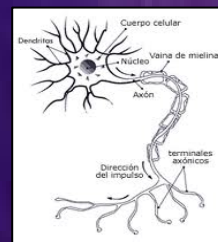
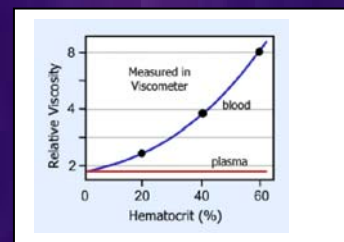
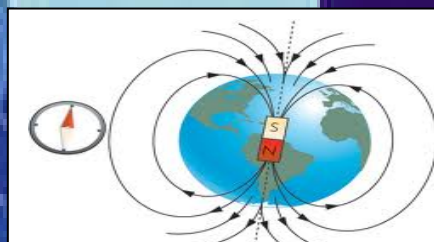
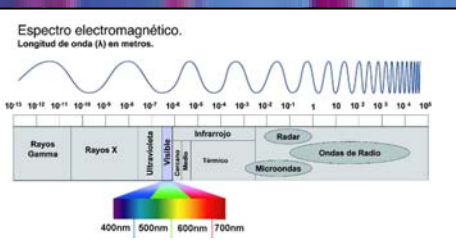
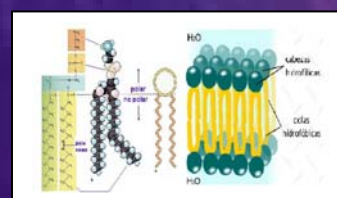
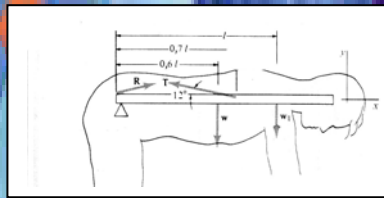
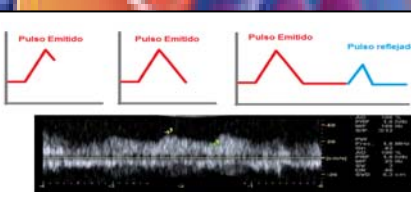


# FÍSICA

# SEMINARIOS 2013

Lic. en Biología Molecular - Prof. en Biología – Prof. en Matemática



## Contenido

El presente documento contiene las Monografías presentadas por los alumnos de la Asignatura Física de las carreras Licenciatura en Biología Molecular, Profesorado en Biología y Profesorado en Matemática, durante el curso del primer cuatrimestre del año 2013.

Para obtener la condición de alumnos promocionales, es condición necesaria la presentación de un trabajo de búsqueda individual o grupal (dos alumnos como máximo), sobre una aplicación de los temas abordados durante el cursado.

Dada las características disciplinares de los alumnos, en forma no excluyente, se sugiere que el tema seleccionado y posteriormente desarrollado en la Monografía, sea de interés biológico. Muestre la interacción interdisciplinar entre la Física y la Biología y manifieste el avance en el conocimiento científico de los últimos años en áreas reconocidas como pertenecientes a la Biofísica.

Finalmente, desde los responsables de la materia, se desea resaltar el entusiasmo y la dedicación puesta de manifiesto por los alumnos en la selección de los temas, la búsqueda bibliográfica, las discusiones con los docentes y la elaboración del informe final.

**Universidad Nacional de San Luis**  
**Departamento de Física**  
**Julio, 2013**

# Índice

	<b>Autores</b>	<b>Carrera</b>	<b>Título</b>
<b>1</b>	Patiño Gaillez, Michelle	Licenciatura en Biología Molecular	Rayo Laser: Aplicaciones en Biología Molecular y Medicina
<b>2</b>	Vanderhoeven, Fiorella Ramos, Paola Daniela	Licenciatura en Biología Molecular	Mi corazón no late por vos
<b>3</b>	Vazquez, María Laura	Profesorado en Matemática	La Visión de los Insectos
<b>4</b>	De Costa, Antonella Guerra, M. Florencia	Licenciatura en Biología Molecular	El Ojo Humano
<b>5</b>	Córdoba, María Evelyn Martínez Ojeda, Ana	Licenciatura en Biología Molecular	Análisis de los transportes transmembrana desde la Mecánica de los Fluidos
<b>6</b>	Magallanes, María M.	Profesorado en Biología	Fuerzas de Sustentación El vuelo de los animales y de los aviones
<b>7</b>	Medina, Agustina	Licenciatura en Biología Molecular	Estructura de las células nerviosas. Resistencia y capacidad eléctrica de un axón. Circuitos de Interés en Biología
<b>8</b>	Dussel, María Emilia Eggel, María Luz	Licenciatura en Biología Molecular	La Física de los Gigantes: El Ascenso de Savia en los Árboles
<b>9</b>	Perez, Celia Noemí Quiroga, Sofía.	Licenciatura en Biología Molecular	La Orientación de las abejas en la Naturaleza
<b>10</b>	Pereira, Adrián Vettorazzi, Lucía	Profesorado en Biología	Palancas en el cuerpo humano. La columna vertebral
<b>11</b>	Sanchez, Hernan Bruera, Manuel	Licenciatura en Biología Molecular	Ultrasonido en diagnóstico por Imagen: Los ecos del Interior

1

# **RAYO LASER: APLICACIONES EN BIOLOGÍA MOLECULAR Y MEDICINA**

PATIÑO GAILLEZ, Michelle Geraldine

Licenciatura en Biología Molecular  
2013 – Física: Primer cuatrimestre

Profesor: Hugo Velasco



**Universidad Nacional de San Luis  
Facultad de Química, Bioquímica y Farmacia**

## Contenidos

### Introducción

#### 1. Ondas

##### A. Clasificación

#### 2. Láser

##### A. Funcionamiento

1. Conocimientos previos: El modelo atómico de Bohr

2. Emisión espontánea y estimulada

3. Inversión de Población

4. Resonador

##### B. Tipos de Láseres

##### C. Láser de Helio Neón

##### D. Aplicaciones

#### 1. Ejemplos en Biología Molecular

a) Microdissección por captura láser

b) STED. Microscopía por disminución estimulada de emisión

c) Láser con células

d) Espectrometría de masa láser

e) Transfección dirigida por láser femtosegundo

f) Microscopio de súper resolución

g) Estudio de Proteínas

#### 2. Ejemplos en Medicina

##### a. Cirugía

- Intra LASIK

- Neurocirugía

##### b. Dermatología

i. Tratamiento fraccionado láser para piel

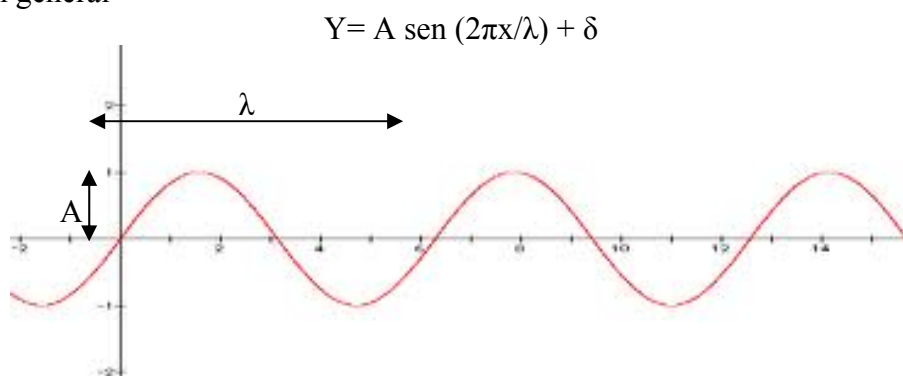
ii. Eliminación de Tatuajes

# 1 Introducción

Considerando que estamos expuestos a distintos tipos de ondas en la vida cotidiana, es importante destacar aquellas a las que no frecuentamos, pero son muy importantes en el desarrollo del conocimiento. El láser es un elemento que conocemos poco, pero ha sido utilizado en diversos campos de la ciencia tanto para crear conocimiento como para colaborar con el ya existente. Este informe explica el principio de funcionamiento del láser y profundiza sobre su uso en la Biología Molecular y en Medicina, tanto como herramienta de trabajo para generar conocimiento como para aplicaciones prácticas directas en esos campos.

