

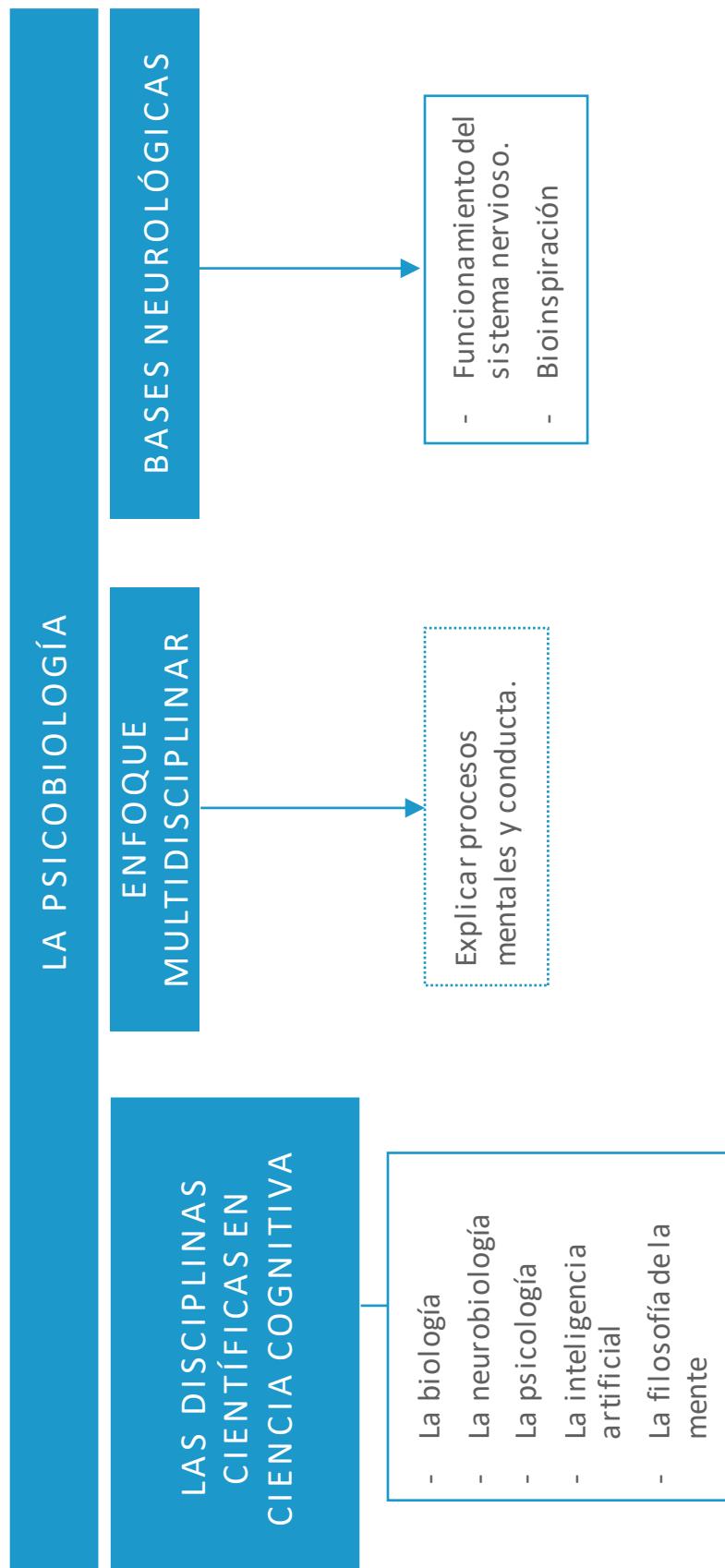
Neurociencia Cognitiva

Introducción a la psicobiología

Índice

Esquema	3
Ideas clave	4
1.1. ¿Cómo estudiar este tema?	4
1.2. Introducción a las neurociencias	5
1.3. Enfoque multidisciplinar en neurociencia cognitiva	7
1.4. Bases neurobiológicas de los procesos mentales	11
1.5. Referencias bibliográficas	15
Lo + recomendado	16
+ Información	19
Test	21

Esquema



Ideas clave

1.1. ¿Cómo estudiar este tema?

Para estudiar este lee las Ideas clave disponibles a continuación y el siguiente artículo:

Martínez, E.C. y Méndez, M.R. (2013). El sujeto desde la neurociencia y la inteligencia artificial. *Revista de estudios de juventud*, 103, 9-19.

Accede al artículo a través del aula virtual o de la siguiente dirección web:

<http://www.injuve.es/sites/default/files/1%20El%20sujeto%20desde%20la%20neurociencia%20y%20la%20inteligencia%20artificial.pdf>

En este tema analizaremos tres puntos fundamentales para poder entender la importancia que tienen las neurociencias en la aplicación práctica de la inteligencia artificial:

- ▶ La multidisciplinariedad en neurociencias.
- ▶ El estudio científico del sistema nervioso, los procesos mentales y la conducta.
- ▶ La complejidad de la mente humana y el acercamiento a la misma desde diferentes niveles de descripción: neurobiológico, psicológico y computacional.

En este primer tema introductorio pondremos foco en los niveles neurobiológico y psicológico, desde el ámbito de la psicobiología.

1.2. Introducción a las neurociencias

La neurociencia (o neurociencias) se refiere al conjunto de disciplinas científicas que se ocupan del estudio del sistema nervioso. Es, por lo tanto, un campo perteneciente a la biología, pues su objeto de estudio es un sistema presente en ciertos seres vivos (como sabemos, no todos los seres vivos tienen sistema nervioso).

La neurociencia se preocupa por los procesos y las características que se pueden observar a nivel de anatomía, biología molecular y fisiología del tejido nervioso. El tejido nervioso está constituido por multitud de diferentes tipos de células, aunque es habitual poner el foco en las neuronas (y las redes de interconexión que estas forman en estructuras nerviosas complejas como, por ejemplo, el cerebro).

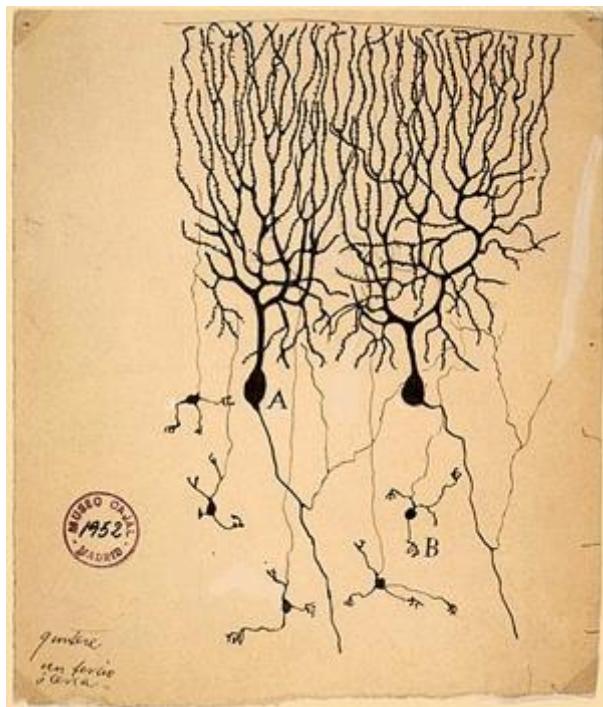


Figura 1. Reproducción de dibujo de las células del cerebelo de una paloma.

Fuente: Ramón y Cajal; S. (1899). Madrid: Instituto Cajal.

La neurociencia se centra en el estudio a diversos niveles del funcionamiento del sistema nervioso. A lo largo de la historia el foco de la neurociencia se ha ido

ampliando. En los últimos años los objetivos giran en torno a **comprender cómo funciona el cerebro**, comprendiendo la **relación existente entre los circuitos neuronales y la generación de percepciones, emociones, pensamientos y conducta**.

En el siglo XIX, gracias a los trabajos pioneros de científicos como Ramón y Cajal o Golgi se empezó a **conocer la extrema complejidad que encierra el sistema nervioso**, **descubriendo la estructura de las neuronas y las vastas redes de interconexión que forman en el cerebro**. La neurociencia moderna hace uso de múltiples técnicas avanzadas de estudio del tejido nervioso, tanto *in vivo* como *post mortem*, posibilitando que cada vez conozcamos mejor cómo funciona nuestro propio cerebro.

El gran reto actual se centra en **descubrir y comprender los procesos que dan lugar a la extraordinaria complejidad mental y conductual** que exhiben los humanos y otros animales. Desde el punto de vista de la inteligencia artificial, este es un tema importante, pues se cree que el conocimiento del funcionamiento de los sistemas inteligentes naturales puede aplicarse más o menos directamente al diseño y la construcción de máquinas inteligentes. De hecho, es muy habitual que se usen en inteligencia artificial técnicas claramente bioinspiradas, como las redes de neuronas artificiales.

Es importante tener presente que **el conocimiento que tenemos hoy en día del funcionamiento del sistema nervioso es aún muy limitado**. Todavía queda mucho por avanzar en la comprensión de los procesos que dan lugar a la generación del comportamiento inteligente y adaptativo.

Los modelos computacionales bioinspirados con los que contamos hoy en día tienen principalmente dos limitaciones:

- ▶ Realizan procesos mucho menos complejos que los procesos reales que se dan en un sistema nervioso natural.

- Además de una simplificación algorítmica, también existe una limitación en cuanto al modo de procesamiento, ya que los sistemas artificiales actuales no alcanzan los niveles de paralelismo y distribución presente en los sistemas naturales.

El sistema nervioso de un humano cuenta aproximadamente con unos 86 000 millones de neuronas, estando cada una de ellas conectada con miles de otras neuronas, intercambiando mensajes de diversas características a una frecuencia de cientos de veces por segundo.

Se dice que el sistema nervioso es un sistema masivo de Procesamiento Distribuido Paralelo (PDP). Los sistemas artificiales conexionistas tratan de imitar estos esquemas PDP, sin embargo, aún no se ha llegado a construir ningún sistema artificial con una capacidad de cómputo equivalente (en términos de paralelismo y número de conexiones).

1.3. Enfoque multidisciplinar en neurociencia cognitiva

La complejidad del sistema nervioso es tan grande que la tarea de estudiarlo se ha segmentado tradicionalmente entre diversas disciplinas. En otras palabras, el funcionamiento del cerebro es tan complejo que se ha ido abordando históricamente desde diferentes campos científicos y enfocando diferentes niveles de descripción.

En el nivel más fundamental contamos con los conocimientos de la física para describir fenómenos relacionados con la interacción de la materia, el espacio, el tiempo y la energía. Sin duda, todos estos fenómenos están también presentes en el sistema nervioso, pero es necesario seguir ascendiendo en niveles de abstracción que contemplen la interacción bioquímica para empezar a atisbar su funcionamiento.

Por lo tanto, también recurrimos a la **bioquímica y la biología molecular** para ir descubriendo los procesos básicos que tienen lugar en el cerebro (así como en otros órganos y diferentes especies de seres vivos).

Sin embargo, **los estudios de biología básica tampoco permiten comprender los procesos que ocurren** en la interacción entre los miles de millones de neuronas, siendo **necesario recurrir a la neurobiología y la neurología**. La **neurobiología** se centra en el **estudio de las células nerviosas y la interacción que se produce entre ellas**. Concretamente, se analiza la organización de las neuronas en circuitos específicos que cumplen funciones de procesamiento de la información y generación de la conducta.

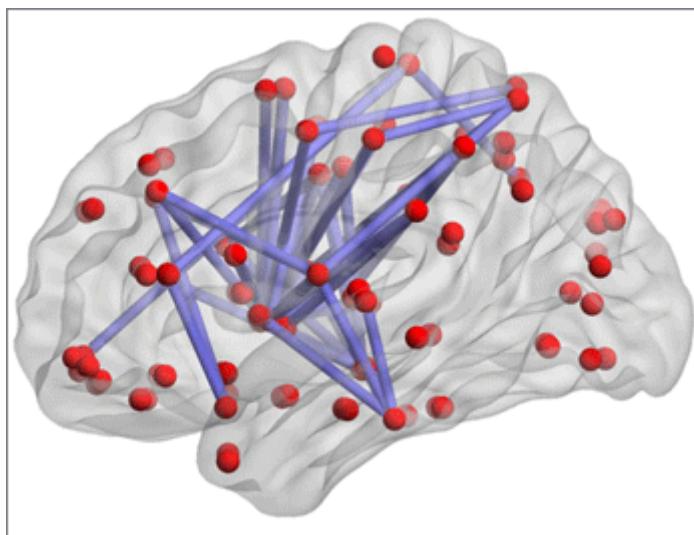


Figura 2. Representación simplificada de un circuito neuronal en el cerebro humano.

Fuente: Hong, S. B., Zalesky, A., Cocchi, L., Fornito, A., Choi, E. J., Kim, H. H. y Yi, S. H. (2013). Decreased functional brain connectivity in adolescents with internet addiction. PloS one, 8(2).

Aunque a nivel neurobiológico podamos comprender el funcionamiento detallado de ciertos mecanismos, seguimos teniendo problemas para establecer cómo se generan los pensamientos y los comportamientos complejos a partir de estas estructuras neuronales. Es decir, **existe un nivel de descripción superior**, relativo al ámbito de la **psicología**, que se ocupa de **estudiar la mente y el comportamiento**.

Como el resto de disciplinas científicas que estamos repasando, la psicología cuenta con multitud de ramas y especializaciones, que a menudo tienen que ver con aspectos sociales, culturales, sanitarios, educativos, etc. Sin embargo, desde el punto de vista de la comprensión del funcionamiento del sistema nervioso, nos interesa centrarnos en la **psicología cognitiva**. Concretamente, desde el punto de vista de la construcción de sistemas de inteligencia artificial, es muy interesante analizar los procesos psicológicos básicos, como la **percepción, la atención, la emoción, la motivación, el aprendizaje**, etc. Así como otras funciones cognitivas superiores como el **pensamiento o el lenguaje**.

La psicología cognitiva se ocupa del estudio de estos procesos, proponiendo teorías y modelos que se ajusten en lo posible a la realidad empírica. Por otro lado, también es interesante integrar estos modelos psicológicos con los conocimientos neurobiológicos provenientes de otras disciplinas más cercanas a la realidad biológica del sistema nervioso. Por ese motivo, aparece la disciplina de la **psicobiología**, que pretende establecer puentes entre los procesos mentales y el estudio del cerebro, proporcionando explicaciones fundadas en la realidad neurobiológica.

Como vemos, no existe un enfoque único al estudio del sistema nervioso, sino todo lo contrario. Lidiar con la complejidad tan grande del cerebro humano, y en general, el de cualquier otra especie, implica combinar efectivamente conocimientos y técnicas provenientes de múltiples disciplinas. De hecho, todas estas iniciativas se suelen agrupar bajo el **ámbito de las ciencias cognitivas**, donde cabe incluso la **inteligencia artificial** y la **filosofía de la mente**.

En el contexto de la búsqueda de respuestas entre múltiples disciplinas nace la **neurociencia cognitiva**, una combinación de la **inteligencia artificial, la psicología cognitiva y la neurociencia**.

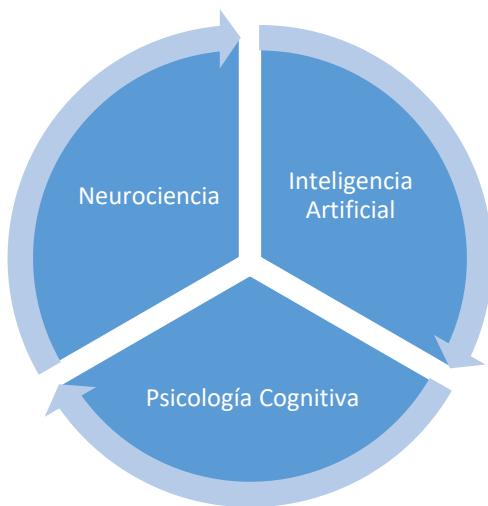


Figura 3. Neurociencia Cognitiva.

Comprender el sistema nervioso y cómo este es capaz de desarrollar funciones tan avanzadas como la inteligencia, el lenguaje o la conciencia requiere un esfuerzo conjunto de multitud de expertos en diferentes campos. Los diferentes niveles de descripción con los que se aborda el problema pueden finalmente proporcionar un camino útil a la compresión si se combinan adecuadamente. Por ejemplo, los experimentos realizados con un sistema de inteligencia artificial basado en una teoría neurobiológica podrían contribuir al refinamiento de los modelos neurocientíficos considerados en dicha teoría.

Existe una interacción constante entre las diversas disciplinas que se engloban dentro del ámbito de las ciencias cognitivas. En este entorno multidisciplinar, disciplinas ingenieriles como la inteligencia artificial **son a la vez beneficiarias y contribuyentes** del avance de otros campos como la psicología o la neurobiología.

1.4. Bases neurobiológicas de los procesos

mentales

El estudio científico del sistema nervioso se ha intensificado en las últimas décadas. Existen varios factores que han contribuido a este auge, entre ellos el reconocimiento de la importancia de la salud mental y psicológica en todos los ámbitos de la vida de las personas. Sin embargo, quizás han sido los avances tecnológicos los que han hecho posible un resurgimiento contundente de las neurociencias. El estudio del sistema nervioso es ahora posible a un nivel que antes no podíamos ni tan siquiera soñar. Especialmente, gracias a las diversas **técnicas de neuroimagen** que han proliferado desde los años 80 del siglo pasado (y que estudiaremos en detalle en temas posteriores).

Desde el punto de vista de la inteligencia artificial es importante conocer en detalle el funcionamiento del sistema nervioso por dos motivos:

- ▶ Por un lado, los sistemas inteligentes naturales constituyen un elemento claro de inspiración para el diseño de sistemas inteligentes artificiales.
- ▶ Por otro lado, existe una tendencia actual a la combinación de las capacidades mentales humanas y artificiales, con lo que se empieza a considerar a la inteligencia artificial como un elemento amplificador de las capacidades humanas.

En general, podríamos decir que ya hay aspectos en los que las máquinas superan ampliamente las capacidades mentales humanas como, por ejemplo, jugar al ajedrez. Por otro lado, hay otros aspectos, como el aprendizaje orientado a tareas de propósito general, en el que los humanos superan claramente a las máquinas. En este contexto, cada vez más se plantea la **combinación y la colaboración humano-máquina**.

Tanto en el sentido de la inspiración como en el sentido de la integración de capacidades, es preciso conocer en detalle cómo funciona el sistema nervioso.

Específicamente, nos interesa conocer cómo emergen de la actividad neuronal funciones complejas como el aprendizaje o la memoria semántica.

En definitiva, queremos conoceas cuáles son las bases neurobiológicas de los procesos mentales. Necesitamos comprender qué procesos específicos tienen lugar en el sistema nervioso para producir percepciones adaptativas, aprendizajes efectivos y memorias semánticas virtualmente infinitas.

En este contexto es importante conocer el concepto de **correlatos neuronales**, que se refiere a la actividad subyacente del sistema nervioso que se detecta cuando un sujeto está realizando una determinada tarea mental o proceso físico.

Se trata en definitiva de intentar disminuir o cerrar el **salto explicativo** que actualmente existe entre los diferentes niveles de análisis del sistema nervioso y de la mente. Por un lado, contamos con modelos que tratan de explicar **cómo se producen fenómenos mentales** (provenientes mayoritariamente de la psicología) y, por otro lado, contamos con modelos que tratan de **explicar cómo se organizan y funcionan las redes de neuronas** (provenientes de disciplinas neurobiológicas).

La psicobiología (o neurociencia del comportamiento) busca aplicar los principios de la neurobiología al estudio de los mecanismos fisiológicos, genéticos y del desarrollo implicados en la generación del comportamiento en humanos y en otros animales. Como ocurre en general en el ámbito de las ciencias cognitivas, aquí también nos encontramos con orígenes provenientes de escuelas o disciplinas tradicionalmente dispares como la neuroanatomía, la medicina, la neuropsicología, etc. En general, todas las ciencias «neuro» están interrelacionadas y lo que aparecen son líneas de especialización que tratan de combinar aspectos específicos (por ejemplo, la neuropsicología se centra en comprender las funciones cerebrales para diagnosticar y tratar enfermedades neurológicas).

Para la investigación en inteligencia artificial es interesante trabajar con enfermedades mentales de origen neurológico pues constituyen una oportunidad

para comprender el **funcionamiento anómalo del sistema nervioso**. De hecho, los sistemas actuales de inteligencia artificial se podrían describir como «mentes de funcionamiento anómalo», al ser comparadas con el funcionamiento natural del cerebro humano.

Dado que la inteligencia artificial se interesa por desarrollar funciones cognitivas y afectivas como las presentes en los humanos, los estudios de **psicobiología** son interesantes como fuentes de inspiración y comprensión de los mecanismos subyacentes a estas funciones.

El conocimiento actual del funcionamiento del sistema nervioso se basa en un tipo específico de célula nerviosa: la neurona. Existe gran variedad de neuronas, como las motoneuronas que se encargan de inervar los músculos o las neuronas localizadas en los sentidos, que traducen diversas magnitudes físicas en impulsos nerviosos.

Se considera que la neurona es la unidad mínima de procesamiento de la información en el sistema nervioso y que las funcionalidades complejas del cerebro derivan de la organización de vastas redes de neuronas.

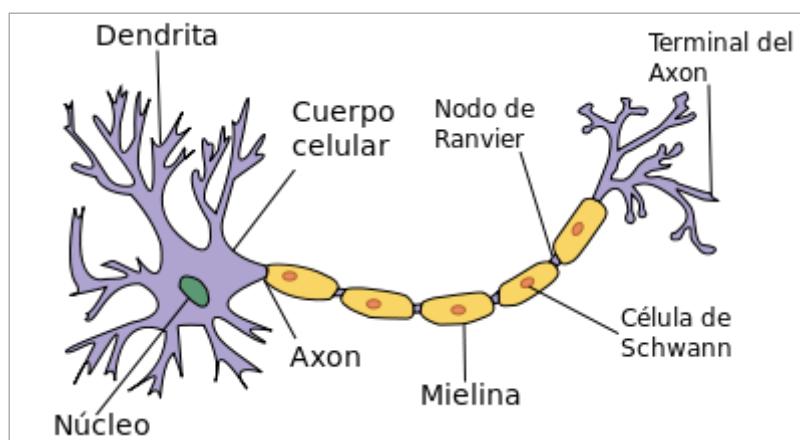


Figura 4. Esquema de una neurona.

Fuente: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Neuron.jpg>

Una neurona típica se compone de un **cuerpo** (o soma), donde se encuentra el **núcleo, dendritas** y un **axón**. Las **dendritas** son estructuras finas que pueden

extenderse cientos de micrómetros ramificándose hasta constituir complejas estructuras arbóreas (lo que se conoce como **árbol dendrítico**). El **axón**, al que también se le suele denominar **fibra nerviosa** (cuando está mielinizado), es una extensión que sale del cuerpo celular y puede llegar a longitudes de un metro en humanos.

La mayoría de las neuronas reciben señales a través de las dendritas y envían señales de salir a través del axón. Lo que comúnmente denominamos **nervios son haces de axones** agrupados que constituyen una especie de hebra constituida por múltiples «cables». Normalmente una neurona tiene muchas dendritas y un único axón (aunque el axón puede ramificarse también en su extremo final).

Las neuronas se comunican entre ellas a través de diversos mecanismos, pero el más conocido es la **sinapsis**. Existen a su vez diferentes tipos de sinapsis (eléctricas, químicas, etc.). En la mayoría de las sinapsis, las señales se envían por el axón de una neurona y llegan a las dendritas de otra neurona.

Todas las neuronas son eléctricamente excitables, ya que mantienen una diferencia de potencial a lo largo de sus membranas gracias a la acción de diferentes bombas de iones. Los mecanismos electroquímicos y biológicos que dan lugar a la transmisión de los **impulsos nerviosos** son extremadamente complejos y variados, y aún no se conocen en todo detalle. No obstante, contamos con modelos que parecen ajustarse bien a la realidad y sirven para explicar gran cantidad de procesos. Más adelante, iremos viendo cómo se organizan estas neuronas y cómo forman circuitos que en última instancia son la base de procesos cognitivos y afectivos.

1.5. Referencias bibliográficas

Arrabales, R. (2016). Deep Learning: qué es y por qué va a ser una tecnología clave en el futuro de la inteligencia artificial. *Xataka*. [Mensaje en un blog]. Recuperado de: <https://www.xataka.com/robotica-e-ia/deep-learning-que-es-y-por-que-va-a-ser-una-tecnologia-clave-en-el-futuro-de-la-inteligencia-artificial>

De Vega, M. (2005). Lenguaje, corporeidad y cerebro: Una revisión crítica. *Revista signos*, 38(58), 157-176.

Haines, D. E. (2014). *Principios de Neurociencia. Aplicaciones básicas y clínicas*. España: Elsevier.

Hong, S. B., Zalesky, A., Cocchi, L., Fornito, A., Choi, E. J., Kim, H. H. y Yi, S. H. (2013). Decreased functional brain connectivity in adolescents with internet addiction. *PloS one*, 8(2).

Kosslyn, S. M. (2010). *Wet mind: The new cognitive neuroscience*. Nueva York: Simon and Schuster.

Martínez, E. C. y Méndez, M. R. (2013). El sujeto desde la neurociencia y la inteligencia artificial. *Revista de estudios de juventud*, 103, 9-19.

Morgado, I. (2005). Psicobiología del aprendizaje y la memoria: fundamentos y avances recientes. *Revista de Neurología*, 40(5), 289-297.

Ramón y Cajal, S. (1899). *Reproducción de dibujo de las células del cerebelo de una paloma*. Madrid: Instituto Cajal.

Lo + recomendado

No dejes de leer

Psicobiología del aprendizaje y la memoria: fundamentos y avances recientes

Morgado, I (2005). Psicobiología del aprendizaje y la memoria: fundamentos y avances recientes. *Revista de Neurología, 40*(5), 289-297.

El siguiente artículo de revisión describe los conceptos principales de los sistemas de aprendizaje y de memoria desde el punto de vista molecular, neuroanatómico, neurofisiológico, cognitivo y comportamental.

Accede al artículo a través del aula virtual o desde la siguiente dirección web:

<http://blocs.xtec.cat/escolamargalloedu/files/2013/06/Apr-y-Mem-RN-20053.pdf>

Deep Learning: qué es y por qué va a ser una tecnología clave en el futuro de la inteligencia artificial

Arrabales, R. (2016). Deep Lerning: qué es y por qué va a ser una tecnología clave en el futuro de la inteligencia artificial. *Xataka*. [Mensaje en un blog].

