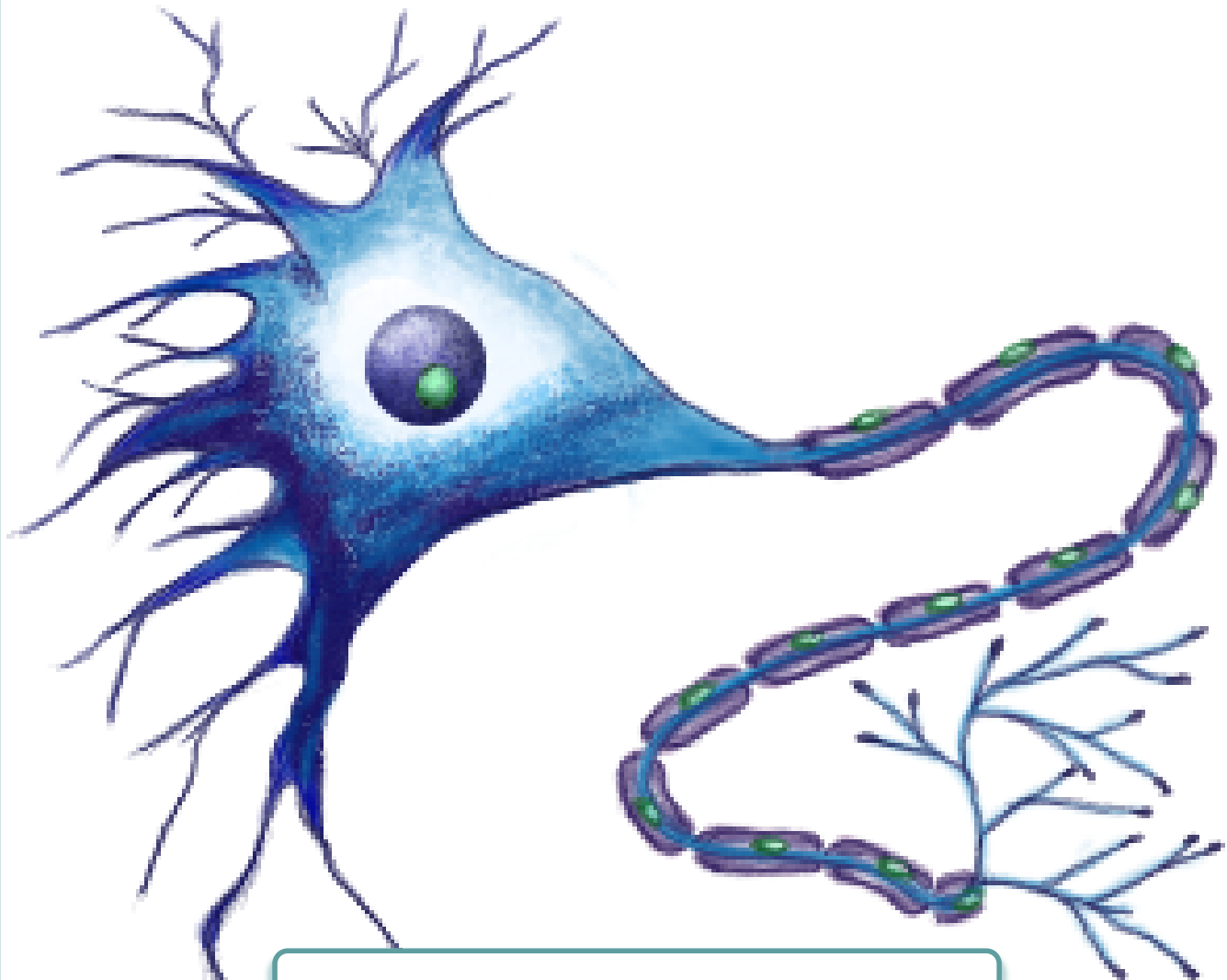


Redes Neuronales

Notas de clase

Karla Fernanda Jiménez Gutiérrez
Verónica Esther Arriola Ríos



FACULTAD DE CIENCIAS,
UNAM

Índice general

Índice general	I
I Antecedentes	2
1 Neurona biológica	3
1.1 Neurociencias computacionales	3
1.2 Sistema Nervioso	5
1.2.1 Cerebro	8
1.2.2 Zonas funcionales	10
1.3 Neurona biológica	11
2 Modelo de Hodgkin-Huxley	12
2.1 Membrana y canal	12
2.2 Dinámica del voltaje durante un disparo	12
2.3 Simulación usando el método de Euler	12
3 Aprendizaje de máquina	13
3.1 Espacio de hipótesis	13
3.2 Conjuntos de entrenamiento, validación y prueba	13
3.3 Perceptrón	13
3.4 Compuertas lógicas con neuronas	13
3.5 Funciones de activación	13
3.6 Funciones de error: diferencias al cuadrado y entropía cruzada	13
3.7 Medidas de rendimiento:	13
3.7.1 Matriz de confusión	13
3.7.2 Precisión	13
3.7.3 Recall	13
3.7.4 f score	13
II Redes dirigidas acíclicas	14
4 Perceptrón multicapa	15
4.1 XOR	15

4.2	Propagación hacia adelante manual	15
4.3	Propagación hacia adelante vectorizada (con matrices)	15
4.4	Interpretación matemática del mapeo no lineal	15
4.5	Propagación hacia adelante para el perceptrón multicapa	15
5	Entrenamiento por retropropagación	16
5.1	Función de error	16
5.2	Gradiente de la función de error	16
5.3	Descenso por el gradiente	16
5.4	Otros algoritmos de optimización	16
6	Optimización del entrenamiento	17
6.1	Problemas en redes profundas	17
6.2	Gradiente desvaneciente (o que explota)	17
6.3	Entrenamiento en línea vs en lotes	17
6.4	Normalización y normalización por lotes	17
6.5	Regularización	17
7	Caso de análisis e interpretación	18
7.1	Red Hinton árbol familiar con numpy (entrenamiento)	18
7.2	Red Hinton árbol familiar con pytorch	18
8	Entrenamiento con genéticos	19
8.1	Algoritmos genéticos	19
8.2	Neuroevolución	19
8.2.1	Antecedentes: Aprendizaje por refuerzo en videojuegos	19
