

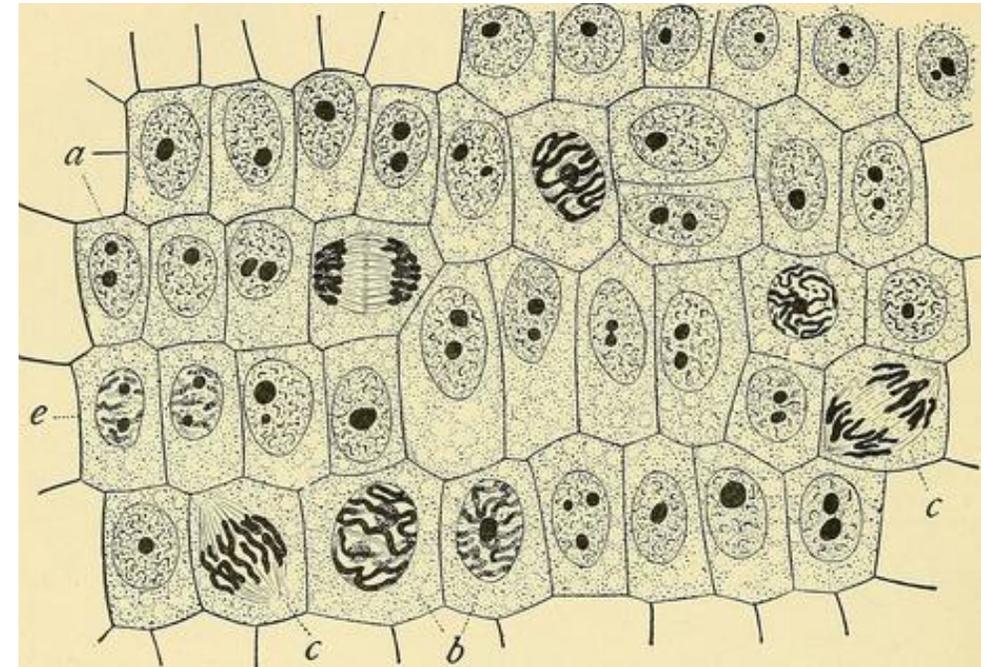
# Sistemas nerviosos y elementos de modelos neurales

Andrés Pomi

IA Bioinspirada – Setiembre 2021

# ORGANISMOS VIVOS

- La Biología está fundada en: la teoría de la Evolución y la teoría Celular.



- En la reproducción celular hay una tensión entre preservar las bondades y la apertura a novedades. [Eso tratan de captar los Algoritmos genéticos]
- Además, una gran eficiencia en el ambiente actual (fitness) puede competir con mantener la variedad necesaria que le proporciona capacidades adaptativas ante cambios del entorno y la posibilidad de sobrevivir.

H von Foerster



W Ross Ashby

## Los seres vivos tienen:

- Una obligación Termodinámica [¿las 'máquinas'?]
- Una obligación Cibernética: mantener las variables vitales dentro de un rango fisiológico
- [Fisiología como ciencia que estudia los mecanismos de regulación y control]
- [Medicina Intensiva que devuelve el sistema perturbado a su estado estacionario]

# Las células 'computan'

- **Molecularmente:** responden algorítmicamente ante 'señales'
- Importancia de los receptores moleculares, superficie celular, interior celular.
- Enzimas como catalizadores de información (Mizraji, 2021)
- Datos, códigos, programas.
- [Utilización de las moléculas para computar. Ej ADN (Adleman, 1994)]
- **Localmente**

# SISTEMAS NERVIOSOS

- Ventajas adaptativas:
  - Es un Regulador: proporciona capacidad adaptativa ante ambientes cambiantes y control del organismo a diferentes niveles.
  - Sistema de procesamiento de información a distancia
  - Construye lo que es una 'señal', en formas autoorganizada, supervisada y por refuerzo.
  - Almacena información y experiencias
  - Organiza repuestas y comportamientos. Respuestas inmediatas, a mediano plazo y diferidas.

# Organización

- Entradas
- Recepción del mundo exterior – Sentidos (de contacto: Tacto, Gusto, Olfato)  
(a distancia: espectro electromagnético, rango de luz visible, Vista; vibraciones en el aire, Oído)
- mundo interior: – interocepción: posición, movimiento, órganos
- Salidas
- Tipo de salidas: Secreciones glandulares al medio interno – eje neuro-endócrino  
Motoras (incluida el habla y movimientos oculares, postura  
Arco reflejo: respuestas motoras primitivas, ej huida.
- Procesamiento central

# Funciones de procesamiento central

- Recordar: existe (en paralelo) un SN Vegetativo: controla vísceras y funciones vitales
- Organización motora
- Funciones 'cognitivas'
  - Procesamiento de imágenes y sonidos – entre ellos lenguaje – Símbolos
  - Memoria asociativa (procedural, semántica, episódica)
  - Marcaje 'afectivo' de los estímulos
  - Capacidad de predicción-generación de una expectativa

# Procesamiento central

- Regiones, localizaciones, arquitectura modular
- Conectividad (periférica e inter-áreas rígida; central asociativa plástica)
- Capas (columnas; corteza y núcleos centrales)
- Mapas topográficos

# Modo 1 de Kahneman

- En gran parte proceso inconsciente o subconsciente
  - Reconocimiento [apela a la memoria] – pattern recognition
  - Doble procesamiento temprano: afectivo-semántico
  - Heurísticas (fast & frugal)
  - Acumulación de evidencia
  - Valoración
- } Toma de decisiones

# Modo 2 - Analítico

- Capacidad de procesamiento lógico-formal
- Razonamiento deductivo
- Conectivas del cálculo proposicional, lógica modal, lógicas borrosas
- Detección de falacias, paradojas