La siguiente entrada del blog de Xataka ofrece una introducción en tono divulgativo al concepto de Deep Learning, haciendo referencia a la bioinspiración y explicando por qué es útil imitar ciertas estructuras del sistema nervioso en sistemas artificiales.

Accede al artículo a través del aula virtual o desde la siguiente dirección web:

<https://www.xataka.com/robotica-e-ia/deep-learning-que-es-y-por-que-va-a-ser-una-tecnologia-clave-en-el-futuro-de-la-inteligencia-artificial>

No dejes de ver

Redes 108: El cerebro construye la realidad – neurociencia (entrevista a Kia Nobre)

Solemos pensar que nuestra percepción del mundo es mucho más completa de lo que es en realidad. Sentimos que registramos lo que pasa en nuestro entorno al igual que una cámara de vídeo, pero lo que sucede es muy distinto. En este programa de redes se entrevista a una neurocientífica cognitiva acerca de estas cuestiones.

Eduard Punset entrevista a algunos de los neurocientíficos más destacados del mundo que se habían reunido en el undécimo Congreso Internacional de Neurociencia Cognitiva. En este capítulo de Redes, Kia Nobre, neurocientífica de la Universidad de Oxford, nos explica algunos de los recursos que utiliza el cerebro para hacerse una idea de lo que sucede en su entorno.



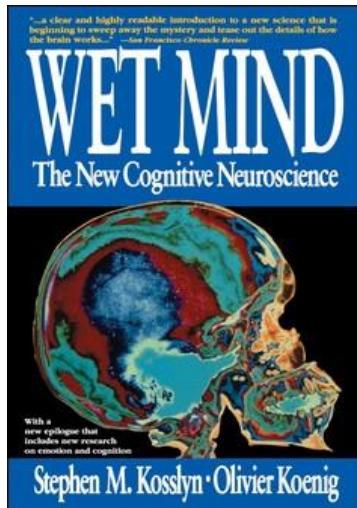
Accede al vídeo a través del aula virtual o desde la siguiente dirección web:

https://www.youtube.com/watch?v=DsN_bS4Ak4U

A fondo

Wet Mind: The new cognitive neuroscience

Kosslyn, S. M. y Koenig, O. (2010). *Wet Mind: The new cognitive neuroscience*. Nueva York: Simon and Schuster.



Un libro sobre las últimas tendencias y últimos avances en el reto de «descifrar el funcionamiento del cerebro».

En esta primera descripción integral, integrada y accesible de las ideas recientes sobre cómo el cerebro da lugar a la actividad mental, los autores explican los conceptos fundamentales y los descubrimientos clave que se basan en modelos de redes neuronales, escáneres cerebrales y estudios de comportamiento. A

partir de este análisis, los autores también presentan una intrigante teoría de la conciencia.

Webgrafía

Human Brain Project

Página web del proyecto europeo Human Brain Project. Ejemplo de gran proyecto multidisciplinar financiado por la Unión Europea, que tiene como fin reproducir tecnológicamente las características del cerebro humano, y de esta forma conseguir avances en el campo de la medicina y la neurociencia. En este proyecto se usan tecnologías de supercomputación avanzadas para construir modelos informáticos y simulaciones del cerebro que identifiquen patrones, principios organizativos y posibles carencias que puedan ser subsanadas con nuevos experimentos.



Accede a la página web a través del aula virtual o desde la siguiente dirección web:

<https://www.humanbrainproject.eu/en/>

Test

1. La neurociencia:

- A. Es el conjunto de disciplinas científicas que se ocupan del estudio exclusivo del cerebro humano.
- B. Es el conjunto de disciplinas científicas que se ocupan del estudio del sistema nervioso.
- C. Es un conjunto de disciplinas científicas y no científicas que estudian al ser humano
- D. A y B son correctas.

2. El tejido nervioso está constituido por:

- A. Células del mismo tipo.
- B. Los núcleos de las neuronas, pero no los axones.
- C. Los axones mielinizados agrupados en haces, pero no los núcleos de las células.
- D. Multitud de tipos de células, entre las que destacan las neuronas.

3. La neurociencia:

- A. Ha ido ampliando su foco de estudio.
- B. Cada vez se ha ido teniendo un foco más estrecho y menos interés.
- C. No tiene en cuenta las emociones.
- D. No tiene ninguna relación con la inteligencia artificial.

4. Los procesos que estudia la neurociencia dan lugar a:

- A. Solo la conducta.
- B. Solo las emociones.
- C. Todo el repertorio emocional y conductual.
- D. El metabolismo de las grasas.

5. Los modelos computacionales bioinspirados:

- A. Son menos complejos que los procesos reales del sistema nervioso.
- B. Son más complejos que los procesos reales del sistema nervioso.
- C. Son igual de complejos que los procesos reales del sistema nervioso.
- D. No tienen nada que ver con los procesos reales del sistema nervioso.

6. El sistema nervioso es un sistema de procesamiento:

- A. Serie.
- B. Secuencial.
- C. Distribuido y paralelo.
- D. Distribuido y secuencial.

7. Los diferentes campos científicos relacionados con la neurociencia:

- A. Atienden a diferentes niveles de descripción.
- B. Todos se centran en el nivel de descripción biológico.
- C. Todos se centran en el nivel de descripción neurobiológico.
- D. Se centran en el nivel físico.

8. La psicología cognitiva se encarga de estudiar principalmente:

- A. La interconexión entre neuronas.
- B. La mente y el comportamiento.
- C. Los circuitos neuronales anómalos.
- D. Las técnicas de computación cuántica.

9. La neurociencia cognitiva se compone de los siguientes campos:

- A. Neurociencia, inteligencia artificial y psicología cognitiva.
- B. Neurociencia, inteligencia artificial y psicología social.
- C. Neurociencia, neurobiología y psicología cognitiva.
- D. Medicina, inteligencia artificial y psicología básica.

10. Una sinapsis:

- A. Ocurre siempre en el núcleo de la neurona.
- B. Puede ser eléctrica.
- C. Ocurre cuando la señal llega al axón desde una dendrita.
- D. Requiere al menos tres neuronas.

10
/ 10

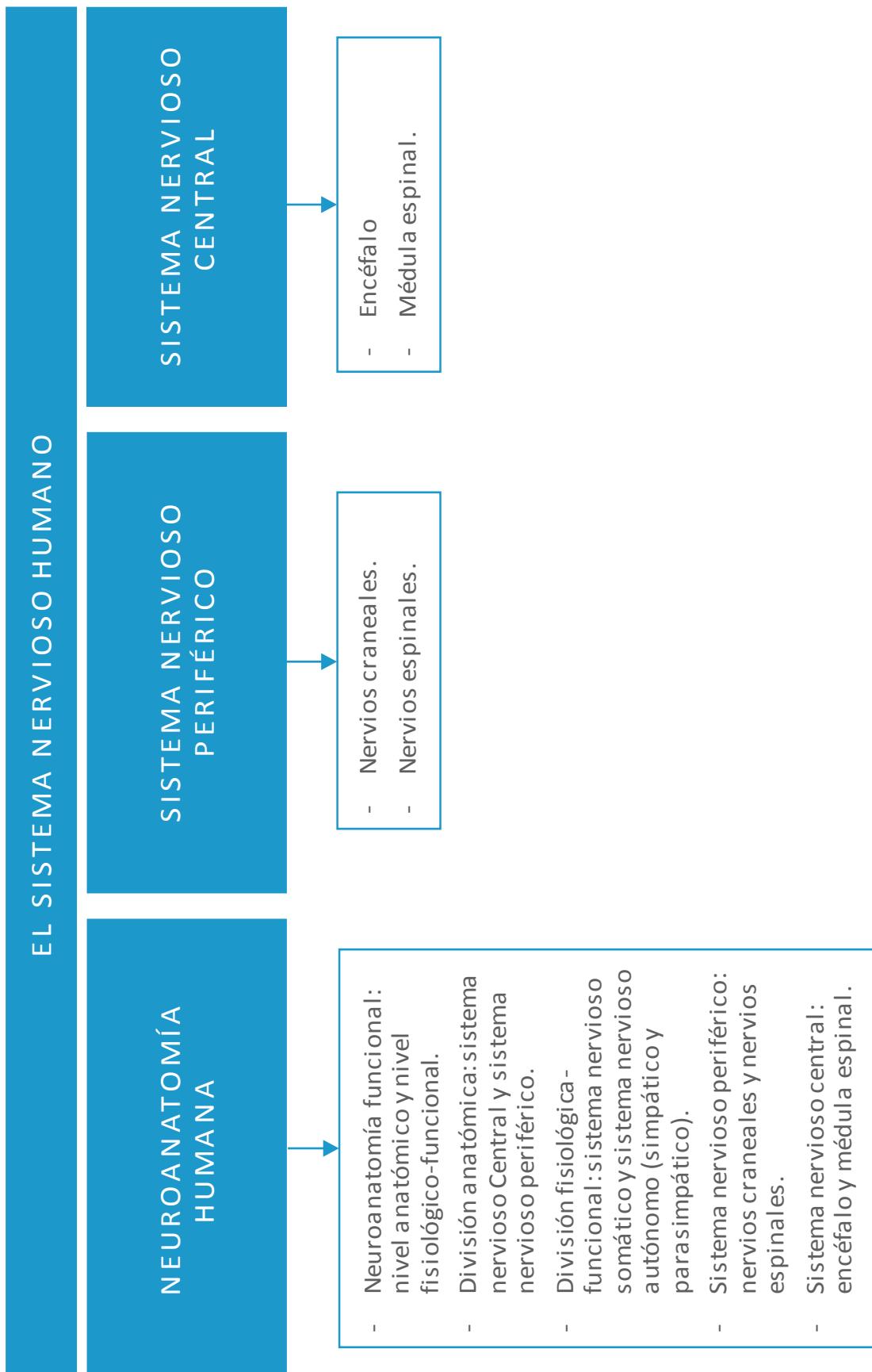
Neurociencia Cognitiva

El sistema nervioso humano

Índice

Esquema	3
Ideas clave	4
2.1. ¿Cómo estudiar este tema?	4
2.2. Introducción a la neuroanatomía humana	4
2.3. Sistema nervioso periférico	11
2.4. Sistema nervioso central	13
Lo + recomendado	16
+ Información	18
Test	21

Esquema



Ideas clave

2.1. ¿Cómo estudiar este tema?

Para estudiar este tema lee las Ideas clave disponibles a continuación y el siguiente capítulo del manual: Rains, G. D. (2003). Desarrollo histórico de la neuropsicología. En G. D. Rains (Ed.), *Principios de neuropsicología humana* (pp. 3-19). México: McGraw-Hill. Disponible en el aula virtual en virtud del artículo 32.4. de la Ley de Propiedad Intelectual.

En este tema estudiaremos la **organización del sistema nervioso humano**. El conocimiento del mismo es importante para:

- ▶ **Descubrir la complejidad del sistema nervioso** humano desde un enfoque neurobiológico.
- ▶ **Adquirir un conocimiento básico de neuroanatomía humana**, sabiendo identificar los componentes más relevantes del sistema nervioso.

2.2. Introducción a la neuroanatomía humana

Desde el punto de vista de la inteligencia artificial nos interesa conocer los principios básicos de la anatomía y el funcionamiento del sistema nervioso. Específicamente, si buscamos imitar en mayor o menor medida las capacidades cognitivas y afectivas de un ser humano, es siempre interesante conocer cómo se generan estos procesos en los organismos biológicos. Los estudios de anatomía pueden realizarse a diferentes niveles de profundidad, y dado que nuestro interés aquí es meramente la bioinspiración (y no la intervención

clínica como se haría en medicina), haremos una descripción introductoria de **los principales componentes y funciones del sistema nervioso humano**.

Es preciso destacar, aunque se conocen gran cantidad de aspectos acerca de la forma y el funcionamiento del sistema nervioso, que la complejidad del mismo es tan grande que **aún no se ha podido descifrar el funcionamiento y los procesos detallados** que dan lugar a las capacidades mentales de los humanos (y de muchos otros animales). Por lo tanto, esta introducción al sistema nervioso humano ha de tomarse **en clave de inspiración** (y no de replicación o simulación). Si bien es cierto que existen proyectos de investigación en los que se persigue la simulación a bajo nivel del funcionamiento de partes del sistema nervioso, lo más habitual es la extracción de conclusiones sobre **el modo de funcionamiento general del sistema nervioso**, de forma que se puedan imitar ciertas estrategias.

Aunque los años 90 del siglo pasado se consideró «**la década del cerebro**», gracias a los numerosos avances científicos conseguidos, aún queda mucho camino por recorrer hacia la comprensión total de los procesos que tienen lugar en el sistema nervioso y cómo estos dan lugar a la mente humana. Así mismo, cada vez es más patente que **los procesos mentales se desarrollan en interacción con el medio**, con lo que el mero estudio del sistema nervioso «aislado» no puede darnos la información necesaria para comprender las capacidades mentales humanas. Se requiere por lo tanto un estudio mucho más amplio y complejo para llegar a comprender cómo se generan las capacidades cognitivas y afectivas de los humanos y otros animales.

Existen principalmente **dos modos de bioinspiración en los sistemas**

artificiales que se basan en el sistema nervioso:

La simulación: que pretende **reproducir en un modelo computacional los procesos químicos, eléctricos y biológicos que tienen lugar en partes del sistema nervioso.**

El modelado funcional: que pretende **extraer los principios básicos de funcionamiento del sistema nervioso para imitar esas estrategias en un sistema artificial.**

La **neuroanatomía funcional** se centra en el estudio de redes de neuronas que desarrollan ciertas funciones en el sistema nervioso. Por lo tanto, para realizar un **modelado funcional** del sistema nervioso que pueda implementarse total o parcialmente en un sistema artificial, nos interesan especialmente los estudios procedentes de esta disciplina. Gracias a los avances en **neuroanatomía funcional** podemos **identificar** los diferentes **componentes que forman el sistema nervioso** y **comprender las tareas que desempeña cada uno**, así como la interrelación que se establece entre ellos.

Los principales sistemas funcionales del sistema nervioso humano no corresponden exactamente con las divisiones anatómicas, por lo que para comprender la estructura global es preciso **reconocer inicialmente los componentes más destacados**. Además, el sistema nervioso consta de diferentes órganos, que a su vez se agrupan por su localización en el cuerpo. En resumen, los componentes del sistema nervioso se pueden identificar a **nivel anatómico** o a **nivel fisiológico-funcional**.

En general, desde los ámbitos ajenos a la biología, se comete el error de identificar al cerebro como la totalidad o la parte más importante del sistema nervioso, y aunque claramente en los humanos tiene un papel preponderante, hay animales, como las medusas, que ni siquiera lo necesitan y desarrollan todos sus procesos vitales con un sistema nervioso mucho más primitivo. Incluso fuera del reino animal, otros seres vivos pueden desplegar conductas inteligentes y adaptativas sin contar con un sistema nervioso.

La **división anatómica** más importante del sistema nervioso se hace en referencia al **sistema nervioso central (SNC)** y el **sistema nervioso periférico (SNP)**. El **SNC** se compone del **encéfalo y la médula espinal**, mientras que el **SN_P** corresponde al **resto de tejido nervioso** (nervios) que se sitúan fuera del SNC e inervan todos los miembros y órganos del cuerpo.

Atendiendo a la fisiología, el sistema nervioso se divide en **sistema nervioso somático** (SNS) y **sistema nervioso autónomo** (SNA). El **SNS** se encarga de inervar las estructuras exteriores del cuerpo (músculos, piel y membranas mucosa). El **SNA** controla actividades de los músculos lisos, glándulas de los órganos internos (vísceras) y los vasos sanguíneos (Waxman, 2011).

En una visión más detallada de los **sistemas funcionales**, se distingue entre dos grupos:

- ▶ El **primer grupo** consta de neuronas que están en el SNC y el SNP:
 - Los **sistemas aferentes al neuroeje** (entrada de información al SNC).

SENTIDOS □ **Sistemas aferentes somáticos** (sistema olfativo, gustativo, visual, auditivo y vestibular).

□ **Sistema aferente visceral** (entrada de información del sistema vegetativo o autónomo).

- Los **sistemas eferentes del neuroeje** (salida o envío de órdenes desde el SNC):

MOVIMIENTOS □ **Sistema eferente somático** (inervación de los miembros: **corticoespinal** y **corticotroncal**).

ACCIONES INVOLUNTARIAS □ **Sistema eferente visceral general** (envío de órdenes del sistema vegetativo o autónomo, con sus dos divisiones: simpático y parasimpático).

- ▶ El **segundo grupo** se sitúa principalmente en el SNC, pero tiene proyecciones periféricas:

- Los **sistemas integradores del neuroeje**:
 - Sistema **cerebeloso**.
 - Sistema **extrapiramidal**.
 - Sistema **reticular**.
 - Sistema **talámico**.
 - Sistema **hipotalámico**.
 - Sistema **límbico**.

En general, existen **numerosas divisiones funcionales**, que pueden clasificarse atendiendo a diversos modelos. En el contexto amplio de los estudios en inteligencia artificial no es necesario adentrarse en el conocimiento profundo de todos estos sistemas. Sin embargo, desde el enfoque de la **neurociencia cognitiva**, veremos en los siguientes temas detalles específicos sobre algunos de estos sistemas, siempre con el objetivo de encontrar estrategias de procesamiento de la información que sean replicables en sistemas artificiales.

El estudio de estas estructuras nerviosas y la funcionalidad asociada a ellas permite avanzar en el conocimiento de los procesos cognitivos y afectivos. Gracias a los numerosos trabajos realizados en el área de las neurociencias **se han identificado multitud de unidades funcionales** a diferentes niveles, por ejemplo, las vías neuronales que regulan el dolor o la conexión vestíbulo-talamo-cortical que proporciona la percepción del movimiento y la orientación espacial. En los siguientes temas entraremos en más detalle en algunos de estos sistemas funcionales asociados con funciones cognitivas específicas. De momento, **es importante identificar correctamente las principales estructuras del sistema nervioso**, especialmente los componentes del SNC y SNP.

La complejidad de los procesos que tienen lugar en el sistema nervioso son reflejo de complejidad de su estructura y las interacciones que se establecen entre sus diferentes centros de cómputo. Se podría decir que el sistema nervioso es como una red de multitud de ordenadores interconectados, realizando un procesamiento jerárquico de la información a diferentes niveles. La neuroanatomía nos puede ayudar a identificar dichos **centros de procesamiento de la información** y la relación que existe entre ellos, de forma que podamos usar estos conocimientos para el diseño de sistemas artificiales bioinspirados.

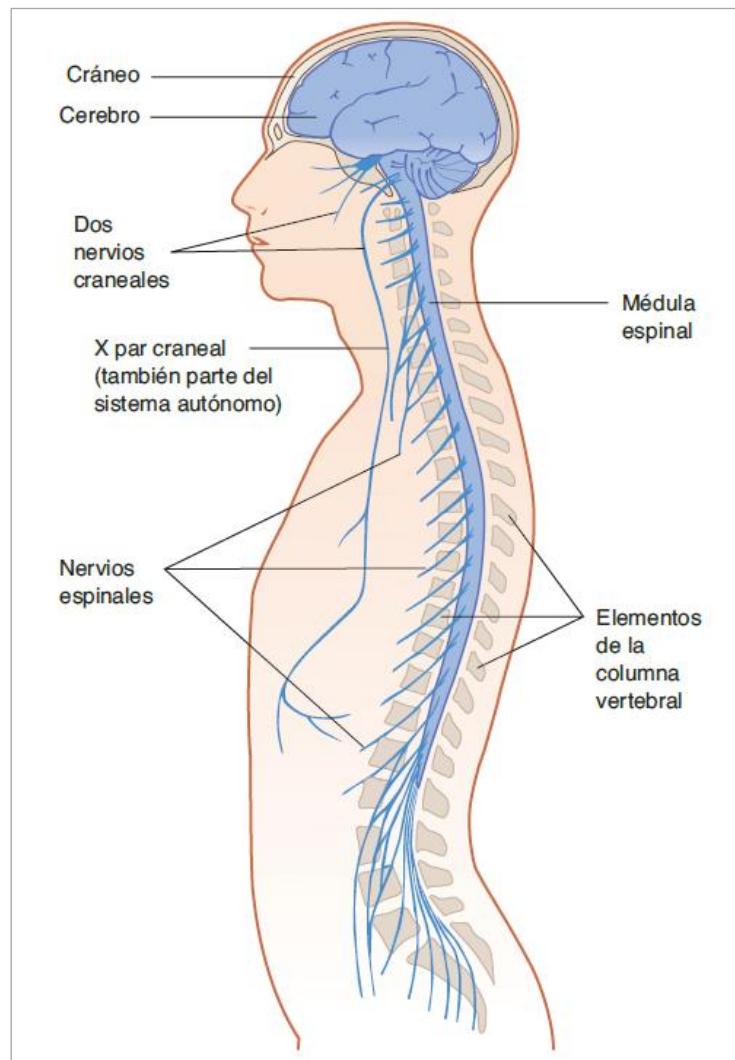


Figura 1. Estructura del SNC y SNP. Fuente: Waxman, S. G. (2011).

A parte de conceptos como los de fibras aferentes (de entrada al SNC) y fibras eferentes (de salida desde el SNC), los neuroanatomistas también usan **términos relativos a la situación espacial de los componentes del sistema nervioso**. Para ello, es habitual usar sistemas basados en cortes o «rebanadas». Los planos de corte y los términos relativos típicamente empleados en neuroanatomía son los siguientes (Waxman, 2011):

Corte	Posición/Referencia
Ventral, anterior	Hacia el lado frontal (vientre)
Dorsal, posterior	Hacia el lado trasero
Superior, craneal	Hacia el lado superior (cráneo)
Inferior	Hacia el lado inferior
Caudal	En la posición más baja (hacia el extremo de la cola)
Rostral	Hacia el lado delantero (hacia el extremo de la nariz)
Medial	Cerca o hacia la mitad
Mediano, en medio,	Plano medio (sagital medio)
Lateral	Hacia el lado (lejos del medio)
Ipsolateral	Del mismo lado
Contralateral	Del lado opuesto
Bilateral	En ambos lados

Tabla 1. Los planos de corte y términos típicamente empleados. Fuente: Waxman (2011).

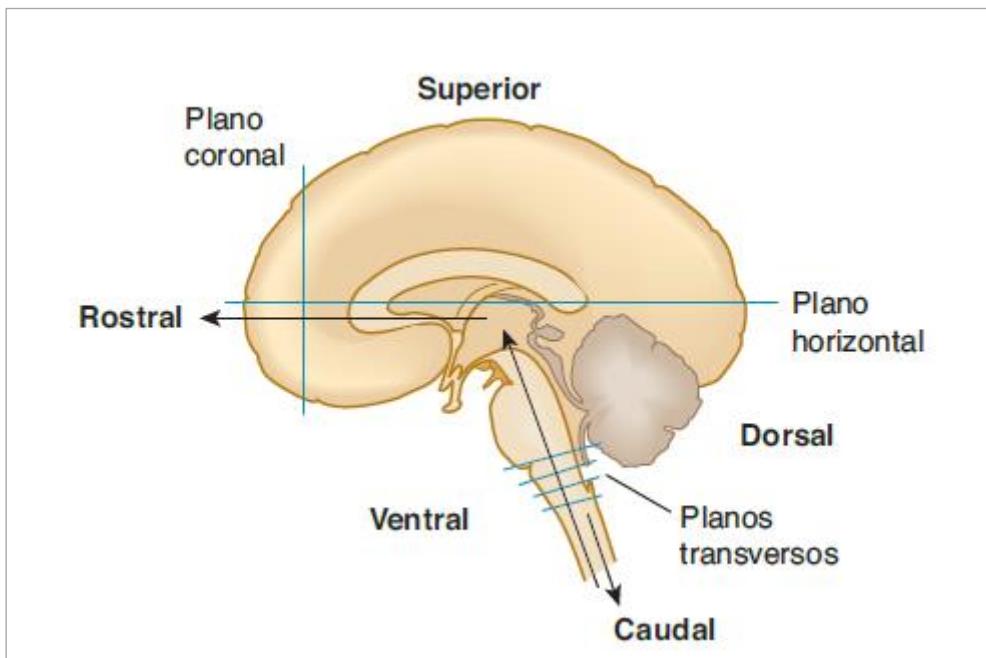


Figura 2. Planos de corte usados habitualmente en la descripción del encéfalo y médula espinal. El plano mostrado es el sagital medio. Fuente: Waxman, S. G. (2011).

2.3. Sistema nervioso periférico

El SNP está compuesto por los **nervios craneales** y sus ganglios asociados y los **nervios espinales**. Los nervios están formados por fibras nerviosas (haces de axones) que conducen información. La información en el sistema nervioso puede ser de entrada hacia el SNC (afferente) o de salida del SNC (eferente).

Las fibras eferentes se encargan de las funciones motoras (como la contracción de los músculos) y la secreción de las glándulas. Por otro lado, las fibras aferentes transmiten los estímulos desde los sentidos.

En general, durante toda esta asignatura, nos centraremos más en el SNC, dado que los procesos mentales de alto nivel correlacionan más con la actividad neuronal presente en el encéfalo. Sin embargo, no hay que olvidar la **importancia del SNP, que es la forma en la que el SNC se conecta con el resto del cuerpo y con el mundo**.

Conviene recordar que los procesos cognitivos y afectivos que estudiaremos no tienen sentido si no es en conexión con el contexto psicobiológico en el que ocurren. Este contexto incluye los estados fisiológicos correspondientes al sistema inmunitario, sistema endocrino y neuroendocrino, sistema digestivo, locomotor, etc., así como los estados psicológicos derivados del entorno de la persona, es decir, lo que sucede a su alrededor. Por todos estos motivos, no tiene sentido hablar del SNC como una entidad independiente, sino que podemos considerar que el encéfalo es un centro de control conectado al mundo mediante una compleja red: el sistema nervioso periférico.

De especial importancia son los sentidos, que transmiten la información del mundo al SNC. Se considera que **el cuerpo humano tiene del orden de 20 sentidos** diferentes (que miden magnitudes físicas correspondientes de diferentes modalidades).

Existen básicamente **dos tipos de sentidos**:

- ▶ **Interopceptivos:** toman medidas de **aspectos fisiológicos relacionados con el propio estado del organismo.**
- ▶ **Exteroceptivos:** **reciben información sobre aspectos físicos del mundo que rodea al cuerpo.**

Ejemplos de sentidos exteroceptivos son la visión, el tacto, el ofato o el oído.

Ejemplos de sentidos interoceptivos son el proprioceptivo y el nociceptivo. El primero **se encarga de detectar la posición espacial de los miembros, mientras que el segundo se encarga de enviar señales de dolor** cuando detecta condiciones fisiológicas de peligro como el daño celular.

