento

Dieta

Estimulación  
eléctrica

Factores  
neurotróficos





# PRINCIPIOS DE LA PLASTICIDAD

(Kleim & Jones, 2008)

## 1. Úsalo o piérdelo (*Use-it-or-lose-it*).

- Cuando existe disminución del uso o hay un fallo de áreas/funciones cerebrales, se produce la degradación.



Memoria



Representación  
de sonidos



Neuronas  
corteza visual

## 2. La práctica, mejora (*Use-it-and-improve-it*).

- Si se realiza una práctica constante y estimulante de una función determinada provoca una mejora de la función y se mejora potencialmente la capacidad cerebral.

### 3. Especificidad.

- El **tipo** de experiencia se relaciona con formas específicas de plasticidad neural y cambios concomitantes de comportamiento.
  - La adquisición de habilidades motoras está asociada con cambios en la expresión génica, crecimiento dendrítico, adición de sinapsis y actividad neural en la corteza motora y cerebelo (Monfils et al., 2005; Nudo, 2003).

## 4. La repetición importa.

- La simple activación de un circuito neuronal al realizar una tarea no es suficiente, requiere repetición del comportamiento.
  - Adquisición.
  - Mantenimiento ante la ausencia de práctica.
- ✓ Crítico para la rehabilitación.

## 5. La intensidad también importa.

- La intensidad de la estimulación o del entrenamiento.
  - Estimulación de baja intensidad puede debilitar la respuesta sináptica (DLP), pero la más intensa inducirá PLP (Lisman & Spruston, 2005).
- ¡Cuidado con la *sobreintensidad*!

- Cuidado con la sobreintensidad:



### Lesión sensoriomotora

- Forzar 7 días tras una lesión a utilizar las extremidades traseras, provocó una pérdida de tejido y funcionalidad.
  - El tejido vulnerable que rodea la lesión "exagera" la excitotoxicidad.
- (DeBow et al., 2004; Humm et al., 1998).

### Ejercicio tras TCE

- Ejercicio (correr) en los primeros 6 días tras TCE, reducía la expresión de moléculas relacionadas con la plasticidad en el hipocampo.
  - Ejercicio a partir de 2 sem. tras la lesión, la aumentó y mejoró rendimiento de memoria espacial.
- (Griesbach et al., 2004).

## 6. Temporalidad y momento.

- La plasticidad se puede ver como un proceso, una cascada de eventos moleculares, celulares, estructurales y fisiológicos.
  - Algunas formas preceden a otras. Depende de **cuándo** miremos el cerebro.
- La plasticidad requiere **tiempo** y depende del **momento**.
  - Especialmente, para lograr/ver cambios **funcionales**.



## 6. Temporalidad y momento.

- Consideraciones para la rehabilitación del DC:
  - ¿Es el tratamiento neuroprotector? (Evita muerte neuronal y pérdida de conexiones).
    - Conveniente en casi cualquier momento, PERO hay períodos más adecuados.
    - Mejor de manera inmediata.
  - ¿Impulsa la reorganización de conexiones restantes?
    - Comportamientos compensatorios, mejor con un poco de retraso.

## 7. Los estímulos/entrenamiento han de ser relevantes.

- La plasticidad está relacionada con la experiencia y su relevancia (notable e innovadora).
  - Potenciar e integrar los estímulos ambientales significativos.
    - Saliencia.
  - Adquisición de conocimientos, períodos de crecimiento, entrenamiento cognitivo.
    - Motivación.

## 8. La importancia de la edad.

- La potenciación sináptica, sinaptogénesis y la reorganización cortical se reducen con la edad.
  - La plasticidad es el mecanismo compensatorio del envejecimiento.
  - La recuperación tras lesiones también se ve influida por la edad:
    - Brotes de nuevas conexiones (Huff et al., 1979):
      - Ratas jóvenes: 2-4 días.
      - Ratas mayores: 20 días.

## 9. Transferencia.

- Capacidad de la plasticidad dentro de un conjunto de circuitos neuronales para promover una plasticidad concurrente o posterior.
  - Comportamental: Ambientes complejos se relacionan con mejores resultados funcionales tras daño cerebral.
  - Estimulación de determinadas áreas se transfiere a otras:
    - Demostrado recientemente en la corteza motora humana con el aprendizaje de habilidades y la TMS.
    - Entrenamiento del movimiento de un dedo -> representación músculo mano en corteza motora (Pascual-Leone et al., 1995).

## 10. La neuroplasticidad también puede impedir el cambio.

- Interferencia - Capacidad de la plasticidad de un circuito neuronal determinado para impedir la inducción de una nueva plasticidad o la expresión de la existente dentro de ese mismo circuito.
  - Estimulación fuera de la experiencia de entrenamiento:
    - Impide la consolidación.
    - Perjudica el rendimiento.

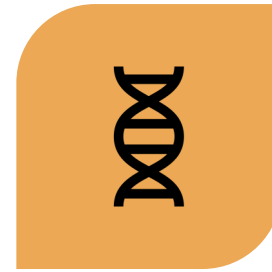
## 10. La neuroplasticidad también puede impedir el cambio.

- Implicaciones en cuanto a la forma de aplicar la estimulación adyuvante para mejorar la recuperación tras un daño cerebral.
- Conductas compensatorias – “malos hábitos”:
  - Más fáciles y son eficaces.
  - Usadas con mayor frecuencia que las trabajadas en rehabilitación.



TIPOS DE  
PLASTICIDAD

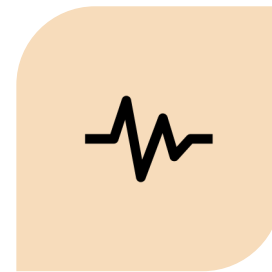
# TIPOS



NATURAL



POST-  
LESIONAL



FISIOLÓGICA



PATOLÓGICA





**POR TIPO DE  
MANIFESTACIÓN**

Tipo según manifestación	Medio	Efectos
Evolutiva	Desarrollo	Positivo / Negativo
Reactiva	Exposición transitoria	Funcional / Metabólico
Adaptativa	Exposición repetida	Funcional / estructural
Reparadora	Recuperación	Recuperación funcional / estructural

(Troja & Porkony, 1999)

# PLASTICIDAD EVOLUTIVA

- 3 fases de organización neuronal:
  - Proliferación.
  - Migración.
  - Diferenciación neuronal.
    - Macroneuronal: conexiones largas. Vías aferentes y eferentes.
    - Microneuronal: asociación y modulación de circuitos locales.
- Períodos del desarrollo crítico – Mayor sensibilidad a estímulos – Alteración permanente.
  - Positivos: Ambientes complejos.
  - Negativos: Malnutrición.
- Vulnerabilidad asociada con plasticidad: diferenciación de estructuras sensibles, procesos del crecimiento y sistema de diferenciación.