## Otras:

- Creación de escenarios
- Rol de la imaginación, visualización espacial

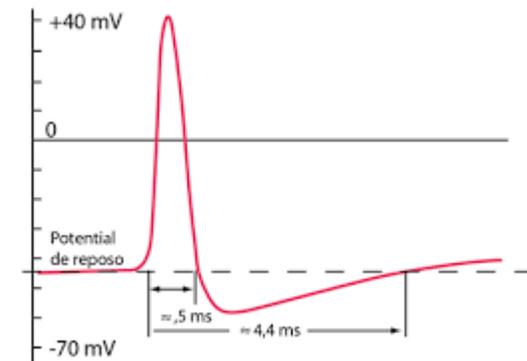
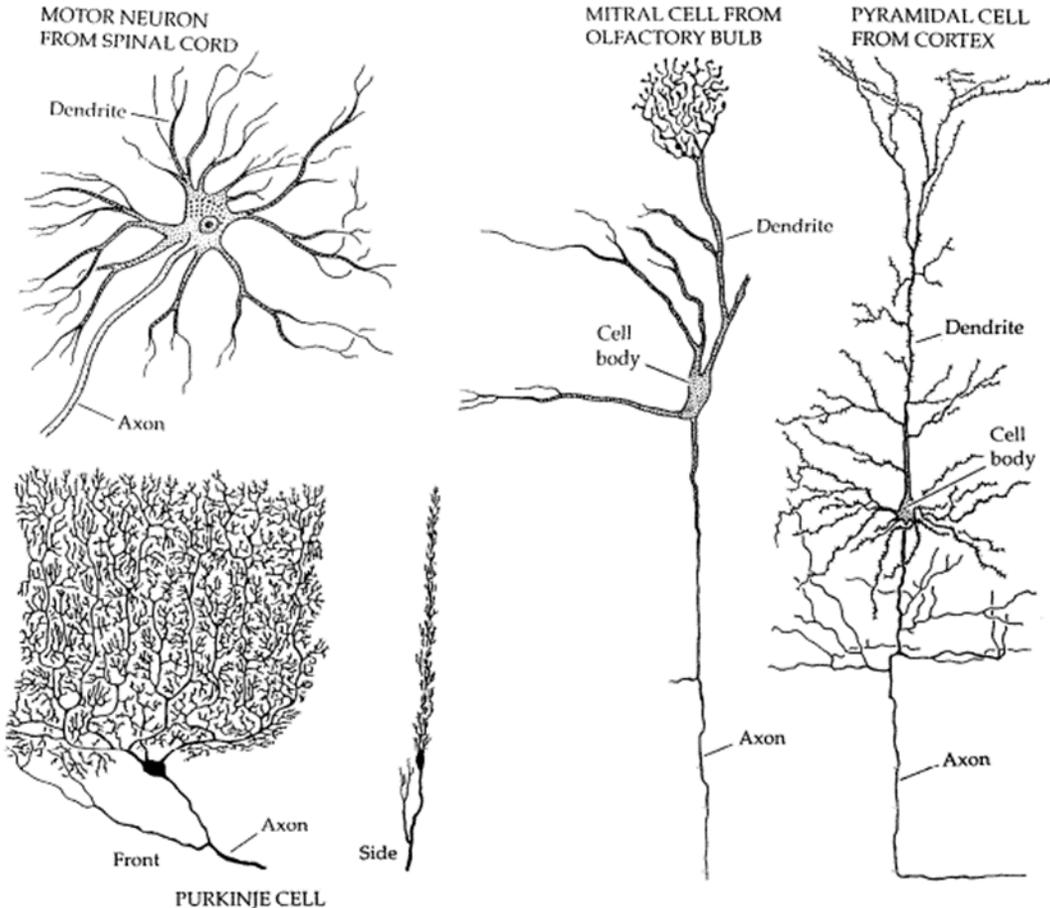
# Interacción con 'otros'

- Generación de subjetividad, un 'yo'
- Fuerte interacción con Núcleo básico familiar [- 4 o 5 años]
- El juego
- La escolarización
- Integración en la manada
- Formación de parejas

# ELEMENTOS BÁSICOS

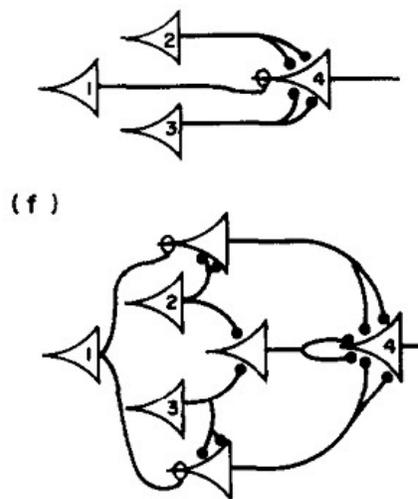
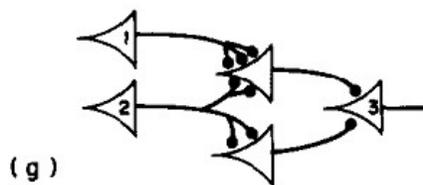
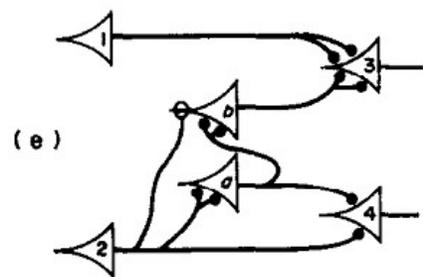
## • NEURONAS

- Células – número:  $10^{11}$
- Polarización funcional:
  - Dendritas – Soma – Axones
  - Información retrógrada
- Conexiones (sinapsis)  $10^4$
- Señales electroquímicas de base molecular



# Modelo de McCulloch-Pitts (1943)

- Primer modelo formal de neurona



*Annals of Mathematical Biology* Vol. 12, No. 1/2, pp. 39-115, 1946.  
Printed in Great Britain.