8.2.2	Arquitectura para estimar la función de recompensa	19
8.2.3	Entrenamiento	19
9	Mapeos autoorganizados	20
9.1	Aprendizaje no supervisado	20
9.2	Mapeos autoo-organizados	20
9.3	Kohonen	20
10	Redes Neuronales Convolucionales	21
10.1	Convolución	21
10.2	Redes Convolucionales	21
10.3	Softmax	21
10.4	MNIST	21
III	Redes con ciclos	22
11	Redes Neuronales Recurrentes	23
11.1	Derivadas ordenadas	23

11.2 Retropropagación en el tiempo	23
11.3 Sistemas dinámicos y despliegue del grafo	23
11.4 Arquitectura recurrente universal	23
11.5 Función de error	23
11.6 Forzamiento del profesor	23
12 Atención	24
13 LSTM	25
14 GRU	26
15 Casos de análisis: etiquetado de palabras y conjugación de verbos	27
IV Redes no dirigidas	28
16 Redes de hopfield	29
16.1 Entrenamiento	29
17 Máquinas de Boltzman	30
17.1 Entrenamiento	30
17.1.1 Partículas y partículas de fantasía	30
17.1.2 Máquinas de Boltzman Restringidas	30
18 Redes adversarias	31
18.1 GANs	31
A Ecuaciones diferenciales	32

Etc

A lo largo del texto se utilizará la siguiente notación para diversos elementos:

Conjuntos	C
Vectores	x
Matrices	M
Unidades	cm

Parte I

Antecedentes

1 | Neurona biológica

Neurociencias computacionales

Las redes neuronales surgieron completamente inspiradas en los sistemas biológicos. Lo que estamos haciendo los computólogos es tomar una idea a la naturaleza, una idea que ha probado ser sumamente efectiva para procesar información y que logra resolver problemas que nosotros aún no sabemos hacer con modelos diseñados explícitamente. Los más notorios:

- Problemas de visión por computadora
- Procesamiento del lenguaje natural

A lo largo del texto tendremos una somera idea de que hace el sistema nervioso de un ser humano, tomaremos también ejemplos de animales como, el calamar gigante, cangrejos. Ejemplos que han permitido estudiar biológicamente, cómo funcionan las neuronas y cómo funciona su sistema nervioso.