# PLASTICIDAD REACTIVA

- Respuesta limitada al período simultáneo a la exposición al estímulo.
  - Reacciones adaptativas metabólicas (P. ej., hambre y sed aumenta la resistencia a la falta de oxígeno).
  - Depende del tipo de estímulo y la habilidad del organismo para responder.
- Compensar pérdidas tras una lesión.

# PLASTICIDAD ADAPTATIVA

- Fundamental para el aprendizaje y la memoria.
- Ante la exposición repetida o a largo plazo a un estímulo.
  - Manifestaciones funcionales: incremento de liberación de NT, más densidad de receptores.
  - Manifestaciones estructurales: n° de absorciones sinápticas.
- Resultado:
  - Transformación compensatoria funcional.
  - Reorganización permanente.

# PLASTICIDAD REPARADORA

- Capacidad para recuperar la función/tejido dañados.
- Cambios:
  - Funcionales:
    - Eficiencia sinapsis.
    - Modulación circuitos locales.
    - Interrelación entre unidades funcionales.
  - Estructurales:
    - N° sinapsis.
    - Nuevas fibras colaterales.



**POR TIPO DE  
MECANISMOS**

# TIPOS DE MECANISMOS



Plasticidad estructural.



Plasticidad funcional.



# PROCESOS IMPLICADOS

**E**

---

Sinaptogénesis

---

Neurogenésis

---

Apoptosis

---

Brotos dendrítico y axónicos

---

Mielinización

