

De las redes neurales a la ingeniería civil. Parte 1

Conceptos básicos. Redes biológicas. La memoria.

Conceptos básicos

Referencia

Mike Boyle, Bill Indge, Kathryn Senior. *Human Biology*. Published by Collins Educational. London, 2001.

Células

Un cuerpo humano contiene cerca de 50 millones de millones de células. Cada día nuevas células de la piel reemplazan aquellas que se pierden, nuevas células de la sangre sustituyen a aquellas que mueren, así como nuevas células reemplazan otras del sistema digestivo.

Las células individuales son extremadamente complejas tanto en su estructura como en su función (ver Figura 1). Incluso una bacteria -que es un organismo unicelular- tiene mayor complejidad que el fluido que la rodea.

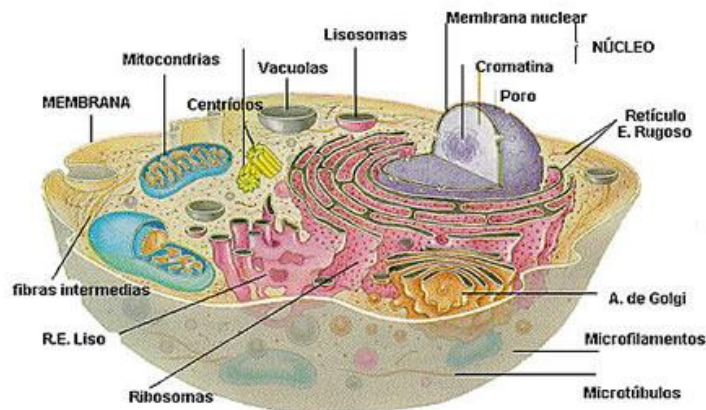


Figura 1. Célula y órganos componentes

La teoría moderna sobre células reconoce las siguientes ideas centrales.

- La célula es la unidad independiente más pequeña de vida.
- La célula es la unidad básica viva de todos los organismos: todos los organismos están hechos de una o más células.
- Las células surgen de otra célula por división celular. Ellas no pueden surgir espontáneamente.

Como excepción a estas apreciaciones están los virus: no tienen estructura u organización celular y, según la referencia, se discute si realmente son organismos vivos.

Igualmente los organismos pueden ser clasificados según su organización celular. Con excepción de los virus, todos los organismos pueden ser:

Procarióticos Como el caso de las bacterias. Las células son relativamente simples, no tienen núcleo separado y muestran escasa organización.

Eucarióticos Las células son más grandes y muestran a su interior una mayor organización interna. Es el caso de animales, plantas, hongos.

Respecto a los tamaños, las células (y las moléculas que contienen) son muy pequeñas, requiriéndose el uso de micrómetros y nanómetros (tanto para la célula como los *órganos celulares* -también llamados *organelos*- constitutivos) (Ver Figura 2).

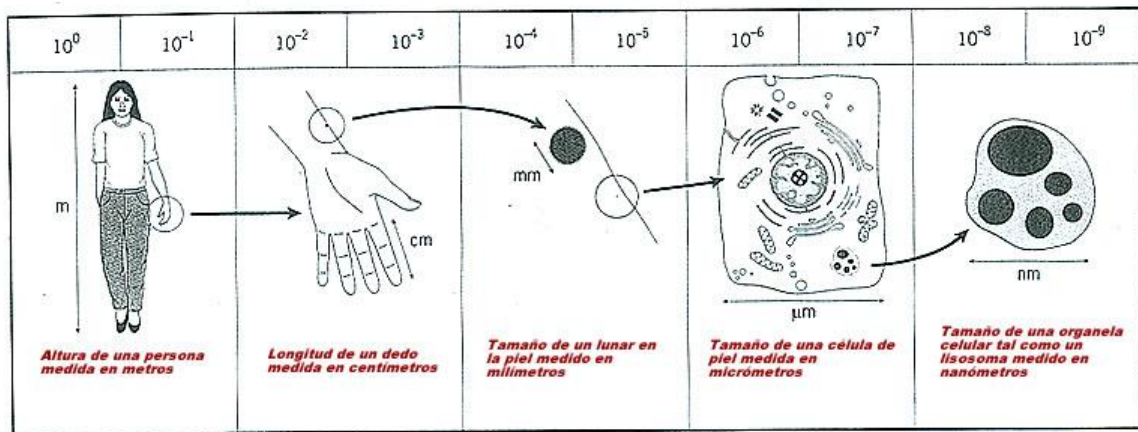


Figura 2. Ilustración de tamaños y medidas

Complejidad del organismo humano

Los humanos, como los organismos grandes, son multicelulares. Nuestro cuerpo es un complejo sistema organizado en órganos y tejidos especializados que interactúan y cooperan para mantener todas las células del cuerpo humano en el mejor ambiente posible. Esta organización se da en diferentes niveles según se ilustra en la Figura 3.

Diferentes grupos de células cumplen diferentes tareas y funciones: son diferenciadas y llegan a ser especializadas. Llevan adelante funciones específicas para el éxito del organismo, lo cual es conocido como la división del trabajo. Es el caso de la sangre humana, la cual contiene dos tipos de células: las rojas y las blancas. Las células rojas son relativamente simples que transportan oxígeno de los pulmones a los tejidos del cuerpo, no contienen núcleo ni mitocondrias. Las células rojas exceden a las blancas en proporción 700 a 1. Las células blancas se encuentran en todo el cuerpo, pueden moverse entre células y pasan libremente en y fuera de la circulación. Cumplen también una función de defensa e inmunidad.

Las **proteínas** son moléculas complejas y grandes. Además del carbón, hidrógeno, y oxígeno, las proteínas también contienen nitrógeno y a veces sulfuro. Los bloques de las proteínas son los **aminoácidos** con una estructura central conformada por los tres átomos C-C-N. Cuando los aminoácidos se ensamblan en una cadena corta se forman **péptidos**. Las cadenas más largas son conocidas como **polipéptidos**. El término proteína es reservado a la molécula funcional,

acabada. Algunas proteínas pueden consistir en un polipéptido, otras en dos y otras en más de dos.