2.4. Sistema nervioso central

El Sistema nervioso central (SNC) se divide en dos componentes principales:

- ▶ El encéfalo (que a menudo y erróneamente se asimila con el cerebro).
- ▶ La médula espinal.

A su vez, estos dos componentes principales del SNC se subdividen en unidades anatómicas bien identificadas:

- ▶ Encéfalo:
 - Prosencéfalo o cerebro (que contiene al telencéfalo y el diencéfalo).
 - Cerebelo (que contiene la corteza cerebelosa y los núcleos cerebelosos).
 - Tronco encefálico (que contiene el mesencéfalo, la protuberancia anular y el bulbo raquídeo).
- ▶ Médula espinal:
 - Sustancia blanca (que contiene los cordones dorsales, laterales y anteriores).
 - Sustancia gris.

Algunas de las estructuras más estudiadas, y directamente asociadas con los procesos mentales se encuentran en el telencéfalo y el diencéfalo (es decir, en el cerebro). Los componentes principales de estas estructuras son:

- ▶ Telencéfalo:
 - Corteza cerebral.
 - Sustancia blanca subcortical.
 - Comisuras.
 - Ganglios basales.

► Diencéfalo:

- Tálamo.
- Hipotálamo.
- Epitálamo.
- Subtálamo.

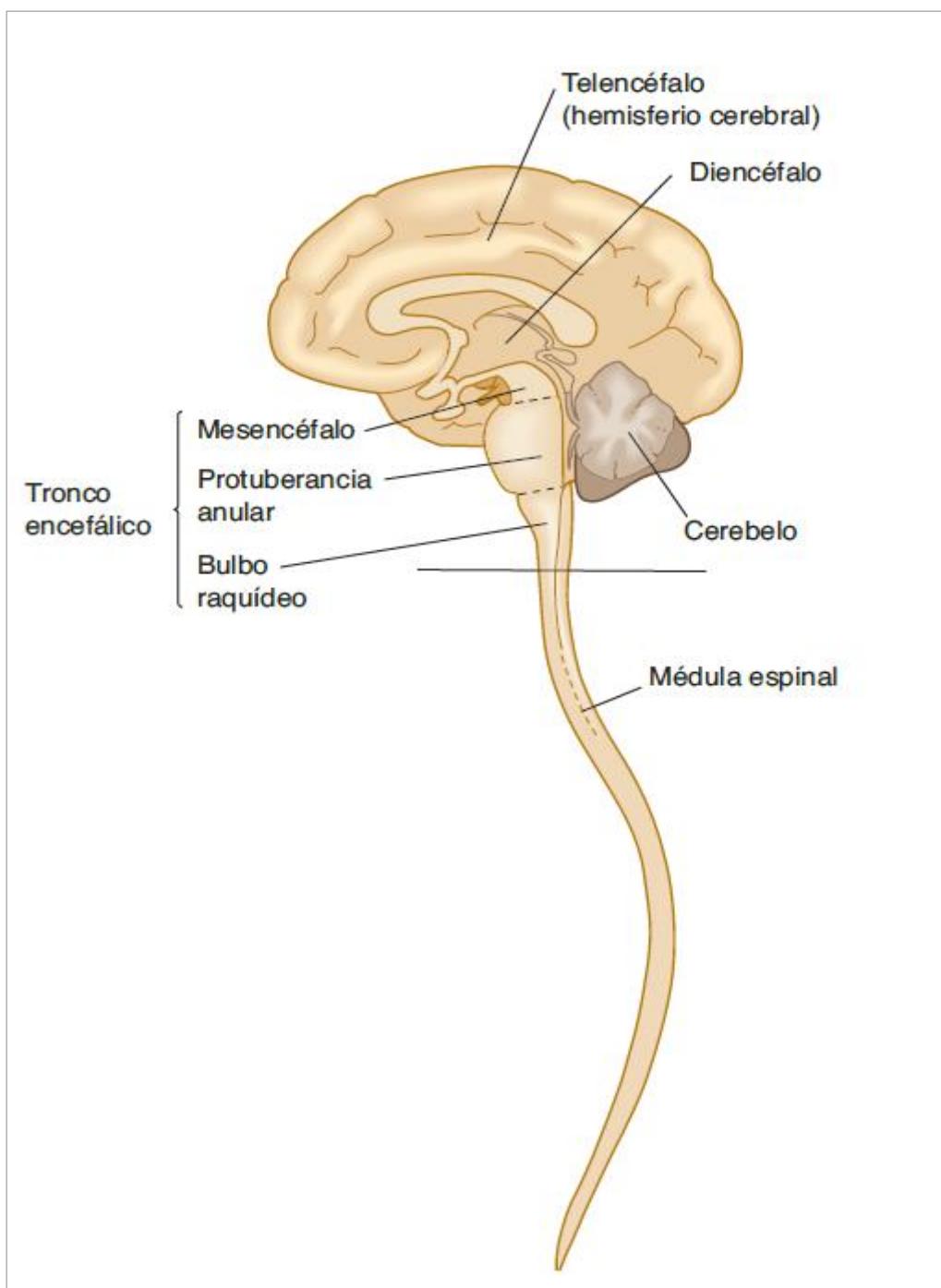


Figura 3. Divisiones principales del SNC: el encéfalo y la médula espinal.

Fuente: Waxman, S G. (2011).

Todas estas estructuras contenidas en el SNC son de gran importancia para múltiples funciones mentales. En los siguientes temas haremos referencia a ellas para localizar los correlatos neuronales de ciertas funciones cognitivas y afectivas.

En general, el sistema nervioso se caracteriza por una **simetría bilateral**. La existencia de esta simetría se hace más patente en el encéfalo, donde casi todas las estructuras aparecen duplicadas a ambos lados de un eje central. El ejemplo más claro de esto son los hemisferios derecho e izquierdo del cerebro. Aunque existen una simetría bilateral anatómica, veremos que, a nivel funcional, los procesos que realizan diferentes componentes de lado izquierdo y derecho pueden ser asimétricos.

Lo + recomendado

No dejes de leer

Rafael Yuste, el hombre que descifra el cerebro

Yuste, R. (2017). Rafael Yuste, el hombre que descifra el cerebro. *El País Semanal*.



Entrevista en El País Semanal a Rafael Yuste, neurobiólogo afincado en Nueva York e ideólogo del proyecto BRAIN, gran apuesta científica de EE UU. Su objetivo: descifrar los misterios del cerebro.

Accede al artículo a través del aula virtual o desde la siguiente dirección web:

https://elpais.com/elpais/2017/01/25/eps/1485299124_148529.html

No dejes de ver

Generalidades de neuroanatomía

Este vídeo, que forma parte de un curso relacionado con la epilepsia, proporciona una clase introductoria a la neuroanatomía humana.



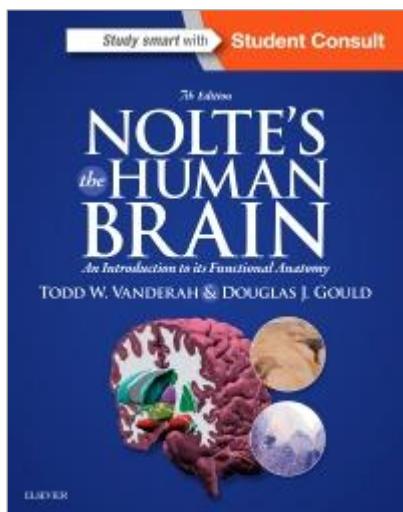
Accede al vídeo a través del aula virtual o desde la siguiente dirección web:

<https://www.youtube.com/watch?v=3ptJHBcKQUw>

A fondo

The Human Brain: An Introduction to its Functional Anatomy

Nolte, J. (2015). *The human brain: An Introduction to its Functional Anatomy*. Madrid: Elsevier.



Se trata de un texto introductorio de neurociencia que describe la estructura y función del cerebro y el sistema nervioso. El texto cubre la neuroanatomía que los estudiantes de medicina y otros servicios de salud necesitan, con cobertura ampliada de neurofisiología e inclusión de contenido clínico que proporciona la aplicación de neuroanatomía en la vida real y conceptos neurofisiológicos a los trastornos neurológicos clínicos. Su legibilidad y las ilustraciones mejoradas a todo color lo convierten en un favorito entre los estudiantes de medicina.

Webgrafía

Allen Brain Atlas

El Atlas del cerebro humano de Allen es un atlas multimodal único que mapea la expresión de genes a través del cerebro humano. Integrando información anatómica y genómica, las modalidades de datos disponibles incluyen imágenes de resonancia magnética (MRI), imágenes de tensor de difusión (DTI), histología y datos de expresión génica derivados de enfoques de microarrays e hibridación in situ (ISH). Las características clave incluyen una encuesta de microarrays «todos los genes, todas las estructuras» mapeada espacialmente para la MRI, datos de imagen de resolución celular ISH para genes seleccionados en regiones cerebrales específicas, y una guía de atlas de cerebro humano anotada. Se encuentran disponibles opciones de búsqueda anatómicas y basadas en genes, así como visualización interactiva con el software Brain Explorer 3D.



Accede a la página web a través del aula virtual o desde la siguiente dirección web:

<http://www.brain-map.org/>

Bibliografía

Haines, D. E. (2014). *Principios de Neurociencia. Aplicaciones básicas y clínicas.* Elsevier: España.

Hawrylycz, M. J. (2012) An anatomically comprehensive atlas of the adult human transcriptome. *Nature*, 489: 391-399.

Nolte, J. (2015). *The human brain: an introduction to its functional anatomy.* España: Elsevier.

Waxman, S. G. (2011). *Neuroanatomía clínica.* México: McGraw Hill.

Test

1. Sobre el funcionamiento del sistema nervioso:

- A. Ya se conoce en detalle cómo genera todos los procesos mentales y por lo tanto se puede replicar en máquinas.
- B. Ya se conoce en detalle cómo genera todos los procesos mentales, pero no se puede replicar en máquinas.
- C. Aún falta mucho para entender completamente cómo se generan los procesos mentales.
- D. Desde que terminó el proyecto Genoma Humano se conoce perfectamente el funcionamiento del cerebro.

2. Los métodos principales de bioinspiración son:

- A. Simulación y modelado funcional.
- B. Simulación y replicación biológica.
- C. Modelado genético y simulación.
- D. Modelos de simulación y reingeniería.

3. ¿Cuáles son los dos principales criterios para clasificar los componentes del sistema nervioso?

- A. Funcional y de procesamiento.
- B. Anatómico y de ubicación.
- C. Anatómico y fisiológico-funcional.
- D. Fisiológico y genético.

4. Atendiendo a un criterio anatómico, el sistema nervioso se divide en:

- A. Sistema nervioso central y sistema nervioso autónomo.
- B. Sistema nervioso central y sistema nervioso periférico.
- C. Sistema nervioso simpático y sistema nervioso parasimpático.
- D. Sistema nervioso somático y sistema nervioso autónomo.

5. Atendiendo a la fisiología, el sistema nervioso se divide en:

- A. Sistema nervioso central y sistema nervioso autónomo.
- B. Sistema nervioso central y sistema nervioso periférico.
- C. Sistema nervioso simpático y sistema nervioso parasimpático.
- D. Sistema nervioso somático y sistema nervioso autónomo.

6. Los sistemas aferentes al neuroeje:

- A. Transmiten información hacia el sistema nervioso central.
- B. Emiten información desde el sistema nervioso central.
- C. Envían comandos a los músculos y vísceras.
- D. Se dividen en simpático y parasimpático.

7. En neuroanatomía, un corte caudal se refiere a:

- A. El lado trasero.
- B. Cerca o hacia la mitad.
- C. El lado opuesto.
- D. La posición más baja.

8. Los principales componentes del Sistema Nervioso Periférico son:

- A. Las fibras eferentes y los ganglios.
- B. Las fibras aferentes y los ganglios.
- C. Los nervios craneales y los nervios espinales.
- D. Los nervios espinales y los nervios corticales.

9. Los dos componentes principales del cerebro son:

- A. El telencéfalo y el diencéfalo.
- B. El cerebelo y el tronco encefálico.
- C. El prosencéfalo y el cerebelo.
- D. El tronco encefálico y el encéfalo.

10. El hipotálamo se encuentra en:

- A. Telencéfalo.
- B. El diencéfalo.
- C. La médula espinal.
- D. Bulbo raquídeo.

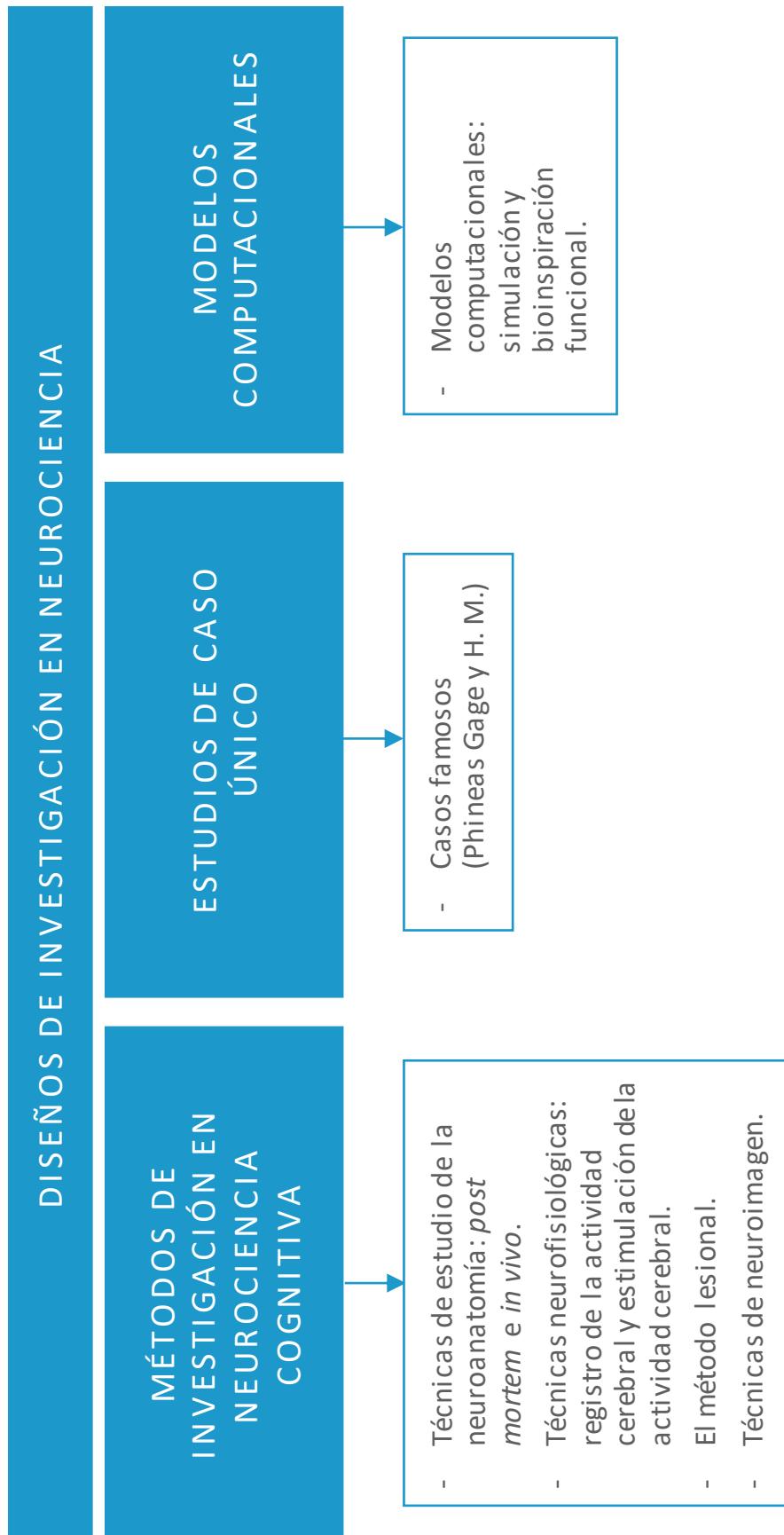
Neurociencia Cognitiva

Diseños de investigación en neurociencia

Índice

Esquema	3
Ideas clave	4
3.1. ¿Cómo estudiar este tema?	4
3.2. Métodos de investigación en neurociencia	5
3.3. Estudios de caso único	11
3.4. Modelos computacionales	12
Lo + recomendado	14
+ Información	16
Test	19

Esquema



Ideas clave

3.1. ¿Cómo estudiar este tema?

Para estudiar este lee las Ideas clave disponibles a continuación y el siguiente artículo:

García-Molina, A. (2008) Aproximación histórica a las alteraciones comportamentales por lesiones del córtex prefrontal: de Phineas Gage a Luria. *Revista de Neurología*, 46(3), 175-181.

Accede al artículo a través del aula virtual o de la siguiente dirección web:

http://www.extensionuned.es/archivos_publicos/webex_actividades/4994/neurocortexprefrontalycomportamiento.pdf

En este tema abordaremos una primera parte del estudio científico en neurociencias, centrándonos en los principales métodos de investigación y, en especial, en los estudios de caso único (más adelante se analizarán las técnicas de neuroimagen). Los principales **objetivos** de este tema son:

- ▶ Comprender cómo se aplica el **método científico en el campo de las neurociencias**.
- ▶ Analizar las **distintas técnicas disponibles de investigación en neurociencia**, diferenciando las ventajas y desventajas de cada una.
- ▶ Conocer los **estudios** de caso único **más relevantes** que han contribuido al conocimiento actual del funcionamiento neuropsicológico humano.
- ▶ Descubrir los **mecanismos de bioinspiración para diseñar modelos computacionales** a partir de conocimientos neurobiológicos.

3.2. Métodos de investigación en neurociencia

Cada disciplina científica cuenta con sus **propios paradigmas, sistemas y métodos de investigación**. En el caso de las neurociencias, y más concretamente en el ámbito de la neurociencia cognitiva, se cuenta con diversas estrategias que se usan habitualmente para obtener un conocimiento riguroso del funcionamiento del sistema nervioso.

Es importante destacar que, aun siendo muy importante contar con técnicas y tecnologías efectivas para la investigación, **la clave del avance científico no está solo en las herramientas utilizadas, sino en las estrategias de investigación aplicadas**. Por lo tanto, hablamos de **diseños de investigación**, y no de técnicas de investigación, para referirnos a las diferentes estrategias que podemos seguir para obtener información rigurosa acerca del funcionamiento de los sistemas cognitivos.

La realización de un diseño de investigación se basa a menudo en técnicas concretas, con lo que de forma efectiva sí que existe una **relación cercana entre el diseño de investigación y las técnicas empleadas**. Pero conviene hacer la distinción, porque un mal diseño puede hacer inútiles las más sofisticadas técnicas y herramientas de medida. En general, como en el estudio de cualquier otro proceso complejo, se requiere mantener el rigor habitual que caracteriza al método científico.

A continuación, repasaremos diferentes técnicas disponibles en la actualidad, haciendo referencia también a los diseños de investigación asociados habitualmente a dichas herramientas. En general, **distinguimos las siguientes técnicas de estudio del sistema nervioso**:

- ▶ Técnicas de **estudio de la neuroanatomía**.
- ▶ Técnicas **neurofisiológicas**.
- ▶ Técnicas **lesionales**.
- ▶ Técnicas de **neuroimagen**.

De todo el repertorio de técnicas disponibles, quizás las más populares son las técnicas de **neuroimagen** (a las que dedicaremos el siguiente tema), ya que han supuesto un gran avance al permitir la observación del cerebro en funcionamiento y se popularizaron enormemente durante la década de los 90 del siglo pasado.

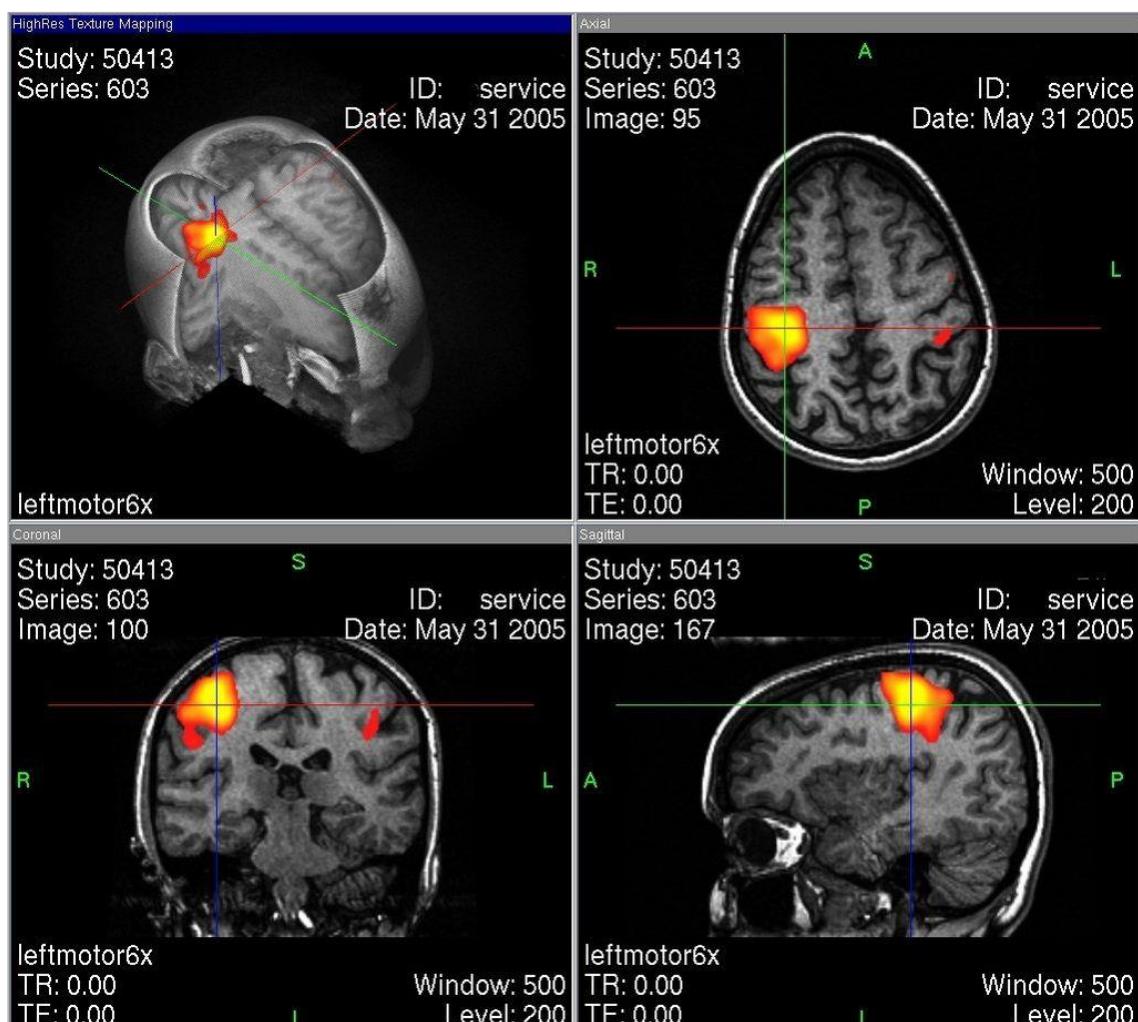


Figura 1. Ejemplo de técnica de neuroimagen funcional: resonancia magnética funcional (fMRI)

Fuente: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Fmrtuebersicht.jpg>

Históricamente, y hasta la aparición del microscopio, el estudio del cerebro ha sido puramente macroscópico, estableciendo los **principales componentes que se encuentran en el encéfalo** y que pueden distinguirse a simple vista. Con la llegada de técnicas microscópicas más evolucionadas se pudo profundizar mucho más en la estructura del encéfalo, distinguiendo diferentes tipos de tejido, etc.

Aunque inicialmente el foco de los estudios neuroanatómicos estaba en la identificación de los componentes diferenciados que forman las estructuras neuronales, la tendencia más actual se basa en el conocimiento detallado de las vías de conexión que existen entre los diversos centros de procesamiento del sistema nervioso. Es decir, una vez conocemos cuáles son las áreas del cerebro, nos interesa conocer cómo éstas están conectadas.

El estudio neuroanatómico del sistema nervioso persigue dos objetivos principales: identificar las partes diferenciadas que componen las estructuras neuronales y descubrir cómo dichas regiones están conectadas.

Sobre las técnicas de estudio de la neuroanatomía, es preciso destacar inicialmente que se pueden dividir en dos tipos: las que realizan estudios *post mortem* y las que se realizan *in vivo*. Obviamente, en los humanos los estudios *post mortem* se realizan solo después de que el sujeto haya fallecido por otras causas. Mientras que, con otros animales de laboratorio, y siguiendo las correspondientes guías normativas y éticas, se sacrifica al animal para analizar su sistema nervioso. En cualquier caso, el estudio *post mortem* habitualmente se centra en los aspectos anatómicos, ya que es más complicado sacar conclusiones acerca de la funcionalidad de los componentes del sistema nervioso una vez el organismo ha muerto. No obstante, mediante técnicas de tinción o marcaje de tejidos, se logra identificar el área cerebral que ha estado más activa antes de la muerte del animal.