## 2 Ondas

Las ondas son propagaciones lineales o espaciales de una perturbación de un medio, es decir, transmisión de energía pero no de materia. Las ondas están caracterizadas por una ecuación general



Donde

A: amplitud, la distancia entre un pico y el punto medio de la onda (verticalmente). No necesariamente es constante, hay ondas que disminuyen su amplitud con el tiempo.

$\lambda$ : Longitud de onda, distancia entre dos picos o dos valles (horizontalmente). Se mide en unidades de longitud, en física se miden normalmente en nanómetros ( $1\text{nm} = 1 \times 10^{-9}\text{m}$ ).

$\delta$ : Desplazamiento, es el corrimiento que tiene la onda respecto a la ecuación  $y = A \sin(x)$ .

Las ondas también están caracterizadas por

Período (T): El periodo es el tiempo que dura la oscilación entera. Las ondas son periódicas si se repiten en intervalos de tiempo iguales. Se mide en segundos.

Frecuencia (f): Número de oscilaciones por unidad de tiempo ( $1/T [=] \text{Hz}$ ).

Cuando puntos de un medio son excitados por una perturbación de tipo elástico, la perturbación es transmitida a los puntos próximos que oscilan alrededor de su posición de equilibrio, intercambiando energía entre sí, pero no materia.

## 2.1 Clasificación de Ondas

- Según la dirección: esféricas, unidimensionales y superficiales.

A gran distancia del centro de emisión, un frente de onda esférico se puede considerar con buena aproximación como plano, y se llama onda plana. Pueden ser consideradas ondas esféricas a grandes distancias del emisor, la onda recibida es la superposición de cada onda esférica de los distintos puntos emisores.

- Según el movimiento de sus partículas: longitudinal y transversal

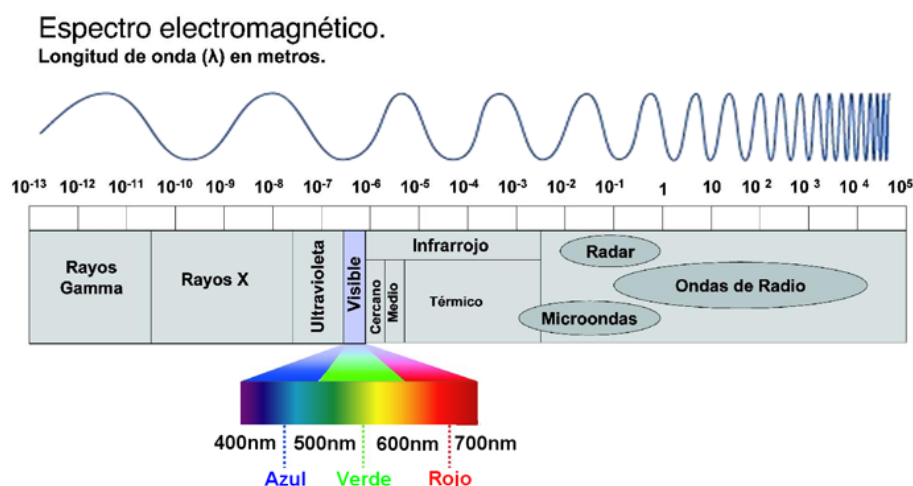
Una onda es longitudinal si las partículas del medio en que se propagan, vibran en la misma dirección de avance. Ejemplo: ondas sonoras, que están constituidas por compresiones y expansiones alternadas del medio.

Una onda es considerada transversal cuando la dirección de vibración de las partículas del medio es perpendicular a la dirección de propagación. Las cuerdas de la guitarra, las vibraciones son transversales, aunque transmiten al aire circundante ondas longitudinales que producen sensación sonora.

- Según su medio de propagación: mecánicas, electromagnéticas

Las ondas mecánicas necesitan un medio elástico (sólido, líquido o gaseoso) para propagarse. Las partículas del medio oscilan alrededor de un punto fijo, por lo que no existe transporte neto de materia a través del medio. La velocidad puede ser afectada por algunas características del medio. Dentro de las ondas mecánicas tenemos las ondas elásticas, las ondas sonoras y las ondas de gravedad.

Las ondas electromagnéticas se propagan por el espacio sin necesidad de un medio, por lo tanto puede propagarse en el vacío. Esto es debido a que las ondas electromagnéticas son producidas por las oscilaciones de un campo eléctrico, en relación con un campo magnético asociado. Las ondas electromagnéticas viajan aproximadamente a una velocidad de 300 000 km por segundo, y pueden ser agrupadas en rangos de frecuencia. En base a esto, se diseña un espectro electromagnético. El espectro visible (entre 400 y 700nm), es lo que percibimos como luz visible.



Las fuentes de luz visible pueden ser naturales y artificiales y por procesos e instrumentos. Uno de los métodos para emitir luz es a través de un proceso óptico de amplificación basado en la emisión estimulada de radiación electromagnética (LASER: Light Amplification by Stimulated



Emission of Radiation). “Amplificación” hace referencia al progresivo aumento de fotones liberados en la reacción dentro del láser.

### 3 Laser

En el LASER, las crestas y valles se alinean, implicando que toda la luz es del mismo color, es decir es monocromático<sup>1</sup>. Algo que distingue al LASER es que todas las ondas van en la misma dirección, es una luz mucho más ‘ordenada’<sup>2</sup>. Por el gran orden de la luz que emite, podemos utilizar el LASER para diversas aplicaciones. Su coherencia espacial permite enfocarla a un punto ajustado, permitiendo poder trabajarla como instrumento para cortar y litografía. Su coherencia permite que emita pulsos de luz que duran un femtosegundo ( $1\text{fs} = 1 \times 10^{-15}\text{s}$ ). La coherencia en la luz láser se debe a la emisión estimulada, dado que cada fotón emitido están “en fase” con el fotón que provee el estímulo.

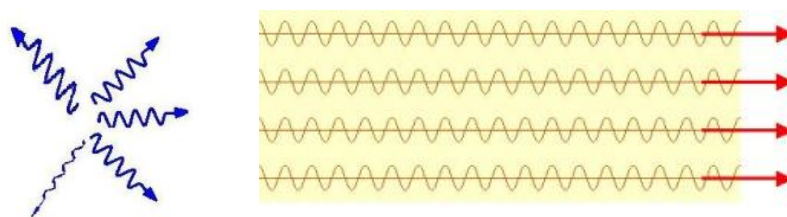


Fig.4: Incoherent Light

vs.

Fig. 5: Coherent Light

El haz que emerge del equipo láser es altamente colimado, es decir, tiene muy baja divergencia: El punto que forma el haz sobre, por ejemplo, una pared cercana es prácticamente igual que sobre una lejana. Esto es así gracias a los espejos paralelos en los extremos de la cavidad resonante, que preservan los fotones que viajan en la dirección del eje, y eliminan los que se separan de la misma.

Los Láseres tienen muchas aplicaciones importantes, en aparatos de consumo común (reproductores DVD, impresoras láser y escáneres de código de barras). En medicina para cirugía láser, tratamientos de piel. En industria para cortar y soldar materiales. Se utilizan para medir rango y velocidad, como medios de entretenimiento y en desarrollo científico)

Potencia	Uso
1–5 mW	Láser para apuntar
5 mW	Disco CD-ROM
5–10 mW	Reproductor DVD o disco DVD-ROM
100 mW	Escritor de CD de alta velocidad
250 mW	Escritor 16× DVD
1–20 W	Micro-maquinaria comercial
30–100 W	Típico Láser de CO <sub>2</sub> sellado, para cirugía
100–3000 W	Láser de CO <sub>2</sub> sellado, para industria
100 kW	Láser de CO <sub>2</sub> desarrollado por Northrop Grumman para aplicaciones militares

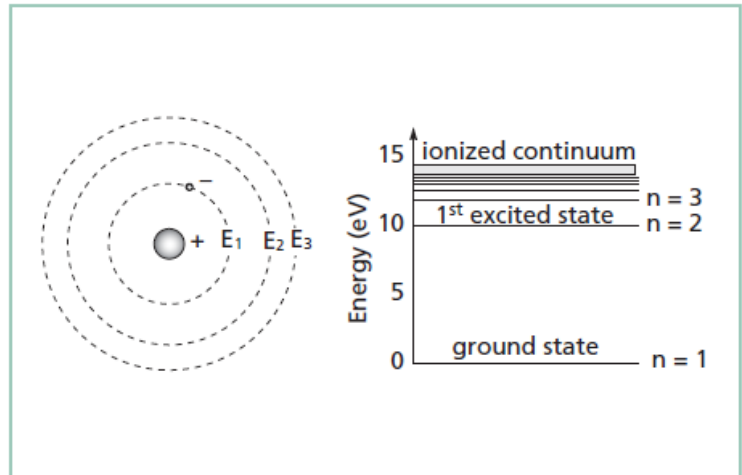
<sup>1</sup> La luz láser consiste esencialmente de una única longitud de onda, que corresponde a la diferencia de energía entre los niveles cuánticos entre los que se produce la inversión de población. Esto convierte a la luz láser en la más pura disponible. Aun así, la luz emitida no es *exactamente* monocromática, al menos debido al efecto Doppler debido al movimiento térmico de los átomos, lo que resulta en un ancho de banda óptico muy delgado.