Entonces por un momento pensemos en el sistema nervioso como un todo, lo que realmente está pasando al computar, no es el calculo del proceso de una sola neurona sino de la colección de todas ellas. Lo que sucede con los sistemas biológicos es que son muchísimo más complicados que lo que vamos a ver nosotros como modelos computacionales, sin embargo muchísimas empresas están utilizando estas técnicas. El sistema nervioso como un todo es bastante más complejo, pero conforme han ido evolucionando las redes neuronales computacionales, ya con sus arquitecturas y organizaciones, se están volviendo también más complejas. Varias de las estructuras más exitosas tienen un análogo muy fuerte con un sistema nervioso natural.

Veamos un campo conocido como **neurociencias computacionales** el cual se dedica explícitamente al estudio/modelo de los sistemas biológicos pero ya conjuntando varios campos. Se interesan notablemente en: descripciones y modelos funcionales biológicamente realistas de neuronas y sistemas neuronales. Lo que veremos en redes neuronales computacionales no necesariamente tienen que ser realistas, lo que nos interesa es que resuelvan los problemas, si se desvían un poco de cómo funcionan los sistemas naturales en un principio no es problema.

1. Neurona biológica

Ahora, ¿Qué les interesa modelar? Se fijan en la fisiología y en la dinámica de estos sistemas, combinan varias ciencias tales como:

- **Biofísica**
- **Neurociencias tradicionales** con modelos matemáticos.
- **Ciencias de la computación** tanto en la parte del modelado como en la parte de la implementación de estos modelos y la generación de simulaciones computacionales.
- **Ingeniería eléctrica** se está diseñando hardware especializado para ejecutar modelos de manera eficiente, algunos de los modelos matemáticos están basados en circuitos eléctricos.
- **Ciencias cognitivas** tratan de ver que se está codificando dentro de un sistema nervioso y cómo podemos interpretar esa información que está ahí guardada.

De entre todo esto vamos a ver cómo está influyendo todo esto, en lo que va a hacer las ciencias de la computación pero con su propio modelo de redes neuronales (Existe una conexión muy fuerte entre estos dos campos).

Las neurociencias computacionales como se mencionó anteriormente estudia modelos del sistema nervioso y clasifica estos modelos en tres tipos:

1. **Modelos descriptivos**, nos limitamos a decir que está haciendo un sistema y en particular aquí son muy famosos los experimentos con ratones se está tratando de ver qué puede hacer, que no puede hacer, que puede aprender, que no, pero no se puede explicar “¿Cómo?”, simplemente se dice que es lo que está sucediendo.
2. **Modelos mexicanistas**, donde ahora sí nos interesa saber, ¿Cómo es que están haciendo las cosas? Aquí vamos a ver como los modelos matemáticos, precisamente nos están tratando de describir cómo puede ser que se están conectando estas neuronas, cómo pueden estar funcionando las redes de neuronas, cómo podría estarse almacenando la información y transfiriendo de un lado a otro.
3. **Modelos interpretativos**, nos dan una idea del por qué o para qué lo hacen. Se tiene que buscar intencionalidad, razonamiento de más alto nivel.

Cuando trabajemos con en redes de computadoras vamos a notar que sí necesitamos trabajar un poco con los tipos 2 y 3. Para romper ese mito de nuestras redes neuronales, donde sabemos que aprendieron y no estamos ni siquiera seguros de que aprendieron o porque lo aprendieron así. Vamos a tener que utilizar herramientas matemáticas para tratar de descubrir qué es lo que realmente está haciendo la red entrenada.

Ahora los **objetivos del modelado**:

(Empezando desde lo más granular que es cada una de las neuronas)

- Las **corrientes**, que están pasando a través de las membranas de las neuronas, la influencia que tiene en el paso de la información.
- Las **proteínas buenas** van a jugar un papel importante en la conducción de elementos iónicos no transmisores (acoplamiento químicos).