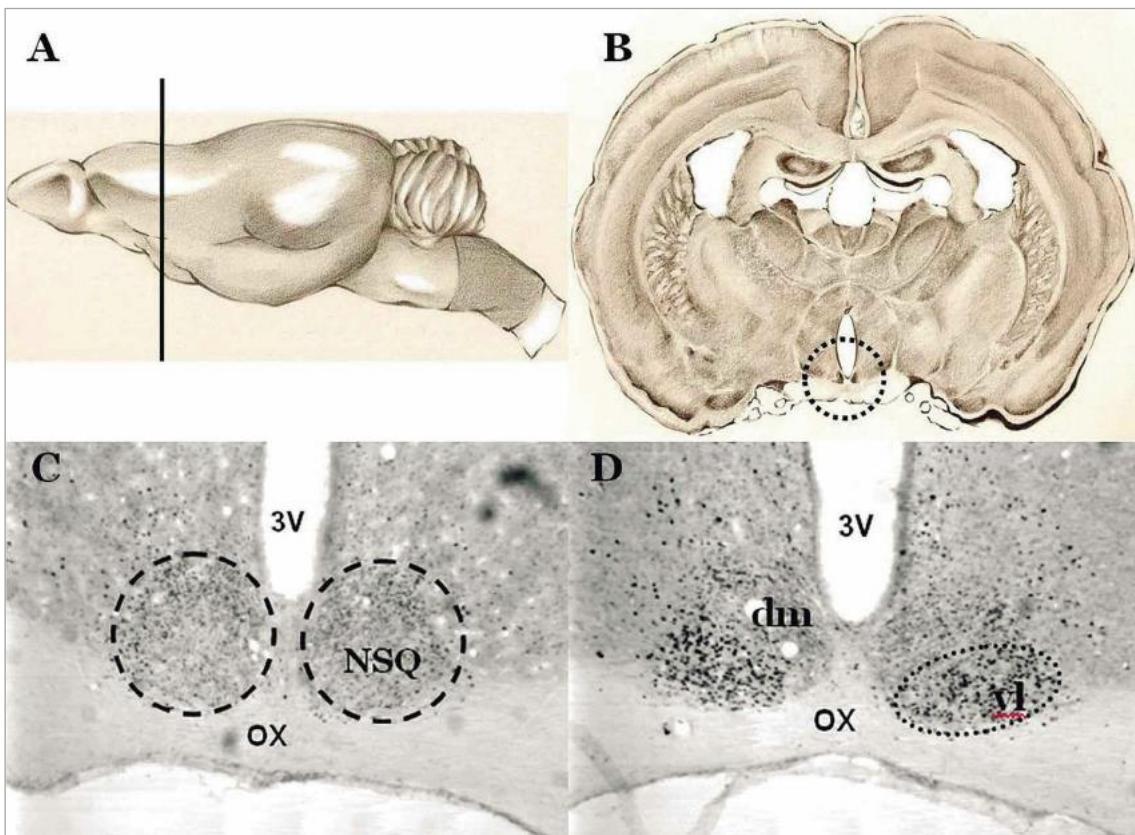


Figura 2. Dibujos de cerebro de rata y con corte coronal del mismo y fotomicrografía con marcaje de células inmunorreactivas para c-fos, que localizan y describen anatómicamente al núcleo supraquiasmático.

Fuente: Guadarrama-Ortiz, P., Ramírez-Aguilar, R., Madrid-Sánchez, A., Castillo-Rangel, C., Carrasco-Alcántara, D. y Aguilar-Roblero, R. (2014).

Con estas técnicas de estudio neuroanatómico se consiguen **identificar estructuras cerebrales involucradas en diversas tareas**, pues se suministra alguna sustancia al animal para que las células más activas queden marcadas y seguidamente, justo después de tarea, se sacrifica al animal, se extrae el encéfalo, se congela, se corta en secciones muy finas y se analizan los cortes obtenidos. Habitualmente estos experimentos se realizan con ratas de laboratorio, ver por ejemplo De Sá et al. (2016).

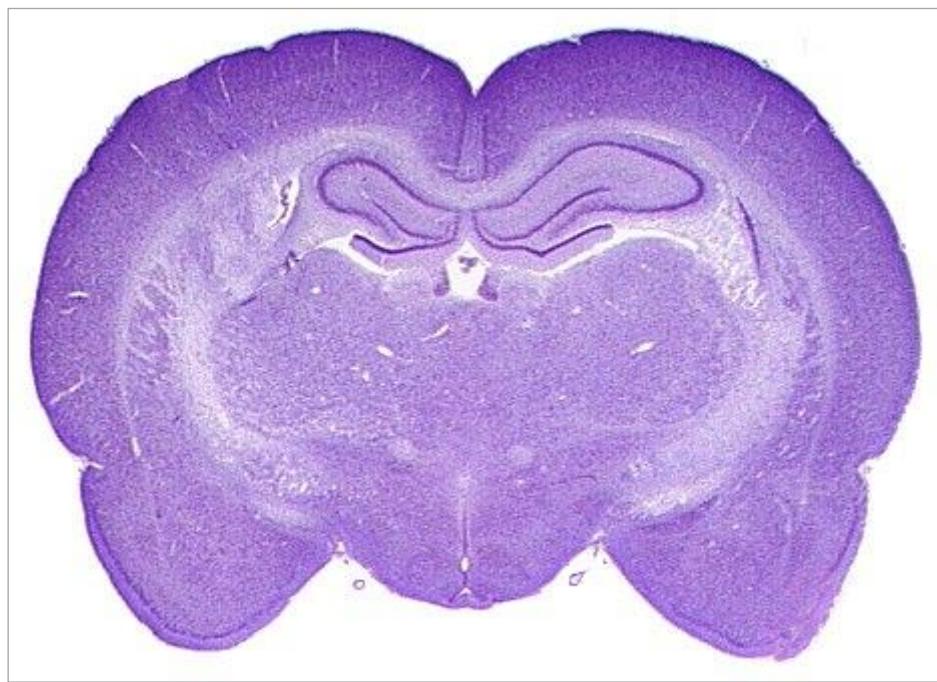


Figura 3. Sección coronal del cerebro de una rata con una tinción de violeta de cresilo.

Fuente: <https://synapseweb.clm.utexas.edu/hippocampus-rat>

La observación externa del cerebro de cualquier mamífero nos permite distinguir la existencia de partes bien diferenciadas. Por ejemplo, **se puede apreciar claramente la separación entre el tronco encefálico, el cerebro y el cerebelo.**

Desde el punto de vista de la corteza, también es fácil apreciar a simple vista la organización de diferentes **surcos o cisuras**, observándose también la separación entre los dos hemisferios. Los surcos más grandes permiten distinguir la existencia de los **cuatro lóbulos (frontal, temporal, parietal y occipital)**. Además, si seccionamos el cerebro también es fácil distinguir diferentes estructuras. Lo primero que se aprecia es una diferencia entre zonas corticales y subcorticales. También se suele diferenciar entre **sustancia gris y sustancia blanca**.

Como vemos, el **análisis macroscópico no nos proporciona una información suficiente** como para poder entender cómo funciona el cerebro. **De hecho, ni siquiera podemos saber a qué se debe el color gris o blanco de determinadas áreas.** Es necesario bajar a un nivel de análisis microscópico (histológico) para descubrir que la **sustancia gris** está compuesta de **cuerpos celulares de neuronas y glía**, mientras que la **materia**

blanca se corresponde con los **haces de axones** que conectan unas regiones con otras (específicamente el color blanco corresponde a las vainas de mielina que recubren los axones).

Mientras que las **técnicas neuroanatómicas** se basan principalmente en la **microscopía y la bioquímica**, las **técnicas neurofisiológicas** se basan en el **registro y la estimulación eléctrica** del cerebro. Desde el siglo XVIII, gracias a los experimentos de Galvani, se sabe que existe una relación entre la corriente eléctrica y la actividad del sistema nervioso. Con las técnicas modernas de registro, la actividad cerebral se puede observar en detalle desde el plano de la actividad eléctrica.

Como sabemos, el funcionamiento del sistema nervioso se basa en la transmisión de impulsos nerviosos (eléctricos). Las **técnicas neurofisiológicas** permiten **registrar** esta actividad eléctrica cerebral o incluso **estimular** o cambiar el patrón de estimulación eléctrica.

Otro conjunto de métodos habitualmente usado en neurociencia cognitiva es la observación de las consecuencias que se producen después de la **destrucción de determinadas áreas del tejido cerebral**. Es lo que se conoce como **método lesional** (es decir, de realización de lesiones cerebrales). Este conjunto de técnicas es muy utilizado, y al igual que ocurre con las técnicas **post mortem**, se usa aplicado a animales de laboratorio (previa aprobación de los comités éticos correspondientes).

Finalmente, contamos con un conjunto de técnicas, denominadas **neuroimagen funcional**, que nos permiten observar la actividad del **cerebro in vivo**. Estas técnicas se usan para obtener los **correlatos neuronales** de los procesos cognitivos y afectivos. Es decir, se observa el funcionamiento del cerebro a la vez que se ejecuta una determinada función, buscando establecer relaciones claras (funcionales) entre **estructuras neuronales y funciones** determinadas. De este modo, y gracias a este tipo de investigaciones, podemos establecer afirmaciones como que la corteza prefrontal está involucrada en la regulación de las emociones.

3.3. Estudios de caso único

Los estudios de caso único son especialmente interesantes porque se basan en pacientes que han sufrido daño cerebral de diferente índole y causa. De alguna forma, estos estudios vienen a sustituir al método lesional en humanos. Ya que no es ético provocar lesiones en cerebros humanos para estudiar el funcionamiento del sistema nervioso, lo que se hace es estudiar a los pacientes que por cualquier otro motivo han sufrido una lesión.

Gracias al estudio pormenorizado de pacientes que ha sufrido lesiones cerebrales se puede comparar su comportamiento, sus emociones y sus procesos cognitivos antes y después de la lesión. Como también se obtiene información precisa sobre el alcance neuroanatómico de la lesión gracias a las técnicas de neuroimagen, se consiguen establecer correlaciones entre diversas funciones cognitivas y las estructuras neuronales afectadas.

Aunque hablamos de estudios de caso único, también se pueden realizar estudios de grupo. Sin embargo, existen grandes dificultades para conseguir grupos con una lesión cerebral equivalente, puesto que, por motivos obvios, al tratarse de lesiones accidentales cada una es distinta. No obstante, los estudios de caso de grupo pueden también ser de gran valor e incrementar la potencia predictiva de sus conclusiones gracias al uso de técnicas de neuroimagen que permitan agrupar consistentemente a pacientes con una lesión equivalente.

Un ejemplo típico y clásico que, aunque antiguo está bien documentado, es el de Phineas Gage (García-Molina, 2008). Phineas P. Gage (1823-1861) fue un obrero de ferrocarriles que sufrió un accidente en el trabajo que le provocó una lesión en el lóbulo frontal del cerebro. A raíz de dicha lesión, Gage experimentó cambios significativos en su comportamiento. Este efecto de la lesión parecía poner de manifiesto que los lóbulos frontales tienen un rol importante en la regulación de las

emociones, la personalidad y las funciones ejecutivas. En el artículo de García-Molina (2008) se hace un análisis detallado de estas conclusiones.



Figura 4: Trayectoria de la barra que atravesó el cráneo de Phineas Gage, según Harlow.

Fuente: https://es.wikipedia.org/wiki/Phineas_Gage#/media/File:Phineas_gage_-_1868_skull_diagram.jpg

3.4. Modelos computacionales

Gracias a los estudios neuroanatómicos, funcionales y de caso único podemos plantear **hipótesis acerca de cómo el cerebro realiza el procesamiento de la información** durante la realización de diversas tareas. Los resultados de la experimentación con animales, humanos y los datos recogidos en diversos ámbitos clínicos y de investigación avalan o refutan la validez de dichos modelos.

Desde el punto de vista de la inteligencia artificial es interesante conocer estos **modelos cognitivos**, pues son susceptibles de ser traducidos en **modelos computacionales**. Es decir, si contamos con un modelo conceptual que explica cómo

el cerebro realiza una cierta tarea, este modelo conceptual puede ser traducido en términos computacionales.

A lo largo de los diferentes temas de esta asignatura nos centraremos en diversos procesos mentales y sus tareas asociadas (atención, emoción, memoria, lenguaje, etc.). Gracias a los estudios neurocientíficos relacionados con cada una de estas funciones se plantean modelos explicativos. Nuestra tarea desde el área de la inteligencia artificial es recuperar estos modelos e implementarlos en su versión computacional. De este modo se establece una relación doble entre la neurociencia y la inteligencia artificial. Por un lado, la neurociencia proporciona modelos acerca del procesamiento de la información en los animales. Por otro lado, la replicación de esos modelos en su versión computacional puede servir tanto de bioinspiración como de evidencia adicional que avale el modelo original.

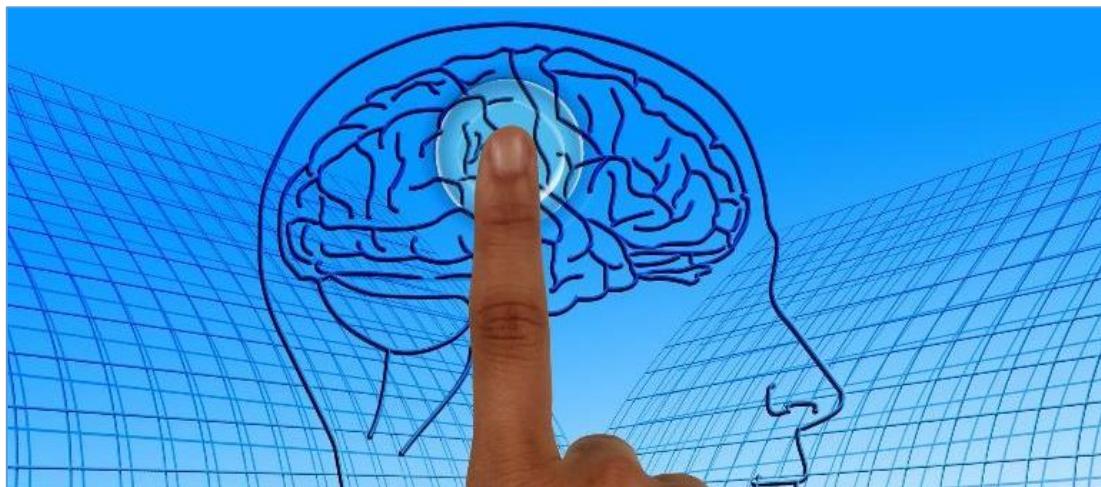
Es interesante apreciar que los modelos lesionales y de caso único realizan un aporte especial en estos procesos científicos. La observación de déficits y disfunciones en la mente humana permite una comparación y una analogía con los déficits que a menudo presentan los sistemas artificiales. Además, el estudio de la rehabilitación de los pacientes neurológicos también puede arrojar luz sobre la capacidad que tiene el sistema nervioso para autoadaptarse a cambios tan importantes. Aspectos como la neuroplasticidad son de vital importancia a la hora de intentar imitar las capacidades humanas en sistemas artificiales.

Lo + recomendado

No dejes de leer

Reportaje: Neuromitos, las falsas creencias científicas que han llegado a las aulas

Simonsen, E. (julio, 2016). Reportaje: Neuromitos, las falsas creencias científicas que han llegado a las aulas. *Centro de Investigación Avanzada en Educación*.



El efecto Mozart, los estilos de aprendizaje o los ambientes enriquecidos son algunas de las creencias más populares en educación, supuestamente basadas en hallazgos científicos. Sin embargo, son solo neuromitos, es decir, una mala traducción de algunos resultados experimentales. A propósito de la conmemoración del Día Internacional del Cerebro, analizamos cuáles son los neuromitos y por qué están tan extendidos.

Accede al artículo a través del aula virtual o desde la siguiente dirección web:

http://www.ciae.uchile.cl/index.php?page=view_noticias&id=863&langSite=es

No dejes de ver

Un hombre sin memoria. El caso del paciente HM

El cerebro del paciente H.M. es (quizá) el más famoso de la historia de la ciencia. Tras someterse a una operación con 27 años, vivió los siguientes 55 con una memoria a corto plazo inferior a los 20 segundos. Esta es la historia de un hombre sin memoria.



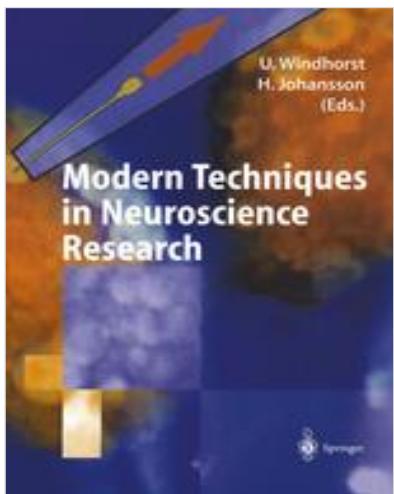
Accede al vídeo a través del aula virtual o desde la siguiente dirección web:

<https://www.youtube.com/watch?v=Sv4mNHbNHug>

A fondo

Modern Techniques in

Windhorst, U. y Johansson, H. (Eds.). (2012). *Modern techniques in neuroscience research*. Berlín: Springer Science & Business Media.



La neurociencia se ha convertido en una ciencia joven en rápida expansión que depende de otras ciencias y sus métodos. Por esa razón, es una empresa realmente interdisciplinaria e intermetodológica de cuantiosa fascinación para muchos. Con este espíritu, este libro intenta presentar una visión general de las técnicas actualmente utilizadas en la investigación moderna en neurociencia. Al hacerlo, también es una introducción a la neurociencia en sí misma, desde el ángulo de los métodos disponibles para abordar las preguntas predominantes. Muchas preguntas solo pueden responderse combinando métodos tomados de diferentes campos.

Sobre la base de esta idea, el principio de organización de este libro es la investigación de los niveles del sistema nervioso, desde los organismos moleculares y celulares hasta los organismos completos. La razón de esto es doble: en primer lugar, ciertos niveles organizacionales pueden estudiarse de manera óptima y potencialmente entenderse solo mediante la aplicación de una serie de diversas técnicas.

En segundo lugar, es importante evitar sucumbir al peligro de la pura tecnicidad, que podría surgir al ordenar la descripción de las técnicas de acuerdo con sus principios inherentes de coherencia (por ejemplo, tinción frente a técnicas electrofisiológicas).

Webgrafía

Phineas Gage

El artículo de Wikipedia sobre el caso del famoso Phineas Gage ofrece un resumen e información interesante sobre este paciente. Además, se incluyen ilustraciones que describen la lesión y enlaces a más artículos e información relacionada.

El artículo describe los cambios sufridos por Phineas a raíz del accidente, poniendo de manifiesto la correlación existente entre la lesión cerebral y la generación de la conducta en determinados aspectos.



Accede a la página web a través del aula virtual o desde la siguiente dirección web:

https://es.wikipedia.org/wiki/Phineas_Gage

Bibliografía

De Sá, A. L., Bahia, C. P., Correa, V. C., Dias, I. A., Batista, C., Gomes-Leal, W. y Pereira, A. (2016). Morphometric analysis of feedforward pathways from the primary somatosensory area (S1) of rats. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research* 49(6).

García-Molina, A. (2008). Aproximación histórica a las alteraciones comportamentales por lesiones del córtex prefrontal: de Phineas Gage a Luria. *Revista de Neurología*, 46(3), 175-181.

Guadarrama-Ortiz, P., Ramírez-Aguilar, R., Madrid-Sánchez, A., Castillo-Rangel, C., Carrasco-Alcántara, D. y Aguilar-Roblero, R. (2014). Controladores del tiempo y el envejecimiento: núcleo Supraquiasmático y glándula pineal. *International Journal of Morphology*, 32(2), 409-414.

Windhorst, U. y Johansson, H. (Eds.). (2012). *Modern techniques in neuroscience research*. Berlín: Springer Science & Business Media.

Test

1. ¿Cuál de las siguientes no es una técnica de estudio del sistema nervioso?:
 - A. Técnica lesional.
 - B. Técnica de neuroimagen.
 - *C. Técnica electromagnética
 - D. Técnica neuroanatómica.

2. Para distinguir los principales componentes anatómicos del encéfalo se requiere:
 - A. Una técnica microscópica.
 - B. Una técnica histológica.
 - C. Una técnica de tinción.
 - *D. A y C son correctas.

3. Los objetivos principales del estudio neuroanatómico son:
 - A. Identificar las zonas grises del cerebro.
 - B. Medir el tamaño de las estructuras normales.
 - *C. Identificar las estructuras neuronales y cómo están conectadas.
 - D. Localizar los centros de sustancia blanca.

4. ¿Qué sujetos se suelen emplear para aplicar técnicas *post mortem*?:
 - *A. Animales de laboratorio.
 - B. Humanos sin ninguna patología neurológica.
 - C. Animales salvajes.
 - D. Humanos que han sufrido una lesión cerebral leve.

- 5.** Las técnicas de tinción se usan para:
- A. Estimular todo el encéfalo.
 - B. Inhibir el funcionamiento de zonas específicas del cerebro.
 - C. Medir la actividad eléctrica de la corteza cerebral.
 - *D. Identificar áreas específicas del cerebro.
- 6.** Los surcos o cisuras se encuentran:
- *A. En la corteza.
 - B. En las áreas subcorticales.
 - C. En la sustancia blanca.
 - D. En el hipocampo.
- 7.** Los cuerpos celulares de neuronas y células gliales:
- A. Conectan diferentes áreas del cerebro.
 - B. Componen la sustancia blanca.
 - C. Están recubiertos de mielina.
 - *D. Componen la sustancia gris.
- 8.** Los correlatos neuronales se refieren a establecer relaciones entre:
- A. Corteza y áreas subcorticales.
 - *B. Funciones y estructuras neuronales.
 - C. Personalidad y genética.
 - D. Déficits cognitivos y funciones cognitivas.
- 9.** Los estudios de caso único se basan en:
- *A. Humanos que han sufrido daño cerebral.
 - B. Animales de laboratorio.
 - C. Humanos sanos.
 - D. Grupos de pacientes neurológicos.

10. Los modelos cognitivos derivados de la investigación en neurociencia:

- A. No se pueden traducir en modelos computacionales.
- *B. Se pueden traducir en modelos computacionales.
- C. No se obtienen usando el método científico.
- D. No sirven para la bioinspiración en inteligencia artificial.

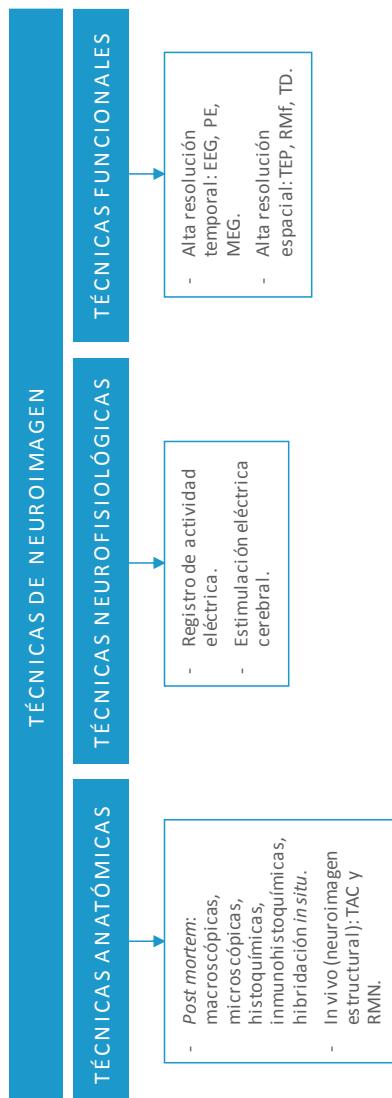
Neurociencia Cognitiva

Técnicas de estudio del sistema nervioso

Índice

Esquema	3
Ideas clave	4
4.1. ¿Cómo estudiar este tema?	4
4.2. Técnicas anatómicas	4
4.3. Técnicas neurofisiológicas	9
4.4. Técnicas funcionales	11
4.5. Referencias bibliográficas	15
Lo + recomendado	16
+ Información	18
Test	21

Esquema



Ideas clave

4.1. ¿Cómo estudiar este tema?

Para estudiar este tema lee las Ideas clave disponibles a continuación.

En este tema continuamos analizando las herramientas disponibles para la investigación en neurociencia cognitiva, centrándonos ahora en las técnicas de neuroimagen. Los principales objetivos de este tema son:

- ▶ Estudiar el proceso de interpretación de los resultados de investigación obtenidos a partir de técnicas de neuroimagen.
- ▶ Obtener una visión general de la capacidad actual de análisis del funcionamiento del sistema nervioso.

En este tema pondremos foco en las técnicas de neuroimagen funcional, pues son las que nos proporcionan un conocimiento específico acerca de los procesos mentales que se producen en el cerebro.

4.2. Técnicas anatómicas

El estudio de la **anatomía del encéfalo** comenzó por medio de análisis macroscópicos. No fue hasta la llamada «**década del cerebro**» (los 90 del siglo pasado) cuando se empezó a avanzar significativamente en el conocimiento detallado de las estructuras del cerebro y su funcionamiento a diversos niveles.

La neuroanatomía se centra en el estudio de la **estructura del sistema nervioso**. Por un lado, se establecen **divisiones** y por otro se identifican las **conexiones existentes entre diferentes áreas**.

Una de las líneas principales del análisis anatómico del cerebro se basa en la **observación post mortem del tejido nervioso**. Se toman muestras de tejido en el laboratorio, intentando buscar las condiciones más parecidas a las existentes cuando el tejido está vivo. Estos procesos requieren de herramientas específicas como los microtomos, vibratomos y criostatos, así como el uso de líquidos fijadores y tinciones. Gracias a la microscopía electrónica y a los ultramicrotomos se pueden observar secciones de nanómetros de grosor.

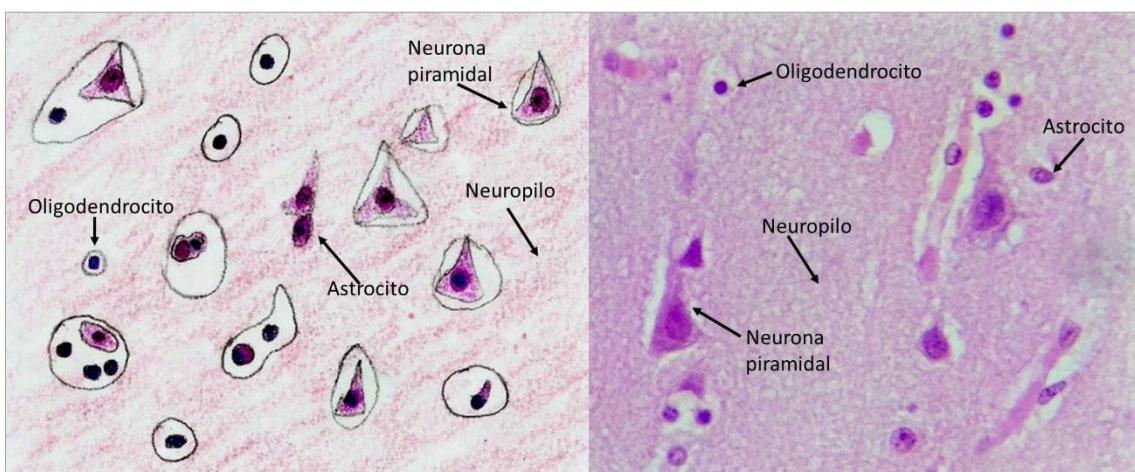


Figura 1. Microfotografía del cerebro de una paloma.

Fuente: <https://sites.google.com/site/atlashis17i1255/tejido-nervioso/cerebro>

Existen multitud de técnicas específicas usadas para el estudio del tejido neuronal *post mortem*. Por ejemplo, la **tinción de Nissl** es uno de los métodos que revolucionó los estudios neuroanatómicos en su momento y aún se sigue usando. Esta técnica permite diferenciar los cuerpos celulares de forma rápida, al marcar en azul el ARN presente en los ribosomas y los retículos endoplasmáticos rugosos. Para obtener información sobre la conectividad se pueden usar técnicas que tiñen selectivamente las prolongaciones nerviosas (por ejemplo, tinciones específicas para la mielina).