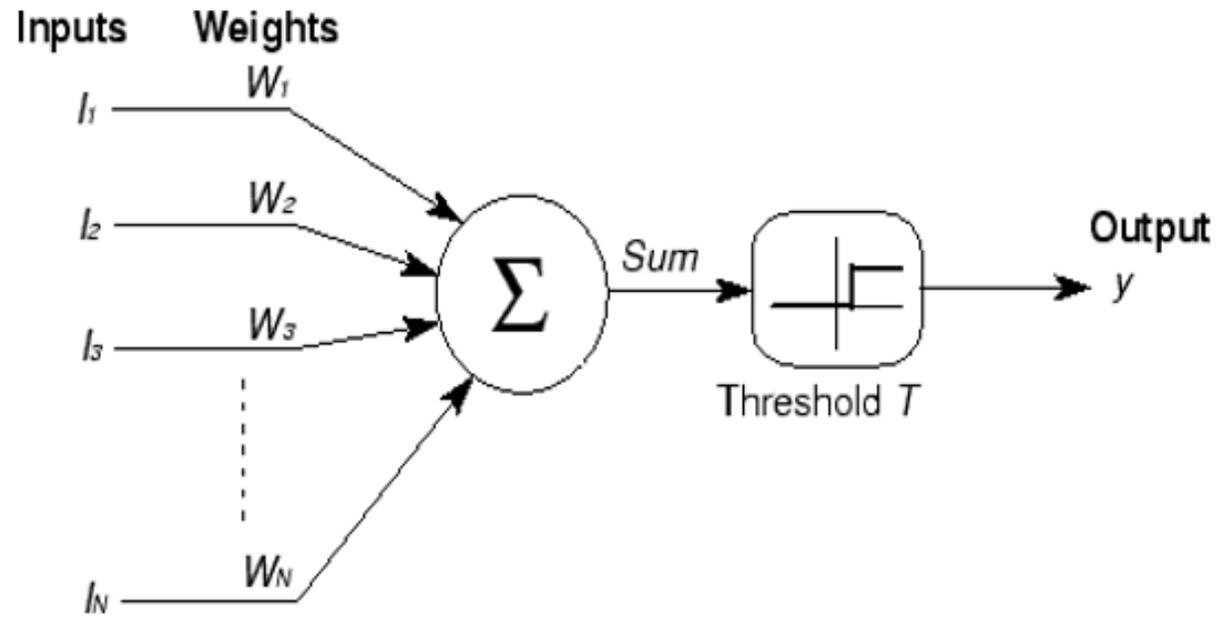
0003-0240/9023-00-0-00  
Programs Press plc  
Society for Mathematical Biology

## A LOGICAL CALCULUS OF THE IDEAS IMMANENT IN NERVOUS ACTIVITY\*

■ WARREN S. MCCULLOCH AND WALTER PITTS  
University of Illinois, College of Medicine,  
Department of Psychiatry at the Illinois Neuropsychiatric Institute,  
University of Chicago, Chicago, U.S.A.

Because of the "all-or-none" character of nervous activity, neural events and the relations among them can be treated by means of propositional logic. It is found that the behavior of every net can be described in these terms, with the addition of more complicated logical means for nets containing circles; and that for any logical expression satisfying certain conditions, one can find a net behaving in the fashion it describes. It is shown that many particular choices among possible neurophysiological assumptions are equivalent, in the sense that for every net behaving under one assumption, there exists another net which behaves under the other and gives the same results, although perhaps not in the same time. Various applications of the calculus are discussed.

**1. Introduction.** Theoretical neurophysiology rests on certain cardinal assumptions. The nervous system is a net of neurons, each having a soma and an axon. Their adjunctions, or synapses, are always between the axon of one neuron and the soma of another. At any instant a neuron has some threshold, which excitation must exceed to initiate an impulse. This, except for the fact and the time of its occurrence, is determined by the neuron, not by the excitation. From the point of excitation the impulse is propagated to all parts of the neuron. The velocity along the axon varies directly with its diameter, from  $< 1 \text{ ms}^{-1}$  in thin axons, which are usually short, to  $> 150 \text{ ms}^{-1}$  in thick axons, which are usually long. The time for axonal conduction is consequently of little importance in determining the time of arrival of impulses at points unequally remote from the same source. Excitation across synapses occurs predominantly from axonal terminations to somata. It is still a moot point whether this