---

Angiogénesis

---

Potenciación de la transmisión sináptica

---

Reasignación intermodal

---

**F**

Expansión del mapa somatotópico

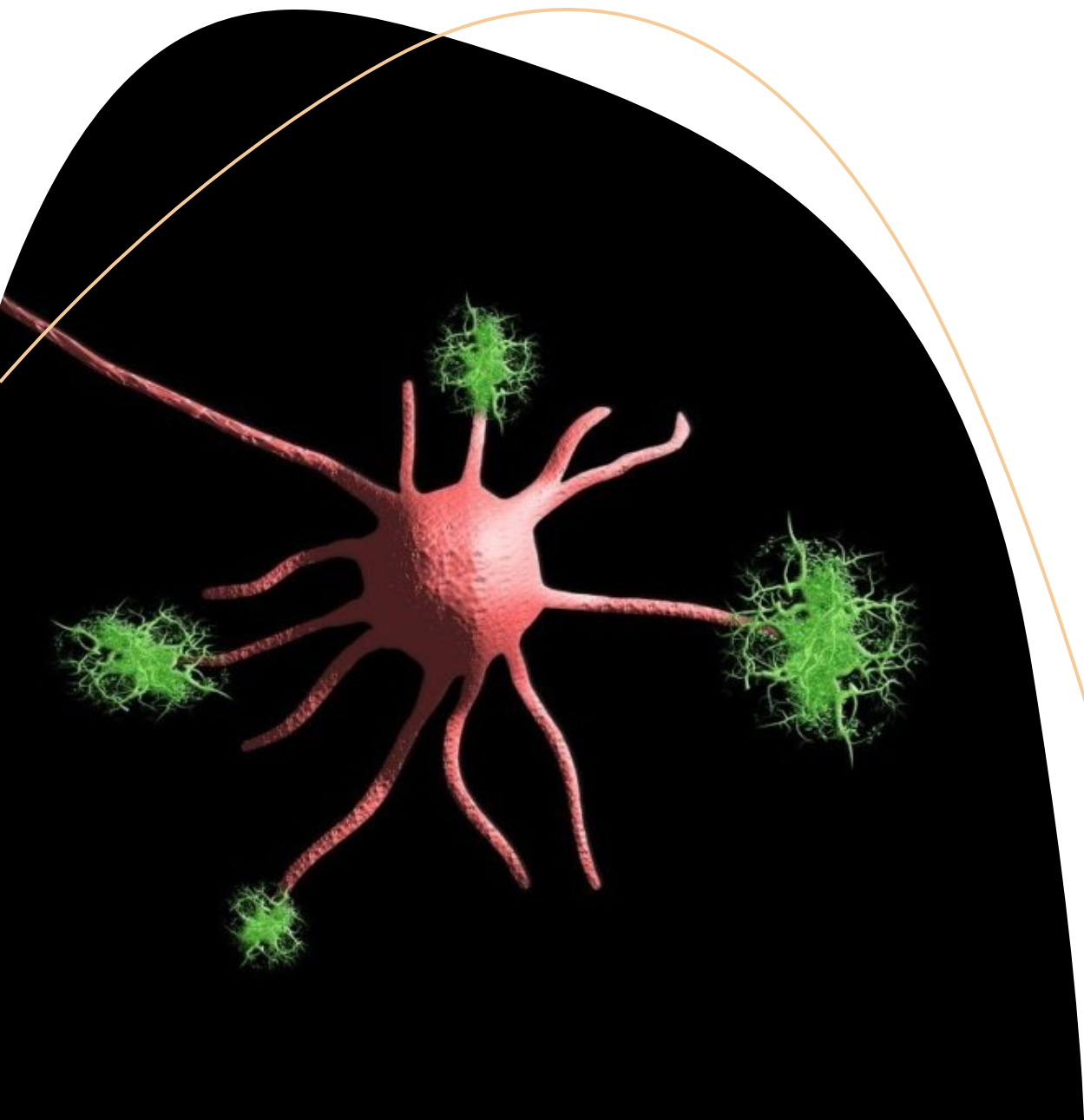
---

Desenmascaramiento compensatorio

---

Reclutamiento de áreas homólogas

---



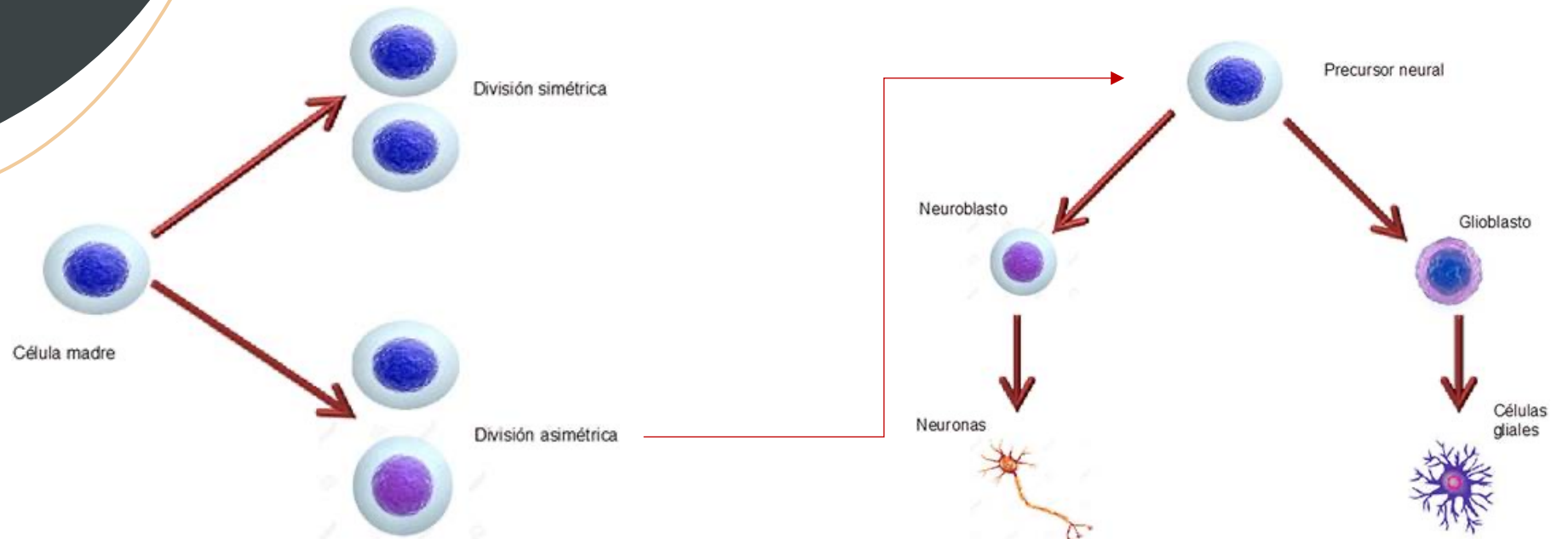
## SINAPTOGÉNESIS

- Principal mecanismo neuroplástico.
  - Desde el desarrollo fetal.
  - Tras la poda, continúa como plasticidad adaptativa y reactiva.
- Formación de nuevas sinapsis.
  - Especialmente relevante en la plasticidad durante el desarrollo.
- Entre neuronas o entre una neurona y otra célula del SN.
- Controlado por la expresión de genes, influenciada por el ambiente.

# NEUROGÉNESIS

Nuevas neuronas a partir de células madre neurales y células progenitoras en la edad adulta.

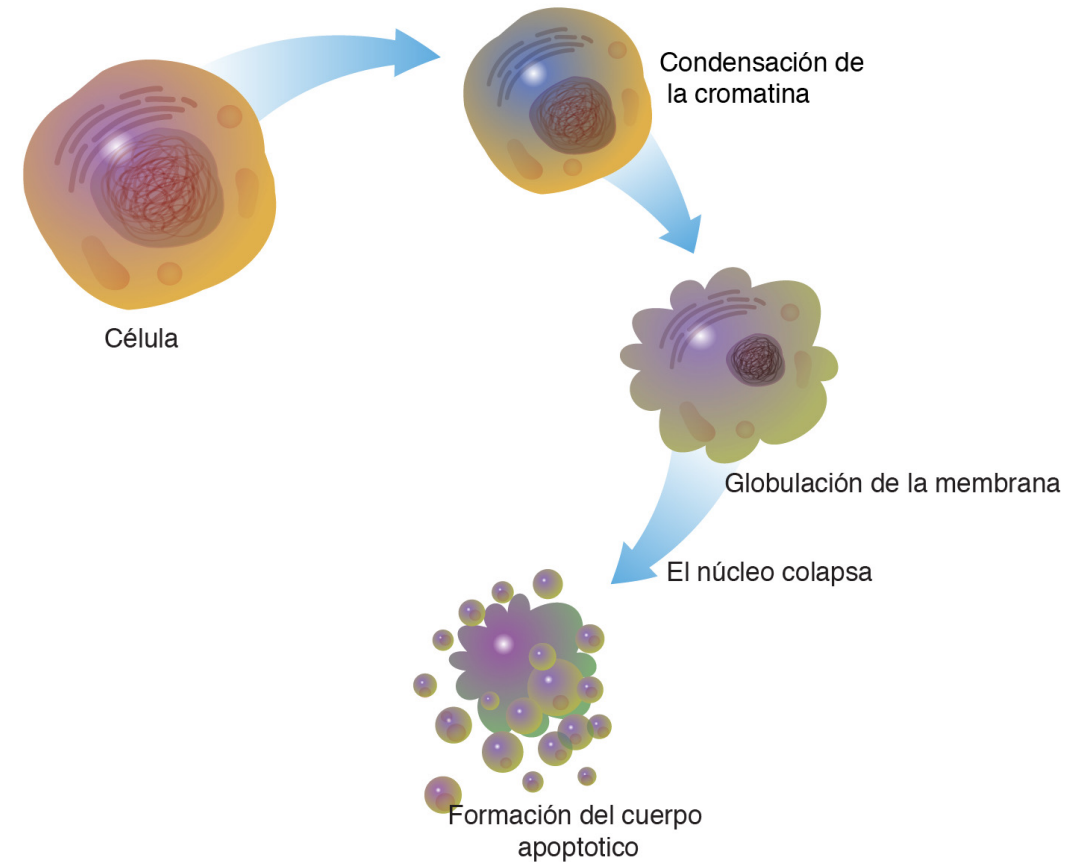
- Daño
- Cerebro sano
  - Zona subventricular, laterales.
  - Giro dentado, hipocampo.



(Navarro-Quiroz et al., 2018)

# APOPTOSIS

- Muerte neuronal programada.
- Especialmente en neuronas que no han establecido sinapsis funcionales.
- No expuestas a un nivel suficiente de factor neurotrófico.

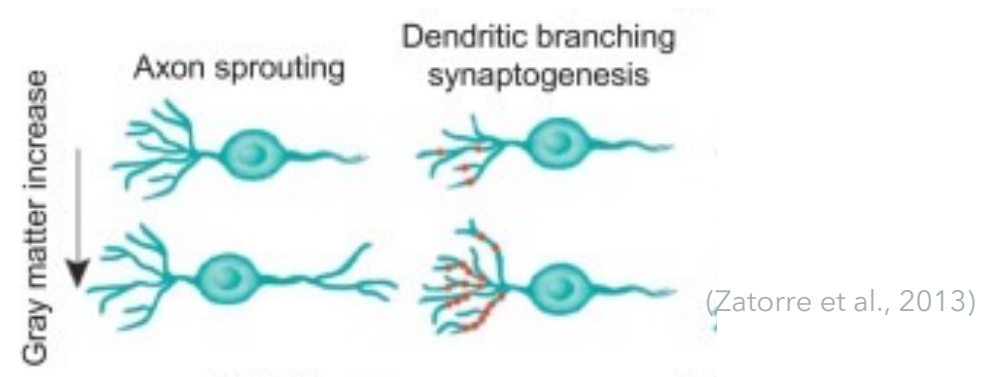


(National Institute of Health, s. f.) Apoptosis.