Figura 2. Microtomo Criostato.

Fuente: <https://lupetec.com.br/es/productos/lupetec/criostato-de-ch%C3%A3o-cm2850-lupetec>

Además de las técnicas histoquímicas mencionadas, también se han desarrollado otro conjunto de técnicas basadas en la **detección de ciertas proteínas cerebrales**. Estas técnicas se denominan **inmunohistoquímicas**, ya que emplean anticuerpos. Los anticuerpos dirigidos contra sustancias del cerebro forman complejos antígeno-anticuerpo, que a su vez pueden ser localizados gracias a la inclusión de moléculas fluorescentes en los anticuerpos empleados.

En general, se cuenta con numerosas técnicas de análisis de los tejidos nerviosos, llegando incluso a detectar la expresión de diversos genes mediante procedimientos de **hibridación in situ**. Para esto se utilizan sondas de ADN o ARN creadas específicamente para que se enlacen (hibriden) con segmentos de ARN mensajero complementarios que incluyen las instrucciones para la síntesis de determinadas proteínas.

Todas las técnicas descritas anteriormente requieren el procesado de muestras de tejido nervioso, por lo que han de realizarse *post mortem*. Afortunadamente, también se cuenta con diversas técnicas para la observación en vivo del tejido nervioso basadas en la **neuroimagen estructural**. Podemos decir que las primeras

imágenes estructurales del cerebro *in vivo* se obtuvieron accidentalmente usando rayos X al inicio del siglo XX. Desde entonces, el uso de herramientas de radiodiagnóstico ha permitido explorar la anatomía humana *in vivo* con gran detalle.

La Tomografía Axial Computarizada (TAC) es una de las primeras técnicas, que se basa en la emisión de rayos X, y que permite observar la anatomía cerebral de sujetos humanos *in vivo*. Usando el TAC se obtienen **radiografías de cortes o secciones del cerebro**, además, se utiliza un emisor y receptor de rayos que va rotando alrededor de la cabeza. Como las diferentes estructuras que hay en el encéfalo presentan grados variables de radio-opacidad la imagen obtenida permite identificar dichas estructuras.

Gracias a la combinación de las diferentes imágenes tomadas, se pueden construir **representaciones del cerebro bidimensionales (2D) y tridimensionales (3D)**. Estas representaciones son imágenes de la estructura del cerebro en un momento dado (el del instante en que se toman las radiografías).

El TAC presenta algunos aspectos positivos, como su bajo coste, pero también tiene aspectos negativos, como la radiación emitida, la menor resolución espacial y temporal que otras técnicas más modernas y la invasividad de la prueba.



Figura 3. Realización de un TAC.

Fuente: <http://eldia.es/palma/2016-05-10/2-sanidad-publica-carece-resonancia-magnetica-Isla.htm>

Además del TAC, una de las técnicas más utilizadas para explorar el cerebro en vivo es la **Resonancia Magnética Nuclear (RMN)**. Esta técnica se basa en que los **protones de los núcleos de hidrógeno** presentes en las células **alteran su orientación espacial** cuando la onda electromagnética del dispositivo incide sobre ellos. En condiciones normales, los protones de los átomos de hidrógeno están orientados al azar, teniendo cada uno un eje distinto. El potente electroimán que usa la máquina de RMN genera un campo magnético que provoca una disposición igual en todos los ejes de los protones. Cuando la onda que ha provocado un estado de alta energía en el núcleo cesa, este se reorienta **volviendo a un estado de baja energía y «devolviendo» la energía que le ha hecho orientarse**. Un sensor de campo magnético lo suficientemente sensible y preciso capta estas variaciones de energía emitidas por los núcleos de hidrógeno. Se suele usar el núcleo de hidrógeno porque es un elemento muy presente en el sistema nervioso y además la alteración de la orientación de su núcleo resulta inocua para los sujetos.

De forma análoga al TAC, en la RMN un ordenador analiza los datos de amplitud y frecuencia de la señal recibida desde el tejido nervioso. Con la información cuantitativa de la señal **se generan representaciones en 2D y 3D**, que además cuentan con una codificación de niveles de gris que indica la diferencia de densidad de protones de hidrógeno en las diferentes zonas del cerebro. Las imágenes de RMN sirven para detectar multitud de lesiones o anomalías, puesto que muchas de ellas implican una variación en la densidad de protones de hidrógeno en una determinada zona del cerebro.

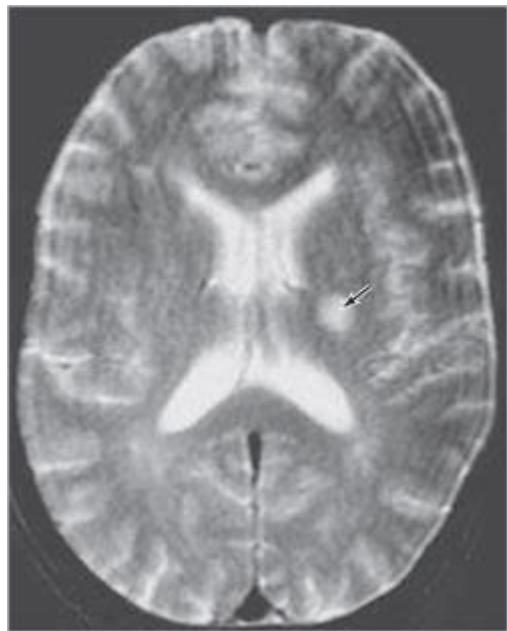


Figura 4. Imagen por resonancia magnética (IRM) de un paciente hipertenso de 51 años de edad. El paciente se quejaba de debilidad del lado derecho de la cara y del brazo y pierna derechos, que se había desarrollado a lo largo de un período de cinco horas. No presentaba pérdida sensorial ni problemas de lenguaje ni cognición. La IRM reveló un pequeño infarto en la cápsula interna (flecha), que destruyó los axones que descendían de la corteza motora, con lo que se ocasionó una «hemiparesia motora pura» en este paciente. Fuente: Waxman (2011).

4.3. Técnicas neurofisiológicas

Además de las técnicas basadas en microscopía, bioquímica o manipulación de diferentes espectros de radiación electromagnética, contamos también con técnicas basadas directamente en el **funcionamiento eléctrico del sistema nervioso**. Es decir, existen técnicas que se basan en el **registro** de la actividad eléctrica neuronal e incluso en la **estimulación** eléctrica del tejido nervioso.

El registro de la actividad eléctrica a nivel celular requiere el uso de **técnicas invasivas**. Estas técnicas permiten detectar la **actividad eléctrica a nivel intracelular** o **extracelular de una única neurona**, aunque también se realizan registros extracelulares de conjuntos de neuronas. Para lograr estas lecturas de la actividad eléctrica se insertan uno o varios **microelectrodos** en el cerebro. Estos

microelectrodos son capaces de detectar los **cambios de potencial que se producen en la membrana** celular de las neuronas. Generalmente, el interés principal es medir la variación en la **tasa de disparo de las neuronas**.

Por otro lado, las técnicas de estimulación eléctrica usan también microelectrodos, pero con el objetivo de inducir **estimulación en determinadas zonas cerebrales**. En humanos, esta técnica se usa durante las intervenciones neuroquirúrgicas para identificar los efectos conductuales que tienen ligeras estimulaciones eléctricas de diferentes zonas de la corteza. Esta información funcional permite decidir qué zonas del cerebro pueden ser extirpadas durante la intervención y que otras zonas han de ser preservadas, pues juegan un rol importante en el procesamiento del lenguaje, la producción de movimientos o cualquier otro aspecto relevante para el paciente.



Figura 5. Paciente tocando la guitarra durante una intervención neuroquirúrgica con estimulación eléctrica profunda.

Fuente: http://news.xinhuanet.com/english/2016-01/28/c_135053296.htm

4.4. Técnicas funcionales

Uno de los avances más relevantes en el campo de la neurociencia cognitiva ha sido el desarrollo de diversas técnicas de neuroimagen funcional. Estas técnicas permiten **identificar *in vivo* los correlatos neuronales de las funciones cognitivas.**

Dentro del área de la neuroimagen funcional podemos distinguir entre **técnicas de alta resolución temporal**, como la electroencefalografía, y **técnicas de mayor resolución espacial**, como la resonancia magnética funcional. En general, las técnicas de neuroimagen funcional proporcionan:

- ▶ Buena resolución temporal y mala resolución espacial.
- ▶ Buena resolución espacial y mala resolución temporal.

En otras palabras, es muy complicado conseguir una **representación precisa a nivel de las estructuras neuronales implicadas (resolución espacial)** y al mismo tiempo conseguir una medida exacta de la **variación en el tiempo de la actividad** de esas estructuras (**resolución temporal**).

El **electroencefalograma (EEG)** y los **potenciales evocados (PE)** se basan en medir la actividad eléctrica que generan las neuronas. Por un lado, **las neuronas generan potenciales de acción** que se propagan a lo largo de los axones. Por otro lado, se generan **potenciales postsinápticos**, que a su vez pueden generar **excitación o inhibición (polarización e hiperpolarización)** en la neurona postsináptica. La técnica de **EEG detecta esta actividad eléctrica que se produce en el tejido neuronal** a partir de sensores (electrodos) que se colocan en el cuero cabelludo. Los PE son **fluctuaciones de voltaje visibles en el EEG** inducidas por cambios en la actividad cerebral. Las señales de PE suelen asociarse a **sucesos cognitivos o estímulos sensoriales**.

Las ondas o componentes del EEG se caracterizan por su **amplitud**, su **latencia** y la **distribución en el cuero cabelludo**. La amplitud indica la extensión de la actividad neuronal, la latencia aporta información sobre el momento en que se produce la actividad y la distribución en el cuero cabelludo se relaciona con las estructuras anatómicas subyacentes.



Figura 6. Registro de EEG de un niño con epilepsia.

Fuente: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Spike-waves.png>

La **Magnetoencefalografía (MEG)** se basa en que toda corriente eléctrica genera un campo magnético perpendicular a la misma. Por lo tanto, el **campo magnético generado por la actividad eléctrica de las neuronas** puede medirse desde fuera de la **cabeza**. La detección extracranal de los campos magnéticos inducidos por la actividad neuronal requiere una gran sensibilidad de los sensores y registra fundamentalmente los potenciales neuronales postsinápticos. Esta técnica detecta la

activación conjunta de al menos decenas de miles de neuronas, de otro modo, el campo magnético resultante no es lo suficientemente intenso para ser captado. Las técnicas de MEG se suelen usar en conjunción con el EEG y la RMN.

La **Tomografía por Emisión de Positrones** (TEP) permite medir el nivel de actividad metabólica de cada zona del cerebro y como esa actividad se incrementa con la excitación neuronal ofrece una medida indirecta del procesamiento nervioso. La técnica **se basa en marcar radioactivamente una sustancia que participe en el metabolismo**, como la glucosa, el oxígeno o el hidrógeno. Al inyectar en sangre la sustancia marcada radioactivamente, el marcador quedará fijado en las zonas de mayor actividad. Posteriormente, los átomos inestables del isótopo emitirán positrones que se aniquilarán al encontrarse con electrones cercanos, emitiendo dos fotones que se desplazarán en sentido opuesto. Los sensores del TEP son capaces de **detectar el origen de la aniquilación positrón-electrón**. Estas localizaciones se corresponderán con las zonas activas. Aunque el TEP ofrece una alta resolución espacial, la resolución temporal es baja debido al tiempo necesario para la detección y los propios procesos metabólicos y de desintegración del marcador radioactivo.

La **Resonancia Magnética Funcional** (RMf) es una variante de la RMN que proporciona **buenas resoluciones espacials** (de milímetros). A nivel de resolución temporal, la RMf ofrece una escala de varios segundos. Esta técnica es más barata que el TEP y es inocua para el sujeto, lo que permite la realización de registros sucesivos. Como hemos comentado, cuando un tejido aumenta su actividad consume mayor cantidad de glucosa y oxígeno. Este incremento del consumo viene acompañado de incremento en la perfusión sanguínea y oxigenación de la zona. Estas fluctuaciones que son resultado de la respuesta compensatoria fisiológica provocan cambios en la señal de resonancia magnética (debido a la variación de los niveles de oxihemoglobina y desoxihemoglobina).

Gracias a la técnica **BOLD** (del inglés *Blood Oxigenation Dependent*) el **RMf detecta las variaciones en el consumo de oxígeno en las zonas cerebrales**. La comparación del patrón de actividad neuronal obtenido durante la realización de tareas cognitivas,

motoras o sensitivas **permite identificar las zonas del cerebro implicadas en los procesos mentales.** Es decir, los correlatos neuronales de las funciones cognitivas y afectivas.

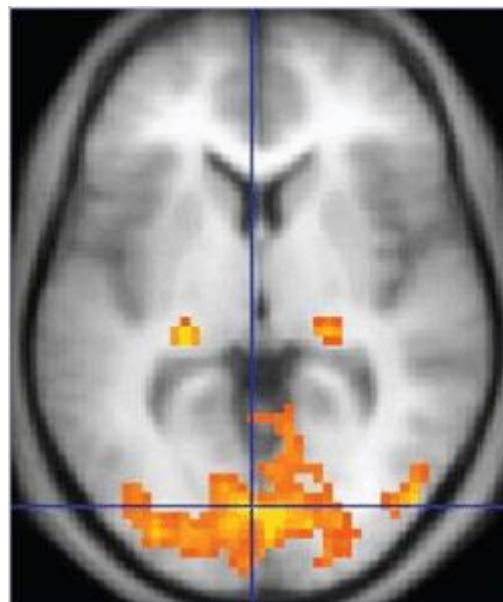


Figura 7. Imagen de RMf.

De OpenStax - <https://cnx.org/contents/FPtK1zmh@8.25:fEl3C8Ot@10/Preface>, CC BY 4.0,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=30147912>

Una técnica moderna asociada a la RMN y que sirve tanto para el estudio de la anatomía como de la función neuronal es el **tensor de difusión (TD)**. Con esta técnica se puede estudiar las propiedades de la sustancia blanca y, por lo tanto, la forma de las diferentes vías de conexión que existen en el cerebro. Como la RMN tiene la capacidad de detectar el movimiento de las moléculas en diferentes regiones, es decir, la difusión, se pueden observar **diferencias en la difusión a lo largo del tejido nervioso.**

En un medio sin barreras las **moléculas se mueven libremente en situación de isotropía**. Sin embargo, cuando existen una organización anatómica que limita el **movimiento de las moléculas**, la situación resultante es de **anisotropía**. Es decir, la difusión de las moléculas en el cerebro seguirá ciertos patrones anisotrópicos en función de la organización de las vías neuronales. Siguiendo estos principios se

pueden cuantificar estas diferencias en la difusión con precisión milimétrica y construir representaciones tridimensionales de las vías neuronales.

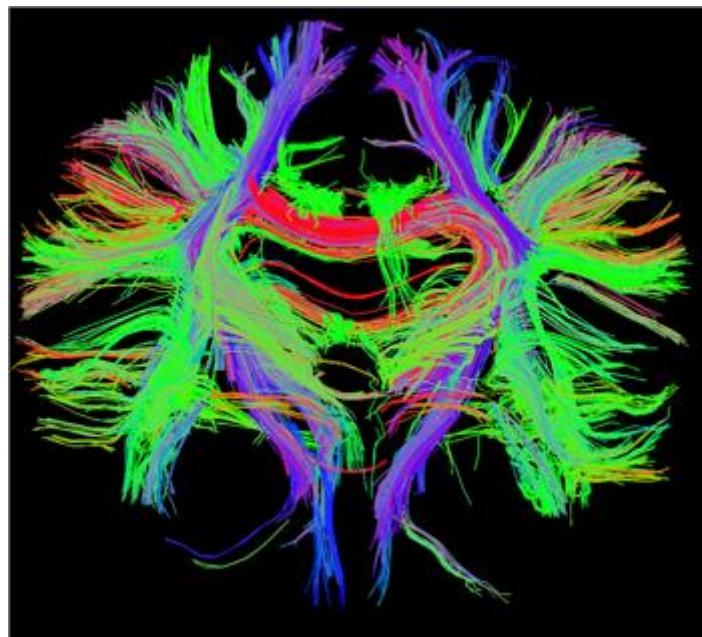


Figura 8. Imagen de tensor de difusión que representa las principales vías neuronales del encéfalo.

Fuente: <http://www.martinos.org/neurorecovery/technology.htm>

4.5. Referencias bibliográficas

Waxman, S. G. (2011). *Neuroanatomía clínica*. México: McGraw Hill México.

Lo + recomendado

No dejes de leer

This is your brain: Mapping the Connectome

Perkel. J. M. (enero, 2013). This is your brain: Mapping the Connectome. *Science Megazine*. Doi: 0.1126/science.opms.p1300071.

Han pasado 20 años desde que Francis Crick y Edward Jones, en medio de la llamada «década del cerebro», lamentaron la falta de ciencia, incluso de una comprensión básica de la neuroanatomía humana. «Claramente, lo que se necesita para una anatomía moderna del cerebro humano es la introducción de algunas técnicas radicalmente nuevas», escribió la pareja en 1993. Obviamente, los investigadores estaban escuchando. En la actualidad, utilizan tecnologías novedosas y automatización para mapear los circuitos neuronales con una resolución e integridad sin igual. El NIH ha dedicado casi 40 millones de dólares para trazar el cableado del cerebro humano, y el Allen Brain Institute ha aportado más dinero para mapear el cerebro del ratón. Los datos tardarán años en compilarse, e incluso más tiempo en comprenderse. Pero los resultados pueden revelar nada menos que la naturaleza de la individualidad humana. Como el neurocientífico del MIT Sebastian Seung escribe: «Eres más que tus genes. Tú eres tu conectoma».

Accede al artículo a través del aula virtual o desde la siguiente dirección web:

http://www.sciencemag.org/site/products/lst_20130118.xhtml

No dejes de ver

Electro-Medicine: Transcranial Magnetic Stimulation (TMS)

Usando pulsos muy cortos de energía magnética para alterar la actividad de las células nerviosas en el cerebro, el TMS no implica radiación ni estimulación eléctrica, y no requiere anestesia. Los pacientes permanecen despiertos y alertas durante el procedimiento. El tratamiento ambulatorio estándar generalmente dura 40 minutos y se realiza bajo la supervisión de un psiquiatra.

El número de sesiones recomendadas se basa en la necesidad del paciente individual y la respuesta al tratamiento. Para la mayoría de los pacientes, el tratamiento se administra diariamente, durante cuatro a seis semanas.



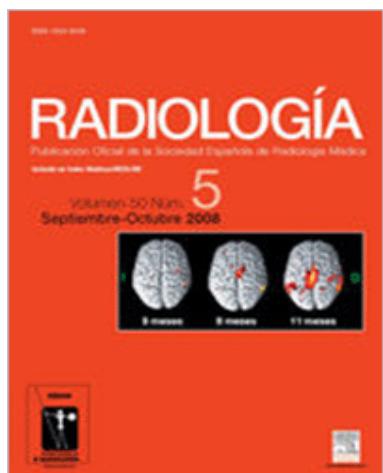
Accede al vídeo a través del aula virtual o desde la siguiente dirección web:

<https://www.youtube.com/watch?v=KEyYSPcdWUs>

A fondo

Neuropsicología y resonancia magnética funcional: conceptos generales

Ríos-Lago, M. (2008). Neuropsicología y resonancia magnética funcional: conceptos generales. *Radiología*, 50(5), 351-365.



Este trabajo presenta las tareas específicas del neuropsicólogo en una Unidad de imagen médica durante el estudio de las relaciones entre el cerebro y la conducta. Su papel como parte del equipo multidisciplinario se centra en el diseño de paradigmas (motor, visual, lenguaje, memoria, etc.), la supervisión de la conducta de los sujetos (pacientes o controles) durante la realización de los registros de resonancia magnética funcional y la interpretación de los resultados. Todo ello obliga al neuropsicólogo a conocer no solo aquello que le es propio (los procesos cognitivos y sus componentes), sino también las características, posibilidades y limitaciones de la técnica con la que trabaja. De igual forma se introducen algunos conceptos de uso habitual en resonancia magnética funcional y se revisan algunos de los paradigmas de uso más frecuente en contextos clínicos.

Accede al artículo a través del aula virtual o desde la siguiente dirección web:

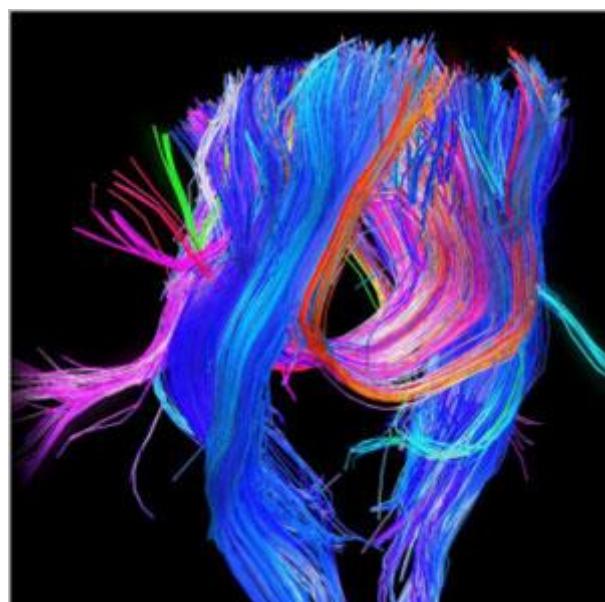
<http://www.elsevier.es/es-revista-radiologia-119-articulo-neuropsicologia-resonancia-magnetica-funcional-conceptos-13127628>

Webgrafía

Human Connectome Project

Navega por el cerebro de una manera que nunca antes fue posible; volar a través de las principales vías cerebrales, comparar los circuitos esenciales, hacer zoom en una región para explorar las células que la componen y las funciones que dependen de ella.

El proyecto **Human Connectome** tiene como objetivo proporcionar una compilación sin precedentes de datos neuronales, una interfaz para navegar gráficamente estos datos y la oportunidad de alcanzar conclusiones nunca antes realizadas sobre el cerebro humano vivo.



Accede a la página web a través del aula virtual o desde la siguiente dirección web:

<http://www.humanconnectomeproject.org/>

Bibliografía

- Benedet, M. J. (2002). *Neuropsicología cognitiva: aplicaciones a la clínica y a la investigación. Fundamento teórico y metodológico de la neuropsicología cognitiva.* Madrid: Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales, Secretaría General de Asuntos Sociales, Instituto de Migraciones y Servicios Sociales (IMSERSO).
- Carlson, N. R. (2006). *Fisiología de la conducta.* Madrid: Pearson Educacion.
- Maestú, F., Quesney-Molina, F., Ortiz-Alonso, T., Campo, P., Fernández-Lucas, A. y Amo, C. (2003). Cognición y redes neurales: una nueva perspectiva desde la neuroimagen funcional. *Rev Neurol*, 37(10), 962-6.
- Ríos-Lago, M. (2008). Neuropsicología y resonancia magnética funcional: conceptos generales. *Radiología*, 50(5), 351-365.

7

1. El micrótomo se usa para:
 - A. Observación *in vivo*.
 - B. Observación *post mortem*.
 - C. Registro de actividad eléctrica.
 - D. Estimulación eléctrica.

2. La tinción de Nissl revolucionó los estudios:
 - A. Funcionales.
 - B. Electrofisiológicos.
 - C. Neuroanatómicos.
 - D. A y B son correctas.

3. Las técnicas inmunohistoquímicas:
 - A. Detectan oxígeno.
 - B. Detectan hidrógeno.
 - C. Detectan glucosa.
 - D. Detectan proteínas.

4. El TAC emplea radicación de espectro:
 - A. De los rayos X.
 - B. Ultravioleta.
 - C. Infrarrojo.
 - D. De los rayos Gamma.

5. Con un TAC se pueden conseguir imágenes:
 - A. Solo en 2D.
 - B. Solo en 3D.
 - C. En 2D y 3D.
 - D. Funcionales.

- 6.** La RMN se basa en:
- A. La orientación de los positrones.
 - B.** La orientación de los núcleos de hidrógeno.
 - C. La orientación de los electrones.
 - D. Las medidas de electrodos.
- 7.** La estimulación eléctrica mediante microelectrodos es una técnica:
- A.** Invasiva.
 - B. No invasiva.
 - C. De baja resolución espacial.
 - D. De baja resolución temporal.
- 8.** Los correlatos neuronales se refieren a establecer relaciones entre:
- A. Corteza y áreas subcorticales.
 - B.** Funciones y estructuras neuronales.
 - C. Personalidad y genética.
 - D. Déficits cognitivos y funciones cognitivas.
- 9.** El electroencefalograma (EEG) y los potenciales evocados (PE):
- A.** Tienen alta resolución espacial.
 - B. Tienen baja resolución temporal.
 - C. Tienen baja resolución espacial.
 - D. Requieren cirugía.
- 10.** La Resonancia Magnética Funcional (RMf):
- A.** Usa la técnica BOLD.
 - B. Usa la técnica PET.
 - C. Se basa en el EEG.
 - D. Requiere marcadores radioactivos.

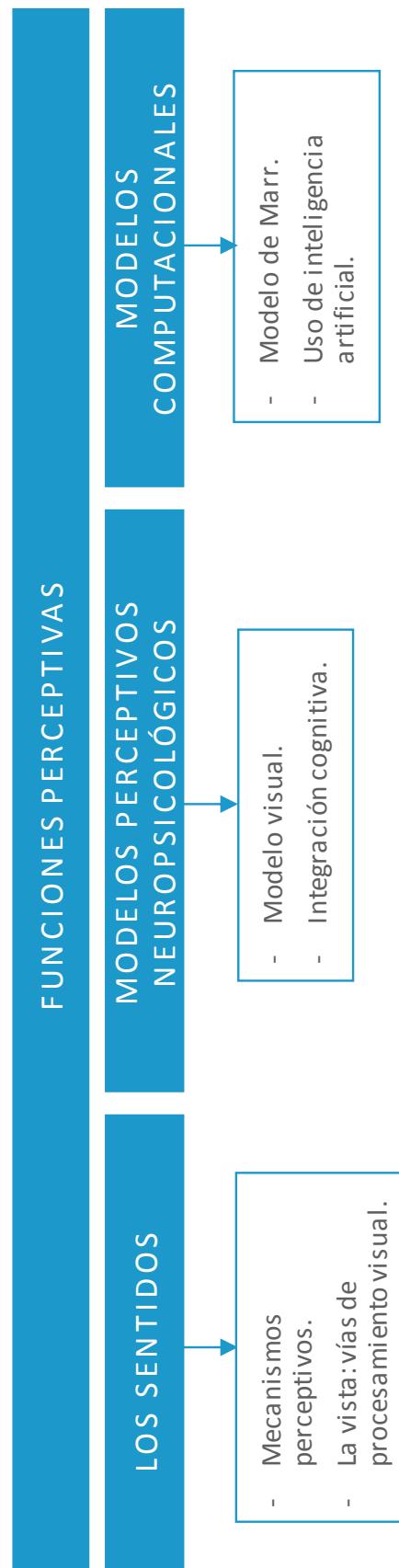
Neurociencia Cognitiva

Funciones perceptivas

Índice

Esquema	3
Ideas clave	4
5.1. ¿Cómo estudiar este tema?	4
5.2. Los sentidos (la vista)	4
5.3. Neuropsicología de la percepción	9
5.4. Modelos computacionales de la visión	10
5.5. Referencias bibliográficas	13
Lo + recomendado	14
+ Información	16
Test	19

Esquema



Ideas clave

5.1. ¿Cómo estudiar este tema?