(El siguiente nivel ya no solamente de una neurona)

- Las **oscilaciones de las redes** completas, que pasa con estas señales, pulsos eléctricos, que se están transfiriendo de unas regiones a otras y que empiezan a producir oscilaciones con ciertos períodos, regiones de actividad, que se apagan.
- **Arquitectura topográfica y de columnas** cómo están organizadas estas neuronas, quienes están conectadas con quiénes, cómo reaccionan dentro de ciertas regiones identificadas, cómo interactúan con otras regiones. Se puede identificar una arquitectura desde el punto de vista fisiológico como de vista funcional. Un caso particular de estas estructuras es la formación de columnas de neuronas que están altamente conectadas y trabajan como una unidad.
- El **aprendizaje** es decir estamos procesando información, estamos guardando información, recuperando y eso permite que los seres que cuentan con un sistema nervioso tengan características especiales cuyo comportamiento se puede modificar conforme aprenden.
- La **memoria** que significa que necesitamos almacenar información, recuperarla procesarla.

Sistema Nervioso

¿Qué es un nervio? Un nervio es una gran colección de axones que están viajando todos juntos como en una especie de cable (poner el corte), pasan vasos sanguíneos por en medio de los nervios, esto es de lo que está formando el sistema nervioso, que cubre desde el cerebro, la médula espinal y todos aquellos elementos que salen de ahí.

Los nervios son estructuras conductoras de impulsos nerviosos situados fuera del sistema nervioso central, es decir, estamos hablando de todos estos axones que salen desde el cráneo, la médula espinal y están descubriendo el resto del cuerpo. Están formados por un conjunto de axones agrupados cada uno de los cuales procede de una neurona. Pueden ser clasificados como:

- **Motores** salidas, ejecución/acción
- **Sensitivos** entradas

1. Neurona biológica

- **Mixtos** son mayoría, tienen tanto fibras sensitivas como motoras

Tenemos dos grandes partes del sistema nervioso, el **sistema nervioso periférico** y el **sistema nervioso central**, como se puede ver en la imagen 1.1.

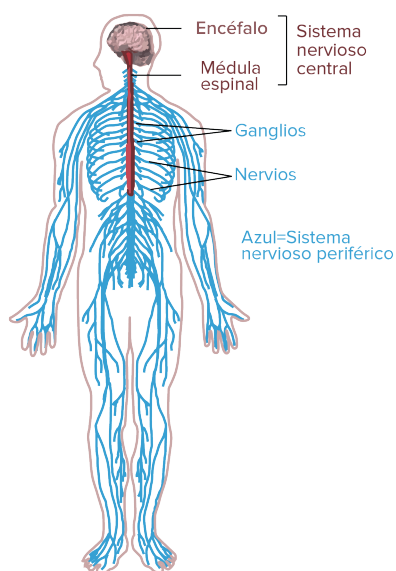


Figura 1.1 En rojo el sistema nervioso central y en azul el sistema nervioso periférico.

En del sistema nervioso periférico tenemos al:

- **Sistema somático** se controla de forma voluntaria, se conforma de nervios conectados a músculos voluntarios esqueléticos y receptores sensoriales, de los cuales unos son:
 - ★ de entrada, **aférentes**
 - ★ de salida, **eférentes**
- **Sistema autónomo** funciona de forma involuntaria, se conforma de nervios que se conectan con el corazón, los vasos sanguíneos, los pulmones, el estómago, los intestinos, glándulas

Ahora respecto al sistema nervioso central lo integra:

- La médula espinal
 - ★ Dentro de esta hay una organización, la presencia de **ciclos de retroalimentación local**, es decir, nuestro sistema va a estar en diferentes etapas son nervios que no necesitan pasar por todo el procesamiento cerebral, las señales