<https://www.genome.gov/es/genetics-glossary/Apoptosis>

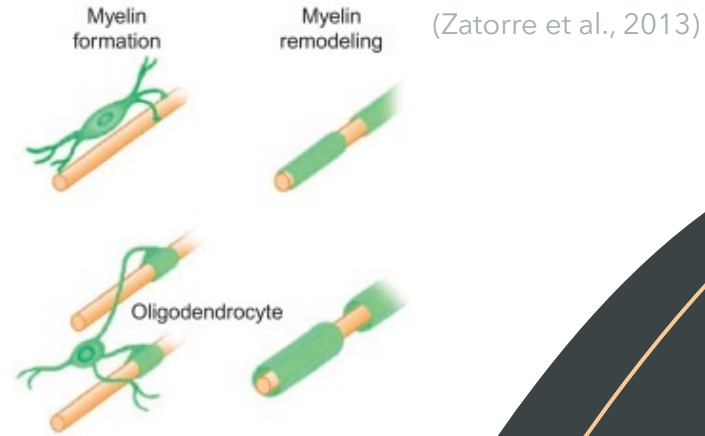
# BROTOS DENDRÍTICOS Y AXONALES

- Respuesta de crecimiento frente a un estímulo.
- Puede ser, o no, el primer paso para la formación de nuevas sinapsis.
- Brotes axonales, pueden ser de dos tipos:
  - *Brotes terminales o ultraterminales: prolongaciones del terminal sináptico.*
  - *Brotes nodales/colaterales: nueva rama del axón, independientes de otras terminaciones nerviosas.*
- Adaptativo / Mal adaptativo.



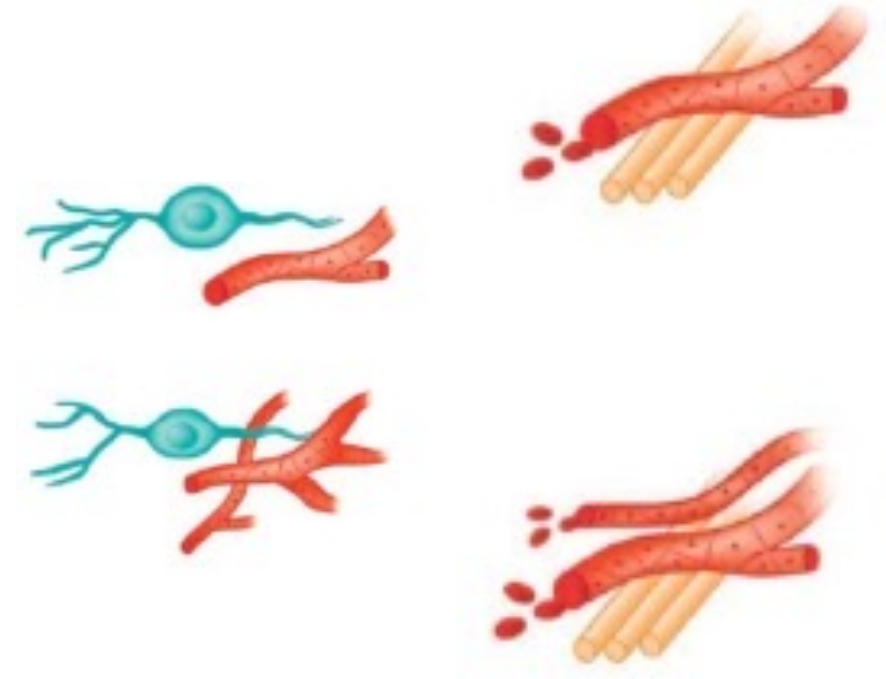
# MIELINIZACIÓN

- Fundamental en el desarrollo.
- Mejora la funcionalidad del cerebro
  - Eficiencia sináptica.
  - Maduración de conexiones neuronales.
- Gracias a los oligodendrocitos (glía).
  - Producción dinámica y variable.
- Dependiente de la experiencia.
  - Influencia de lo social (ej. Aislamiento).
    - Juventud y adultez (Liu et al., 2012).
  - Alteraciones cognitivas Esquizofrenia / Bipolar.



# ANGIOGÉNESIS

- Creación de nuevos vasos sanguíneos.
  - Incrementa la circulación colateral.
- Fundamental para la producción de neuronas en el desarrollo.
- Esencial tras lesiones cerebrales.
- Sensible a la experiencia:
  - Ejercicio físico.
- Tratamientos farmacológicos: estatinas.

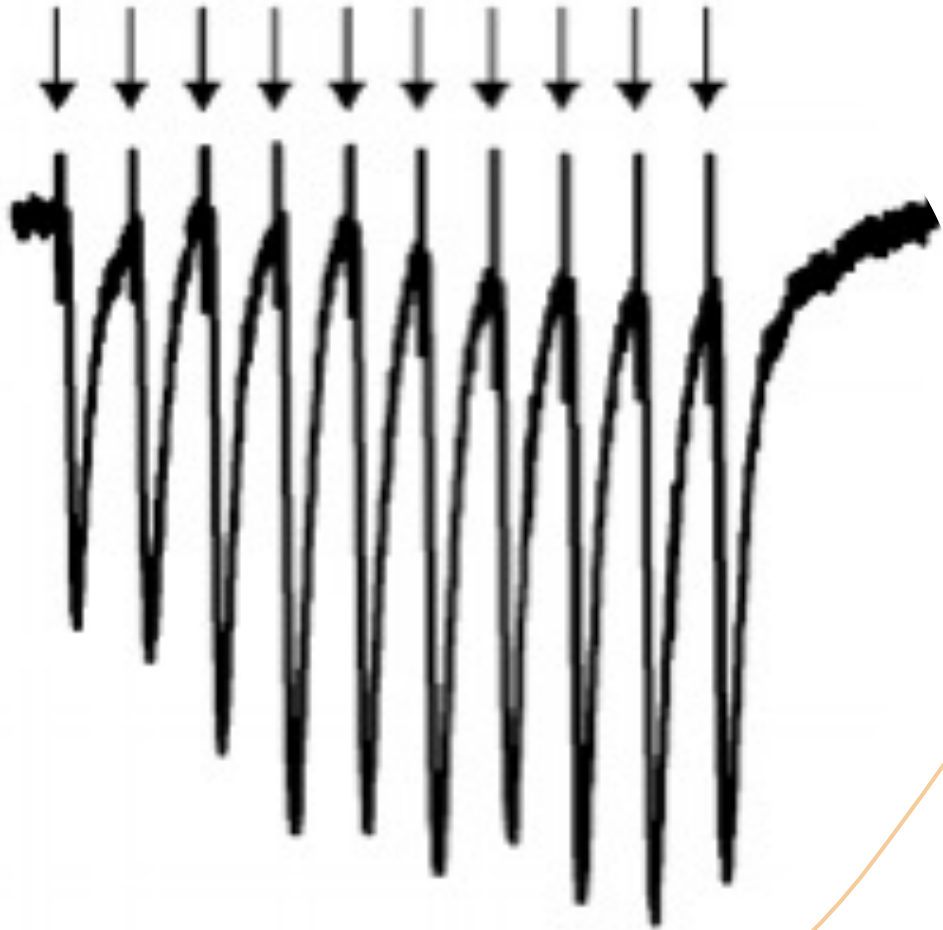


(Zatorre et al., 2013)