Para estudiar este tema lee las Ideas clave disponibles a continuación.

En este tema iniciamos el estudio de los procesos mentales que soporta el sistema nervioso. Como primer aspecto importante de la cognición se analizan los mecanismos para incorporar información del entorno en los procesos mentales: los mecanismos perceptivos. Los principales objetivos de este tema son:

- ▶ Realizar un análisis pormenorizado del sistema perceptivo visual, ya que es el mejor estudiado y más predominante en los humanos.
- ▶ Comprender la relación existente entre los sistemas perceptivos y los sistemas motores del sistema nervioso.
- ▶ Conocer los modelos computacionales de referencia del procesamiento visual.

En este tema pondremos foco en el sistema de percepción visual humano, siendo este un enfoque paradigmático e ilustrativo de la percepción humana.

5.2. Los sentidos (la vista)

Los **mecanismos perceptivos** del cuerpo humano permiten obtener información relevante para la supervivencia **tanto del entorno exterior como del interior del cuerpo** (sentidos exteroceptivos e interoceptivos respectivamente). Como sabemos, el cerebro no se limita a recibir e interpretar los estímulos de forma pasiva, sino que **transforma y elabora la información recibida** para generar una representación útil y

adaptativa del mundo. Los humanos contamos con diferentes sistemas sensorio-perceptivos que se ocupan de la función perceptiva, y aunque cada uno se ocupa de una modalidad sensorial diferente (gusto, tacto, dolor, temperatura, vista, oído, equilibrio, etc.), todos tienen una estructura funcional similar.

En el sistema nervioso humano los sentidos son independientes a nivel funcional y anatómico. Es decir, tienen sus propias estructuras (sentidos propiamente dichos) y una forma análoga de transmitir la información de la modalidad sensorial correspondiente al cerebro (las vías aferentes sensitivas).

Los sistemas perceptivos exteroceptivos captan la información del exterior a través de receptores sensoriales. Estos receptores o sensores están diseñados para transducir una forma específica de energía en impulsos eléctricos. Por ejemplo, los conos y los bastones de la retina captan las variaciones de energía electromagnética correspondiente al espectro visible y las traducen en patrones de activación en forma de impulsos eléctricos. El proceso de transducción sensorial transforma la medida de una magnitud física en potenciales de acción.

Este patrón de activación en forma de potenciales de acción se transfiere a células de segundo orden que se encargan de transmitir la información hacia el encéfalo. El tálamo es el centro neuronal donde se recibe la información proveniente de todos los sentidos (a excepción del olfato, que cuenta con una vía más directa de acceso a la corteza olfatoria). Después de un procesamiento inicial en diferentes núcleos talámicos, la información se propaga hacia la corteza primaria, y finalmente llega a la corteza de asociación. Los núcleos subcorticales se asocian con el procesamiento inconsciente de la información sensorial, mientras que las áreas corticales somatosensoriales se asocian con la percepción consciente.

En general, el procesamiento de la información sensorial sigue un esquema jerárquico y paralelo, que se correlaciona con los procesos que dan lugar a la percepción a partir de la sensación. Desde el punto de vista neuroanatómico, el flujo

de la información se origina en los sentidos y sigue un sentido desde la periferia hasta la corteza cerebral, pasando por el tálamo.



Figura 1. Representación homuncular de la corteza somatosensorial (corte coronal).

Fuente: <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=5238159>

Gracias a las técnicas de neuroimagen y otros mecanismos de análisis de la actividad del cerebro se sabe que la representación de la información sensorial en la corteza sigue patrones o mapas somatotópicos. Es decir, existe una correlación clara entre diferentes zonas del cuerpo y cómo estas están representadas y se procesan en la corteza cerebral.

Hay múltiples sistemas perceptivos, pero por limitación de espacio y tiempo, aquí nos centraremos exclusivamente en el sistema de percepción visual. La percepción de los estímulos visuales comienza en la retina, donde las células fotorreceptoras (conos y bastones) traducen la información lumínica y de color y se la envían a una capa especializada de neuronas, las células ganglionares, a través de las células bipolares. Gracias a una compleja red de conexiones la información correspondiente a la estimulación visual de la retina llega a diversos centros de procesamiento. Inicialmente, la información de las células ganglionares llega al núcleo geniculado del

tálamo y desde ahí pasa posteriormente a la **capa V1 de la corteza visual primaria**.

Al igual que ocurre con otros sentidos como el tacto, la corteza visual también está **organizada topográficamente**, en este caso, en relación al campo visual captado por la retina.

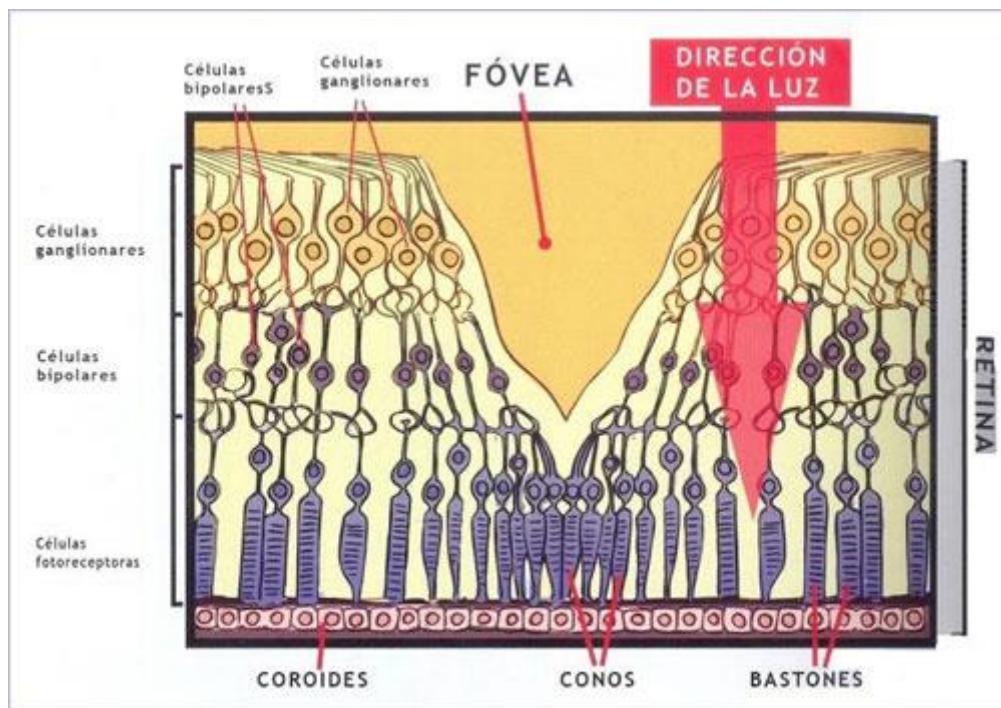


Figura 2. Representación de una sección de la retina.

Fuente: <http://ramanujan25449.blogspot.com.es/2013/01/la-vista-como-vemos.html>

En la corteza visual, existen diversas neuronas especializadas en la detección de ciertas características de la imagen. **Cada una de estas neuronas es sensible a un determinado tipo de propiedades de los estímulos**: orientación, color, posición, etc.

Estas neuronas además se organizan en formaciones llamadas módulos.

Desde la capa V1 la información pasa a la capa V2, donde se pueden distinguir dos vías neuronales diferenciadas. **La vía parvocelular o ventral y la vía magnocelular o dorsal**. La vía **ventral** procesa la **forma y el color**, siendo también conocida como **la vía del «qué»**. Por otro lado, la vía **dorsal** procesa el **movimiento, la profundidad y la posición** de los objetos, siendo también conocida como **la vía del «dónde»**.

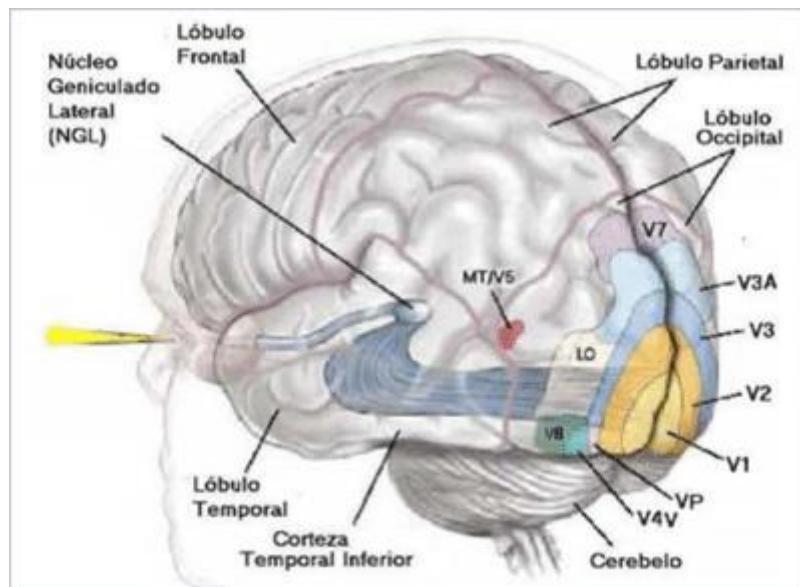


Figura 3. Representación de las principales vías de procesamiento visual

Fuente: <http://www.misionmilagro.sld.cu/vol2no1/articulos/rev6.php>

Esta visión simplificada de las vías de procesamiento visual ha sido criticada, especificando que más bien se trata de un procesamiento preferente y no una división absoluta. Así mismo, se han identificado **múltiples vías adicionales que procesan la información visual** en otras áreas del cerebro.

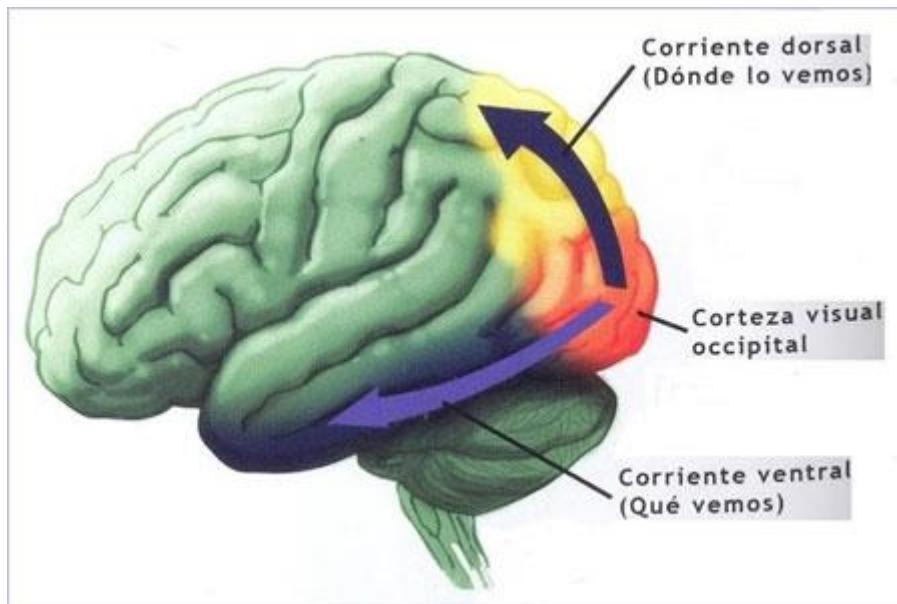


Figura 4. Vías principales de procesamiento en la corteza visual.

Fuente: <http://ramanujan25449.blogspot.com.es/2013/01/la-vista-como-vemos.html>

5.3. Neuropsicología de la percepción

La información que proporcionan los sentidos es de vital importancia para el organismo. En el caso de los humanos, **la visión ocupa un puesto central entre todos los sentidos**. Prueba de ello es que el procesamiento visual está presente en una gran cantidad de espacio en el cerebro. Además de las principales vías de procesamiento comentadas anteriormente, la visión humana implica procesos muy complejos de coordinación motora, tanto del cuello como de los propios ojos, etc. Pero para poder generar los procesos motores que nos permiten, por ejemplo, manipular objetos es necesario que previamente reconozcamos con éxito los objetos que nos rodean.

Desde el punto de vista cognitivo, los objetos que percibimos visualmente han de tener una **representación** de sus estructuras en el cerebro, de forma que también podamos tener una representación mental de los mismos. Gracias a estas representaciones mentales podemos comparar los objetos que ya conocemos con los objetos que vemos en un momento dado y ser capaces, entre otras cosas, de reconocerlos.

Los sentidos, como el de la vista, **se integran con el resto de funciones cognitivas** para poder generar conductas complejas, como las de perseguir una presa o pelar una manzana. La percepción visual implica, entre otras muchas cosas, dónde mirar, qué hacer y qué buscar. Por lo tanto, la conducta final se produce como resultado de la interacción de diversas funciones cognitivas e incluso afectivas. Aunque aquí tratamos el tema de la visión desde un punto de vista aislado, es conveniente recordar que los procesos perceptivos operan en constante integración con procesos de memoria, atención, emoción, aprendizaje, etc.

Por ejemplo, es impensable concebir el sistema visual humano sin un sistema de atención. Decidir dónde se fija la mirada, qué buscar en el campo visual, identificar objetos, etc. son procesos que ocurren gracias a la **integración de los mecanismos perceptivos y los mecanismos atencionales**. Los ojos tienen un mecanismo de

escáner que permite mover estos en determinadas direcciones. Dependiendo de la información que se obtiene en cada instante se tomarán decisiones (a menudo inconscientes) sobre dónde ha de posarse la mirada en los momentos posteriores.

5.4. Modelos computacionales de la visión

La construcción de modelos computacionales de la visión parte de la base de que se puede considerar la percepción visual como un procesamiento de la información, gracias al cual podemos realizar operaciones como el reconocimiento de objetos.

Para reconocer un objeto se requiere tener una representación tridimensional del mismo. Marr (1982) propuso un modelo basado en tres etapas para construir dicha representación.

El modelo de Marr está basado en un enfoque modular.

- ▶ Una representación inicial (el *bosquejo inicial* o *primal sketch*) referida a cambios de intensidad, brillo, sombras, contornos, etc.



Figura 5. Imagen original (izquierda) y detección de bordes (derecha)

Fuente: <https://es.mathworks.com/matlabcentral/mlc-downloads/downloads/submissions/51124/versions/1/screenshot.jpg>

- ▶ Una representación centrada en el observador (el **esquema en $2\frac{1}{2}$ D**), donde se aprecian las partes del objeto que son visibles desde el punto de vista del observador.

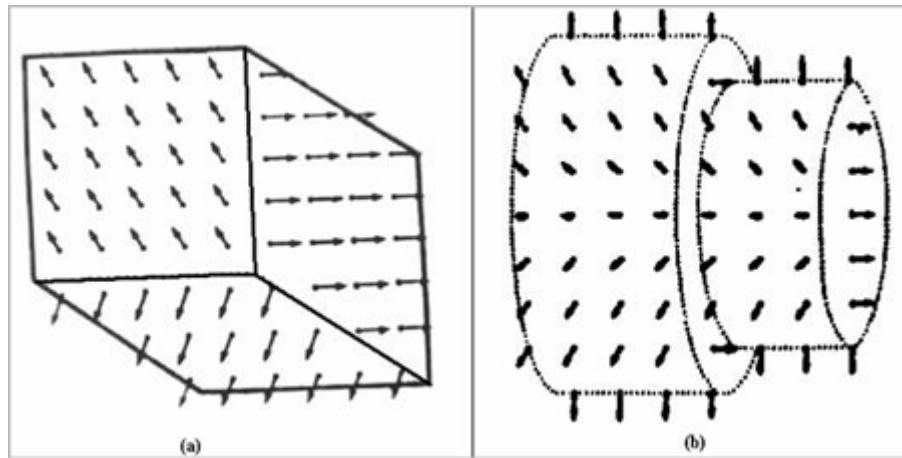


Figura 6. Esquema en $2\frac{1}{2}$ D de un cubo (a) y de dos cilindros acoplados (b)

Fuente: <http://www.ub.edu/pa1/node/93>

- ▶ Una representación centrada en el objeto (el **modelo 3D**), donde, independientemente de la posición del observador, se obtiene la forma real del objeto y su relación con otros objetos.

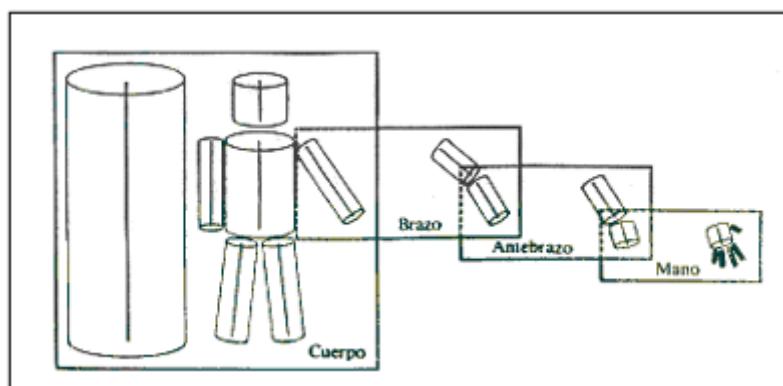


Figura 7. Representación 3D de una figura humana.

Fuente: Marr y Nishihara (1978).

Ellis y Young (1992) proponen un modelo similar al de Marr:

- ▶ Primer nivel: representación inicial del objeto en sí mismo.
- ▶ Segundo nivel: representación centrada en el observador.
- ▶ Tercer nivel: acceso del observador a las representaciones centradas en el objeto.

- ▶ Cuarto nivel: reconocimiento de las propiedades y atributos del objeto.

Según estos autores, contamos con una unidad de reconocimiento de cada objeto conocido, que puede acceder a una memoria semántica cuando se produce el reconocimiento. Hoy en día, se aboga por una representación mucho más distribuida basada en las características de los objetos, prescindiendo de la necesidad de contar con un módulo específico para cada objeto (lo cual sería bastante ineficiente y limitaría el número de objetos que se podrían detectar).

Una de las contribuciones más interesantes de estas teorías es la caracterización computacional que hacen del problema de la percepción visual. Por ejemplo, Marr (1982) hace una distinción de los distintos niveles en los que se puede describir la tarea de percepción visual:

- ▶ Nivel de teoría computacional: definición del problema de procesamiento de la información, cuya solución es la meta de la computación. Caracterización de las propiedades abstractas de la computación. Descubrimiento de las propiedades del mundo visible que restringen el problema computacional.
- ▶ Nivel algorítmico: estudio de los algoritmos que se pueden usar para realizar las computaciones deseadas.
- ▶ Nivel de implementación: realización física del algoritmo para un hardware especificado. Arquitectura de la máquina que ejecuta el algoritmo.

Esta clasificación es interesante desde el punto de vista de la inteligencia artificial, pues cualquier sistema de visión artificial necesariamente ha de tener en cuenta todos estos factores. De hecho, es importante hacer la distinción de estos niveles de descripción porque **permite desacoplar el problema del algoritmo que lo pretende solucionar**, y en última instancia de la implementación que lo hace funcionar.

Lo más importante de estos modelos es que nos brindan una explicación plausible de cómo funciona la percepción visual en los humanos, de forma que podemos iniciar **procesos de bioinspiración basados en estos modelos**. Marr describe el proceso de

percepción visual como una agrupación inicial de líneas, curvas, manchas, fragmentos, etc. (lo que desde el punto de vista de inteligencia artificial podemos denominar características de nivel bajo). El análisis de estos estímulos genera la creación de elementos primitivos en cada escala, esto permite crear un bosquejo (lo que desde el punto de vista de aprendizaje automático podemos denominar detección de patrones). Así, se continúa ascendiendo por capas de procesamiento que se basan en los resultados de capas anteriores (lo cual se asemeja bastante al procesamiento que se realiza actualmente en las técnicas de Deep Learning).

5.5. Referencias bibliográficas

Ellis, A. W. y Young, A.W. (1992). *Neuropsicología cognitiva humana*. Barcelona: Masson.

Lo + recomendado

No dejes de leer

Handbook of pattern recognition and computer vision

Chen, C. H. (2015). *Handbook of pattern recognition and computer vision*. XXX: World Scientific.



El libro ofrece el tratamiento más completo de los métodos básicos en el reconocimiento de patrones, incluidos los enfoques estadísticos, de neurocomputación, sintácticos/estructurales/gramaticales, selección de características y análisis de conglomerados; y una extensa presentación de métodos básicos en visión artificial incluyendo análisis de texturas y modelos, color, herramientas geométricas, análisis de secuencia de imágenes, etc.

También se cubren aplicaciones principales y únicas, como el manejo de alimentos usando visión artificial, evaluación no destructiva de materiales, aplicaciones en economía y negocios, reconocimiento y comprensión de imágenes médicas, etc. Además, se examinan aspectos más amplios del sistema, incluido el reconocimiento de patrones ópticos y arquitecturas para visión artificial.

Accede al libro a través del aula virtual o desde la siguiente dirección web:

<http://www.worldscientific.com/worldscibooks/10.1142/1802>

Marr's computational approach to vision. Trends in neurosciences

Poggio, T. (1981). Marr's computational approach to vision. *Trends in neurosciences*, 4, 258-262.

Artículo en inglés sobre la visión de la neurociencia computacional del conocido neurocientífico David Marr.

Accede al artículo a través del aula virtual o desde la siguiente dirección web:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0166223681900813>

No dejes de ver

Bases neurológicas de la visión

Los ojos nos permiten captar la luz y transmitir esa sensación al cerebro que es realmente el que se encarga de interpretar la realidad exterior.



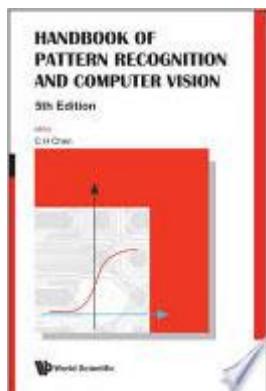
Accede al vídeo a través del aula virtual o desde la siguiente dirección web:

<http://tv.unir.net/videos/402/47/192/0/0/Bases-neuropsicologicas-de-la-vision->

A fondo

Percepción visual

Tudela, P. y Luna, D. (2006). *Percepción visual*. Madrid: Trotta.



Este libro sirve de apoyo a un curso relativamente avanzado sobre percepción. Dirigido a aquellos que posean conocimientos sobre el funcionamiento de los procesos psicológicos y los mecanismos neuronales en que se basa la percepción, estudia los principales planteamientos teóricos existentes en el ámbito de la percepción visual y los procedimientos experimentales que han proporcionado el corpus de resultados empíricos que sustenta dichas teorías.

Webgrafía

Psicología de la percepción visual. Bases neuro-fisiológicas de la visión

Página de J. Antonio Aznar Casanova; Ph Dr Vision & Control of Action (VISCA) group.
Dept. Psicología Básica. Facultad de Psicología. Universidad de Barcelona.



Accede a la página web a través del aula virtual o desde la siguiente dirección web:

<http://www.ub.edu/pa1/node/108>

Bibliografía

Chen, C. H. (Ed.). (2015). *Handbook of pattern recognition and computer vision*.
Singapur: World Scientific.

Marr, D. y Nishihara, H. K. (1978). Representation and recognition of the spatial organization of three-dimensional shapes. *Proceedings of the Royal Society of London B. Biological Sciences*, 200(1140), 269-294.

Marr, D., (1982). A computational investigation into the human representation and processing of visual information. *WH San Francisco: Freeman and Company*, 1(2).

Poggio, T. (1981). Marr's computational approach to vision. *Trends in neurosciences*, 4, 258-262.

Tudela, P. y Luna, D. otros (2006): *Percepción visual*. Madrid, Trotta.

Test

8

1. Los sentidos interoceptivos:

- A. Obtienen información del interior del cuerpo.
- B. Obtienen información del exterior del cuerpo.
- C. No usan transducción eléctrica.
- D. Corresponden a una única modalidad sensorial.

7

2. El proceso de transducción sensorial transforma:

- A. Electricidad en visión.
- B. Visión en magnetismo.
- C. Energía física en impulsos eléctricos.
- D. Electricidad en potenciales de acción.

3. Las células ganglionares:

- A. No son neuronas.
- B. Se encuentran en la corteza visual.
- C. Están en la retina.
- D. Son fotorreceptoras.

4. La vía visual de procesamiento ventral es conocida como la vía del:

- A. «Qué».
- B. «Cuándo».
- C. «Dónde».
- D. «Por qué».

5. ¿Cuántas vías de procesamiento visual se ha identificado en el cerebro?:

- A. Una.
- B. Dos.
- C. Más de dos.
- D. Ninguno.

6. Los sentidos:

- A. Se integran con el resto de funciones cognitivos.
- B. Son independientes del procesamiento cognitivo.
- C. Realizan sus procesos de forma pasiva.
- D. Usan vías eferentes.

7. En el modelo de Marr, el bosquejo inicial se compone de:

- A. Proyecciones en un plano unidimensional.
- B. Figuras geométricas en 3D.
- C. Figuras geométricas en 2D.
- D. Brillo, sombras, contornos, etc.

8. En el modelo de Marr, el modelo 3D es:

- A. Independientemente de la posición del observador.
- B. Relativo a la posición del observador.
- C. El segundo modelo que se construye.
- D. El resultado de la primera etapa de procesamiento.

9. En la tarea de percepción visual de Marr, el nivel algorítmico:

- A. Requiere la especificación de arquitectura *hardware*.
- B. Se puede especificar sin necesidad de la teoría computacional.
- C. Se puede especificar sin necesidad del nivel de implementación.
- D. Establece la meta de la computación.