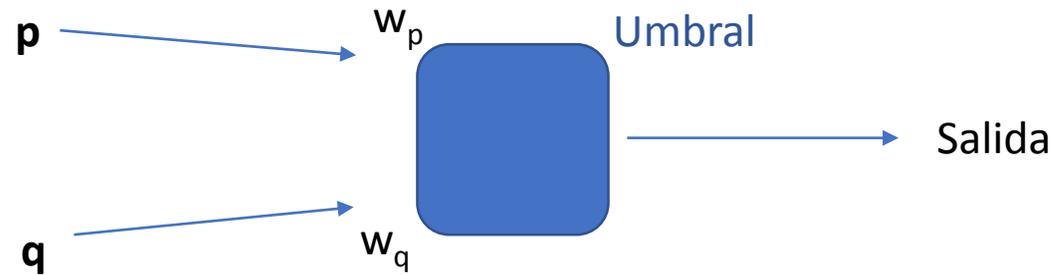


$$\text{output}(i) = \phi \left[ \sum_j w_{ij} I_j - \theta_i \right]$$

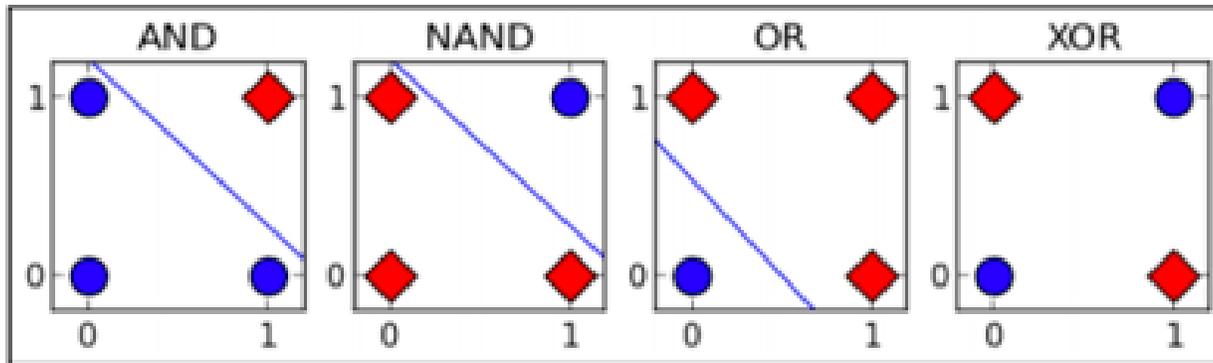
$\theta_i$ : umbral

$$\phi[x] = \begin{cases} 1 & \text{if } x \geq 0 \\ 0 & \text{if } x < 0 \end{cases}$$

# Representación de funciones Booleanas

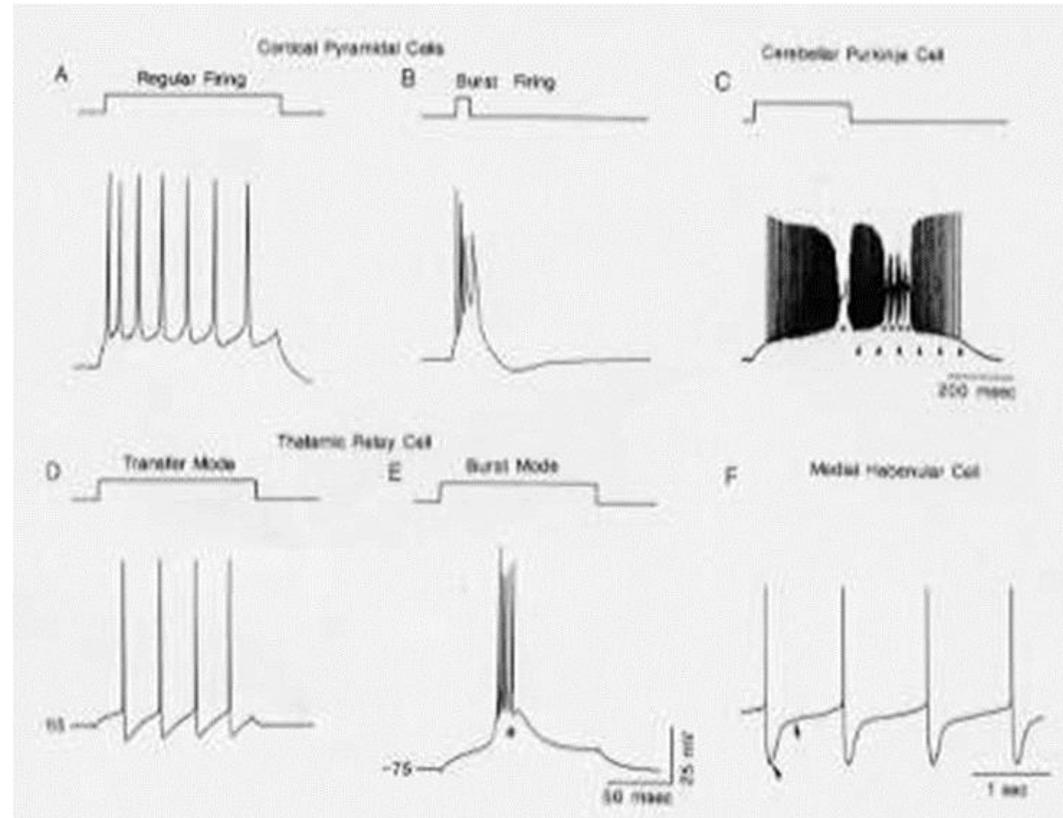
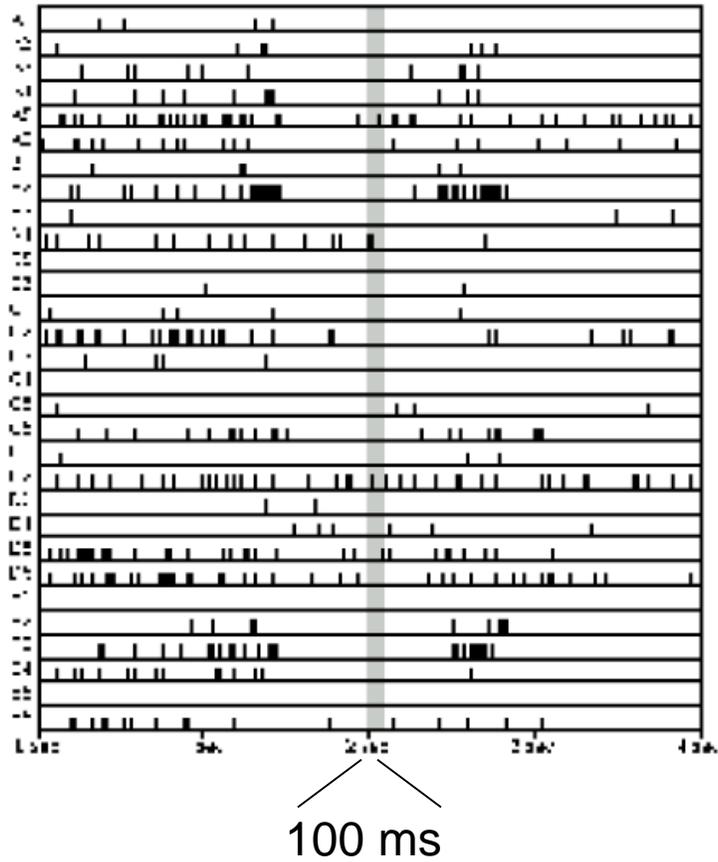