# POTENCIACIÓN DE LA TRANSMISIÓN SINÁPTICA

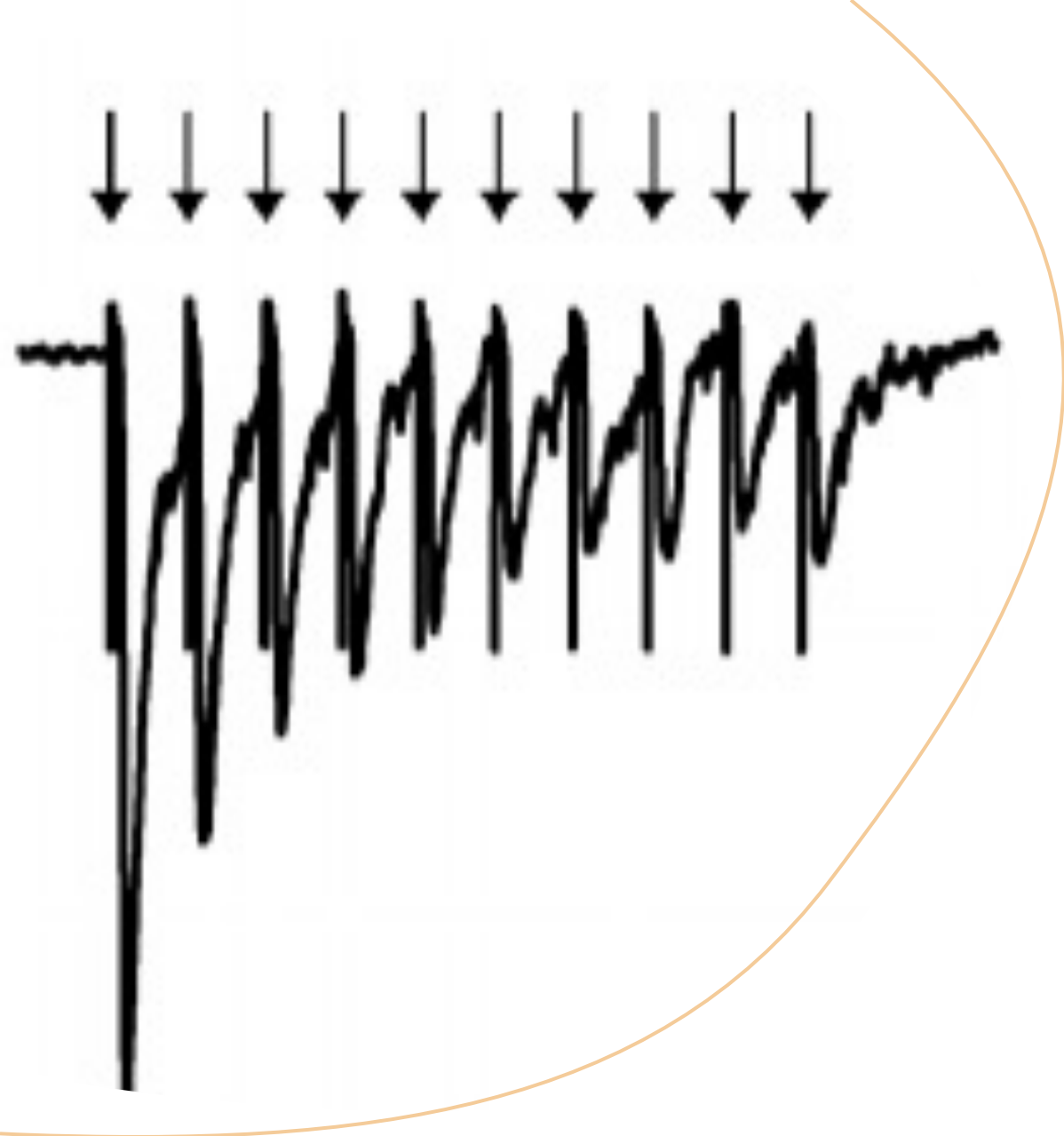
- Potenciación a largo plazo:
  - Intensificación duradera (>30min-días) en la transmisión de señales entre dos neuronas que resulta de la estimulación sincrónica de ambas.
    - Incremento de liberación de NT después de los EE.
  - Fortalecimiento de sinapsis.
  - Mecanismo principal de la formación de la memoria.





## POTENCIACIÓN A CORTO PLAZO

- Aumento de la liberación de NTs presináptica.
- Cambios duraderos en la eficiencia de las conexiones sinápticas.
- 3 procesos:
  - Facilitación (1s).
  - Aumentación (30s).
  - Potenciación (minutos).
- 2 mecanismos:
  - Aumento del nº de vesículas a liberar.
  - Aumento de la probabilidad de liberación de las vesículas.



## DEPRESIÓN A CORTO PLAZO

- Debilitamiento de las sinapsis.
- Disminución de la amplitud presináptica durante la estimulación repetida en las sinapsis con una probabilidad de liberación alta (Carrillo-Reid y Bargas, 2008).
- Amplitud inversamente proporcional a la frecuencia de disparo.
- Median los patrones de actividad generados entre dos grupos de neuronas.

# PLASTICIDAD SINÁPTICA A CORTO PLAZO (PCP/DCPI).



Sensibilización y habituación.



Filtro que procesa la información.



Iniciación, estabilización y reconfiguración de los sistemas motores.



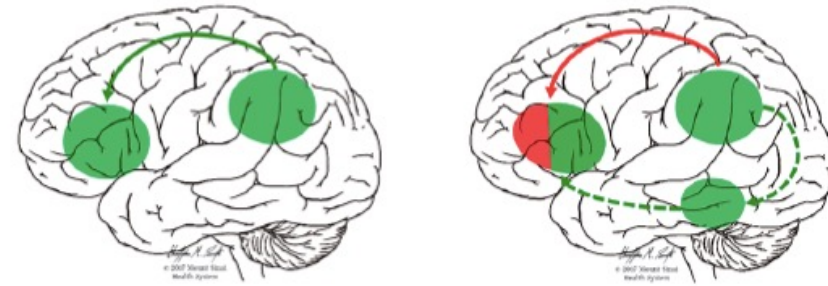
Selección de patrones motores (nado, caminata...).