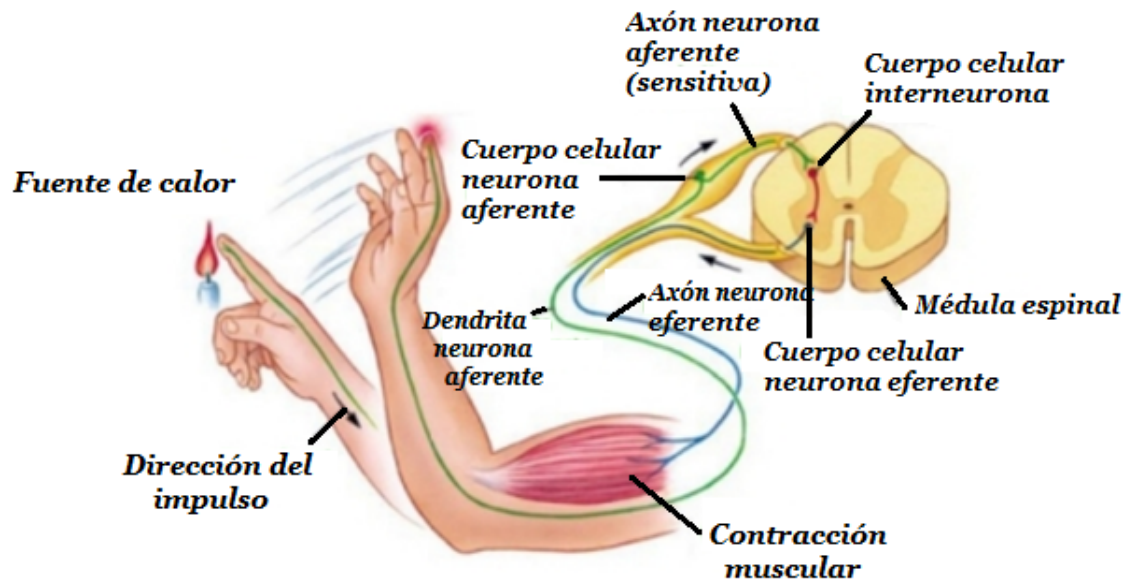


Figura 1.2 Vemos como el receptor sensorial aferente, notifica de una fuente de calor muy cerca del nervio y el receptor sensorial eferente manda una respuesta motora.

simplemente entran llegan a una fase local e inmediatamente reaccionan, ver el ejemplo de la imagen 1.2. Ocurren en un ciclo local y esto también puede convertirse en algo muy importante a la hora de hacer cómputos, no siempre es necesario pasar todo por todas las capas de procesamiento.

- ★ **Señales de control motor descendientes** del cerebro hacia las neuronas motoras, estas son señales que provienen de un campo en una capa mucho más alta de procesamiento y provocan movimientos.
- ★ **Axones sensoriales ascendentes** donde el cuerpo de la neurona está afuera y la información va a viajar hacia arriba, desde los músculos, piel y estas señales viajan hasta el cerebro, ver 1.3 .

- El encéfalo

Cada colección de nervios que sale de la base del cerebro se asocian con funciones muy específicas (en su mayoría).

Notas:

- Este sistema está hecho en diferentes niveles locales, entradas y salidas
- El procesamiento que esté ocurriendo en el encéfalo puede tener diferentes capas y eso se verá reflejado cuando nosotros definamos arquitecturas para las redes neuronales.