p	q	Salida
1	1	
1	0	
0	1	
0	0	

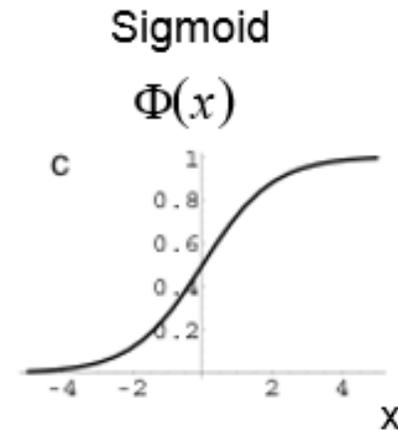
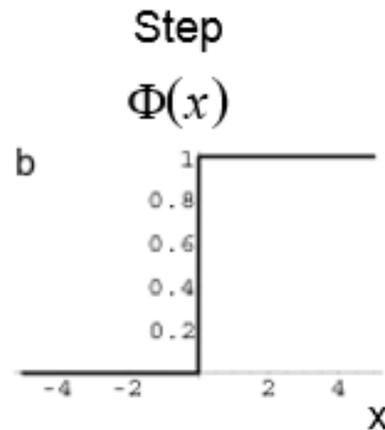
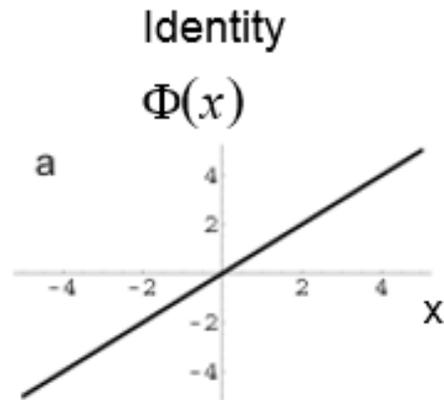


**El problema del o-exclusivo**

# Actividad de una neurona



# Distintas funciones de transferencia



## **Sigmoid function:**

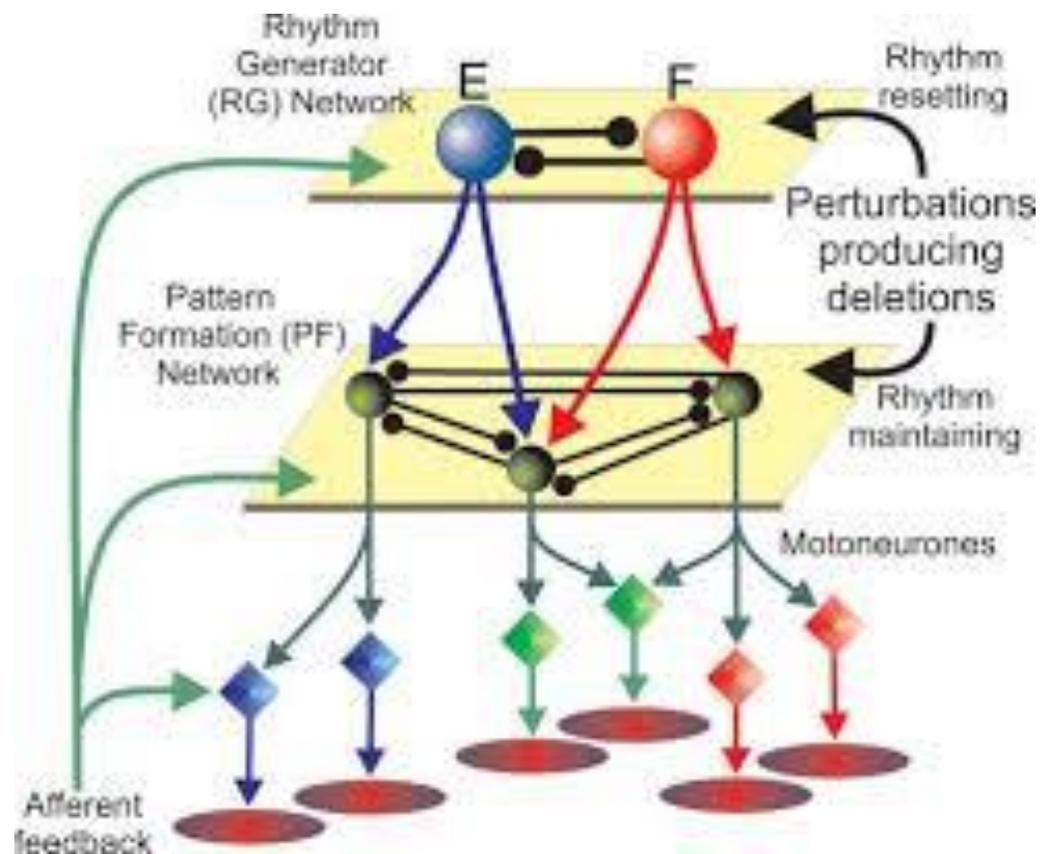
- continuous
- non-linear
- monotonic
- bounded
- asymptotic