## 3.1 Funcionamiento del Láser

### 3.1.1 Conocimientos previos: El modelo atómico de Bohr

A pesar de ser una simplificación de la realidad, el modelo del átomo que Niels Bohr propuso en 1913 brinda los elementos básicos para explicar el funcionamiento del láser:

- El átomo tiene un número limitado de órbitas fijas disponibles para los electrones.
- Cada órbita tiene una energía asociada, que aumenta mientras más alejada está del núcleo atómico. Los electrones pueden ocupar estas órbitas, pero no los estados intermedios de energía. Es decir, los estados de energía permitidos están “cuantizados”. Para referirse a cada estado de energía se usa el “número cuántico principal”: 1, 2, 3, etc.



- Mientras un electrón se encuentra en un nivel de energía, no absorbe ni pierde energía.
- Bajo las circunstancias correctas, un electrón puede absorber energía del medio y pasar a uno de los estados mayor energía (“estado excitado”, con mayor número cuántico), o emitir energía y “decaer” a un estado de menor energía (con menor número cuántico).

La absorción de energía puede suceder de varias formas, por ejemplo mediante colisiones con otros átomos o la absorción de energía en forma de radiación electromagnética (luz). Similarmente, la emisión de energía cuando un electrón decae de un estado de mayor energía a uno de menor energía, puede ocurrir en forma de energía cinética o como radiación electromagnética (“transición radiativa”). En este último caso, de la transición radiativa, que es el relevante para el láser, Bohr postuló que la energía electromagnética absorbida o emitida en una transición entre dos niveles de energía  $E_1$  y  $E_2$  tiene una frecuencia

$$\nu = \frac{1}{h} \cdot (E_2 - E_1)$$

donde  $h$  es la constante de Planck, una constante universal cuyo valor es  $6.62607 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$

Esta expresión había sido propuesta en 1901 por Max Planck para explicar el espectro del cuerpo negro, y verificada por Albert Einstein en 1905, al explicar el efecto fotoeléctrico, lo que le valió el Premio Nobel en 1921.

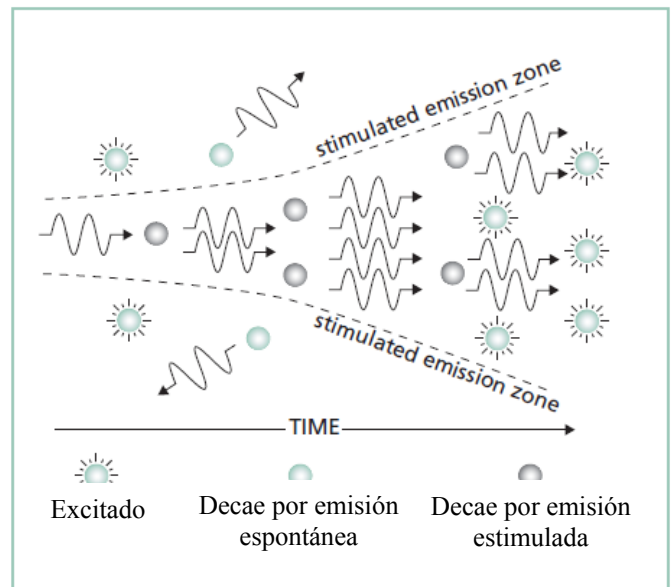
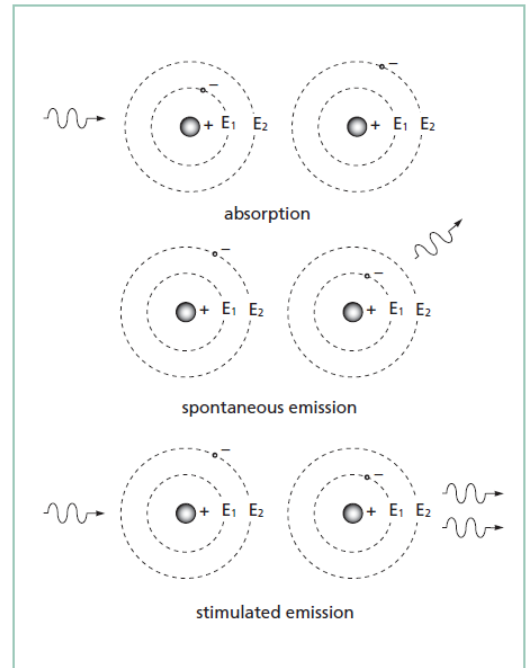
### 3.1.2 Emisión espontánea y estimulada

En general, cuando un electrón está en un nivel excitado de energía, tarde o temprano tiene que decaer a un nivel menor, emitiendo un fotón de radiación. Einstein denominó a este proceso “emisión espontánea”; el fotón es emitido con dirección y fase aleatorias. El tiempo promedio que tarda el electrón en decaer se denomina “constante de decaimiento” y se representa con la letra  $\tau$ . Por otro lado, si un electrón se encuentra en el estado excitado de energía  $E_2$ , que debiera decaer al estado de energía  $E_1$ , pero antes de que decaiga espontáneamente, un fotón pasa por el lugar, y su energía es

aproximadamente  $E_2 - E_1$ , hay una probabilidad que este

fotón *provoque* que el electrón decaiga a  $E_1$  de tal forma que el fotón que se emite tenga exactamente la misma frecuencia, fase y dirección que el fotón inicial. Einstein llamó a este proceso “emisión estimulada”. Por tener la misma frecuencia y fase, se dice que ambos fotones son “coherentes”.

Consideremos ahora un grupo de átomos, todos ellos en el mismo estado excitado inicial y dentro del rango de estimulación de un fotón que pasa, que tiene justo la energía  $E_2 - E_1$  necesaria para estimular la emisión. Supongamos además que  $\tau$  es muy largo, y que la probabilidad de emisión por estimulación es 100%. El fotón que pasa (estimulador) interactúa con el primer átomo, produciendo la emisión estimulada de un fotón coherente. Estos dos fotones interactúan con sendos átomos, produciendo por el mismo mecanismo cuatro fotones coherentes y todos viajando en la misma dirección. En otras palabras, el fotón inicial ha generado una reacción en cadena que lo “amplifica”. Hay que notar que la energía para llevar los átomos a su estado excitado es provista por alguna fuente de energía externa, usualmente llamada “fuente de bombeo”.



### 3.1.3 Inversión de población

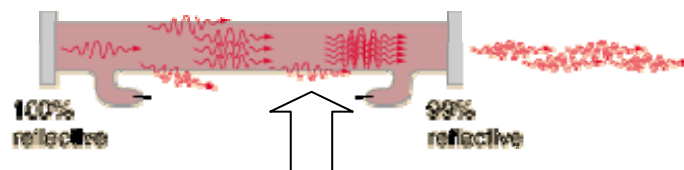
En una población real de átomos, siempre hay más átomos en los niveles bajos de energía que en los superiores. Dado que la probabilidad de que un átomo absorba un fotón es la misma que la probabilidad de que el átomo excitado emita un fotón por emisión estimulada, el conjunto de átomos reales va a ser un absorbente neto, no un emisor, de fotones.