1. Neurona biológica

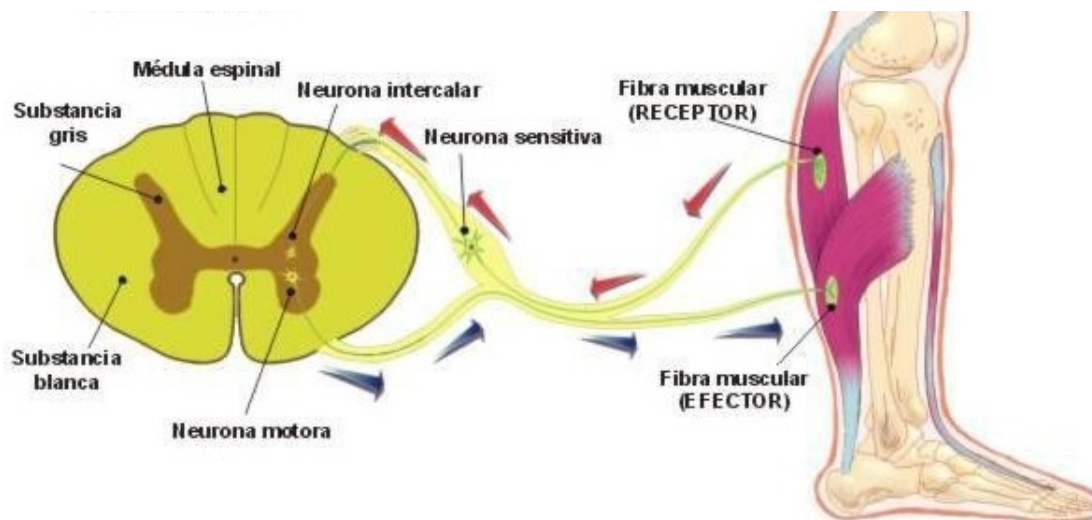


Figura 1.3 La persona ha recibido un estímulos en su músculo posterior de la pierna, provocando un llamado inmediato a sus neuronas sensitivas y generando una respuesta por parte de las neuronas motoras.

- Las redes neuronales actuales, que han tenido más éxito, se componen de diferentes subunidades o diferentes redes que hacen cosas locales. Es decir esta estructura global que estamos viendo, se está empezando a reproducir/imitar ya con las neuronas computacionales.

Cerebro

En esta parte vamos a preocuparnos sobre todo por la parte funcional. Haciendo una breve analogía, vamos a hacer una visión general del “hardware”, para ver qué efectos va a tener en el “software”. En general la arquitectura de cada cerebro es completamente diferente al cerebro de otras personas. Se ha intentado averiguar qué está haciendo cada región con diferentes estudios por ejemplo, ver cuánta sangre se está bombeando en diferentes regiones del cerebro dependiendo de los estímulos que se le presentan a una persona, o si alguna persona tiene un padecimiento se tratan de tomar escaneos para ver qué regiones del cerebro están funcionando y cuáles presentan lesiones. A partir de las lesiones, lo que hacen es que una vez que está identificada la actividad que ya no se puede realizar de forma normal, averiguan qué región era responsable de esa actividad, que ahora está dañada.

Gracias a esos estudios, se ha logrado identificar más o menos en forma general, a qué se dedica cada una de las regiones del cerebro. En ocasiones no se puede decir exactamente qué tan vinculadas están (las regiones) o por qué se están activando otras regiones.

Hay partes funcionales que se comparten entre las diferentes regiones y no están ubica-

das en un solo lugar. Otra parte importante a mencionar es, el cerebelo que se considera prácticamente vital, cumple con funciones tales como el equilibrio, la coordinación, el control fino de los músculos, de hecho tiene más neuronas que el cerebro y aún así hay niños que nacen y viven sin cerebelo.

A continuación se mencionan algunas de las diferentes funciones de las regiones, que se han identificado en la imagen 1.4:

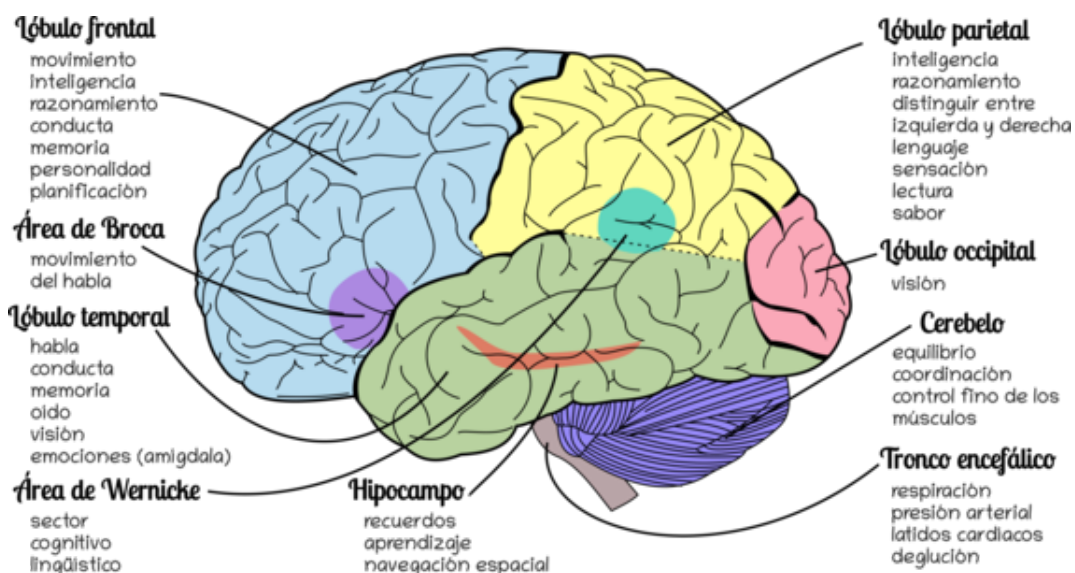


Figura 1.4 Diagrama básico de las regiones del cerebro.