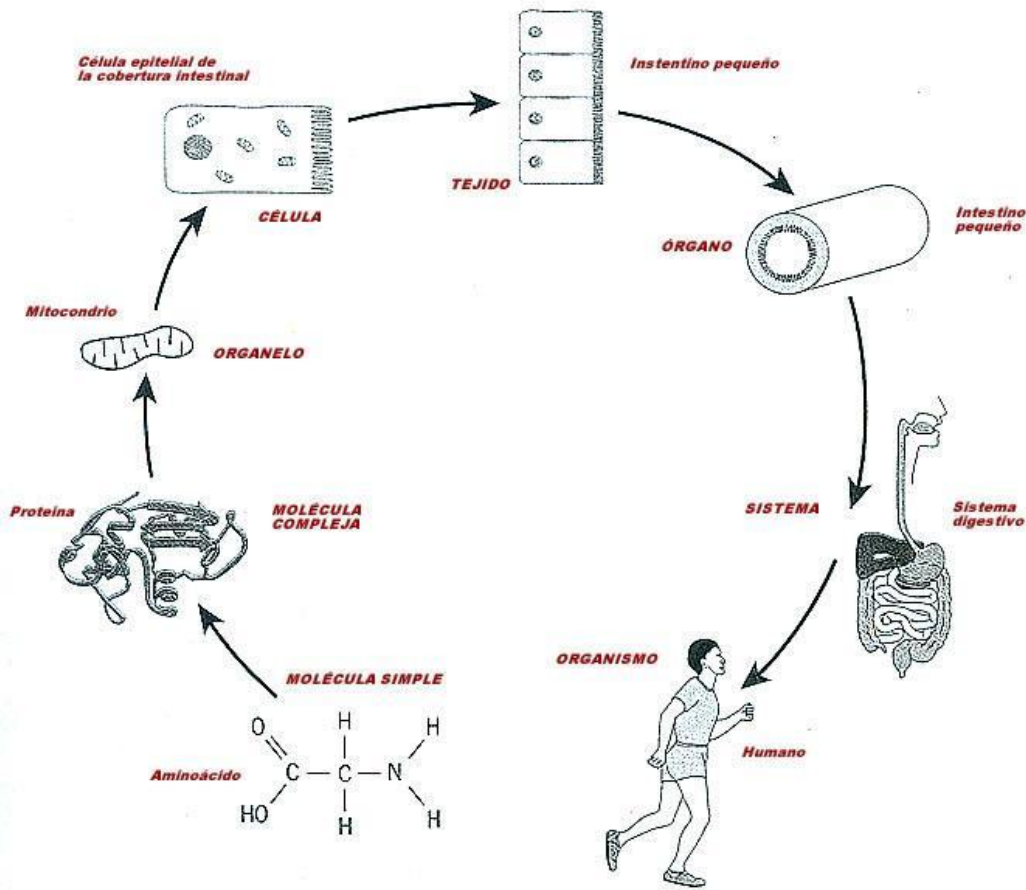


Figura 3. Niveles de organización de los elementos componentes del cuerpo humano

También se resalta el caso de los **tejidos** (epitelial, conectivo, muscular, y nervioso) como una colección de células similares especializadas que trabajando juntos cumplen funciones particulares. Al combinarse los tejidos se conforman estructuras complejas llamadas **órganos**.

Además se reconocen como principales **sistemas** (conformados por conjuntos de órganos) los siguientes: el sistema digestivo, el sistema excretorio, el sistema respiratorio, el sistema circulatorio, así como los músculos, esqueleto, y sistema nervioso.

Progresivamente los efectos del envejecimiento se manifiestan en diferentes formas. La piel como un tejido elástico pierde elasticidad. Los efectos mayores se presentan en los sistemas principales del cuerpo humano conduciendo a problemas circulatorios, de memoria, de respiración, así como de movilidad. Una de las teorías del proceso de envejecimiento es que llegan a ser menos eficientes los mecanismos de corrección en el ADN, y las nuevas células resultan incapaces de cumplir su función. Otra teoría tiene que ver con las limitaciones de las células envejecidas para colapsar a los radicales libres, los cuales comienzan a atacar a las estructuras celulares, causándoles daño y muerte.

Estímulo, sensación, y percepción

Estímulo	Es usualmente una forma de cambio de energía que puede ser detectada con nuestros receptores. Pueden ser estímulos mecánicos (como la presión, el contacto, y movimiento del aire), estímulos térmicos (como el calor y el frío), estímulos luminosos, y estímulos químicos (como el sabor, el olor, y la concentración de dióxido de carbono u oxígeno en la sangre).
Sensación	Es la manera cómo se conoce un estímulo. A los cinco sentidos tradicionales (oir, ver, gustar, oler, y tocar) se conocen ahora una mayor cantidad de sensaciones.
Percepción	Es la interpretación de los estímulos por el cerebro. Estrictamente la percepción de un estímulo es diferente de su sensación pues implica la valoración del mismo (muchos estímulos pueden ser ignorados, por ejemplo para la atención de los más urgentes).

El sistema nervioso

El *sistema nervioso* (Figura 4) está constituido por células especializadas que permiten que las diferentes partes del cuerpo humano se comuniquen, y pueda responder apropiadamente a las condiciones externas e internas a través de:

Conseguir información. Los órganos sensores llamados *receptores* detectan estímulos del ambiente interno y externo.

Transmitir información sensorial al *sistema nervioso central (conformado por el cerebro y el cordón o médula espinal)* por medio de los nervios sensoriales en el sistema aferente.

Coordinar información. La información que ingresa viaja al cerebro vía el cordón espinal. El cerebro decide lo que hay que hacer y lo hace basado en la memoria (los resultados de experiencias pasadas).

Transmitir información vía los nervios eferentes o nervios motores hacia el *sistema nervioso periférico*. El sistema eferente se divide en el sistema somático (hacia la piel, músculos voluntarios, tendones, articulaciones, ojos, lengua, nariz, y oídos) y el autónomo (recibe información de las vísceras y del medio interno para actuar sobre sus músculos, glándulas y vasos sanguíneos).



Figura 4. Organización del sistema nervioso humano

Controlar las funciones como los latidos del corazón, la respiración, la digestión, y el flujo sanguíneo. El sistema nervioso autónomo es controlado en los ramales simpático y parasimpático (Figura 5).

Transmitir información a los efectores: los músculos y las glándulas. Los impulsos pasan desde el sistema nervioso central a los efectores vía los nervios motores.

La neurona

La unidad básica del sistema nervioso es una célula especializada llamada **neurona**. Se trata de células **excitables**; esto es, que pueden detectar y responder a estímulos. También son **conductivas**, lo cual significa que pueden transmitir impulsos de una parte a otra del cuerpo humano.

El impulso nervioso es más que un cambio en el balance iónico de la célula nerviosa el cual se esparce rápidamente de un extremo a otro. También es más que una señal eléctrica. Cuando el impulso nervioso alcanza el final de la neurona se conecta a otras en una unión llamada **sinapsis**. El total del sistema nervioso se comunica por una mezcla de señales químicas y eléctricas, lo cual permite que la información viaje con mayor velocidad y precisión.

El cuerpo celular de la neurona contiene **citoplasma**, un gran **núcleo**, y otros **organelos**. Con el auxilio de **dendritas** y un largo **axón**, la neurona se conecta con las neuronas vecinas. Las dendritas conducen impulsos **al** cuerpo celular, mientras que el axón los conduce **hacia** otras neuronas, o a **efectores** como los músculos y las glándulas.