10. La decisión sobre dónde se fija la mirada requiere:

- A. Integración de mecanismos perceptivos y atencionales.
- B. De una única vía de procesamiento visual.
- C. Percepción consciente.
- D. Una reflexión profunda acerca de los objetos y su reconocimiento.

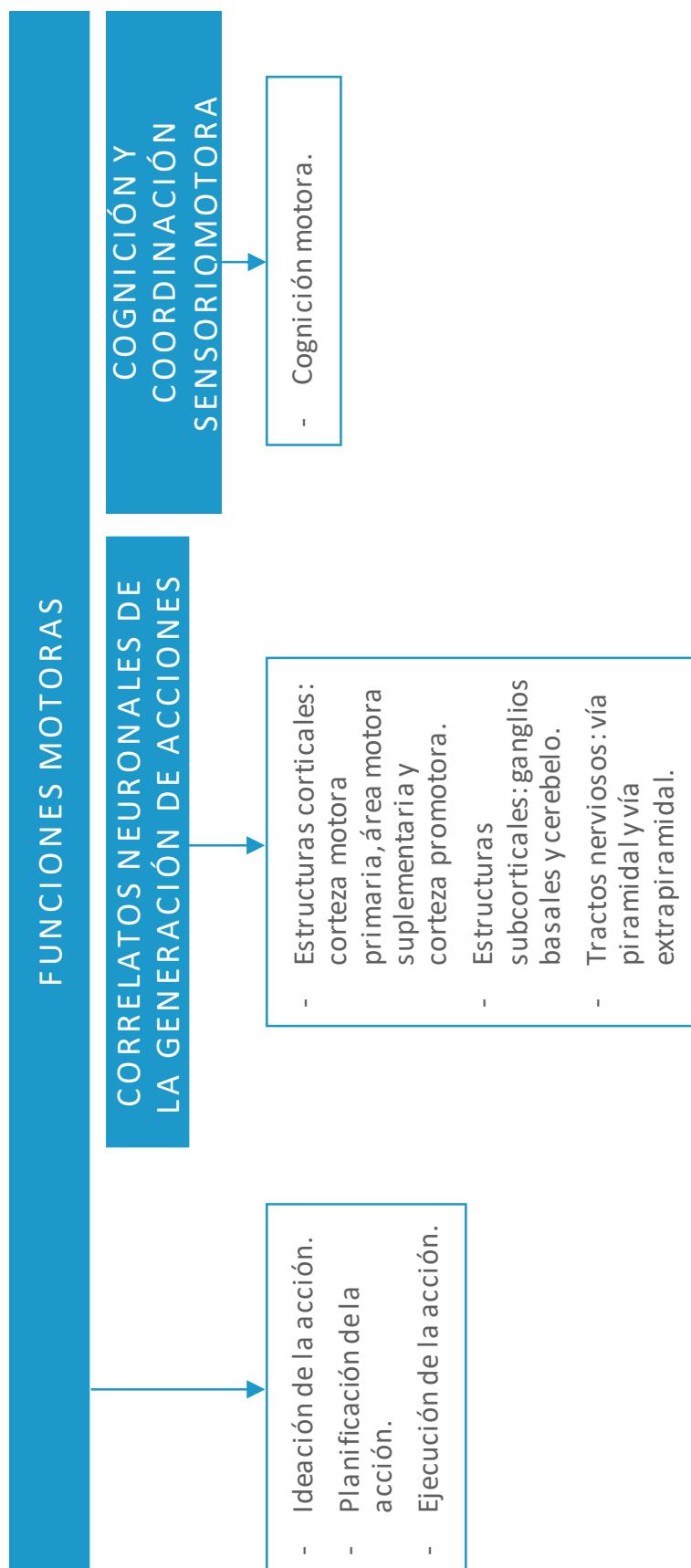
Neurociencia Cognitiva

Funciones motoras

Índice

Esquema	3
Ideas clave	4
6.1. ¿Cómo estudiar este tema?	4
6.2. Organización del sistema motor	4
6.3. Representación de la acción	8
6.4. Cognición y coordinación sensoriomotora	9
6.5. Referencias bibliográficas	10
Lo + recomendado	11
+ Información	14
Test	17

Esquema



Ideas clave

6.1. ¿Cómo estudiar este tema?

Para estudiar este tema lee las Ideas clave disponibles a continuación.

En este tema nos centramos en la producción de la conducta en los humanos, estudiando de forma superflua los complejos sistemas de coordinación sensoriomotora existentes en el sistema nervioso. Los principales objetivos de este tema son:

- ▶ Analizar el proceso de generación de la conducta motora en los humanos.
- ▶ Comprender la relación existente entre los sistemas perceptivos y los sistemas motores del sistema nervioso.
- ▶ Conocer los modelos de representación de acción y de coordinación entre sentidos y sistema locomotor.

En este tema pondremos foco en la representación de las acciones, ya que este aspecto enlaza el procesamiento cognitivo con la implementación de la conducta. Así mismo, el análisis de los modelos del funcionamiento motor en humanos servirá de inspiración para la construcción de modelos computacionales orientados al control de sistemas autónomos.

6.2. Organización del sistema motor

El **sistema motor humano** se basa en los músculos, que a su vez controlan uno o varios efectores. Llamamos **efectores** a las partes del cuerpo que podemos mover. Los músculos se conectan con el sistema nervioso a través de las **motoneuronas alfa**.

Estas parten de la espina dorsal y a través de la vía ventral llegan a las fibras musculares, que inervan mediante **uniones neuromusculares**. Las motoneuronas reciben entradas de diferentes fuentes, incluyendo **niveles de control inferior**, como las aferencias de fibras sensoriales musculares, y de **niveles de control alto**, provenientes del cerebro a través de las fibras descendentes.

Al igual que vimos al estudiar los sistemas perceptivos, la representación de las acciones en la corteza cerebral sigue un **patrón somatotópico**. La corteza motora está organizada en distintos **grupos de efectores** que se localizan en diferentes regiones, estando la extensión de cada región correlacionada positivamente con la importancia del efector y el grado de control necesario. Es decir, **cuanto más importante sea una acción y más precisión necesite más grande será el área de corteza motora dedicada a ella**.

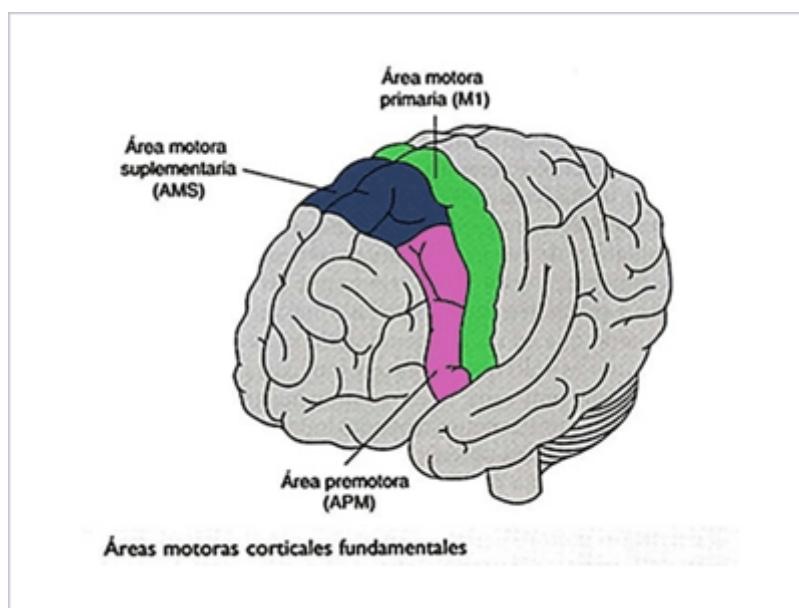


Figura 1. Localización de la corteza motora (corteza motora primaria, corteza motora suplementaria y corteza premotora).

Fuente: <https://culturacientifica.com/2017/08/29/sistemas-nerviosos-las-areas-motoras/>

Se han realizado **mapas de la corteza motora primaria** donde se sitúan la representación de las partes del cuerpo (homúnculo) que controla cada región (Penfield y Rasmussen, 1950). Gracias a la **neuroplasticidad**, estas zonas, tanto las sensoriales como las motoras, son flexibles, y su extensión se adapta al uso que el

individuo haga en las tareas que ejecuta con más frecuencia. Tal y como se indica en el artículo de Sanes y Donoghue (2000), la práctica continuada tocando el piano puede cambiar la representación de los dedos en la corteza motora primaria.

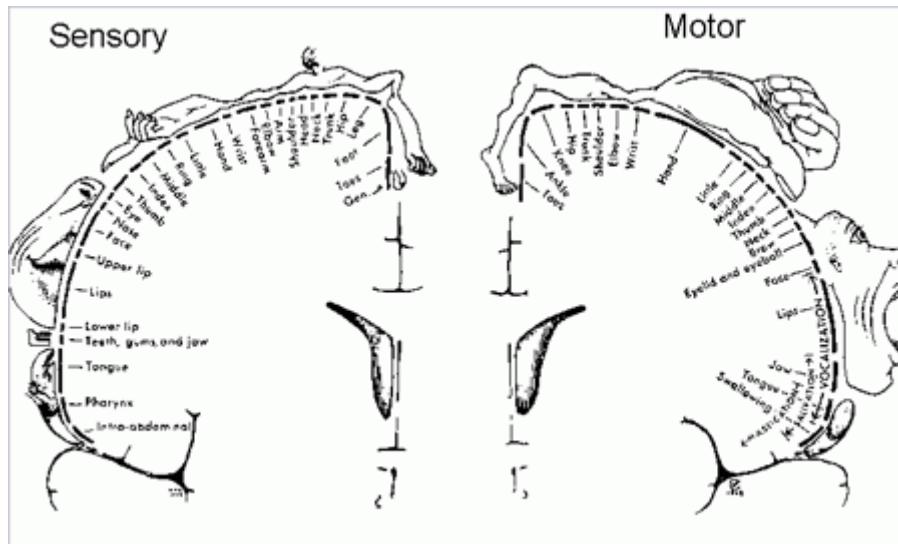


Figura 2. Mapa del Homúnculo de Penfield.

Fuente: Penfield, W. y Rasmussen, T. (1950).

Hoy en día, **mapas** como el Homúnculo de Penfield, que se corresponden con los correlatos neuronales **de las funciones motoras**, se obtienen de forma no invasiva, gracias a **las técnicas de neuroimagen**, como la resonancia magnética funcional. Como en muchas otras funciones del sistema nervioso, que incluyen una decusación de las fibras a nivel del bulbo raquídeo, la corteza motora primaria contiene **los efectores de la parte contralateral del cuerpo** (la mayoría de las fibras corticoespinales se cruzan hacia el lado contrario en la decusación piramidal). En otras palabras, **la corteza motora del hemisferio izquierdo controla la parte derecha del cuerpo y viceversa**. En el cerebelo, sin embargo, **la organización es ipsilateral** (el lado izquierdo del cerebelo se corresponde con el lado izquierdo del cuerpo).

El sistema motor **se organiza en una jerarquía** con procesamiento distribuido y **diferentes niveles de control**. Cada nivel de control se corresponde con una región específica de la corteza motora. **La idea del movimiento se genera en los niveles superiores**, que se encuentran en el área motora suplementaria y la corteza premotora. Más tarde, **los niveles inferiores** de control, que se sitúan en la **médula**

espinal, convierten las órdenes motoras en contracciones específicas de los músculos. Por otro lado, la médula espinal es capaz de realizar movimientos sin intervención de niveles superiores, como es el caso de los **reflejos motores**.

La jerarquía de control se hace más patente en **los movimientos más complejos**. Los movimientos reflejos no requieren intervención de niveles superiores de procesamiento ni estructuras complejas, por lo que se desarrollan independientemente a nivel medular. Sin embargo, la mayoría de los movimientos complejos requieren la **coordinación de múltiples estructuras**, entre las que destacan las áreas corticales (corteza premotora, área motora suplementaria y corteza motora), el cerebelo, los ganglios basales y la médula espinal.

Los movimientos complejos son compuestos, lo que significa que requieren una **secuencia específica de acciones motoras**. Estas secuencias no son la simple unión de movimientos independientes, sino que están coordinadas gracias a las representaciones jerárquicas que existen en todo el sistema motor. Todos los componentes de un movimiento complejo se integran de forma efectiva gracias a la coordinación entre las diferentes áreas involucradas. De hecho, cuando se produce una lesión en alguna de estas áreas se observa como algunos movimientos pierden características que tenían previamente. Por ejemplo, una lesión en los ganglios basales puede generar una distonía (problemas con el tono muscular) o una atetosis (movimientos de torsión constantes).

En general, existen muchas **áreas involucradas en la producción de las acciones motoras**. Podemos distinguir dos grandes grupos:

- ▶ **Áreas corticales:** están dentro de la corteza cerebral (área motora primaria, área motora suplementaria y área premotora) y juegan un papel importante en el control de las **acciones guiadas por agentes externos**.
- ▶ **Áreas subcorticales:** están fuera de la corteza cerebral (ganglios basales, cerebelo, médula espinal) y juegan un papel importante en el control de las **acciones guiadas por agentes internos**.

En base a esta clasificación también se identifican **trastornos subcorticales** como la enfermedad de **Parkinson** y **trastornos corticales** como una **hemiplejia** resultado de un accidente cerebrovascular (ACV).

Existen multitud de tractos que conectan todas las áreas relacionadas con el sistema motor. Los **tractos corticales o piramidales** parten de las células piramidales de la corteza. Los **tractos extrapiramidales** tienen su origen fuera de la corteza y conectan regiones del tronco cerebral con la médula espinal.

6.3. Representación de la acción

Las acciones están encaminadas a la consecución de metas. Por lo tanto, toda acción puede considerarse como guiada o desencadenada por la necesidad de cumplir una meta. En este sentido podemos distinguir dos **tipos** de metas:

- ▶ **Metas internas:** motivación interna (del propio individuo), intención o voluntad.
- ▶ **Metas externas:** locomoción, manipulación de objetos o interacción con personas.

La verdadera diferencia entre metas internas y externas reside en los sucesos de ocurren antes de la selección de la acción. Las metas internas se generan por **estímulos internos**, mientras que las metas externas provienen de **estímulos externos**. La secuencia desde la estimulación hasta la ejecución de una acción sigue las siguientes fases:

- 1.- Estímulo (externo o interno).
- 2.- Selección de la acción.
- 3.- Planificación.
- 4.- Programación motora.
- 5.- Ejecución de la acción.

Por otro lado, **cada meta** puede necesitar de la ejecución de **múltiples acciones** para conseguirse, y también puede ser que una misma acción sirva a más de una meta, con lo que **no existen una relación de uno a uno entre acciones y metas**. Además, una misma acción puede realizarse de diferentes formas y un mismo movimiento puede contribuir a la consecución de varias metas.

La planificación del movimiento se realiza en el **área motora suplementaria (AMS)** y la **corteza premotora**. El **AMS** está relacionada con la **preparación, selección y decisión de comenzar un movimiento**. Por otro lado, la **corteza premotora** envía órdenes a la **corteza motora primaria (CMP)**.

En la corteza motora es donde se produce la integración y la transformación de la entrada sensorial, así como la planificación y ejecución de la respuesta motora. La **CMP o M1** **es el origen de la vía piramidal** que proyecta a la parte contralateral del cuerpo y conecta las motoneuronas con los músculos.

Inicialmente, **el AMS genera un plan abstracto** de movimiento, después la corteza premotora traduce ese plan en una **codificación concreta de determinadas acciones** motoras y finalmente la **CMP** se encarga de ejecutar las **órdenes musculares**.

6.4. Cognición y coordinación sensoriomotora

El estudio de la generación de acción puede abordarse desde la **vertiente cognitiva** o desde la **vertiente puramente motora**. En el **ámbito cognitivo** se manejan conceptos como la **intención** (de actuar), la **planificación** (de las distintas fases del acto motor) y la **selección de acciones**. Desde el **punto de vista motor** nos centramos en aspectos como la **precisión** (de los movimientos), **la fuerza y la secuenciación temporal**. Aunque a nivel académico podamos hacer esta distinción entre aspecto cognitivos y motores, en realidad la conducta obedece a **un proceso complejo interdependiente que engloba factores perceptivos, motores, cognitivos y**

afectivos. No obstante, como hemos visto, esta división no es artificial, puesto que los componentes que realizan estas tareas corresponden a **áreas diferenciadas del sistema nervioso**.

Desde este punto de vista, **la corteza motora primaria está afectada también por aspectos cognitivos** y establecería **conexiones con otras áreas corticales** parietales.

En general, la generación de la conducta motora implica múltiples procesos complejos y paralelos entre los que se encuentran la gestión de los movimientos oculares (voluntarios e involuntarios) o la supervisión de las acciones.

Los estudios de neuroimagen están arrojando luz sobre la intervención de diferentes áreas cerebrales en la coordinación y gestión de los movimientos. Por ejemplo, se asocia la **corteza cingular anterior** con la selección de una respuesta motora ante situaciones novedosas y que requieren un **control cognitivo** significativo. Existen muchas investigaciones recientes en el campo de la **cognición motora** (*motor cognition*) que intentan desvelar la integración entre la percepción y la acción.

6.5. Referencias bibliográficas

Penfield, W. y Rasmussen, T. (diciembre, 1950). The cerebral cortex of man; a clinical study of localization of function. *Jama*, 144(16). Doi 10.1001/jama.1950.02920160086033.

Sanes, J. N. y Donoghue, J. P. (2000). Plasticity and primary motor cortex. *Annual review of neuroscience*, 23(1), 393-415.

Lo + recomendado

No dejes de leer

The motor theory of social cognition

Jaco, P. y Jeannerod, M. (enero, 2005). The motor theory of social cognition: a critique. *Trends in Cognitive Sciences, 9(1)*.

Los avances recientes en la neurociencia cognitiva de la acción han ampliado considerablemente nuestra comprensión de la cognición motora humana. En particular, la actividad del sistema de espejo, descubierta por primera vez en el cerebro de primates no humanos, proporciona a un observador la comprensión de una acción percibida por medio de la simulación motora de los movimientos observados del agente. Este descubrimiento ha elevado las perspectivas de una teoría motora de la cognición social. En los seres humanos, la cognición social incluye la capacidad de leer la mente, y muchos teóricos de la cognición social tratan de ofrecer una explicación integradora para la cognición motora y la lectura mental respaldando una solución basada en la simulación de la lectura de la mente. Aquí, cuestionamos la teoría motora de la cognición social y damos razones para nuestro escepticismo.

Accede al artículo a través del aula virtual o desde la siguiente dirección web:

<http://mirrorneurons.free.fr/jacobjeannTICS.pdf>

Plasticity and primary motor cortex

Sanes, J. N. y Donoghue, J. P. (2000). Plasticity and primary motor cortex. *Annual review of neuroscience*, 23(1), 393-415.

Interesante artículo en inglés en el que encontrarás información relacionada con la materia estudiada.

Accede al artículo a través del aula virtual o desde la siguiente dirección web:

[http://www.uta.edu/rfmems/Telemetry/Implant%20Sensor/47185_Plasticity%20an
d%20primary%20motor%20cortex.pdf](http://www.uta.edu/rfmems/Telemetry/Implant%20Sensor/47185_Plasticity%20and%20primary%20motor%20cortex.pdf)

No dejes de ver

Movimiento: El cerebro y yo (capítulo completo)

Los neurocientíficos Diego Golombok y Mariano Sigman investigan una de las funciones esenciales del ser humano: el movimiento. Desde antes de nacer nos movemos. Hablar, escribir, mirar, todo se realiza a través movimiento y del cerebro que lo controla.



Eduard Punset entrevista a algunos de los neurocientíficos más destacados del mundo que se habían reunido en el undécimo Congreso Internacional de Neurociencia Cognitiva. En este capítulo de Redes, Kia Nobre, neurocientífica de la Universidad de Oxford, nos explica algunos de los recursos que utiliza el cerebro para hacerse una idea de lo que sucede en su entorno.

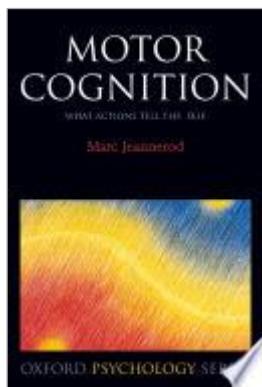
Accede al vídeo a través del aula virtual o desde la siguiente dirección web:

<https://www.youtube.com/watch?v=tAkEpkruKag>

A fondo

Motor Cognition. What actions tell the self

Jeannerod, M. (2006). *Motor cognition: What actions tell the self* (Núm. 42). Madrid: Oxford University Press.



Nuestra capacidad de reconocer nuestra propia identidad, nuestro «yo», es una característica sin duda exclusiva de los humanos. ¿De dónde viene este sentimiento? ¿Cómo la combinación de procesos neurofisiológicos junto con nuestra interacción con el mundo exterior construye esta identidad coherente? Sabemos que nuestras interacciones sociales contribuyen a través de los ojos, oídos, etc. Sin embargo, nuestro yo no solo está influenciado por nuestros sentidos. También está influenciado por las acciones que realizamos y las que vemos que otros realizan.

Nuestro cerebro anticipa los efectos de nuestras propias acciones y simula las acciones de los demás. De esta forma, podemos comprendernos a nosotros mismos y comprender las acciones y emociones de los demás. Este libro es el primero en describir el nuevo campo de la «Cognición Motora», en el que la contribución del autor ha sido fundamental. Aunque los neurocientíficos y los fisiólogos han estudiado durante mucho tiempo las acciones motoras, solo recientemente los científicos han considerado el papel de las acciones en la construcción del yo. Cómo la conciencia de la acción es parte de la autoconciencia, cómo las propias acciones determinan el sentido de ser un agente, cómo las acciones realizadas por otros impactan en nosotros mismos para entender a los demás, diferenciarnos de ellos y aprender de

ellos: estas preguntas se plantean y discuten a lo largo del libro, basándose en bases experimentales, clínicas y teóricas.

Webgrafía

Neuroscience news

Esta página publica noticias y resúmenes de las últimas investigaciones en neurociencia, con enlaces a los trabajos científicos relacionados. Desde el punto de vista de la generación de las acciones motoras, también se hacen eco de las últimas investigaciones en el campo de las teorías sobre la generación de acciones en el cerebro.



Accede a la página web a través del aula virtual o desde la siguiente dirección web:

<http://neurosciencenews.com/motor-actions-neuroscience-2194/>

Bibliografía

Jacob, P. y Jeannerod, M. (2005). The motor theory of social cognition: a critique. *Trends in cognitive sciences*, 9(1), 21-25.

Jeannerod, M. (2006). *Motor cognition: What actions tell the self* (No. 42). Oxford: Oxford University Press.

1. Los efectores son:
 - A. Los músculos.
 - B. Las motoneuronas.
 - C. Las partes del cuerpo que podemos mover.
 - D. Las partes del cuerpo que no podemos mover.

2. Cuanto más importante es el efector asociado a una región neuronal:
 - A. Más grande se hace esta zona.
 - B. Menos corteza motora se dedica a ese efector.
 - C. Más se realiza un control ipsilateral.
 - D. B y C son correctas.

3. ¿Cuál de las siguientes afirmaciones es verdadera?:
 - A. El área premotora está en la corteza.
 - B. El área M1 es subcortical.
 - C. Los ganglios basales están el área premotora.
 - D. No tiene ninguna relación con la inteligencia artificial.

4. ¿Cuál de las siguientes afirmaciones es falsa?:
 - A. Los ganglios basales son estructuras subcorticales.
 - B. La corteza motora primaria sigue una representación somatotópica.
 - C. La práctica del piano puede cambiar la representación de los dedos en la corteza motora.
 - D. Los ganglios basales no están relacionados con los movimientos.

5. La corteza motora del hemisferio derecho:

- A. Controla el lado izquierdo del cuerpo.
- B. Controla ambos lados del cuerpo.
- C. Controla el lado derecho del cuerpo.
- D. Controla la parte inferior del cuerpo.

6. ¿Qué concepto se refiere a un nivel de control más bajo?:

- A. Ideación de la acción.
- B. Reflejo motor.
- C. Planificación de la acción.
- D. Secuenciación de actos motores.

7. Las áreas subcorticales se relacionan con acciones:

- A. Guiadas por agentes internos.
- B. Guiadas por agentes externos.
- C. Voluntarias.
- D. Reflejas.

8. Los tractos extrapiramidales tienen su origen en:

- A. En la corteza.
- B. En las neuronas piramidales.
- C. En las neuronas extrapiramidales.
- D. Fuera de la corteza.

9. En la secuencia motora:

- A. No se realiza una selección de la acción.
- B. La planificación se realiza antes de la programación motora.
- C. La programación motora se hace antes que la planificación.
- D. Lo primero es la ejecución de la acción.

- 10.** La cognición y el control motor:
- A. Son procesos simples.
 - B. Se ejecutan exactamente en las mismas áreas cerebrales.
 - C. Están íntimamente relacionados.
 - D. No se relacionan en ningún estadio.

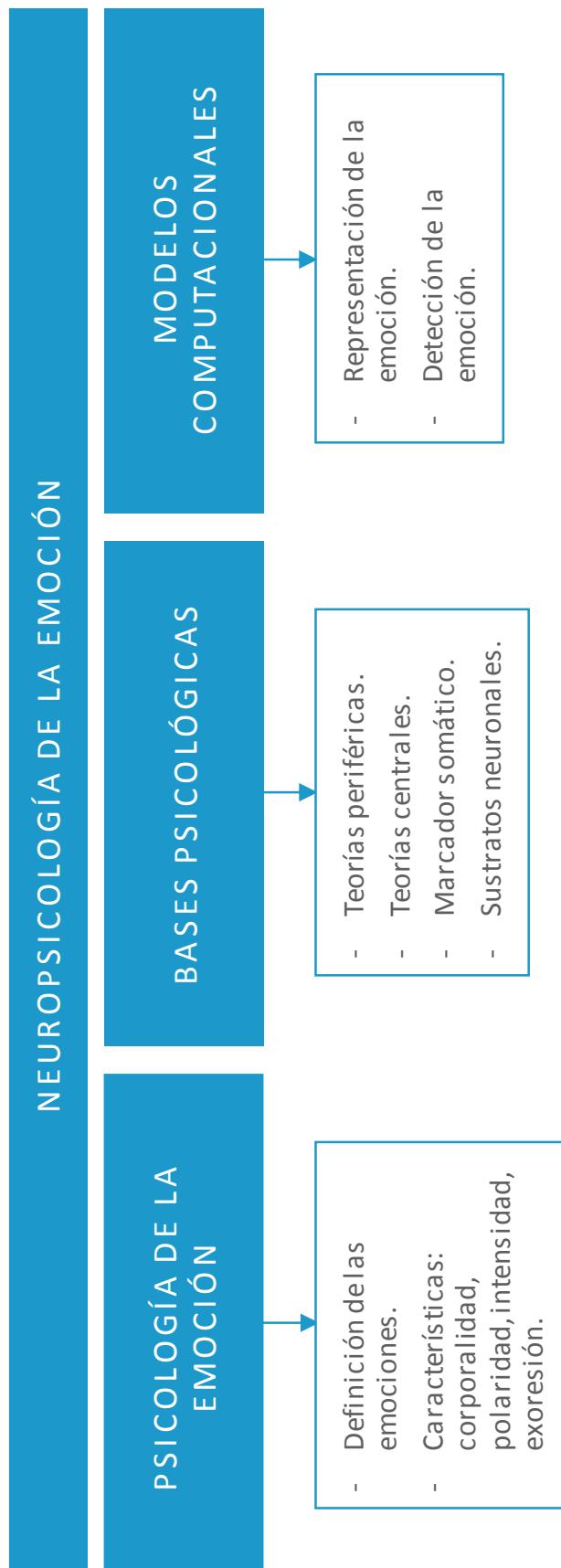
Neurociencia Cognitiva

Neuropsicología de la emoción

Índice

Esquema	3
Ideas clave	4
7.1. ¿Cómo estudiar este tema?	4
7.2. Psicología de la emoción	5
7.3. Bases psicobiológicas de la emoción	9
7.4. Modelos computacionales de la emoción	11
Lo + recomendado	13
+ Información	15
Test	18

Esquema



Ideas clave

7.1. ¿Cómo estudiar este tema?