Lóbulo frontal se le puede asociar con la parte del raciocinio, la parte de inteligencia, la conducta, la memoria, la personalidad, la capacidad para realizar planes complejos a largo plazo y también es responsable de algunas actividades de movimiento. Dentro de este destaca el área de Broca, su principal función es el movimiento del habla, mover los labios, la boca.

Lóbulo temporal aquí está otra parte del habla, que tiene que ver más con el uso de símbolos para el lenguaje, la conducta, memoria, aquí se procesa el oído, un poco de visión y emociones. Dentro de este está (compartida entre el lóbulo parietal) el área de Wernicke, trabaja con la parte lingüística, y de cognición. También dentro de este está el **hipocampo** trabaja con recuerdos, aprendizaje y navegación espacial, cómo sabemos cómo llegar de un lado hacia otro.

Lóbulo parietal trabaja con la inteligencia, razonamiento, distinguir entre izquierda y derecha, lenguaje, sensación, lectura y sabor.

Lóbulo occipital se dedica prácticamente solamente a visión, es una región un tanto amplia. En particular en el área de robótica cuando están programando un robot o móvil, los robots tienen dos laptops y una de ellas se dedica prácticamente solo a procesar la visión.

1. Neurona biológica

Cerebelo se encarga del equilibrio, la coordinación fina de los músculos.

Tronco encefálico se encarga de la respiración, presión arterial, latidos cardíacos, de ilusión, conciencia.

Zonas funcionales

Para visualizar mejor la parte de la arquitectura, que tiene el cerebro para realizar todo lo que se le conoce como, la ruta desde la sensación hasta la cognición, veremos un diagrama de la parte funcional del cerebro.

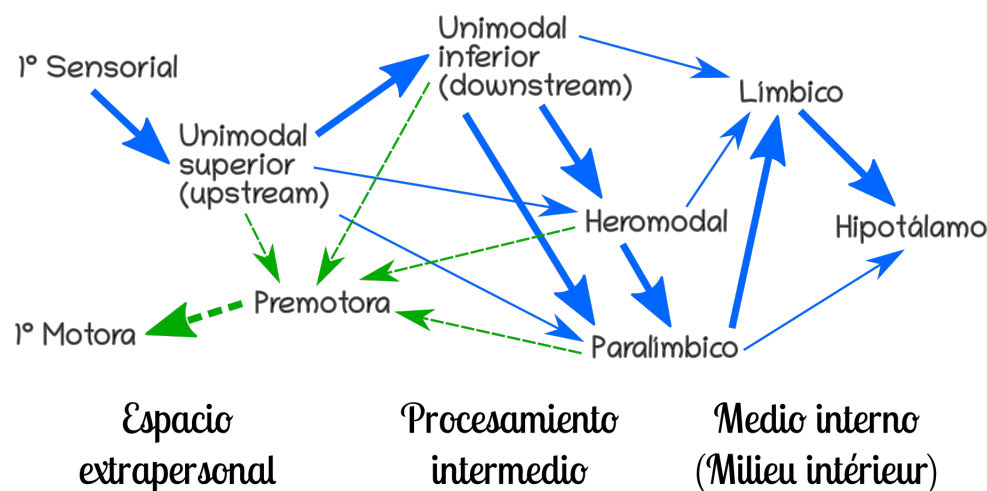


Figura 1.5 Diagrama de la arquitectura del cerebro a nivel funcional.

Explicando el diagrama 1.5, en la primera parte (espacio extrapersonal) vamos a pensar en la entrada sensorial, que se enfoca muchísimo en la parte de visión y audio (en general todos los sentidos), notamos que de las neuronas que están en la parte sensorial, su primera conexión es hacia una capa que se le llama unimodal superior, aquí se procesa la información de cada sentido de manera individual, es decir, las neuronas o solamente están procesando visión o solamente audio, todavía no se mezclan, por ejemplo de visión, se separan colores e intensidad lumínica, se empieza a detectar algunas esquinas, alguna inclinación, la dirección de las luces y las sombras. Notemos que desde aquí hay una rápida conexión a la sección premotora y luego hacia la parte motora, recordando la mención de los circuitos locales y de reflejos, aquí prácticamente lo podemos ver (en este pequeño camino).