En consecuencia, para poder producir el efecto láser, necesitamos que en el conjunto de átomos haya más electrones en los niveles altos de energía que en los niveles bajos. Tal estado se denomina “inversión de población”.

En los átomos reales, los niveles de energía son complejos: Hay varios niveles, y cada uno tiene su propia constante de tiempo de decaimiento. Para obtener la “inversión de población” se utiliza un elemento que posea un nivel de energía metaestable (es decir, con constante de decaimiento relativamente grande, es decir, larga vida media), y que tenga niveles cuánticos de energía por debajo del nivel metaestable. Mediante algún mecanismo (por ejemplo, colisión con otros átomos o absorción de radiación de energía) se hacen llegar hasta este nivel los electrones excitados, donde se acumulan temporariamente (debido a su mayor vida media), hasta que su decaimiento es estimulado por un fotón, produciendo el efecto láser buscado.

### 3.1.4 Resonador

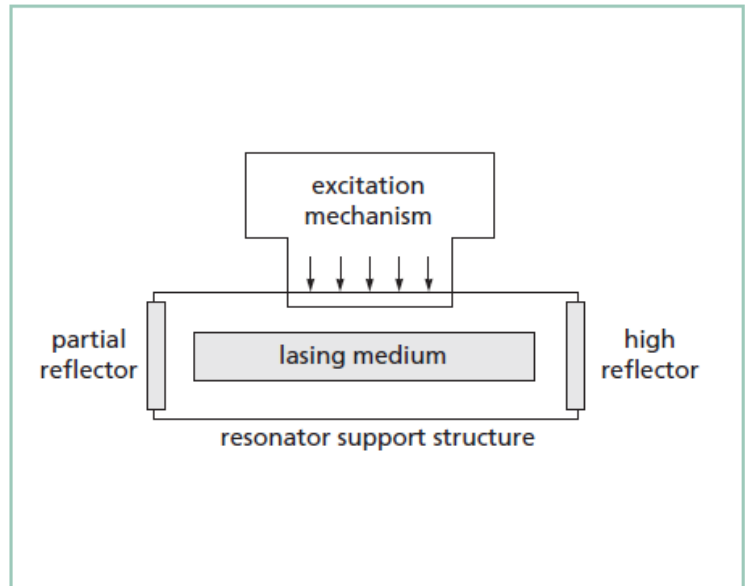
Si bien con la inversión de población alcanza para amplificar fotones vía emisión estimulada, la “ganancia” en una simple pasada es muy baja: La mayoría de los átomos excitados emite de forma espontánea, y no contribuye al haz coherente generado. Para transformar este sistema en un láser real, es necesario un mecanismo que logre que la mayoría de los átomos contribuyan al haz. Este es el “resonador” o “cavidad resonante”, un sistema de espejos que elimina los fotones no deseados (aquellos que están fuera del eje) y que refleja los fotones deseados (los paralelos al eje) de nuevo hacia la población de átomos excitados, para que continúen contribuyendo a la estimulación. Los espejos que reflejan los fotones paralelos al eje están ubicados en los extremos del resonador; uno de ellos es un reflector total, mientras que el otro refleja la mayoría de la luz incidente, dejando pasar una fracción (que varía entre una fracción de 1% para los láseres de helio-neón, hasta el 50% o más para láseres de alta potencia)



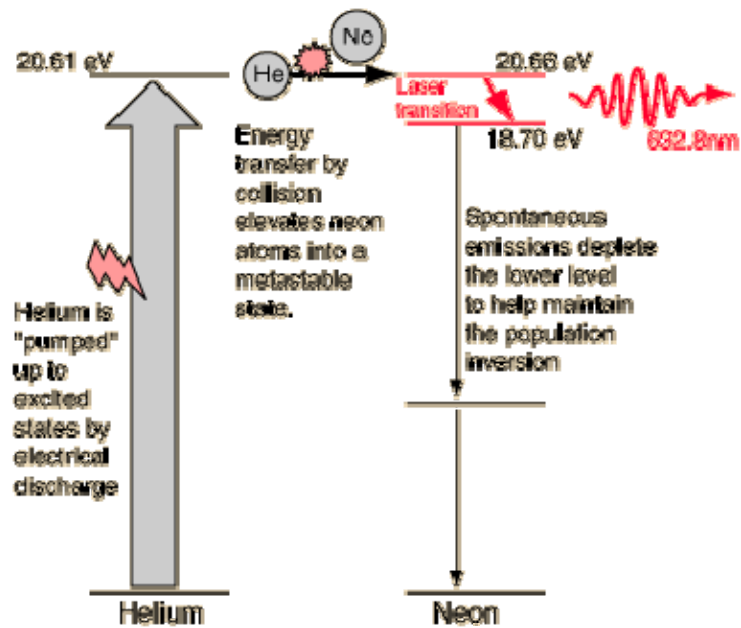
## 3.2 Tipos de Láseres

Las fuentes láser pueden clasificarse según el tipo de sus principales componentes que, como se describió anteriormente, son:

- el medio. Éste puede ser un cristal, vidrio, gaseoso, semiconductor, tinturas.
- el mecanismo de excitación (fuente de bombeo). Éste puede ser óptico (p. ej. lámparas flash o filamentos de tungsteno), descarga eléctrica o de radio-frecuencia, una reacción química, térmico (enfriamiento de gases calientes) o láser.



### 3.2.1 Láser de Helio-Neón



Uno de los niveles excitados del helio tiene una energía 20.61 eV, que está muy cerca de un nivel metaestable en el neón, a 20.66 eV. Ambos niveles están de hecho tan cercanos que en una colisión de un átomo de helio con uno de neón, la energía puede transferirse del átomo de helio al de neón. En el neón, los electrones del nivel metaestable de 20.66 eV tienen un “canal” de decaimiento al nivel de energía a 18.70 eV, el cual decae rápidamente, de manera espontánea, a niveles inferiores de energía. Ese nivel metaestable de 20.66 eV, junto con el rápido decaimiento de los electrones desde el nivel de 18.70 eV genera la inversión de población que, estimulada por un fotón, produce fotones de una longitud de onda de

$$\lambda = \frac{h \cdot c}{E_2 - E_1} = \frac{6.62607 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s} \times 299,792,458 \text{ m/s} \times 1 \times 10^9 \text{ nm/m}}{(20.66 \text{ eV} - 18.70 \text{ eV}) \times 1.602 \times 10^{-19} \text{ J/eV}} = 632.8 \text{ nm}$$

Que resulta en el haz rojo característico de estos láseres. Utilizando otra combinación de niveles, los láseres de helio-neón pueden generar luz verde en 543.5 nm, amarilla en 594 nm, naranja en 612 nm e infrarroja en 1523 nm.

### 3.3 Aplicaciones

El láser se ha convertido en una herramienta en Biología y Medicina por su capacidad de interactuar con el material biológico a nivel macroscópico. La aplicación es diagnóstica (medida de absorción o dispersión óptica, distinción de tejidos en imagen médica), y herramienta de modificación del material biológico (terapia).

- En odontología: eliminación de caries (especialmente prometedor con pulsos ultracortos), manufactura de piezas cerámicas de reconstrucción.
- En oftalmología: cirugía refractiva, transplante de tejido corneal.
- En neurocirugía: ablación controlada de tejido cerebral para el tratamiento de ciertos trastornos neurológicos (Parkinson).
- En otorrinolaringología: cirugía del oído interno y medio, mecanizado de la zona timpánica.
- En oncología: Terapia fotodinámica, resección tumoral, coagulación in situ de tumores.
- En dermatología: displasia epitelial, tratamiento de cicatrices.