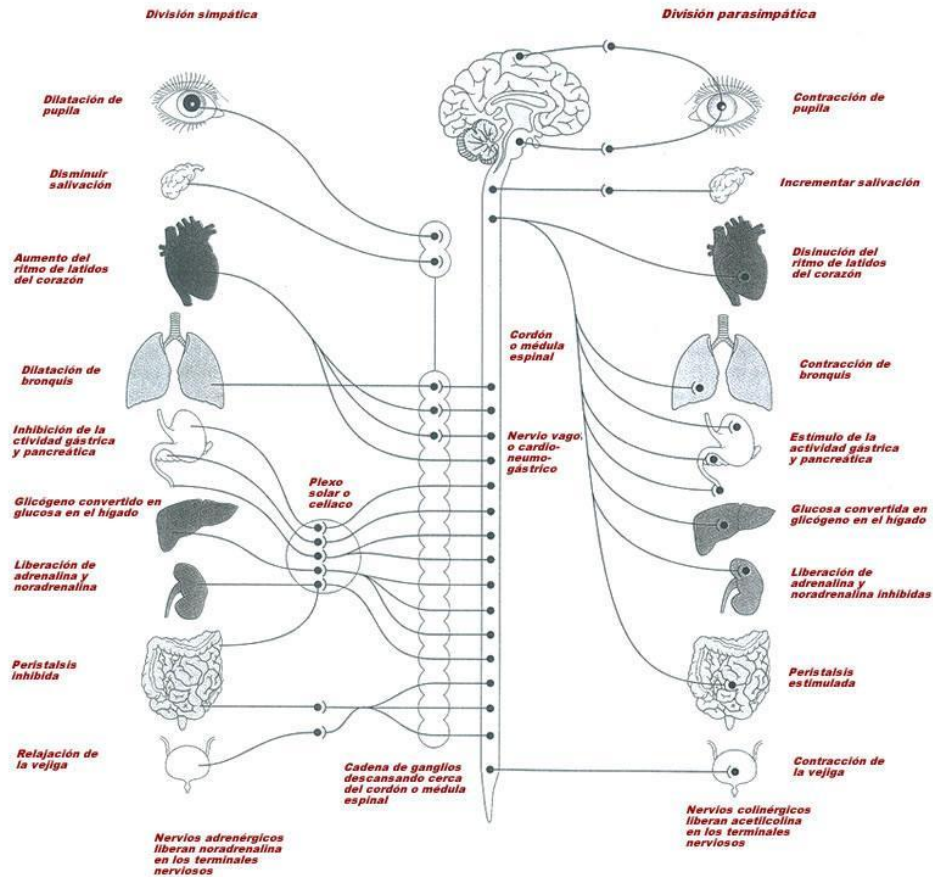


Figura 5. Sistema nervioso autónomo

◆ Tipos de neuronas

Las neuronas pueden ser clasificadas de acuerdo a los procesos que ellas conducen (Figura 6).

Las **neuronas unipolares** Tienen un solo proceso que al salir del cuerpo celular se divide en dos ramales: una dendrita y un axón. La neurona sensorial tiene una dendrita proveniente de diferentes partes del cuerpo y un axón hacia la médula espinal.

Las **neuronas bipolares** Tienen dos procesos: el que llega de la dendrita y el que sale del axón. Ocurren en la retina del ojo, en el oído interno, y en los nervios receptores del olfato.

Las **neuronas multipolares** Tienen muchos procesos que llegan al cuerpo celular y un axón. Son muy comunes en el cerebro y en la médula espinal.

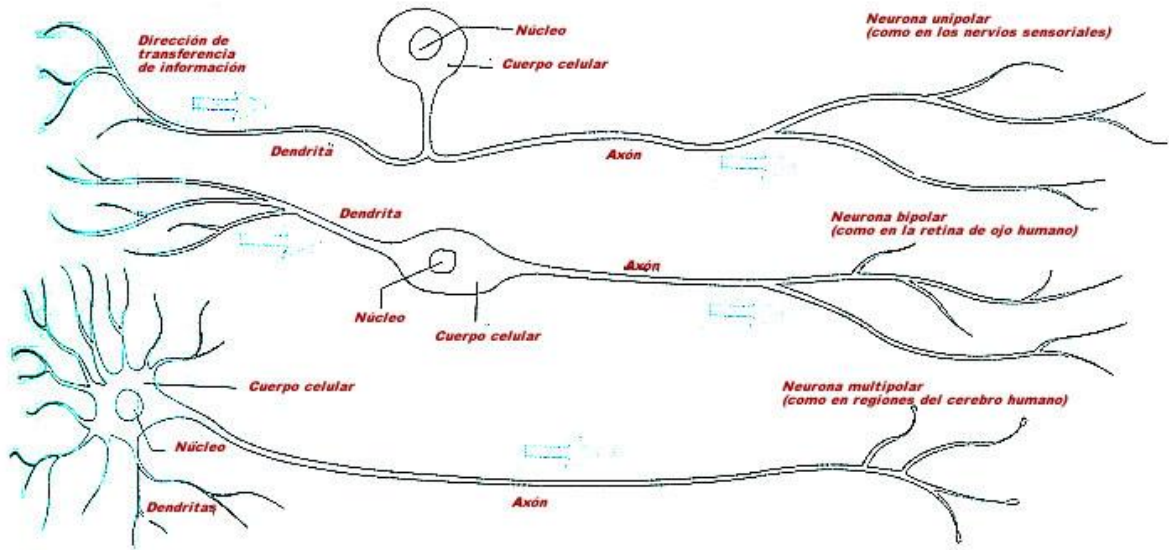


Figura 6. Diferentes tipos de neuronas

♦ La neurona en descanso

El estado en el cual la neurona espera lista para conducir impulsos se llama de **descanso potencial**. En esta situación el axón es **polarizado**, lo cual significa que su interior es cargado negativamente en relación con el exterior, con una diferencia de carga de cerca de -70 mV . Esta diferencia resulta de una desigual distribución de iones conocida como **gradiente electroquímico**. Este desbalance se genera por la expulsión de iones Na^+ al exterior del axón, y el transporte de iones K^+ hacia el interior del axón, y el desigual comportamiento de estos iones.

♦ La neurona en acción

Como **acción potencial** se entiende como **impulso nervioso** al proceso inverso del descanso potencial: un cambio que se esparce rápidamente a lo largo del axón. La onda de actividad eléctrica viaja por el axón a gran velocidad.

♦ La sinapsis

Cuando una acción potencial alcanza el final de un axón, pasa a la siguiente neurona o a alguna de las células efectoras. Usualmente el axón (que termina en un bulbo presináptico) no hace contacto directo con la neurona siguiente (llamada postsináptica), pues entre las dos hay un intervalo llamado una **sinapsis**. Este intervalo sináptico es de cerca de 20 nm . El proceso de transmisión de información es gradual.