Para estudiar este tema lee las Ideas clave disponibles a continuación y las páginas 9 a 21 del siguiente artículo: Vila, J. (2016). Neurociencia afectiva: Entre el corazón y el cerebro. Discurso de apertura, Universidad de Granada, curso académico 2016-2017.

Accede al artículo a través del aula virtual o de la siguiente dirección web:

http://digibug.ugr.es/bitstream/10481/42748/1/B-032-066_7.pdf

En este tema nos centramos en la dimensión afectiva y emocional. Aunque la neurociencia cognitiva ha parecido centrarse tradicionalmente en los procesos cognitivos, en realidad la emoción siempre ha estado incluida en la agenda de investigación. De hecho, hay autores que proponen el uso del término «neurociencia afectiva» para dejar claro que su interés va más allá de los procesos cognitivos. Los principales objetivos de este tema son:

- ▶ Entender la diferencia entre los procesos psicológicos cognitivos y afectivos.
- ▶ Comprender los procesos básicos en psicología de la emoción.
- ▶ Analizar la representación computacional que se hace de la emoción, estableciendo las diferencias principales con los procesos biológicos.

En este tema haremos hincapié en una caracterización pragmática de las emociones, sin entrar en detalle en la dimensión de los sentimientos (las representaciones conscientes de las emociones), puesto que la conciencia se tratará en detalle en otro tema.

7.2. Psicología de la emoción

Las emociones juegan un **papel vital** en los mamíferos, proporcionándonos un conocimiento inmediato y fundamental para la **supervivencia y la adaptación al medio**. En esencia, las emociones son una guía instantánea para la conducta, que sin pensar (sin entrar en procesos cognitivos de orden superior) nos permiten actuar en un instante determinado en función de la situación. Podríamos decir que las emociones también nos ayudan a saber qué es lo que tenemos que hacer ante una situación, pero ese conocimiento explícito ya implica un nivel de conciencia relativo al procesamiento cognitivo de la emoción.

Para no mezclar las respuestas emocionales básicas con otros procesos mentales más elaborados, es preciso distinguir entre **emoción y sentimiento**. Mientras que la emoción ocurre a nivel inconsciente y en escalas temporales muy cortas, los **sentimientos son percepciones conscientes** cuyo proceso lleva más tiempo. Simplemente podemos decir que los sentimientos son elaboraciones conscientes realizadas a partir de las emociones que siente el cuerpo. Por lo tanto, las emociones sirven en muchas ocasiones como guía para la acción, que no requiere de un procesamiento mental explícito (por ejemplo, no se requiere el uso del lenguaje para asustarse ante la presencia de un depredador).

Aunque hemos definido las emociones como un **mecanismo de adaptación al medio**, ciertamente en los humanos y en la cultura actual aparecen respuestas emocionales que parecen ser no adaptativas. Y de hecho muchas **patologías mentales derivan de la existencia de respuestas emocionales desadaptativas**. Se ha argumentado que esto es debido a que las emociones en los humanos han evolucionado para adaptarse a un entorno muy distinto al que tenemos hoy en día. Por lo general, consideraremos en este tema las emociones en su faceta adaptativa, dejando de lado todos los aspectos relacionados con la psicopatología de la emoción (como, por ejemplo, la depresión). En los humanos, el **entorno social** es una fuente principal de estimulación

que provoca emociones. Como seres sociales que somos una parte importante de nuestra adaptación al medio implica las **relaciones con nuestros congéneres**.

Las emociones son eminentemente físicas. Una primera definición de emoción podría referirse a un **patrón específico de activación fisiológica**. Por lo tanto, la **dimensión corporal** cobra un aspecto de gran relevancia en cuanto a las emociones se refiere. Las emociones son en esencia estados internos del organismo que producen **tendencias específicas a la acción**. Simplificando, las emociones generan **dos tipos básicos de conductas: de acercamiento y de alejamiento**. Tendemos a alejarnos de aquellos objetos que nos provocan miedo y tendemos a acercarnos a aquellos objetos o sujetos por los que sentimos amor.

En el caso del miedo y del amor, siendo emociones básicas y muy relevantes, es fácil comprender cuál es la tendencia a la acción que provocan. No obstante, **una misma emoción puede dar lugar a diferentes conductas**. Es bien conocido que ante un miedo intenso el organismo puede responder huyendo, atacando o paralizándose (son las famosas respuestas de «**lucha o huida**»). En el caso de otras emociones es un poco menos directo entender la utilidad de la tendencia a la acción que provocan. Por ejemplo, la tristeza genera una conducta mucho más lenta, eliminando la mayoría de las actividades que realizaba el organismo habitualmente. Se piensa que la función de la **tristeza** es forzar una **ralentización del ritmo de actividades del organismo**, para favorecer que aparezca un proceso reflexivo profundo sobre un problema (o una pérdida) que necesita ser resuelto.

Entender las emociones requiere atender a su **multidimensionalidad**. Por un lado, tenemos diferentes emociones: amor, odio, ira, alegría, tristeza, etc. Cada una de ellas cuenta con un **patrón de activación fisiológico característico** (aunque a veces dos emociones distintas pueden tener en común respuestas fisiológicas, por ejemplo, tanto la ira como la alegría aumentan el ritmo cardíaco). Por eso, la interpretación consciente de las emociones también tiene aspectos que han de aprenderse (no son puramente innatos). Sobre todo cuando hablamos de emociones que no son básicas,

es decir, **emociones secundarias** que surgen como combinación de las emociones básicas (envidia, orgullo, etc.).

A parte de la identificación de la propia emoción, existen otras dimensiones interesantes para clasificar las emociones. Un aspecto obvio, aunque a menudo mal entendido, es la **polaridad**. Se habla de **emociones positivas** y **emociones negativas** en función de si provocan estados placenteros o displacenteros. Por lo tanto, se dice que la ira, el miedo o el odio son emociones negativas y el amor y la alegría son emociones positivas. Esto no implica en absoluto que sean buenas o malas, en principio **todas las emociones son igualmente adaptativas y necesarias para la supervivencia** (de hecho, en intento de represión de las emociones negativas suele crear problemas psicológicos e incluso psicopatologías).

Otra dimensión importante acerca de las emociones es la **intensidad**. Podemos experimentar una emoción en diferentes niveles de intensidad, podemos estar ligeramente enfadados o muy enfadados. Por lo tanto, para definir un perfil emocional mínimo tendríamos que hablar de la identificación de la emoción, su polaridad y su intensidad.

En cuanto a la duración en el tiempo, **las emociones** se consideran con una **duración media**, del orden de minutos. Siendo las **reacciones instantáneas** **respuestas afectivas** y el estado emocional general que se desarrolla a lo largo de días el **estado de ánimo**.

En general, el **estudio de las emociones requiere** tener en cuenta al menos los siguientes aspectos:

- ▶ «**Corporalidad**»: **patrones de activación fisiológica asociados.**
- ▶ **Sentimientos**: percepción subjetiva de la emoción.
- ▶ **Identificación de la emoción**: emociones primarias y secundarias.
- ▶ **Polaridad**: positivas y negativas.
- ▶ **Intensidad**: nivel de intensidad de la emoción.
- ▶ **Expresión**: las emociones se expresan a través del rostro, la voz y el lenguaje no verbal.



Figura 1. Expresión de las emociones a través del rostro.

Fuente: <https://psicologiamente.net/psicologia/emociones-basicas-cuatro-seis>

En cuanto a la identificación de las emociones, se han descrito una serie de **emociones primarias o básicas** y otro conjunto de **emociones secundarias** (estas listas de emociones varían ligeramente en función de los autores, pero existe un consenso bastante amplio acerca de las principales emociones básicas):

- ▶ **Emociones básicas**: tristeza, alegría, miedo, ira, sorpresa y asco.
- ▶ **Emociones secundarias**: culpa, vergüenza, envidia, humillación, desprecio, etc.

Existen multitud de clasificaciones diferentes (algunos autores sostienen que solo hay cuatro emociones primarias) y los autores argumentan sobre cómo aparecen las emociones secundarias, si son combinaciones de las primarias en forma de diadas o si tienen otros procesos de formación más complejos.

7.3. Bases psicobiológicas de la emoción

En el contexto de la neurociencia, se ha propuesto el uso del término «**neurociencia afectiva**» para referirse a las investigaciones centradas en los **procesos emocionales**, distinguiéndose así de los enfoques más tradicionales de neurociencia cognitiva que se centraban solo en el procesamiento de la información. En general, hoy en día, es comúnmente aceptado que la neurociencia cognitiva también ha de ocuparse de la dimensión emocional; no obstante, se sigue usando el término neurociencia afectiva para dejar claro cuando una investigación se centra en los **mecanismos emocionales que despliega el sistema nervioso**. Para no caer en dicotomías, algunos autores proponen definiciones más inclusivas como por ejemplo neurociencia cognitiva de la emoción. Claramente, **la cognición y la emoción son dos aspectos que están íntimamente relacionados** y la dicotomía que se ha planteado en épocas pasadas ya no es defendida prácticamente por ningún investigador.

Tradicionalmente, desde los años 80 del siglo pasado, **se ha producido un debate entre diferentes teorías que pretenden explicar el procesamiento emocional**. Por un lado, están las que defienden que «primero lloramos y luego nos sentimos tristes», y por otro lado las que abogan por «primero nos sentimos tristes y luego lloramos». Son las llamadas **teorías periféricas y teorías centrales**.

Las teorías periféricas (representadas por los autores **James-Lange**) **ponen el origen de la emoción en las reacciones periféricas**, es decir, que primero se produce un mecanismo automático y posteriormente aparece la experiencia subjetiva. **Las**

teorías centrales (propuestas por Cannon-Bard) argumentan que **las reacciones periféricas y el procesamiento central que da lugar a la experiencia subjetiva ocurren simultáneamente y dependen de estructuras cerebrales diferentes**. Aunque la polémica entre estas dos posiciones no ha terminado de dirimirse, parece haber consenso en cuanto a la distinción entre procesamiento automático y procesamiento consciente: **la amígdala** realiza un análisis rápido (inconsciente) **del significado emocional de los estímulos y desencadena respuestas automáticas**, al mismo tiempo (pero de forma más lenta) **la corteza cerebral** procesa la situación y genera **experiencias emocionales conscientes**.

La teoría del **marcador somático** de Damasio sostiene que **las emociones son representaciones del estado del organismo constituidas a partir de respuestas fisiológicas específicas** desencadenadas por estructuras cerebrales **ante estímulos** que tienen alto valor adaptativo para el sujeto. Este tipo de teorías pone de manifiesto la intrincada relación entre cognición y emoción.

Con respecto al **sustrato neuronal del procesamiento emocional** se han identificado varias estructuras clave: sobre todo la **amígdala (sistema límbico)** y la **corteza orbitofrontal**. Por ejemplo, la propuesta del llamado circuito de Papez (completado por McLean), que acuñó el término de sistema límbico, incluye estructuras como el hipotálamo, tálamo anterior, giro cingulado, hipocampo, amígdala y corteza orbitofrontal (más tarde se concluyó que el papel del hipocampo está más asociado a los procesos de memoria).

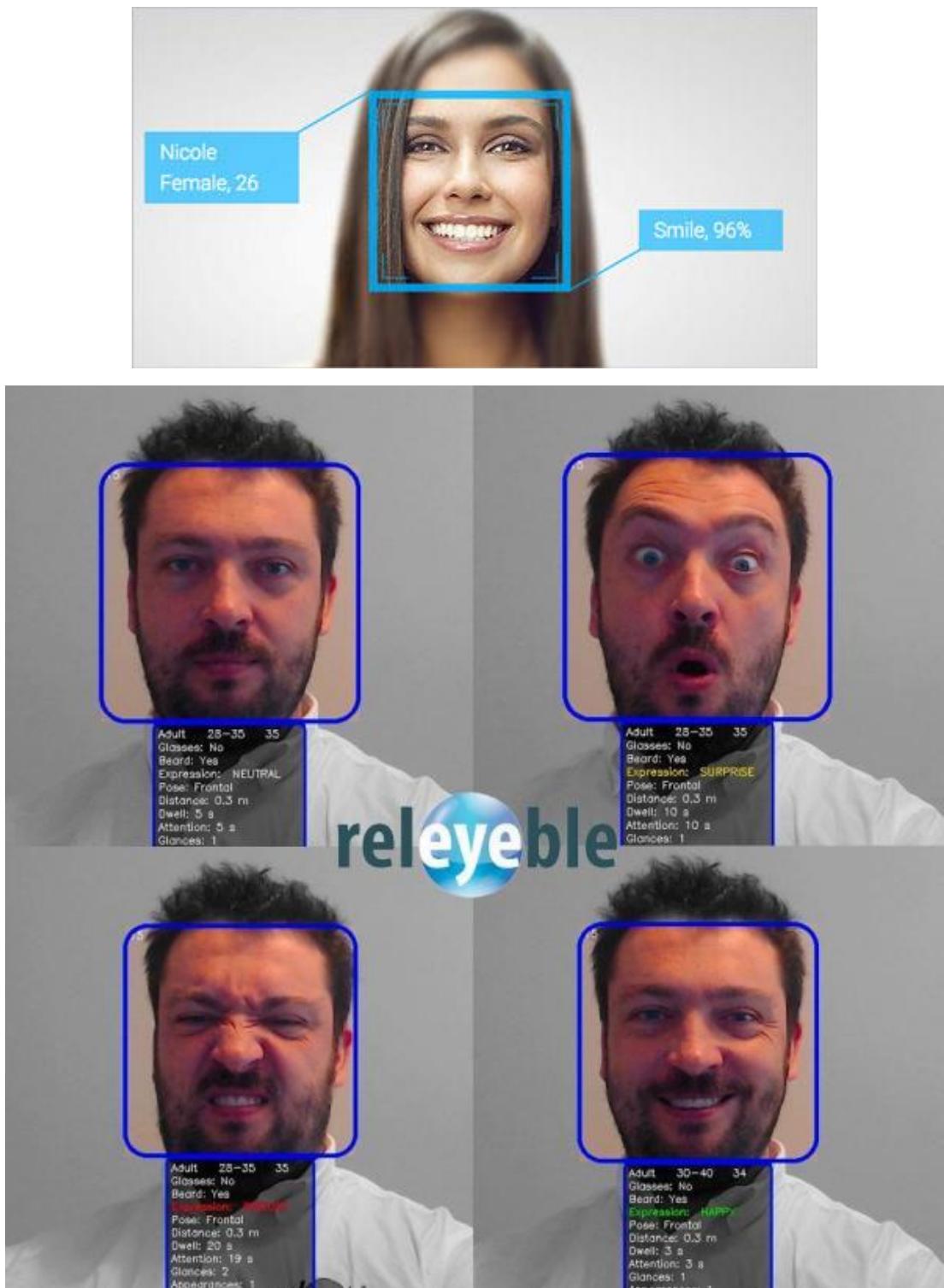
En la actualidad **no se considera que haya un circuito único** del procesamiento emocional, los datos más consistentes apuntan a la **amígdala** como centro del **aprendizaje emocional y memoria implícita**, y a la **corteza orbitofrontal** en la toma de **decisiones sociales**.

7.4. Modelos computacionales de la emoción

En la actualidad contamos con **innumerables modelos computacionales** de la emoción. En general, todos se basan en los principales componentes estudiados sobre la emoción (polaridad, tendencia a la acción, etc.) **evitando la dimensión de la percepción subjetiva y la conciencia de la emoción.**

En los modelos computacionales se representa habitualmente **la emoción como una etiqueta** que toma valores positivos o negativos y se usa para guiar las respuestas del sistema. La etiqueta emocional se calcula como un indicador del **grado de consecución de los objetivos del sistema**. De esta forma, si el funcionamiento del sistema es óptimo y las metas se van alcanzando según lo previsto se activará una etiqueta de «alegría», mientras que, si las metas no se cumplen según el plan, aparecerá un indicador de «tristeza». Este tipo de simulaciones de las emociones puede ser **útil de cara a la interacción con humanos**, ya que puede dotar al sistema artificial de un modelo de la expresión de las emociones.

Por otro lado, también se cuenta con multitud de **sistemas automáticos de reconocimiento de la emoción en los humanos**. Para ello se usa primordialmente el reconocimiento de la expresión facial y se infiere el **estado emocional** de la persona. De nuevo, este tipo de sistemas automáticos sirven de base para mejorar la interacción entre humanos y máquinas.



Figuras 2 y 3. Ejemplos de sistemas automáticos de reconocimiento de la expresión facial.

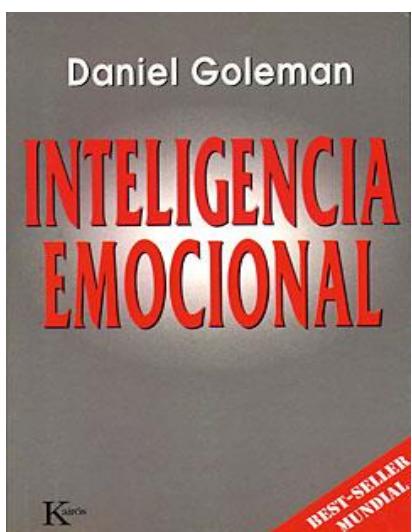
Fuente: <https://nordicapis.com/20-emotion-recognition-apis-that-will-leave-you-impressed-and-concerned/>

Lo + recomendado

No dejes de leer

Inteligencia emocional

Goleman, D. (2010). *Inteligencia emocional*. Barcelona: Editorial Kairós.



El Coeficiente de Inteligencia (CI) ¿determina nuestro destino? Mucho menos de lo que pensamos. En este fascinante y persuasivo libro, Daniel Goleman sostiene que nuestra visión de la inteligencia humana es estrecha, pues elude un amplio abanico de capacidades esenciales para la vida. Soslaya lo que él llama inteligencia emocional.

Apoyándose en la más moderna investigación sobre el cerebro y la conducta, el autor explica por qué personas con un elevado coeficiente intelectual fracasan en sus empresas vitales, mientras que otras con un CI más modesto triunfan clamorosamente. La inteligencia emocional es una forma de interacción con el mundo que tiene muy en cuenta los sentimientos, y engloba habilidades tales como el control de los impulsos, la autoconciencia, la motivación, el entusiasmo, la perseverancia, la empatía, la agilidad mental, etc. Ellas configuran rasgos de carácter como la autodisciplina, la compasión o el altruismo, que resultan indispensables para una buena y creativa adaptación social.

Inteligencia emocional se ha convertido, desde su aparición en los Estados Unidos, en un *best seller* mundial. Ofrece una nueva visión de la excelencia y supone un importante hito para un enfoque más amplio de la inteligencia humana.

No dejes de ver

Entrevista a Antonio Damasio

Eduard Punset entrevista a Antonio Damasio, preguntándole sobre el cerebro y las emociones en el programa Redes.



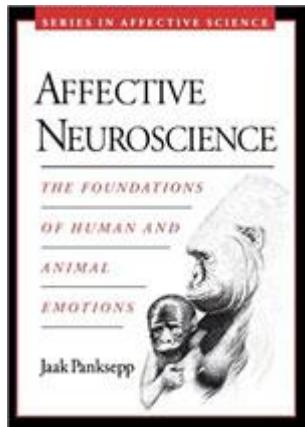
Accede al vídeo a través del aula virtual o desde la siguiente dirección web:

<https://www.youtube.com/watch?v=7231xkml9qI>

A fondo

Affective Neuroscience. The foundations of human and animal emotions

Pankseep, J. (2004). *Affective Neuroscience. The foundations of human and animal emotions*. Oxford: Oxford University Press.



Algunos investigadores han argumentado que las emociones, especialmente las emociones animales, son conceptos ilusorios fuera del ámbito de la investigación científica. Sin embargo, con los avances en neurobiología y neurociencia, los investigadores están demostrando que esta posición es incorrecta a medida que se acercan a una comprensión duradera de la biología y la psicología de la emoción. En *Affective Neuroscience*, Jaak Panksepp proporciona la información más actualizada sobre los sistemas cerebrales que organizan las tendencias emocionales fundamentales de todos los mamíferos. Presentando material complejo de una manera legible, el libro ofrece un resumen completo de las fuentes neuronales fundamentales de los sentimientos humanos y animales, así como un marco conceptual para el estudio de los sistemas emocionales del cerebro. Panksepp aborda las emociones desde la perspectiva de la teoría de la emoción básica, pero no deja de abordar los complejos problemas planteados por los enfoques constructivistas. Estos temas incluyen las relaciones con la conciencia humana y las implicaciones psiquiátricas de este conocimiento. El libro incluye capítulos sobre el sueño y la excitación, los sistemas de placer y miedo, las fuentes de la ira y el control neuronal de la sexualidad, así como las emociones más sutiles relacionadas con el cuidado materno, la pérdida social y el juego. Representando una integración sintética de grandes cantidades de conocimiento neuroconductual, que

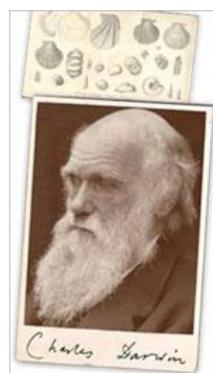
incluye neuroanatomía, neurofisiología y neuroquímica relevantes, este libro será una de las contribuciones más importantes para comprender la biología de las emociones desde la expresión de las emociones en hombres y animales de Darwin.

Webgrafía

Darwin online

En esta página dedicada a la obra de Charles Darwin puedes encontrar el texto de «La expresión de las emociones en los humanos y animales».

Esta obra fue escrita, en parte al menos, como una refutación de la idea de que los músculos faciales de expresión en el hombre eran una dote especial. Darwin no tenía experiencia de investigación personal en el tema, pero había leído extensamente y había preguntado a sus colegas científicos. También había circulado, en 1867, su folleto impreso Consultas sobre la expresión (Números 871-876) a conocidos que estaban en contacto con pueblos primitivos. Las respuestas a las Consultas se basaron en gran medida en el contenido del libro, y una versión de las Consultas mismas está impresa en él (págs. 15-16).



Accede a la página web a través del aula virtual o desde la siguiente dirección web:

[http://darwin-](http://darwin-online.org.uk/content/frameset?itemID=F1142&viewtype=text&pageseq=1)

[online.org.uk/content/frameset?itemID=F1142&viewtype=text&pageseq=1](http://darwin-online.org.uk/content/frameset?itemID=F1142&viewtype=text&pageseq=1)

Bibliografía

Damasio, A. R., Everitt, B. J. y Bishop, D. (1996). The somatic marker hypothesis and the possible functions of the prefrontal cortex. *Philosophical Transactions of the Royal Society B. Biological Sciences*, 351(1346), 1413-1420.

Darwin, C. y Prodger, P. (1998). *The expression of the emotions in man and animals*. USA: Oxford University Press.

Goleman, D. (2012). *Inteligencia emocional*. Barcelona: Editorial Kairós.

Panksepp, J. (2004). Affective neuroscience: The foundations of human and animal emotions. Oxford: Oxford university press.

Vila, J. (2016). Neurociencia afectiva: Entre el corazón y el cerebro. Discurso de apertura, Universidad de Granada, curso académico 2016-2017.

Test

7

1. Un sentimiento:

- A. Es inconsciente.
- B. Es lo mismo que una emoción.
- C. Es consciente.
- D. Se produce siempre antes que la emoción.

2. Las emociones son:

- A. Siempre adaptativas.
- B. Normalmente adaptativas.
- C. Respuestas aleatorias.
- D. Independiente del cuerpo.

3. Una emoción puede dar lugar:

- A. A varias conductas diferentes.
- B. Siempre a la misma conducta.
- C. A una ausencia de activación fisiológica.
- D. A polaridades positivas y negativas a la vez.

4. La duración de una emoción en humanos es del orden de:

- A. Milisegundos.
- B. Años.
- C. Días.
- D. Minutos.

5. ¿Cuál de los siguientes no es un aspecto a tener en cuenta en el estudio de las emociones?:

- A. Corporalidad.
- B. Intensidad.
- C. Fuerza.
- D. Expresión.

6. ¿Cuál de los siguientes no es una emoción básica o primaria:

- A. Asco.
- B. Vergüenza.
- C. Ira.
- D. Sorpresa.

7. La emoción y la cognición:

- A. Están íntimamente relacionados.
- B. Cuentan con las mismas teorías explicativas.
- C. No tienen nada que ver.
- D. NO han sido objeto de dicotomías.

8. Según la propuesta de James-Lange:

- A. Solo lloramos si nos sentimos tristes.
- B. Primero lloramos y luego nos sentimos tristes.
- C. Solo nos sentimos tristes si lloramos.
- D. Primero nos sentimos tristes y luego lloramos.

9. Según la teoría del marcador somático, las emociones son:

- A. Representaciones puramente cognitivas.
- B. Representaciones de la consecución de metas.
- C. Representaciones del mundo exterior.
- D. Representaciones del estado del organismo.

- 10.** Los modelos computacionales de la emoción:
- A. Se centran en los aspectos de percepción subjetiva.
 - B. Sirven también para detectar la emoción en humanos.
 - C. Son muy escasos.
 - D. No suelen usar etiquetas.