### 3.3.1 Ejemplos en Biología Molecular

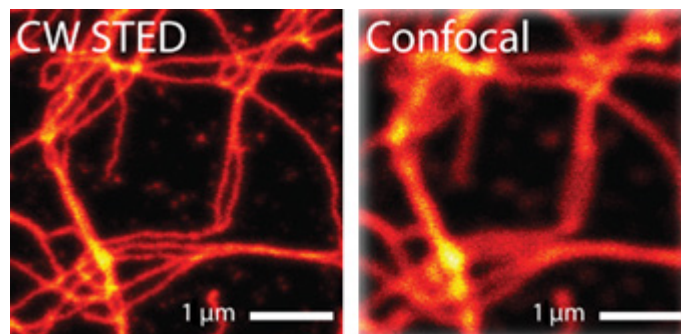
El láser puede ser utilizado para contar e identificar células hematológicas, por tamaño y complejidad, por identificación inmunofenotípica por citometría de flujo, cuantificación de secuencias de ADN por PCR, tomografía celular, microdissección de muestras a láser, localización de moléculas y cuantificación de compuestos por microscopía confocal (microscopio que incrementa el contraste y/o reconstruye imágenes eliminando la luz desenfocada o destellos de la lente), minimizando los efectos fotodinámicos y foto-damnificados

a. Microdissección por captura láser: permite aislar células de zonas microscópicas de tejidos u órganos. Se utilizaba para extraer y analizar las células de tejidos cancerígenos, ahora ha encontrado mayor aplicación en el ámbito de la biología molecular, particularmente en investigaciones sobre ácidos nucleicos, proteínas y cáncer, neurociencia, biología del desarrollo, inmunología, desarrollo e investigación en plantas y clima; en la parte experimental, para cortar cultivos de células para aislar células individuales y manipularlas. La disección de células por láser, es un método que no precisa tocar la muestra ni contaminarla, para después utilizarla en PCR o cultivos y permite cortar con un margen de  $1\mu\text{m}$  lo que permite gran precisión (la célula promedio tiene  $10\mu\text{m}$  de diámetro).

Con un solo disparo de láser, la muestra seleccionada es eyectada del plano hacia un microtubo especial a unos centímetros de distancia. El proceso fue llamado catapultamiento láser a presión (LPC). Se cree que la base de LPC es una fuerza de presión de gas que se desarrolla debajo de la muestra, causado por la remoción del láser, por la gran densidad de protones en el punto focal del láser. La microdissección y catapultamiento previenen contacto mecánico y permiten obtener muestras puras mediadas por luz láser enfocada. Así, se pueden microdisecar secciones de tejidos tanto como partes de células montadas en placas por cito-centrifugación. En este proceso, las proteínas, ADN y ARN no son alteradas. El láser genera una separación entre la muestra y el tejido circundante, y permite eliminarlo.

Para citogenética se ha desarrollado un método para separar el núcleo celular del citoplasma, para poder estudiar infecciones virales y la cinética del delivery de drogas. Permiten la visualización directa de cromosomas específicos o regiones subcromosómicas en la etapa metafásica, territorios cromosómicos en núcleo interfásico por fluorescencia in situ e hibridación (FISH). Pruebas con cromosomas específicos fueron generadas por PCR empezando desde cromosomas aislados por láser.

b. Otra forma de trabajar es mediante la microscopía por disminución estimulada de emisión (STED). En esta técnica, el láser causa que objetos adyacentes flouezcan de a uno por vez mediante la detención secuencial de su emisión de luz, permitiendo localizarlos con un valor tan bajo como  $0.15\text{nm}$ , con resolución por debajo del límite de difracción.





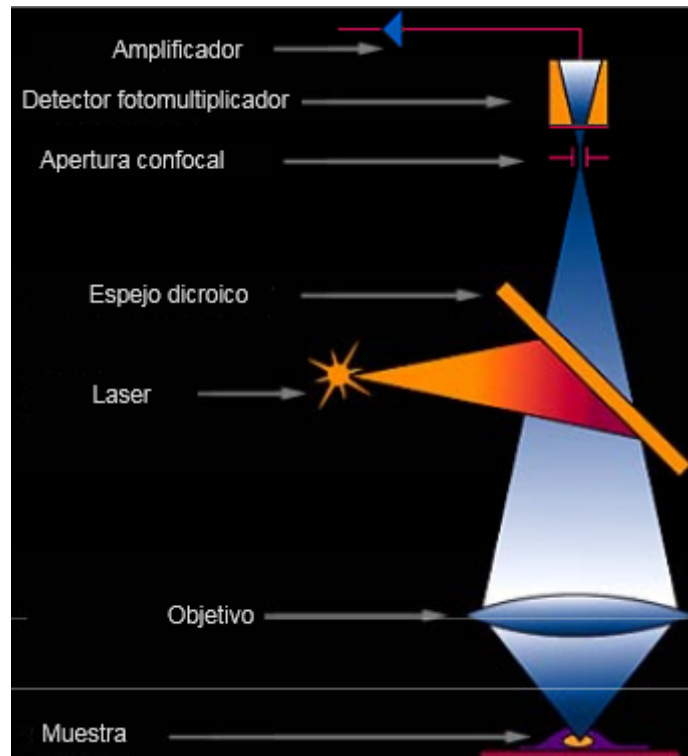
Una aplicación importante fue la primer medición de las diferencias generales de difusión de diferentes tipos de lípidos (esfingolípidos vs. Fosfolípidos) en la membrana de una célula viviente

c. Se ha creado un láser potenciado por células humanas. Normalmente el láser necesita dos cosas: un material que amplifique la luz de una fuente externa (un medio de bombeo) y un acomodamiento de espejos (cavidad óptica) que concentra y alinea las ondas de luz a una emisión estrecha. Hasta ahora, el medio de bombeo sólo ha sido de sustancias no biológicas (cristales, semiconductores o gases), pero se ha logrado crear un láser con GFP (proteína fluorescente verde, que permite que las medusas brillen y marcan células en biología celular). Con células del riñón modificadas para producir GFP colocadas entre dos espejos con 200 $\mu$ m entre sí, acomodados con ayuda de un microscopio hasta que se pudo desplazar una célula dentro del foco del haz. Cuando se le apuntan pulsos de luz azul (un nanosegundo de duración), emite un láser visible con el ojo humano, sin dañar la célula. La emisión fue pequeña y brillo más bien débil comparado con el láser tradicional, pero un orden de magnitud más brillante que la fluorescencia de la medusa, con un color verde. Cuando los pulsos azules tenían una energía aproximadamente de 1nJ, la energía de la luz verde emitida se incrementa abruptamente, su espectro se estrecha a pocos picos bien definidos, lo que afirma que en el láser no hay moléculas de proteínas en estado excitado para generar emisión estimulada en lugar de espontánea (funcionamiento del láser)

d. Espectrometría de masa laser: Puede adquirir valores de masa para diversos compuestos orgánicos, polímeros, proteínas y péptidos y ácidos nucleicos.

e. Transfección dirigida por láser de femtosegundo: para el delivery exitoso de DNA a células in vitro, una herramienta clave en biología molecular y celular, con implicaciones biomédicas importantes para poder transfectar células sin dañar la arquitectura de la célula. Primero crea una perforación en la membrana usando láser femtosegundo de alta intensidad, cerca de pulsos infrarrojos, permitiendo y garantizando eficiencia en la transfección y en la supervivencia de la célula, además de la evaluación de la integridad y expresión del gen introducido (800nm, 80MHz de un láser de titanio-zafiro). Es más preciso y conserva más la integridad celular que métodos anteriores con luz ultravioleta (355nm)

f. Microscopio de superresolución: Permite la visualización de muestras con una resolución similar a la de un microscopio electrónico, con las ventajas de un microscopio óptico. Eso significa ver especies moleculares en un ámbito celular, incluso en tres dimensiones y en células vivas, a una escala comparable a las dimensiones espaciales de la molécula en cuestión.



Esquema de la microscopía confocal con barrido láser. En el caso de la microscopía multifotónica la fuente láser es un láser de femtosegundos y la apertura confocal delante del detector no es necesaria.

g. Las proteínas en la célula están plegadas en numerosas conformaciones. El trabajo de láseres térmicos (inducen temperatura) y microscopía fluorescente es muy eficiente, pero para poder trabajar con ambos, y optimizar los resultados, había que superar ciertos conflictos. Uno era cómo lograr subir y bajar la temperatura rápidamente y después mantenerla constante en un vidrio de microscopio con múltiples objetivos láser emitiendo a  $2.2 \mu\text{m}$ . Se logró precalentando las células y después bajando el poder del láser a cero, alcanzando la temperatura mínima en menos de 50ms

### 3.3.2 Ejemplos en Medicina

#### a. Cirugía:

Utilizando láseres se evita y logra contener el sangrado en operaciones. Significa una reducción en los costos y riesgos, comparativamente con las transfusiones de sangre en las operaciones, que no siempre resultan exitosas. Cirugía láser implica el uso de láser para cortar tejido suave en vez de escalpelos o instrumentos quirúrgicos similares. Microcirugía implica el uso de un microscopio operativo para que el médico vea estructuras pequeñas, con robots controlados por ellos.