Las sinapsis:

- Permiten que una información pase de una neurona a otra.
- Ayudan a asegurar que el impulso nervioso viaje en una sola dirección.
- Permiten la excitación o inhibición de la siguiente neurona.
- Pueden amplificar una señal (hacerla más fuerte).
- Protegen a las redes nerviosa a no ser sobre-estimuladas (avisa los estados de fatiga pues de otra manera se puede dañar el músculo o tejido glandular).

- Pueden filtrar estímulos de bajo nivel.
- Ayudan a procesar la información por una acción sumatoria (agregar o juntar los efectos de varios impulsos recibidos).
- Son modificables y pueden formar la base física para la **memoria**.

El proceso de **aprendizaje** es en mucho uno de educación de las sinapsis. Estas permiten que el cerebro de las personas continúe sus sentidos y maneje sus músculos para por ejemplo, tocar un instrumento musical o jugar un deporte.

Referencia

Arthur C. Guyton. *Tratado de Fisiología Médica. Tercera Edición.* Editorial Interamericana, S. A. México. 1969.

La interacción de neuronas en espacios o fondos comunes, según la referencia como es el caso del cerebro y de la médula espinal, adquiere algunas características distinguibles. Por ejemplo, los terminales del axón pueden contactar en grupo a una misma neurona, y en parte a otras cercanas, como se ilustra en la Figura 6-1.

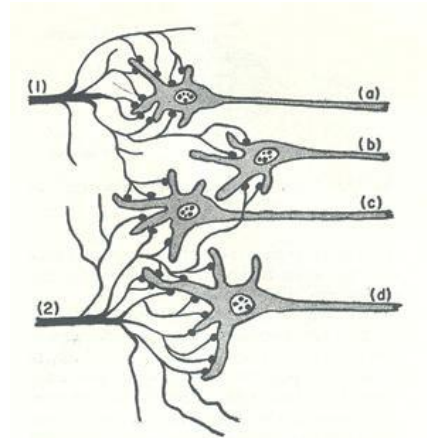


Figura 6-1. Acción de neuronas en un espacio o fondo neuronal común
 Por ejemplo, la neurona 1 acciona con 10 terminales presinápticos para la neurona a, 2 para la neurona b, y 3 para la neurona c.

También un terminal puede concentrar su acción en una zona denominada de descarga, capaz de excitarla. Y además, contactar accesoriamente a otras vecinas, que resultarán facilitadas para acciones conjuntas con otras neuronas participantes.

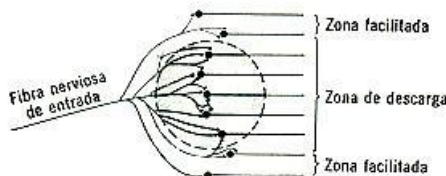


Figura 6-2. Caso de terminales que descargan excitando una zona, y otras que sólo la facilitan.

El sistema nervioso central

El sistema nervioso humano está conformado por el **sistema nervioso central** y el **sistema nervioso periférico**. El sistema nervioso central consiste del **cerebro** y el cordón o **médula espinal**. El primero está protegido por el cráneo, y el segundo por la columna vertebral.

El sistema nervioso periférico conduce información desde los órganos sensoriales al sistema nervioso central, y de ahí se remite información hacia las estructuras que provocan las respuestas: los músculos y las glándulas.

♦ **El arco reflejo**

El arco reflejo es propiamente el recorrido de los nervios involucrados en lo que se conoce como una acción o **respuesta refleja**. Esta constituye una contestación rápida a un estímulo. Es el caso de tocar un objeto caliente con la mano, o de cerrar los ojos ante la cercanía de un insecto. Se trata de la comunicación directa entre neuronas del sistema nervioso periférico y la médula espinal. El cerebro puede ser informado, pero no toma parte en el proceso real.

La Figura 6-3 representa un típico arco reflejo polisináptico en el que una neurona de control retransmisora que emite señales de pase entre las neuronas sensoriales y motoras.

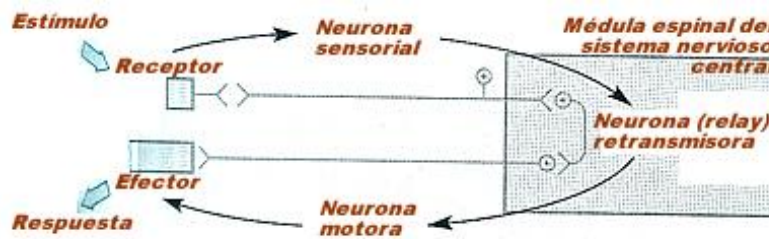


Figura 6-3. Representación esquemática de una acción refleja

Es el caso del circuito provocado por tocar con la mano un objeto caliente. La Figura 6-4 ilustra el recorrido del impulso cuya respuesta es controlada por la médula espinal.

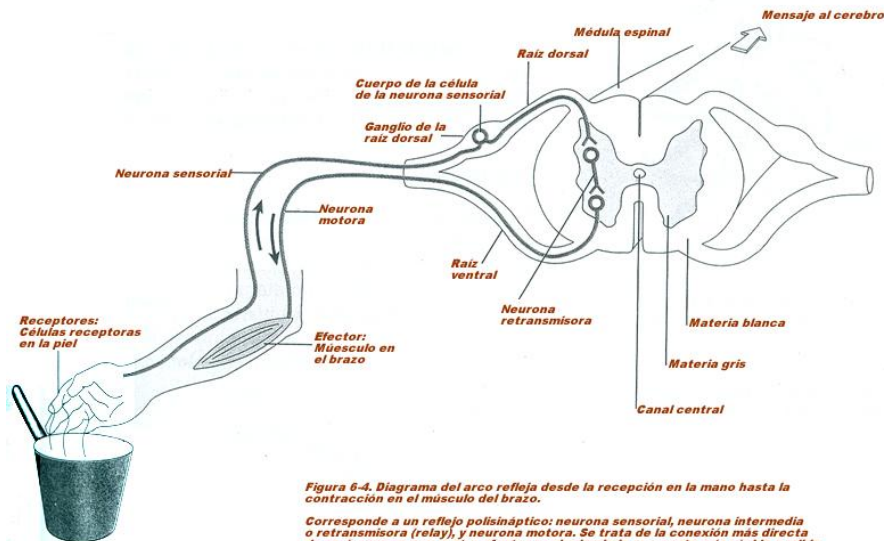


Figura 6-4. Diagrama del arco reflejo desde la recepción en la mano hasta la contracción en el músculo del brazo.
Corresponde a un reflejo polisináptico: neurona sensorial, neurona intermedia o retransmisora (relay), y neurona motora. Se trata de la conexión más directa de un órgano sensor a otro efector produciendo la respuesta más rápida posible.