Pasando de este primer procesamiento básico entramos al siguiente que es el unimodal inferior, (aquí aún se está trabajando con procesamiento de una sola modalidad) visión sigue siendo visión, audio sigue siendo audio, pero ya son procesamientos un poco más complejos, por ejemplo, reconocimiento de rostros, de objetos. En esta parte tenemos un rápido ciclo de regreso a la parte premotora, por ejemplo la acción de ver a mi mamá y saludarla (aquí aún no se tiene que razonar demasiado).

En la siguiente fase (medio interno), se conecta hacia tres áreas, la **heromodal**, ya se integran diferentes modalidades (audio y visión) ejemplo, oigo que me hablan y volteo a ver, aquí se está juntando ambas cosas, el **límbico** y el **paralímbico** que trabajan con la parte de las emociones y conceptos abstractos.

Finalmente llegamos al **hipotálamo** que es donde están todas las emociones, en las conexiones entre estas regiones, estarían los procesamientos de alto nivel.

Ahora estas diferentes regiones se replican de cierta manera cuando estamos haciendo los diseños de las arquitecturas modernas para redes neuronales. En algunas ocasiones se comienza con algunas capas de neuronas, haciendo procesamientos con una sola modalidad, extrayendo datos básicos, después se van componiendo en figuras más complejas y después hasta podemos combinar bloques de neuronas, para poder resolver problemas que tomen en cuenta diferentes modelos.

Neurona biológica

2 | Modelo de Hodgkin-Huxley

Membrana y canal

Dinámica del voltaje durante un disparo

Simulación usando el método de Euler

3 | Aprendizaje de máquina

Espacio de hipótesis

Conjuntos de entrenamiento, validación y prueba

Perceptrón

Compuertas lógicas con neuronas

Funciones de activación

Funciones de error: diferencias al cuadrado y entropía cruzada

Medidas de rendimiento:

Matriz de confusión

Precisión

Recall

f score

Parte II

Redes dirigidas acíclicas

4 | Perceptrón multicapa

XOR

Propagación hacia adelante manual

Propagación hacia adelante vectorizada (con matrices)

Interpretación matemática del mapeo no lineal

Propagación hacia adelante para el perceptrón multicapa

5 | Entrenamiento por retropropagación

Función de error

Gradiente de la función de error

Descenso por el gradiente

Otros algoritmos de optimización

6 | Optimización del entrenamiento

Problemas en redes profundas

Gradiente desvaneciente (o que explota)

Entrenamiento en línea vs en lotes

Normalización y normalización por lotes

Regularización

7 | Caso de análisis e interpretación

Red Hinton árbol familiar con numpy (entrenamiento)

Red Hinton árbol familiar con pytorch

8 | Entrenamiento con genéticos

Algoritmos genéticos

Neuroevolución

Antecedentes: Aprendizaje por refuerzo en videojuegos

Arquitectura para estimar la función de recompensa

Entrenamiento

9 | Mapeos autoorganizados

Aprendizaje no supervisado

Mapeos autoo-organizados

Kohonen

10 | Redes Neuronales Convolucionales

Convolución

Redes Convolucionales

Softmax

MNIST

Parte III

Redes con ciclos

11 | Redes Neuronales Recurrentes

Derivadas ordenadas

Retropropagación en el tiempo

Sistemas dinámicos y despliegue del grafo

Arquitectura recurrente universal

Función de error

Forzamiento del profesor

12 | Atención

13 | LSTM

14 | GRU

15 | Casos de análisis: etiquetado de palabras y conjugación de verbos

Parte IV

Redes no dirigidas

16 | Redes de hopfield

Entrenamiento

17 | Máquinas de Boltzman

Entrenamiento

Partículas y partículas de fantasía

Máquinas de Boltzman Restringidas

18 | Redes adversarias

GANs

A | Ecuaciones diferenciales