Intra-LASIK es una forma refractiva de cirugía que crea un "flap" corneal con un láser de microqueratoma. La corrección permite aumentar la habilidad para ver objetos cercanos y lejanos en gente afectada con presbicia. Guiado por una computadora, el láser es enfocado justo debajo de la superficie de la córnea. Cada pulso crea una pequeña burbuja. Un diseño de muchas burbujas es creado, permitiendo levantar un pedazo de córnea; LASIK continúa con un láser de excímero (molécula inestable que tiende a separarse bajo condiciones particulares), eliminando material de la superficie expuesta debajo del flap.

La cirugía láser de ojos es utilizada para corregir defectos refractivos (cuando las imágenes no se enfocan de forma adecuada en la retina). Generalmente los defectos visuales son contrarrestados con el uso de anteojos, pero la forma más rápida y efectiva de hacerlo es con una cirugía de ojos. Entre los defectos refractivos más comunes se encuentran la Miopía, la Hipermetropía, el Astigmatismo, la Presbicia y el Queratocono, en algunos de estos casos, como el Queratocono, el uso de lentes no es una solución, pues la enfermedad es degenerativa. La técnica intralaser IFS 150 que se potencia acompañada del sistema de onda frontal. El intralaser es diseñado como láser primario para LASIK.

Las operaciones con láser tienen mejor resultado refractivo que las operaciones con microqueratomas (cuchillito que crea un flap cortando la córnea; la córnea mide 500-600 $\mu\text{m}$  y los microqueratomas crean un flap de 83-200 $\mu\text{m}$  de ancho), aumenta la precisión y estabilidad biomecánica. Primero se utiliza el láser femtosegundo, que genera el flap en la córnea, luego láser excimer que corrige el defecto visual.

La resección con láser es 100 veces más precisa que con microqueratomas, es menos agresiva y preserva más tejido corneal, y los pacientes recuperan la vista casi un 100%.

El láser es utilizado también en el área de diagnósticos. Es posible detectar enfermedades en la retina y tumores superficiales, en especial de la piel, sin llegar a una biopsia, basándose en que los tumores malignos absorben más energía. Con un ojo en el futuro, MIT (Estados Unidos), MD Anderson (Estados Unidos) e Ipen (Brasil) están mapeando las células humanas por láser en laparoscopías, endoscopías y sobre la piel.

#### Neurocirugía:

Axotomía es el corte de un axón. axo- (=axon) y -tomy (=cirugía). Es utilizado en estudios experimentales en fisiología y muerte o supervivencia neuronal como método para entender mejor enfermedades del sistema nervioso. Usando pulsos de 10-40 nJ y láseres de 200 femtosegundos, cerca de pulsos de infrarrojo, resultando en la vaporización de volúmenes de axón de 0.1-0.3 fl (femtolitros), considerando el diámetro del axón como 0.4 $\mu\text{m}$ . El uso de pulsos con bajo índice de repetición (1kHz, 10 $\mu\text{W}$  de potencia promedio), disminuye la acumulación de calor y daño térmico colateral al ambiente. Se es posible cortar procesos individuales dentro del rango de los micrómetros sin dañar procesos circundantes.

Láseres sin electrones (FEL) son utilizados para cirugías y bioimágenes.

## b. Dermatología:

Con láseres se pueden hacer tratamientos microtérmicos bien controlados, en la superficie de la piel tanto como a una pequeña profundidad. Con longitud de onda de 1410, 1550 y 1927 nm, cada uno con diferente uso. El rayo de 1550 nm penetra 1.4mm y es utilizado para tratar arrugas, daño por el sol y marcas de acné. El dispositivo de 1927 nm alcanza 200µm y es utilizado para tratamientos superficiales. Por pulso, se transmiten 5 a 70mJ por fracción de zona tratada.

Tratamiento fraccionado laser para piel (fototermólisis fraccionada): es un método relativamente nuevo de rejuvenecimiento de piel, dejando algunas áreas de piel intactas y tratando otras (a nivel microscópico). La zona tratada reemplaza células viejas con células nuevas y saludables, las áreas sin tratar mantienen la estabilidad del tejido para su pronta recuperación.

Para eliminar tatuajes se utilizan distintos métodos, pero el más garantizado y menos riesgoso y agresivo para la piel, es el tratamiento con láser. Distintas frecuencias de láser son absorbidas por cada color de tinta, haciendo que la tinta sea absorbida a distintas velocidades.

## 4 Conclusiones

El láser ha sido ampliamente utilizado desde que se descubrió su gran coherencia y su maleabilidad. Cada vez más institutos están trabajando con láseres para poder involucrarlos en ámbitos donde el error humano puede estropear los resultados. El láser se utiliza en el ámbito de la medicina, para operaciones, estética; las ciencias básicas, colaborando con descubrimientos y generando conocimientos. Con el progreso de las ciencias y la tecnología se está implementando el láser en misiones espaciales para investigar terreno de Marte<sup>3</sup>, como cicatrizante<sup>4</sup>.

---

<sup>3</sup> En la NASA se utilizan en misiones en el espacio para medir la cantidad de metano en Marte (el metano es producido por agentes biológicos, por lo que presencia de metano, induce a pensar en que hubo vida en Marte)

<sup>4</sup> *“Accelerated Wound Healing on LASER irradiation”*. Photobiological Principles of Therapeutic Applications of laser. Department of Biophysics, Russian State Medical University