◆ El cerebro

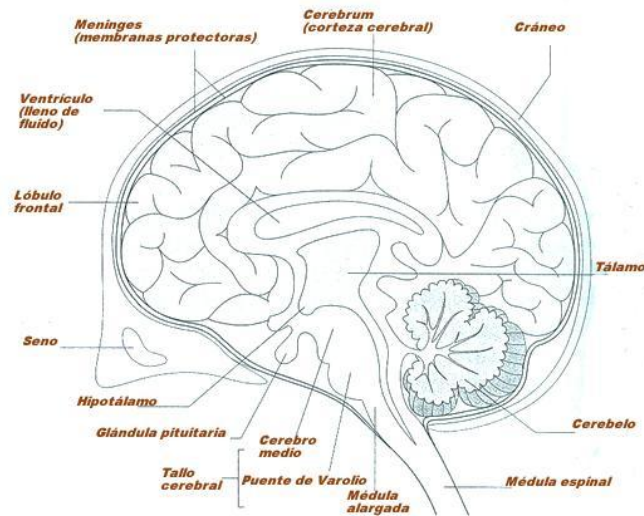


Figura 6a. Áreas principales del cerebro según un corte vertical

El **cerebro** recibe estímulos tanto desde el exterior como del interior del cuerpo humano. De una parte, mantiene **funciones involuntarias** de mantenimiento como los latidos del corazón, el ritmo de la respiración, o el control de la temperatura. También coordina acciones musculares **semiautomáticas** como tragar. Igualmente inicia y controla **actividades voluntarias** como el caminar y correr. Es el centro de las funciones mentales como el razonamiento, la emoción, y la personalidad.

La genética

◆ Campos de la genética

Ciclo celular	Corresponde al estudio de cómo las células se dividen.
Biología molecular	Es la rama de la ciencia que trata con todos los aspectos del ADN, su estructura y funcionamiento.
Genética	Es el estudio de la herencia: de cómo la información genética es pasada de una generación a la siguiente.
Evolución	Observa cómo las especies cambian y se desarrollan con el tiempo.
Ingeniería genética	Es el campo de la tecnología en el cual se manipula la molécula ADN.

Ácidos nucleicos

Los **ácidos nucleicos** son moléculas ligeramente ácidas con contenido de carbón, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, y fósforo. Los ácidos nucleicos se construyen sobre bloques llamados nucleótidos, conformados por tres unidades: (1) un **azúcar** (ribosa o desoxirribosa), (2) un **grupo** de fosfato, y (3) una **base** conteniendo nitrógeno. De ahí el nombre de los dos tipos de ácidos nucleicos: ácido desoxirribonucleico (ADN) y ácido ribonucleico (ARN).

- El **ácido desoxirribonucleico** (ADN) es la macromolécula que lleva el código genético, la información para elaborar las proteínas celulares. La mayoría de las ADN (en una célula eucariótica) se encuentra en el núcleo. Los

nucleótidos en el ADN pueden contener alguno de los siguientes componentes nitrogenados: adenina, guanina, citosina, y tiamina. Ver Figura 7.

- El **ácido ribonucleico** (ARN) contiene los mismos componentes excepto uracilo en vez de tiamina. Entre las tres formas de ácido ribonucleico está el ARN **mensajero** (mARN) considerado como una copia móvil de un gen, o secuencia codificada del gen.

Núcleo y ADN

El núcleo de cada célula humana contiene ADN. Se trata de un juego de alargadas y elaboradas moléculas ADN que se condensan en **cromosomas**. Los genes, como instrucciones individuales, están localizados a lo largo de los cromosomas.

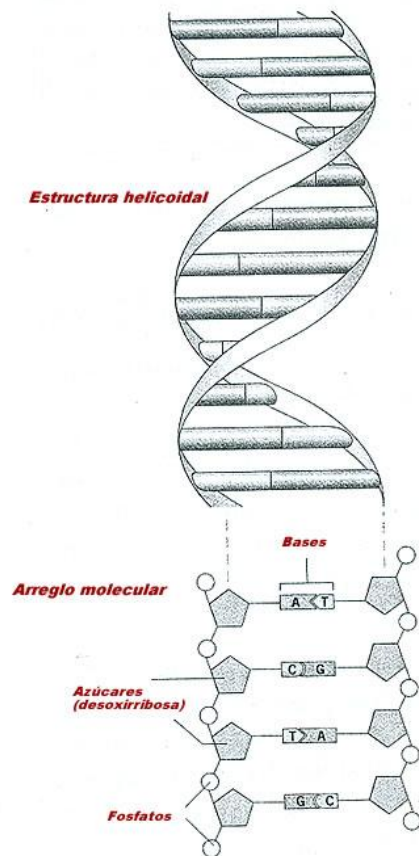


Figura 7. Estructura y arreglo molecular del ADN

El gen

El **gen** como una longitud de ADN codifica un polipéptido particular. Cuando la proteína consiste de más de un polipéptido, estos son codificados por más de un gen.

Referencia

Arthur C. Guyton. *Tratado de Fisiología Médica. Tercera Edición.* Editorial Interamericana, S. A. México. 1969.

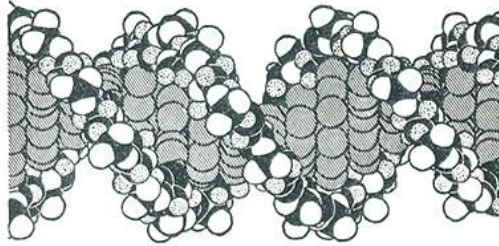


Figura 7a. Estructura helicoidal de doble cinta del ADN

Las cintas externas están formadas por ácido fosfórico y el azúcar desoxirribosa. Las moléculas intermedias conectando a las dos cintas constituyen las bases formadas por purinas (adenina y guanina) y pirimidinas (timina y citosina). Un segmento codificado de ADN conforma un gen.

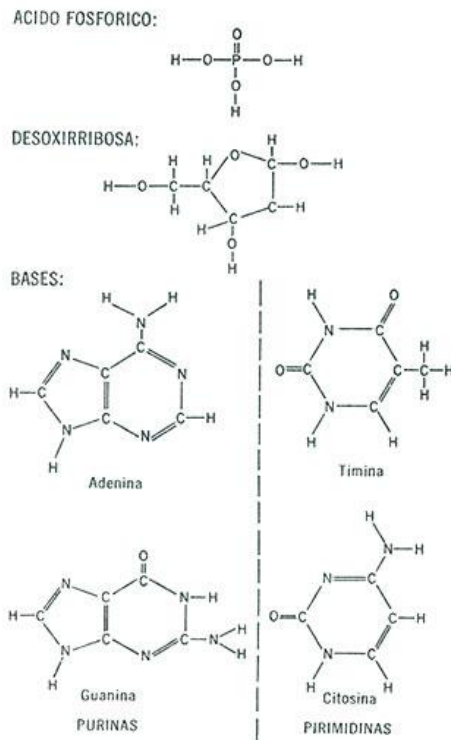


Figura 7b. Componentes de las cintas helicoidales y de las bases que las interconectan

En relación con el código de genes, la genética expresa el siguiente dogma central:

El ADN de un gen se codifica para la producción de un ARN mensajero (mARN), el cual a su vez, se codifica para la producción de un polipéptido. Ver Figura 7c.