$$\Phi(x) = \frac{1}{1 + e^{-kx}}$$

$$\Phi(x) = \tanh(kx)$$

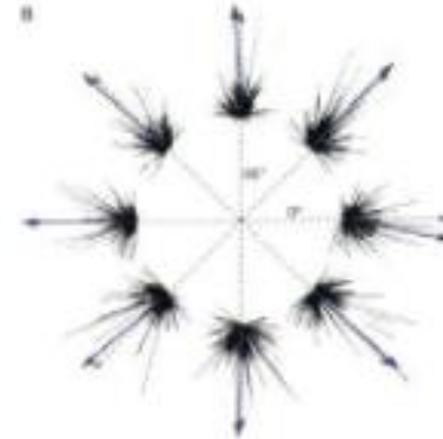
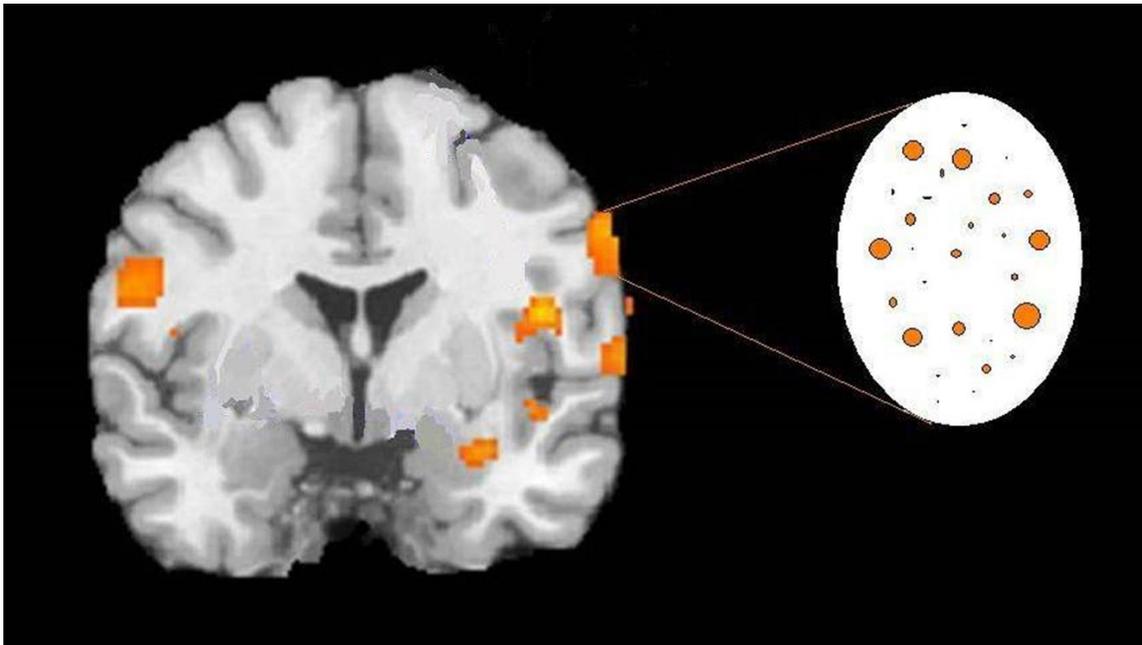
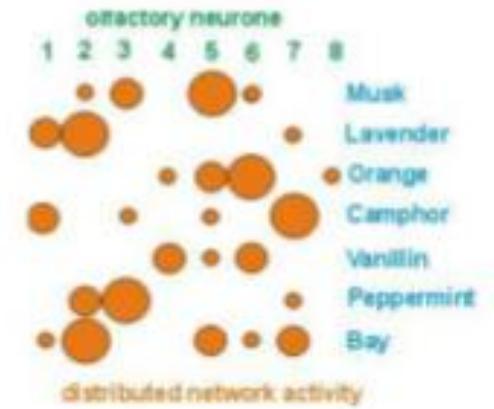
# PEQUEÑOS CIRCUITOS