# PLASTICIDAD FUNCIONAL

(Grafman, 2000)

# REASIGNACIÓN INTERMODAL



Normal connection

Alternative connectivity

(Froudust-Walsh et al., 2017)

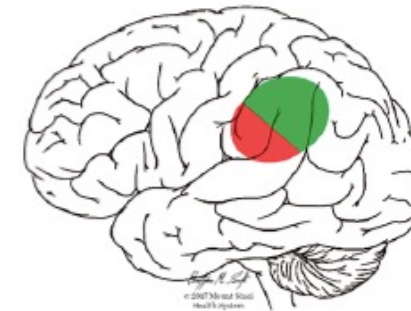
- Cuando las estructuras que antes se dedicaban a procesar un tipo concreto de entrada sensorial aceptan ahora la entrada de un nuevo método sensorial.
- Introducción de nuevas entradas en una región cerebral representativa que ha sido privada de sus entradas principales.
- Por ejemplo, procesamiento táctil en la corteza visual, en personas ciegas.



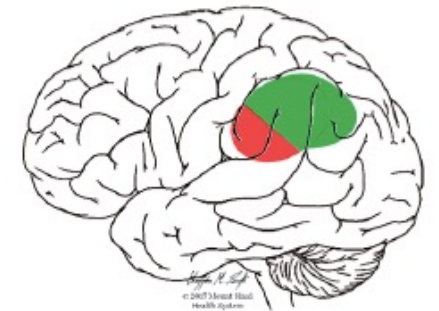
[https://www.youtube.com/watch?time\\_continue=397&v=7s1VAVcM8s8&feature=emb\\_logo](https://www.youtube.com/watch?time_continue=397&v=7s1VAVcM8s8&feature=emb_logo)

# EXPANSIÓN DEL MAPA SOMATOTÓPICO

- Ampliación de una región funcional del cerebro en función del rendimiento.
- Demuestra la flexibilidad en las regiones dedicadas a un proceso cognitivo.
- La expansión suele mostrarse en los primeros minutos o exposición.
- Hipótesis:
  - Con el entrenamiento, una región especializada puede dirigirse a otra región para reclutar nuevas neuronas en red.
  - Se activa toda una red para procesar la información. Cuando el procesamiento está "claro", la red puede recuperar su estado inicial y gastar menos energía.



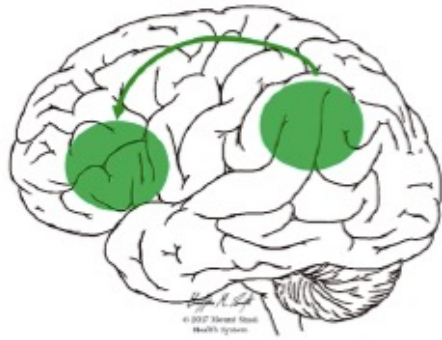
Pre-training



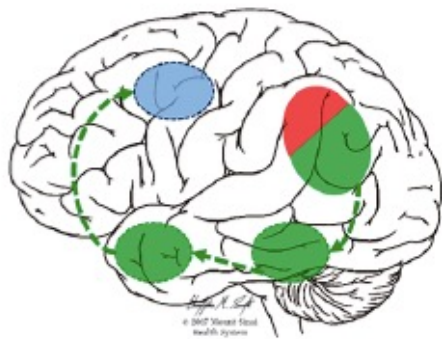
Behavioral training  
Other interventions

(Froudust-Walsh et al., 2017)

# DESENMASCARAMIENTO COMPENSATORIO



Normal connection



Alternative connectivity

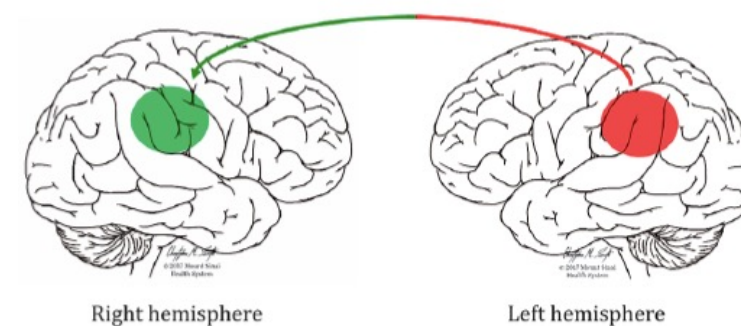
(Froudust-Walsh et al., 2017)

- Uso novedoso de un proceso cognitivo intacto, para realizar una tarea que dependía de un proceso deteriorado.
- Ejemplo: *Ruta de casa a la oficina.*
  - Alternativas:
    1. En función del sentido de las coordenadas espaciales. Implícita y rápida.
    2. Según etiquetado verbal de puntos de referencia. Explícita y lenta.




# RECLUTAMIENTO ÁREAS HOMÓLOGAS

- Asunción de un proceso cognitivo particular por una región homóloga en el hemisferio opuesto.
- Más activo durante etapas tempranas del desarrollo.
  - Interferencias en tareas duales.
- Proporción del área dañada ↔ Cantidad de adaptación.
  - Áreas vecinas: asignaciones primarias y secundarias.
  - Secundaria, normalmente inhibida y para inhibir a la otra.
  - Capaz de asumir función, cuando se elimina esa inhibición.



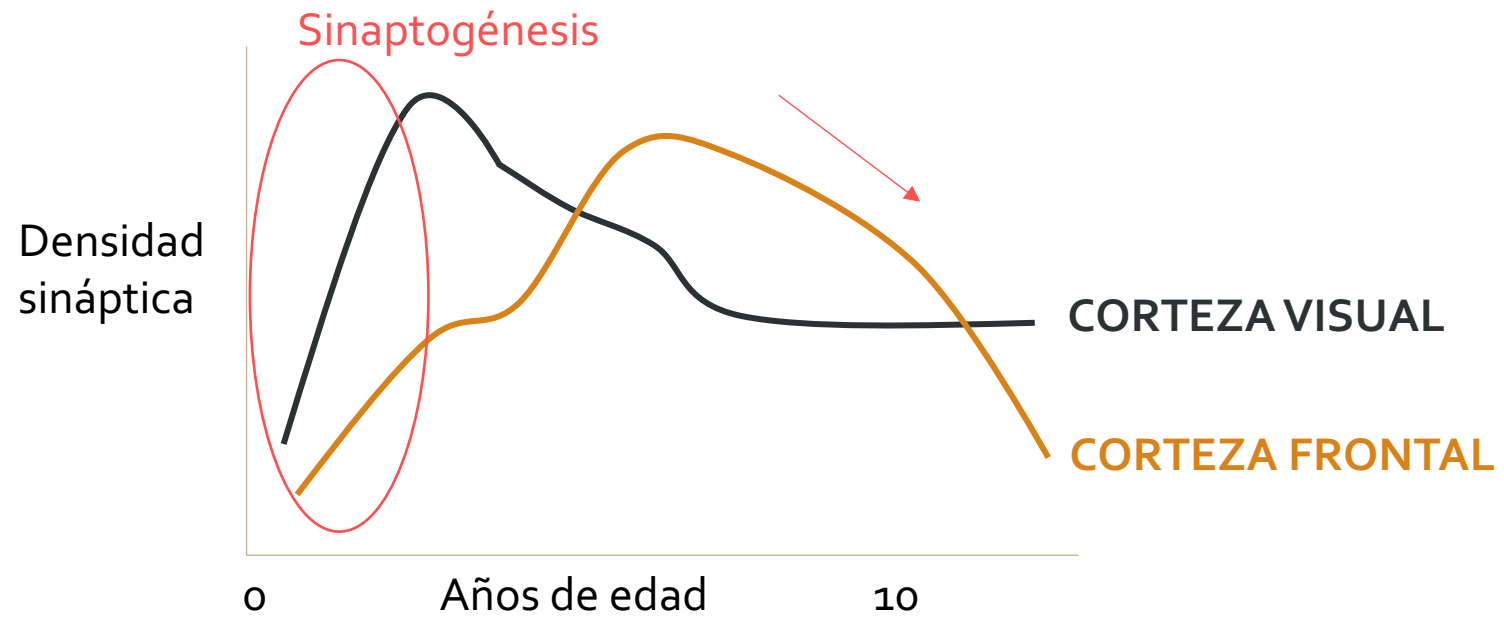
(Froudish-Walsh et al., 2017)