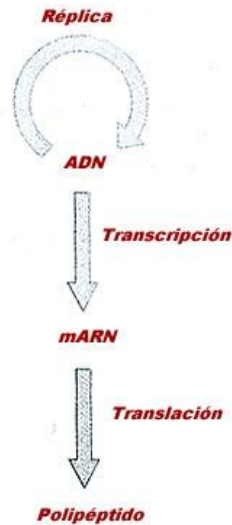


Figura 7c. Concepto central de la biología molecular

La secuencia de base de un gen particular es copiada o **transcrita** para producir una plantilla ARN mensajero (mARN).

La plantilla mARN sale del núcleo y se mueve a los ribosomas donde es leído, o **trasladado**, a un polipéptido.

Redes biológicas

Referencia

Uri Alon. *An Introduction to Systems Biology. Design Principles of Biological Circuits*. Chapman & Hall/CRC. Taylor and Francis Group. London, UK. 2007.

Cada interacción bioquímica está organizada al detalle conformando redes complejas, pero en despecho a ello los científicos han intentado discernir principios generalizables sustentados en tecnología experimental buscando información detallada y completa. Los estudios buscan formular leyes generales que resulten aplicables a las redes biológicas. Los circuitos biológicos tienen como estilo definido el de sistemas que cumplen funciones claras.

A juicio del autor, los sistemas biológicos contienen una simplicidad inherente, con principios comprensibles para el hombre.

Representación de redes biológicas

La célula está integrada por varios miles de tipos de proteínas interactuando. Cuando enfrentan diferentes situaciones requieren de diferentes proteínas. Cuando está dañada, la célula produce proteínas de reparación. Continuamente monitorea su ambiente y calcula la cantidad de cada tipo de proteína que necesita. El procesamiento de esta información, incluyendo la velocidad necesaria de producción de cada proteína, es llevada a cabo por **redes de transcripción**.

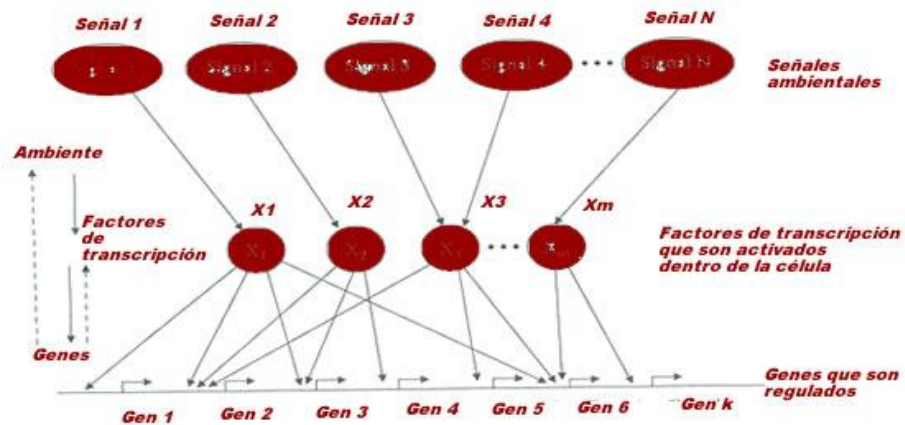


Figura 8. Mapa de señales ambientales, factores de transcripción, y genes

Las señales ambientales activan proteínas factores de transcripción, los cuales se adhieren al ADN para cambiar la tasa de transcripción de determinados genes, la tasa en la cual el mRNA es producido. El mRNA es entonces trasladado en proteínas, que se constituyen en factores de transcripción que a su vez afectan el ambiente.

Las células viven en ambientes complejos y pueden sentir diferentes señales, incluyendo parámetros físicos como temperatura, presión, señales biológicas de otras células, nutrientes benéficos, y químicos dañinos. Las células responden a estas **señales** produciendo proteínas apropiadas que actúan sobre el ambiente interno o externo. Para representar estos estados ambientales, la célula usa proteínas especiales llamadas **factores de transcripción** como símbolos. En situaciones, el factor de transcripción puede significar “*Mi ADN está dañado*”. Los factores de transcripción se adhieren a regiones específicas del ADN y modulan a un gen o un grupo de genes. Se necesitan de **modelos de redes de transcripción** para expresar las relaciones de regulación de los genes participantes.

Los modelos de redes de transcripción resultan así constituidos por factores de transcripción y genes que interactúan en respuesta a señales ambientales. Su estudio ha conducido a la identificación de **patrones de redes de transcripción**. Los hay de diferente tipo según se ilustra en la Figura 9.

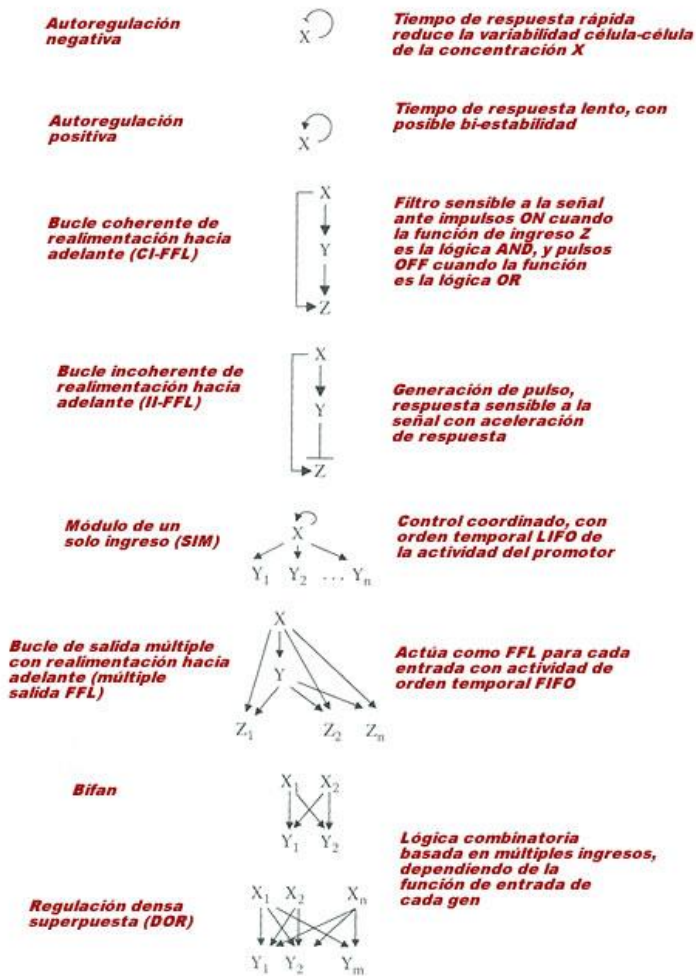


Figura 9. Patrones de redes de transcripción

Estrictamente, estos patrones pueden ser aleatorios en su configuración, y se representan por N nodos y E bordes. Aunque cada borde puede dirigirse a una de dos direcciones, también se admite que puede salir y regresar al mismo nodo. Finalmente, se usan como **módulos** para ensamblar redes de transcripción.