- Central Patterns Generators



# Nivel cognitivo: POBLACIONES

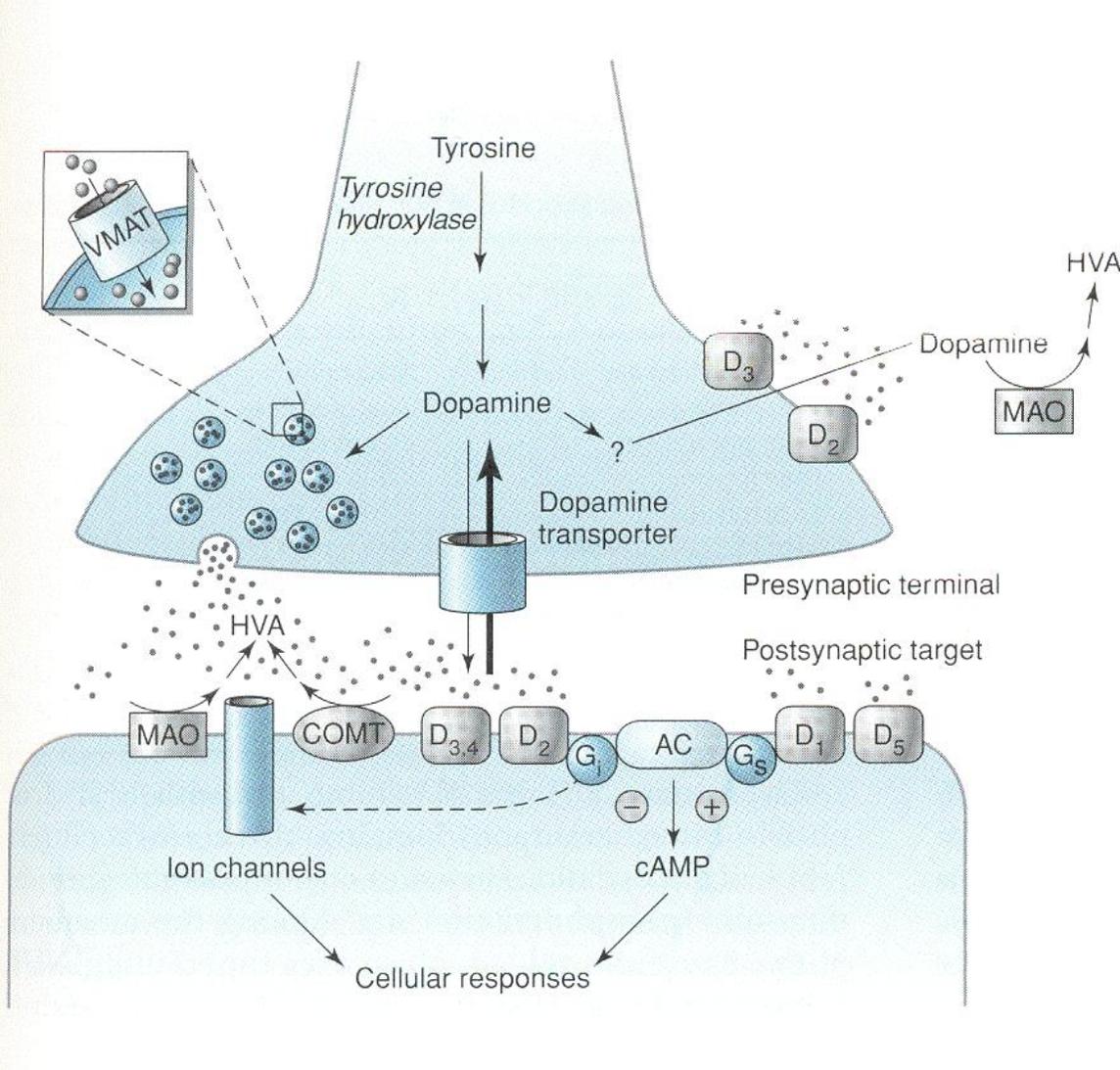
- Patrón de actividades de poblaciones de neuronas
- **Códigos poblacionales** - vectoriales



Actual direction of movement can be predicted by the vector sum of multiple neurons:

- Each vector represents one neuron
- Vector direction: preferred direction of the neuron
- Vector length: firing rate of that neuron during the trial

# SINAPSIS



**Pre-sinapsis**

**Post-sinapsis**

# Mecanismos básicos de aprendizaje

Los mecanismos de aprendizaje consisten en la modificación de las sinapsis a partir de la experiencia

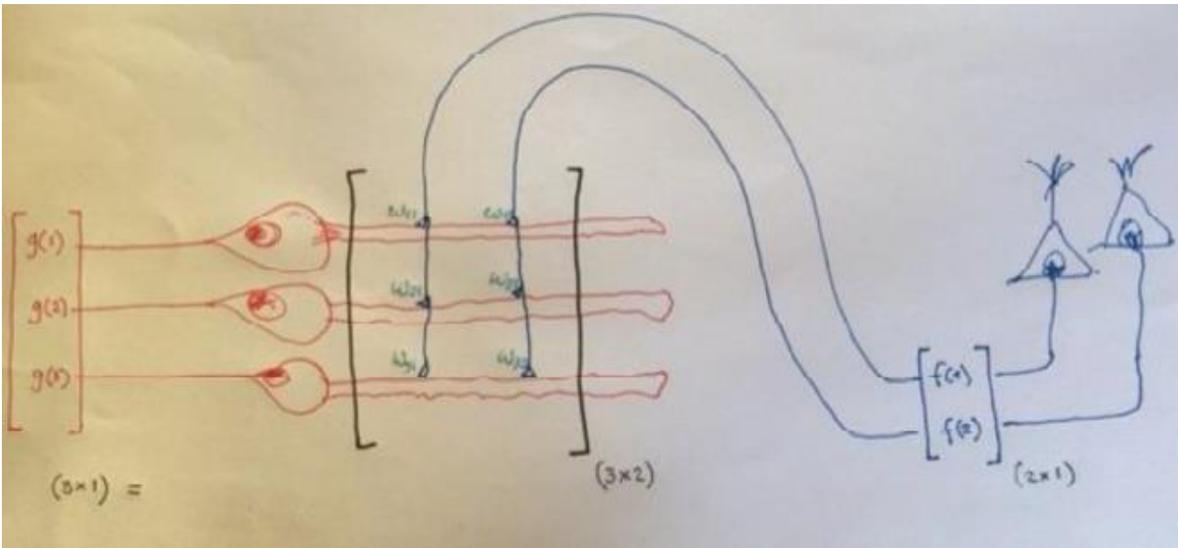
- Regla de Hebb (1949)

*Una sinapsis es reforzada si consistentemente la actividad de la célula aferente contribuye a que la célula postsináptica dispare.*



Expresión mínima:  $w_{XY} = xy$   
 $\Delta w_{XY} = w_{XY} + \eta xy$

# Permite asociar patterns de actividad neural



Si las sinapsis son Hebbianas...