A hand holding a compass over a road intersection in a desert landscape. The compass is a standard analog compass with a white face and black markings, showing cardinal and intercardinal directions. The hand is holding the compass by its black strap. The background shows a paved road intersection in a desert environment with sandy hills and a small body of water in the distance. A semi-transparent brown circle is overlaid on the left side of the image, containing the text.

**PLASTICIDAD A LO  
LARGO DEL  
DESARROLLO.**

# INFANCIA (POST-NATAL)

- Coordinación de eventos prenatales y postnatales:
  - Crecimiento y remodelación neuronal.
  - Sinaptogénesis (máximo 4-5 meses).
  - Poda sináptica.
  - Mielinización.
- Período de crecimiento muy prolongado:
  - Crecimiento 36% a las 2-4- semanas / 80% a los 2 años.
  - Sobreproducción de axones y dendritas, formación de sinapsis y reorganización.
- Expectante de la experiencia – Disposición para responder.
  - Influencia del entorno familiar y social.
  - Desarrollo de funciones complejas.



# INFANCIA

- Periodos críticos de desarrollo:



<https://youtu.be/NJMhO8u-ru0?t=615>

# ADOLESCENCIA



# ADULTEZ

- La plasticidad no termina con la pubertad.
  - Ahora, dependiente de la experiencia – Ajuste al entorno.
- Se puede aprender a cualquier edad, aunque sea más difícil.
- Estrategias distintas.
- Mecanismos adaptados:
  - Reducción de la inhibición (neuronas vecinas).
  - Aumento de la fuerza sináptica: PLP – Aprendizaje.
  - Brotes axonales.
  - Formación de nuevas sinapsis y nuevas neuronas.
    - Demandas / Ambiente enriquecido.
    - Neurogénesis en determinadas áreas: áreas asociativas.
  - Brotes dendríticos: para compensar la pérdida de neuronas cercanas con funciones similares.

Koch, et al. (2015).

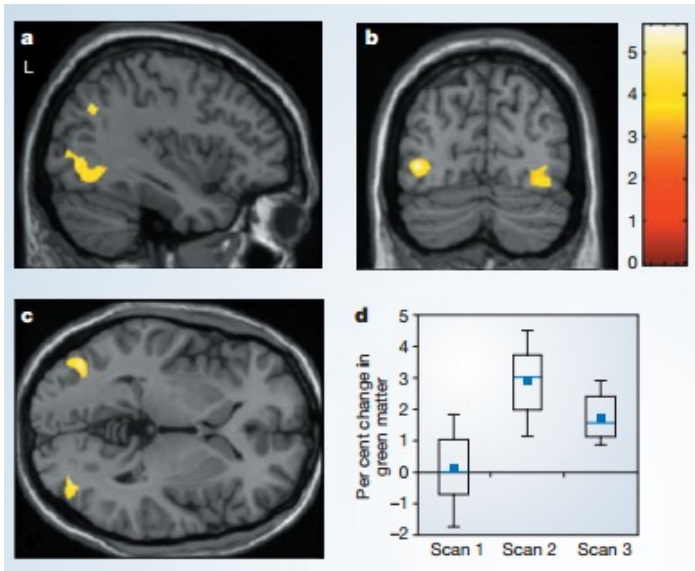


Estudiantes de medicina // Sujetos control (voluntariado).  
Controlados para ejercicio físico y práctica de música.

1. fMRI Antes de comenzar la carrera.
  2. fMRI 14 semanas después, justo al acabar los primeros exámenes. (Tras 190h de estudio presencial y 280h no presenciales)
- Mayor rendimiento WM en estudiantes (independiente del momento).
  - Cambio volumétrico mayor en los estudiantes en el hipocampo derecho. Mayor materia gris.
  - Presencia de cambio en el tiempo en estudiantes. No en controles.
  - Hipocampo derecho: adquisición y consolidación de conocimiento semántico.



Draganski, B. et al. (2004).



Inexpertos aprendieron a hacer malabares durante 3 meses.

3 escáneres por MRIf:

1. Antes del aprendizaje.
2. Cuando fueron capaces de hacer malabares con 3 pelotas durante 60".
3. 3 meses después del 2º escáner.

Incremento de sustancia gris en las áreas temporal y posterior del área intra-parietal.


Alteraciones organizacionales de las vías de materia blanca.

Más relacionado con la percepción espacial y retención visual que con habilidades motoras.

# ENVEJECIMIENTO

- Escasamente estudiado.
  - Difícilmente estudiable.
    - Métodos.
    - Cambios por edad? Neuroplasticidad?
- Indicios de cambios compensatorios hacia una mayor actividad en las regiones anteriores.
  - Reclutamiento adicional.
  - P. ej., mayor actividad bilateral en el CPF

(Burke & Barnes, 2006; Morcom y Johnson, 2015).

A network diagram is constructed on a corkboard using toothpicks and pushpins. The pushpins, in various colors (yellow, red, blue, green, white), serve as nodes, and the toothpicks serve as edges connecting these nodes. The network is dense and interconnected, with many nodes having multiple connections. A large, semi-transparent reddish-brown circle is overlaid on the left side of the image, partially obscuring the network. The text 'FACTORES RELACIONADOS CON LA PLASTICIDAD CEREBRAL.' is written in yellow, bold, uppercase letters within this circle.