El más simple es el patrón de **autorregulación** o lazo. El factor de transcripción se regula así mismo activándose o inhibiéndose. Si se inhibe, llega a alcanzar un estado estacionario concentrado. Si se activa puede desencadenar un proceso de acumulación hasta un nivel máximo.

El **módulo de un solo ingreso** (SIM, single input module) corresponde a solo factor de transcripción que se autorregula y que regula a un grupo de genes.

En el **bucle de salida múltiple con realimentación hacia adelante** (FFL, feed forward loop), se distingue un grafo interno de tres nodos: dos factores de transcripción (X , Y) y un tercero (Z_n en la Figura 9) que es el gen. Pueden darse varios arreglos de estos triángulos conformando salidas múltiples.

En la *regulación densa superpuesta* (DOR, dense overlapping regulons) se combinan factores de transcripción y genes en alta densidad.

El proceso de transcripción

La transcripción de un gen es un proceso en que la polimerasa ANR (pANR, aquel complejo de proteínas que transcribe el ADN en ARN) produce mANR (la secuencia de codificación del gen). El mARN es entonces trasladado en una proteína también llamada *gen producto*.

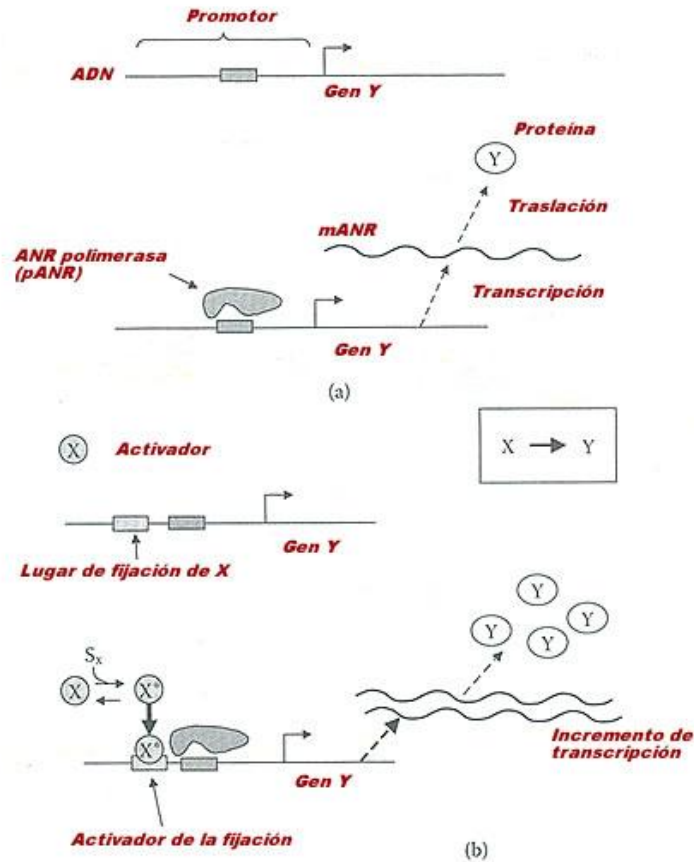


Figura 10. Regulación de la transcripción de un gen

(a) Cada gen suele estar precedido por una región del ADN llamada promotor, el cual adhiere un complejo de proteínas pANR que puede sintetizar la secuencia de código mARN del gen (el proceso de formar el mARN se llama transcripción). El mARN es entonces trasladado en proteína.
 (b) El activador X es una proteína factor de transcripción que incrementa la velocidad de transcripción de mARN cuando se adhiere al promotor. Usualmente, el activador transita rápidamente entre activo e inactivo. La señal S_x incrementa la probabilidad de que X esté en forma activa. X también puede trabajar como represor para disminuir la velocidad de transcripción.

La velocidad a la cual el gen es transcrito (entendida como el número de mRNA producido por unidad de tiempo) es controlado por una región del ADN llamada **promotor**. Cuando aumenta la velocidad, el factor de transcripción actúa como **activador**. Cuando la reduce, lo hace como **repressor**.

Las proteínas factores de transcripción son a su vez codificadas por genes, los cuales son regulados por otros factores de transcripción, que a su vez pueden ser regulados por otros, y así sucesivamente formando complejas redes de transcripción como en la Figura 10-1 (correspondiente a una parte de la bacteria E coli).

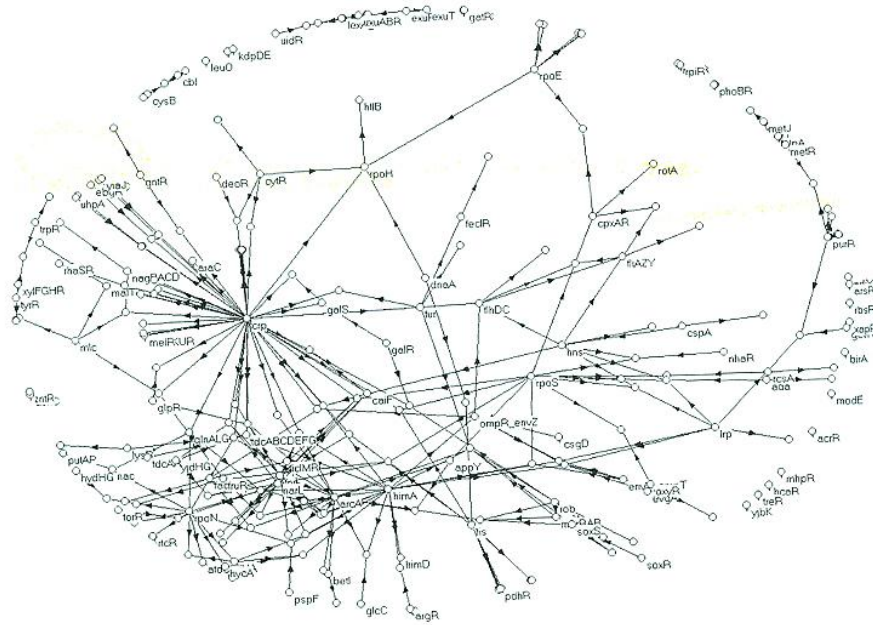


Figura 10-1. Ejemplo de red de transcripción representando aproximadamente la quinta parte de las interacciones de la bacteria E coli. Los nodos son genes o grupos de genes. Un lado de X a Y indica que el factor de transcripción codificado en X regula a Y.