2

# "Mi Corazón No Late por

## Vos"

**Integrantes:**

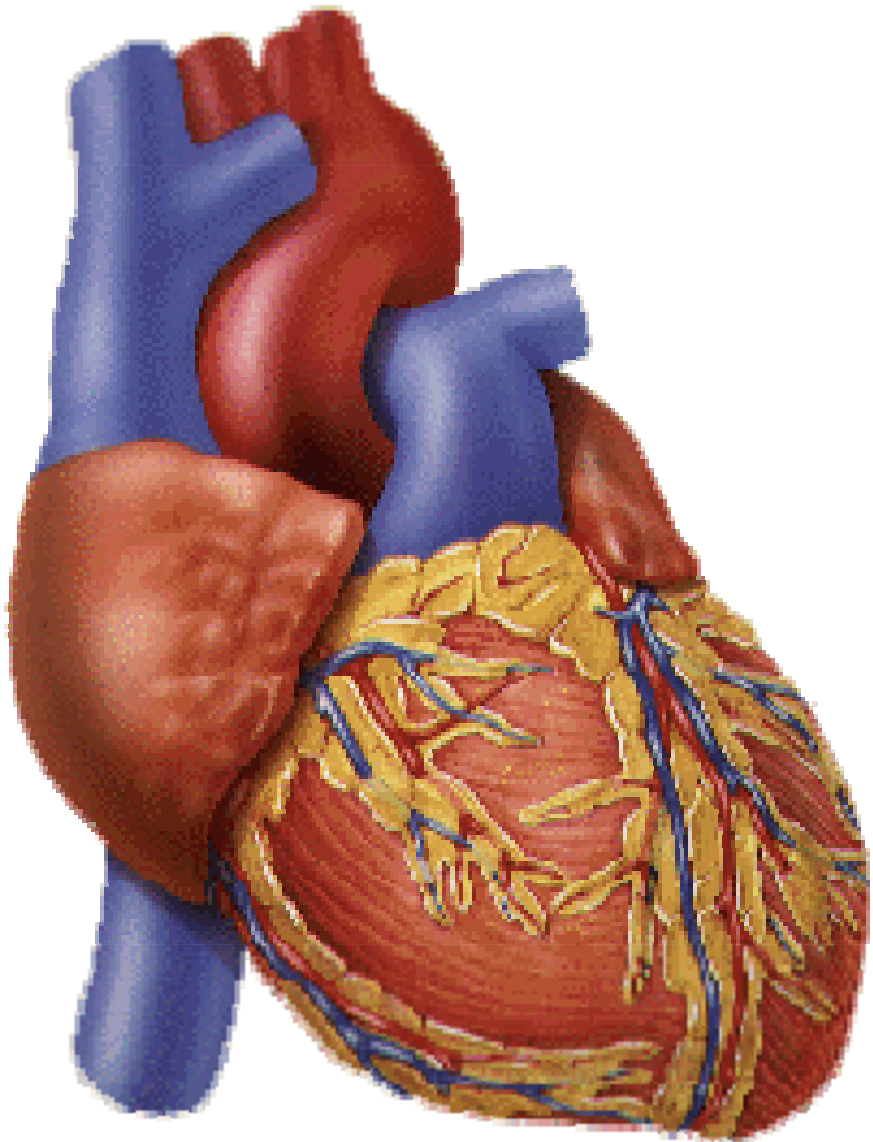
*Vanderhoeven,*

*Fiorella*

*Ramos, Paola*

*Daniela*

**Lic. En Biología  
Molecular-2013**



## **INDICE GENERAL**

<u>Introducción</u>	Pág. 1
<u>Marco teórico</u>	Pág. 2-29
• Anatomía del corazón	Pág. 2
• Estructura celular del corazón	Pág. 5-9
1. Células contráctiles miocárdicas	Pág. 6
2. Células autorritmicas miocárdicas	Pág. 8
3. Cuadro comparativo	Pág. 9
• El corazón como bomba	Pág. 10-20
1. Fases del ciclo cardiaco	Pág. 12
2. Curvas presión-volumen	Pág. 14
3. Presiones intracardiacas	Pág. 19
• Flujo sanguíneo	Pág. 20-29
<u>Conclusión</u>	Pág. 30
<u>Bibliografía</u>	Pág. 31

# INTRODUCCIÓN

La Física estudia los sistemas más simples existentes en la naturaleza. Aplica modelos para representar a estos sistemas sencillos. Todas las Ciencias, tanto la Física, la Química, la Matemática y la Biología van tomadas de la mano. Es así como la incertidumbre acerca del cuerpo humano se minimiza, aún más con el paso del tiempo, gracias a la acción de estas ciencias, que se complementan de manera sorprendente. Un organismo puede ser descrito de manera muy interesante teniendo en cuenta datos físicos, químicos, fisiológicos y anatómicos, sin dejar de lado cálculos matemáticos, que son útiles para obtener los valores necesarios para comprender mejor aún, ciertos funcionamientos de células, tejidos, órganos y sistemas. Un ejemplo extraordinario es el sistema circulatorio, el cual permite que fluya la vida a través del organismo. Esto es algo que parece sencillo y decidimos abordarlo, con el fin de demostrar que es realmente complejo, apasionante y atractivo.

## MARCO TEÓRICO BIOLÓGICO Y SU RELACIÓN CON CONCEPTOS FÍSICOS

### ANATOMÍA DEL CORAZÓN

El **corazón** es un órgano muscular que se ubica en el centro de la cavidad torácica. Está compuesto principalmente por músculo cardíaco denominado **miocardio** y rodeado por un saco membranoso resistente, llamado **pericardio**.

La masa del corazón está compuesta por cuatro cámaras; dos inferiores llamadas **ventrículos** y dos superiores, **aurículas**. Los vasos sanguíneos mayores emergen de la base del corazón. La **aorta**, que nace del ventrículo izquierdo dirige la sangre desde el corazón hacia los tejidos, y la **arteria pulmonar** que parte del ventrículo derecho, la dirige a los pulmones. Las **venas cavas** y las **pulmonares** retornan la sangre hacia el corazón. La superficie de los ventrículos está atravesada por las **arterias y venas coronarias** que irrigan el músculo cardíaco.

Los lados izquierdo y derecho del corazón están separados por el **tabique interventricular**, de modo que la sangre de un lado no se mezcla con la del otro. Aunque el flujo sanguíneo en el corazón izquierdo está separado del flujo en el corazón



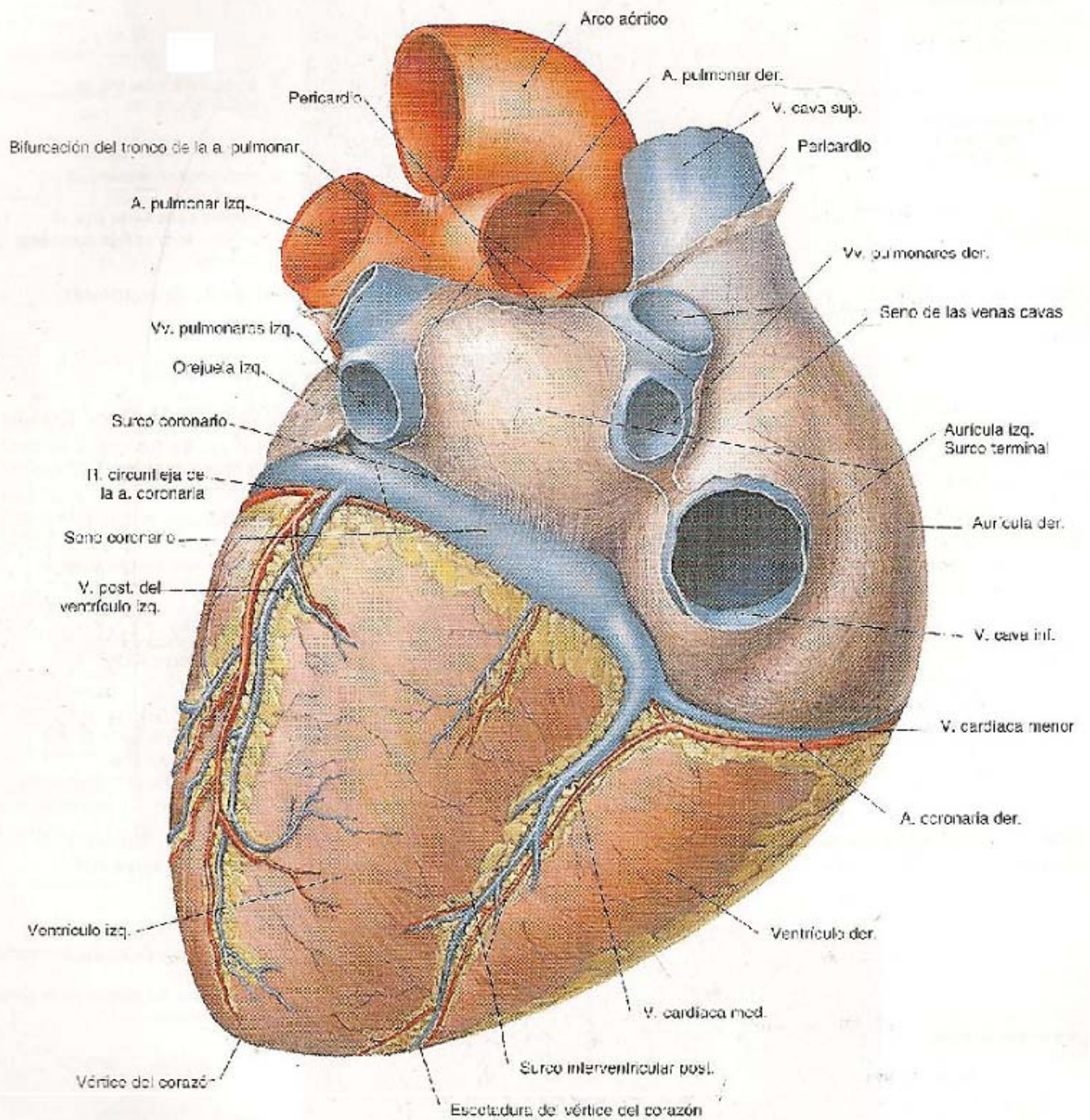
derecho, los dos lados se contraen de forma coordinada. Primero se contraen las aurículas y luego los ventrículos.