**FACTORES  
RELACIONADOS CON  
LA PLASTICIDAD  
CEREBRAL.**

# RESERVA COGNITIVA

Capacidad cerebral que protege a los individuos del deterioro cognitivo o permite tolerar mejor los síntomas.

- Modelo pasivo:
  - **Reserva cerebral.**
    - Reserva = tamaño cerebral / volumen neuronal.
    - Conlleva diferencias en la expresión clínica de un grado particular de daño cerebral.
    - Umbral.
- Modelo activo:
  - **Reserva cognitiva.**
    - El cerebro reacciona al daño cerebral usando procesos cognitivos preexistentes (reserva neural) o poniendo en marcha procesos compensatorios.
    - No umbral.

# RESERVA COGNITIVA

- Indicadores más comunes: adquiridos por la experiencia.
  - Estatus socioeconómico (ingresos, nivel ocupacional), nivel educativo, medidas cognitivas, complejidad del trabajo.
  - Actividades estimulantes, de ocio.
- Reserva cognitiva → factor protector y resultado de la plasticidad.
  - Adaptación continua al ambiente, estimulante.
  - RC: Adquisición de habilidades.
  - Cambios duraderos.

# EXPERIENCIA SOCIAL



# EXPERIENCIA SOCIAL

- De las más poderosas para inducir cambios.
- Estudios sobre el comportamiento social y bienestar, pero escasos.

# ESTRÉS

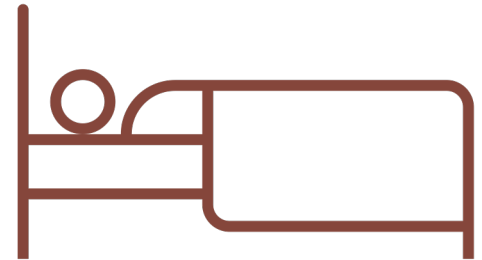
- Neuroplasticidad maladaptativa.
- Entornos estresantes provocan cambios importantes y duraderos en el cerebro.
- Efecto del cortisol: neuromodulador con efectos directos sobre el aprendizaje. Inhibe la PLP.



# SUEÑO

Los ritmos circadianos regulan la actitud alerta, la capacidad cognitiva y el funcionamiento de los movimientos.

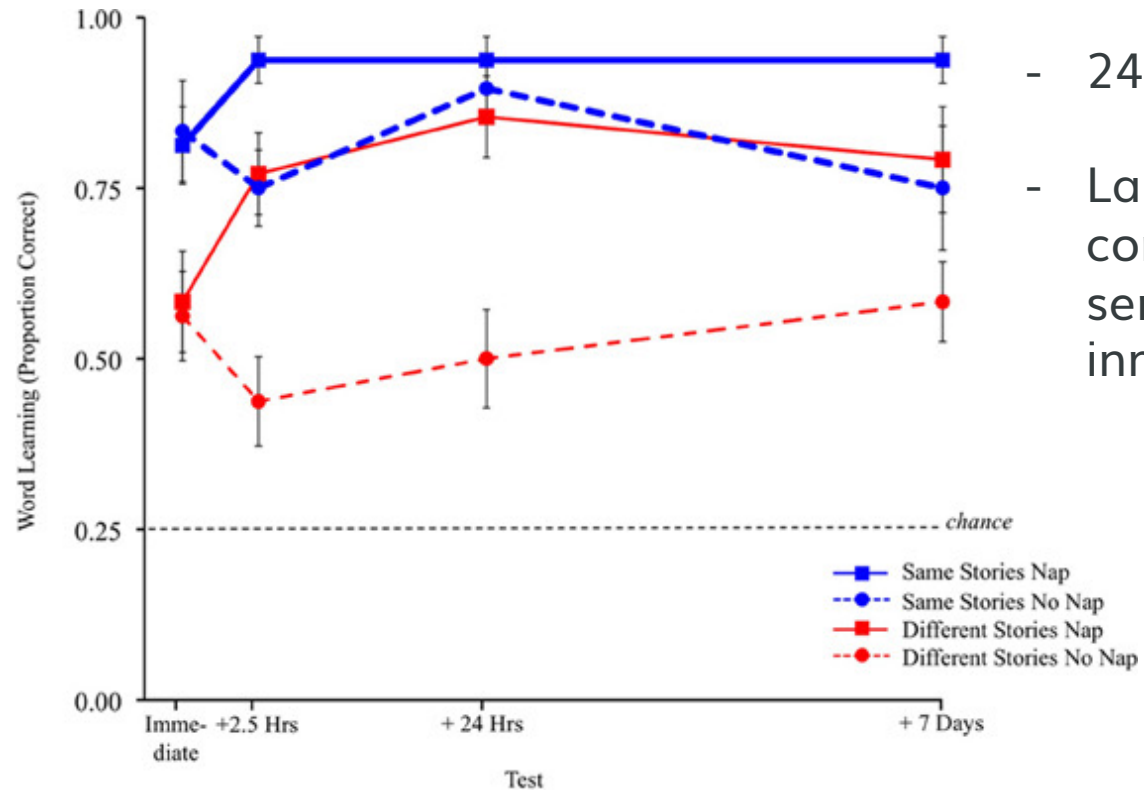
Mejora el priming, memoria procedimental motora, memoria declarativa hasta aprendizaje de vocabulario (Schreiner, T. & Rash, B., 2016).



## Teoría del sistema activo de consolidación:

Durante el sueño (en fase NREM), se reactivan y repiten espontáneamente los nuevos recuerdos, especialmente en el hipocampo. Al parecer, para estabilizar y fortalecer la integración de éstos en redes de conocimiento pre-existente. (Diekelmann & Born, 2010; Stickgold & Walker, 2013)

- Tarea aprendizaje palabras (3 años).



- 24 horas y 1 semana después.

- La siesta tras las historias conllevan mayor recuerdo 1 semana después. No en el recuerdo inmediato.

# LESIÓN CEREBRAL Y PLASTICIDAD



# LESIÓN CEREBRAL Y PLASTICIDAD.

- Base y fundamento de los procesos experimentales y clínicos de neuro-rehabilitación.
- Incontable valor para respaldar un plan dirigido, controlado, replicable e intensivo de neuro-rehabilitación.
- Tener en cuenta la plasticidad funcional.

# PRINCIPIOS DE LA NEUROPLASTICIDAD

- Constancia.
- Relevancia e Intensidad adaptada a la persona.
  - Priorizar objetivos, técnica más efectiva.
- Repetición.
- Tareas específicas.
- Mantenimiento y transferencia.
- Tiempo!
- Edad.
- Interferencia – Conductas compensatorias.

# ACTIVIDAD

1

¿Cómo puede un/a neuropsicólogo/a **evaluar** la plasticidad cerebral?

2

¿Qué **estrategias** de intervención/rehabilitación promueven la plasticidad?  
¿Por qué?