Los pesos sinápticos son los componentes de la matriz  $W$

- $w_{11} = g(1).f(1) \dots$

$$w_{ij} = g(i).f(j)$$

- Observemos que los componentes de la matriz son los componentes del producto externo:  $g f^T$

Es decir que  $W = g f^T$

- $W f = g f^T f$  - Analicemos  $f^T f$  -  $f^T$  es un vector fila, es decir que  $f^T f$  es  $\langle f, f \rangle$
- $W f = g \langle f, f \rangle$  es decir que ante la entrada  $f$  aprendió a asociar la salida  $g$

- Perceptrón y regla delta

**Perceptrón:** Una capa de neuronas de McCulloch-Pitts, pero con pesos modificables (Rosenblatt, 1962)

**Regla delta (Widrow-Hoff) - Aprendizaje supervisado:**

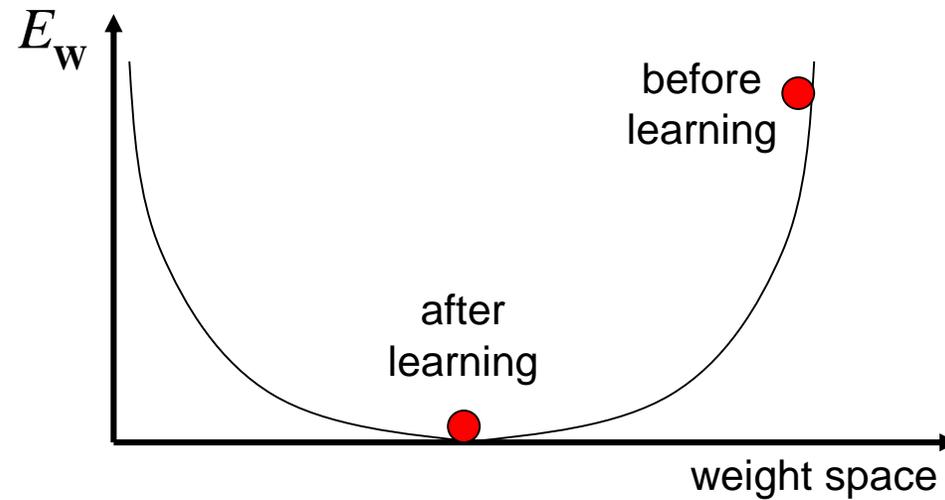
- Se comienza con pesos aleatorios
- Ante un estímulo, se compara la salida real de la red  $y_i$  con la salida deseada  $t_i$
- Se modifican los pesos de modo de disminuir esta diferencia

$$y_i = \sum_j w_{ij}x_j$$
$$\delta_i = (t_i - y_i)$$
$$\Delta w_{ij} = \eta \delta_i x_j$$
$$w_{ij}(t + 1) = w_{ij}(t) + \Delta w_{ij}$$

# Función de Error

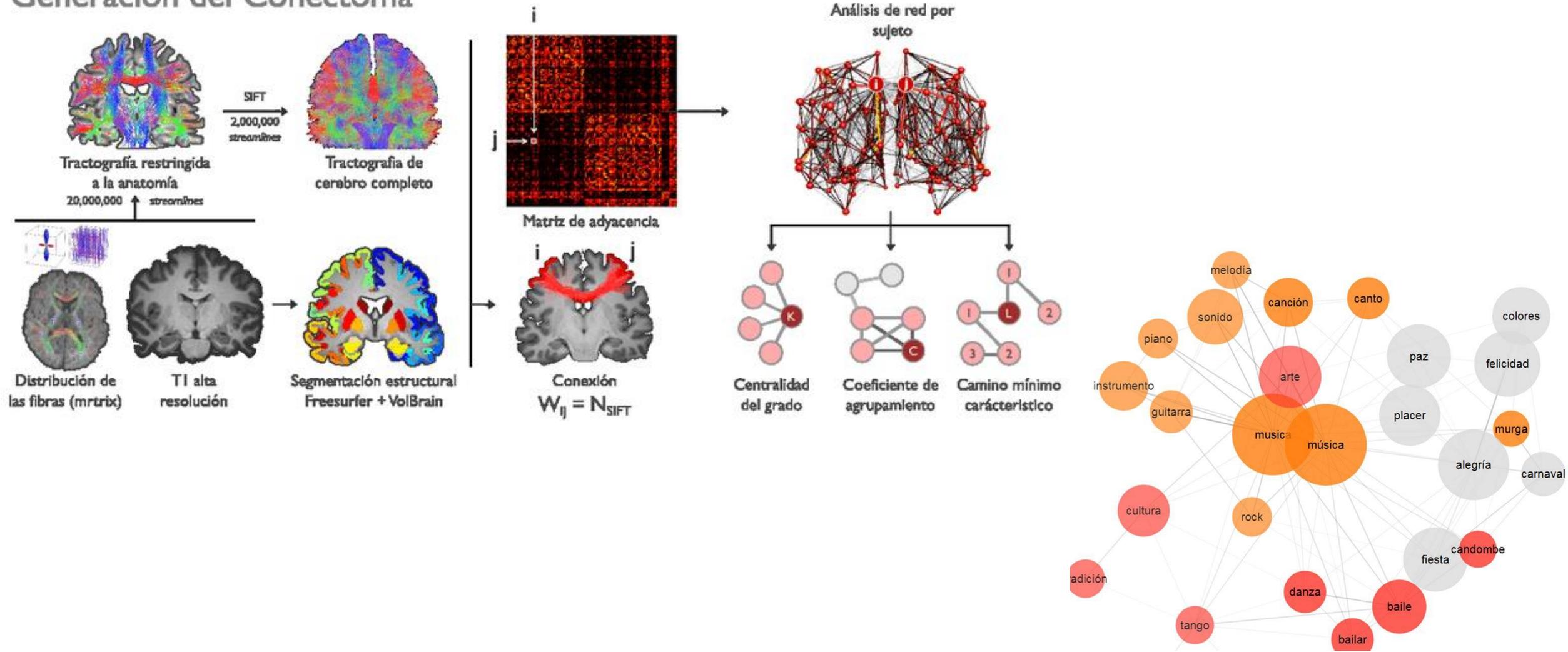
La regla delta modifica los pesos de tal manera que se desciende en el gradiente de la función de error

$$E_w = \frac{1}{2} \sum_{\mu} \sum_i \left( t_i^{\mu} - \sum_{j=0} w_{ij} x_j \right)^2$$



# CONECTIVIDAD neural y asociativa

## Generación del Conectoma



Continuará JCVL