La función de transcripción

El efecto de un factor de transcripción sobre la velocidad de transcripción es descrito por una **función de entrada**. Se expresa en la forma:

$$\text{velocidad de producción de } Y = f(X^*)$$

Se entiende como la velocidad de producción de la proteína Y controlada por un solo factor de transcripción X.

La función más usada es la de Hill (Figura 11) que se distingue **para un activador**:

$$f(X^*) = \frac{\beta X^{*n}}{K^n + X^{*n}}$$

Y para un repressor:

$$f(X^*) = \frac{\beta}{1 + \left(\frac{X^*}{K}\right)^n}$$

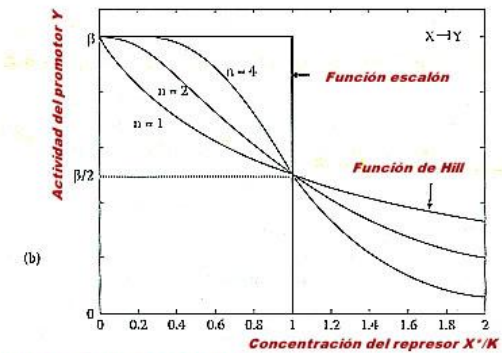
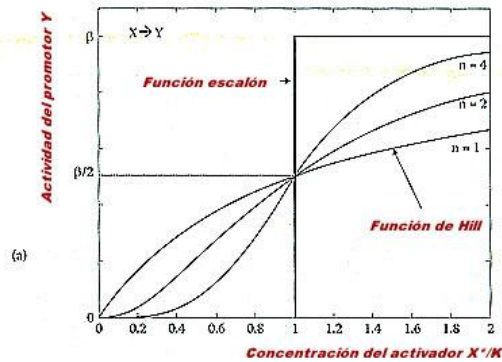


Figura 11. Funciones de entrada X para actividad del promotor: de Hill y escalón

La función de Hill se representa para diferentes valores de n .
 La máxima actividad del promotor es β
 K es el umbral para activación (a) o represión (b)
 La actividad del promotor es graficada como función de la concentración de X.

El primer parámetro K es denominado **coeficiente de activación** y tiene unidades de concentración. El segundo parámetro es β equivalente al **máximo nivel de expresión** del promotor. Finalmente el **coeficiente Hill**, n , gobierna la apariencia escalonada de la función (a mayor valor de n , la figura semeja más a un escalón).

Uso en otros campos

El autor cita que la teoría y representación de las redes de transcripción son usadas en diferentes campos de la neurobiología, sociología, ingeniería, y ecología. La Figura 12 ilustra los módulos más usados. Principalmente la ingeniería se ha beneficiado con el estudio de las redes neuronales.

Tipo de red	Módulo más comunes		
Transcripción	Bucle con realimentación hacia adelante	Bifan	
Neuronal	Bucle con realimentación hacia adelante	Bifan	Diamante
De alimentos	Cascada	Diamante	
Circuitos electrónicos (lógicos)	Bucle con realimentación hacia adelante	Bifan	Diamante
Circuitos electrónicos (multiplicadores)	Bucle con realimentación de tres nodos	Bifan	Bucle con realimentación de cuatro nodos
De web	Realimentación con dos diadas mutuas	Camarilla	Realimentación regulada

Figura 12. Módulos de uso común en otras redes

La memoria

General

La memoria implica la retención de experiencias pasadas. La clasificación común es en función de su alcance:

Memoria de corto plazo

Resultante de la excitación sencilla de la sinapsis como refuerzo o activación transitoria. Es un tipo de memoria que también se le conoce como *memoria de trabajo*. No todas las experiencias cotidianas necesitan ser mantenidas en el recuerdo (como una lectura, una conversación, o un cálculo numérico -verFigura 12c-), de ahí que sólo se ubican en una memoria transiente de corto plazo.



Figura 12c. Elementos de la memoria de trabajo (<http://universe-review.ca>)

Memoria de largo plazo

Resultante de un reforzamiento continuo de la sinapsis con el auxilio de genes y síntesis de ciertas proteínas. Esta persistencia da lugar a la *sinapsis plástica* o potenciación de largo plazo. En este tipo de memoria se distinguen:

La memoria no declarativa. Por ejemplo, incluye las habilidades para escribir o nadar (se sabe cómo hacer pero no se puede explicar). El acondicionamiento de actividades motores (tener deseos de comer a determinada hora). Fijación de la memoria en términos de miedo o fobia. También incluye la memoria remota (de eventos ocurridos en el pasado distante).

La memoria declarativa. Cubre la memoria de hechos como los eventos y los nombres (con gran participación del hipocampo). Reconoce así, a la memoria episódica como el aprendizaje de eventos emocionalmente selectivos. Además a la memoria semántica, incluyendo el conocimiento de hechos, números, direcciones, memorias espaciales, y representaciones del mundo.

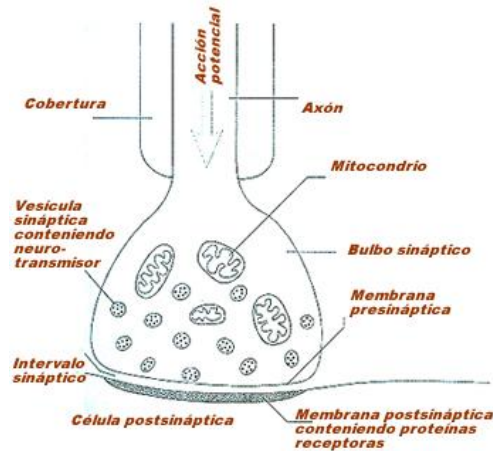


Figura 12a. Estructura básica de la sinapsis

No existe un lugar determinado para la memoria en el cerebro. Está distribuida en diferentes regiones, con la caracterización que se indica en la Figura 12b.

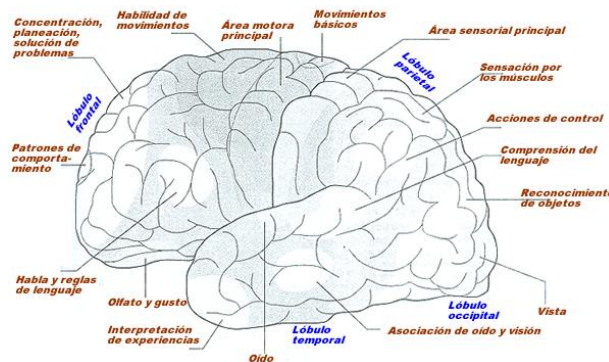


Figura 12b. Áreas sensorial, motora, y asociadas en el cerebro humano