Las cuatro cavidades están rodeadas de **tejido conectivo fibroso** que actúa como aislante eléctrico, bloqueando la mayor parte de la transmisión de las señales eléctricas entre aurículas y ventrículos. Esto asegura que las señales eléctricas puedan dirigirse a través de un sistema de conducción especializado.

Además existen válvulas cardíacas que aseguran el flujo unidireccional en el corazón. Sin las válvulas, la sangre volvería a la cavidad después de la contracción, con lo cual el corazón no cumpliría su propósito de irrigar sangre al resto del cuerpo. Las **válvulas aurículo-ventriculares** son dos: la **válvula bicúspide o mitral** que se encuentra entre la aurícula izquierda y el ventrículo izquierdo y que está formada por dos membranas, las cuales reciben **cuerdas tendinosas** de los músculos papilares anterior y posterior, situados en la pared externa del ventrículo izquierdo. La **válvula tricúspide** se encuentra entre el ventrículo derecho y la aurícula derecha y está formada por tres membranas, las cuales reciben cuerdas tendinosas ancladas directamente a las paredes del ventrículo derecho.

Las otras válvulas presentes en el corazón son las denominadas **válvulas semilunares** entre las que se encuentra la válvula sigmoidea aortica, que se ubican entre el ventrículo izquierdo y la arteria aorta, y la pulmonar, en la abertura situada en el ventrículo derecho, por la cual sale el tronco pulmonar.

	RECIBE SANGRE DE...	ENVIA SANGRE A...
<b>CORAZÓN</b>		
<b>Aurícula Derecha</b>	Venas Cavas	Ventrículo Derecho
<b>Ventrículo Derecho</b>	Aurícula Derecha	Pulmones
<b>Aurícula Izquierda</b>	Venas pulmonares	Ventrículo Izquierdo
<b>Ventrículo Izquierdo</b>	Aurícula Izquierda	El cuerpo (excepto los pulmones)
<b>VASOS</b>		
<b>Venas Cavas</b>	Venas sistémicas	Aurícula Derecha
<b>Tronco pulmonar (arteria)</b>	Ventrículo Derecho	Pulmones
<b>Vena Pulmonar</b>	Venas de los pulmones	Aurícula Izquierda
<b>Aorta</b>	Ventrículo Izquierdo	Arterias Sistémicas



**Fig. 841.** Visión dorsocaudal de las venas cardíacas; se ha extirpado el pericardio hasta los pliegues de reflexión en los grandes vasos. El seno coronario suele estar cubierto por finos tractos musculares (comparar con la fig. 815).

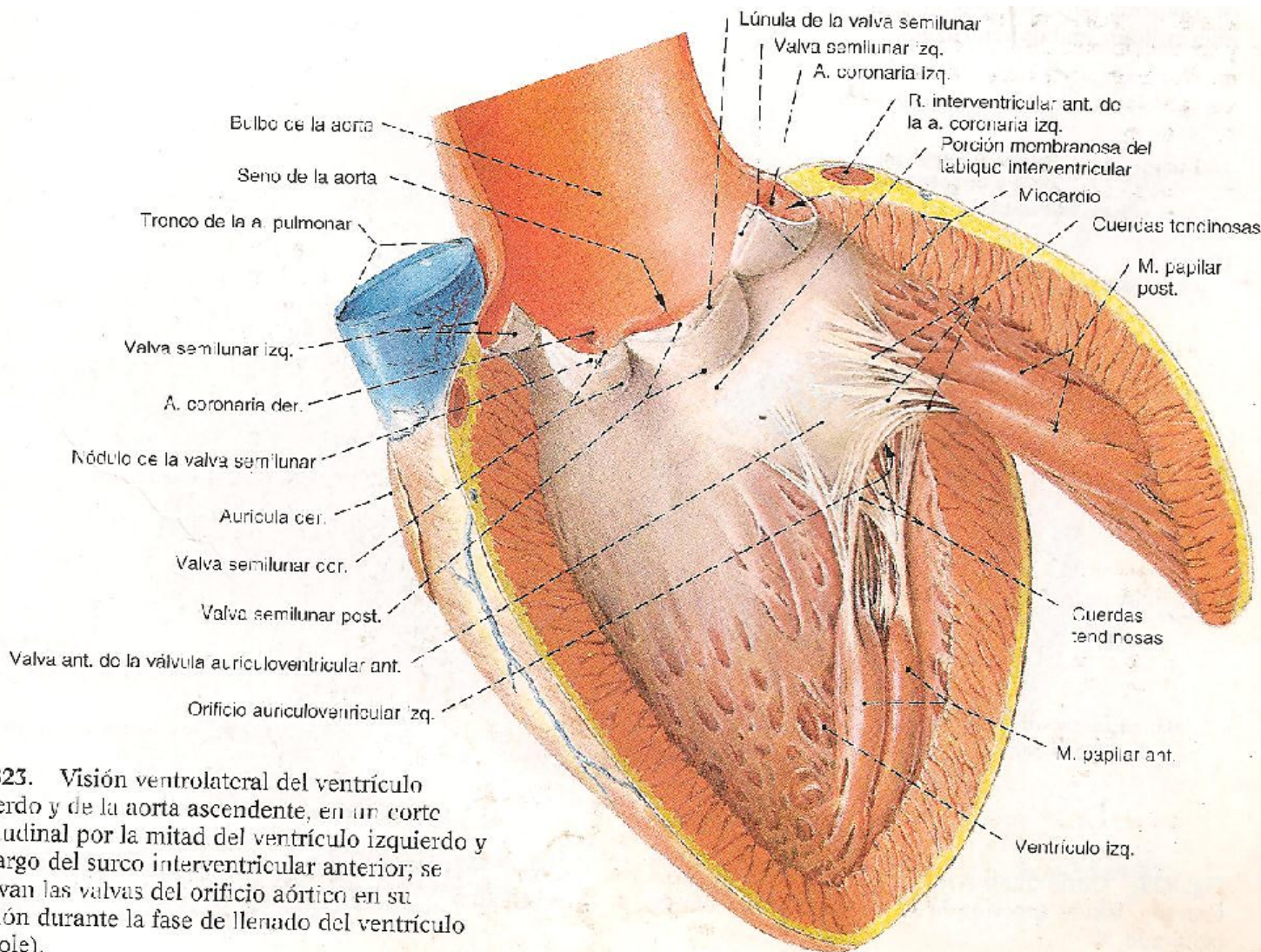


Fig. 823. Visión ventrolateral del ventrículo izquierdo y de la aorta ascendente, en un corte longitudinal por la mitad del ventrículo izquierdo y a lo largo del surco interventricular anterior; se observan las valvas del orificio aórtico en su posición durante la fase de llenado del ventrículo (diástole).

## ESTRUCTURA CELULAR DEL CORAZÓN

### LAS CÉLULAS DEL CORAZÓN SE CONTRAEN SIN ESTIMULACIÓN NERVIOSA

La mayor parte del corazón está compuesta por células del músculo cardíaco. Alrededor del 1% de las células miocárdicas están especializadas en generar potenciales de acción espontáneamente. Estas células son responsables de una propiedad única del corazón: **su capacidad para contraerse sin ninguna señal externa**. Esta señal para la contracción es **miógena**: se origina dentro del músculo cardíaco.

La señal proviene de las **células autorríticas**, que regulan el ritmo del latido cardíaco. Son anatómicamente distintas de las células contráctiles, más pequeñas y contienen pocas fibras contráctiles.

Estas células se conectan eléctricamente entre sí por **uniones de hendidura** (un tipo de uniones celulares). Así se pueden **propagar las ondas de despolarización** (potenciales

de acción) de una a otra célula, lo que permite que todas se contraigan casi simultáneamente.

Cada uno de los dos tipos de células del músculo cardíaco, las **células contráctiles miocárdicas** y las **células autorritmicas miocárdicas**, tienen potenciales de acción distintos, en el cual el calcio tiene un papel esencial.

## CÉLULAS CONTRACTILES MIOCÁRDICAS

**FASE CUATRO: Potencial de membrana en reposo:** Las células contráctiles miocárdicas tienen un potencial de reposo estable de unos **-90 mV**.

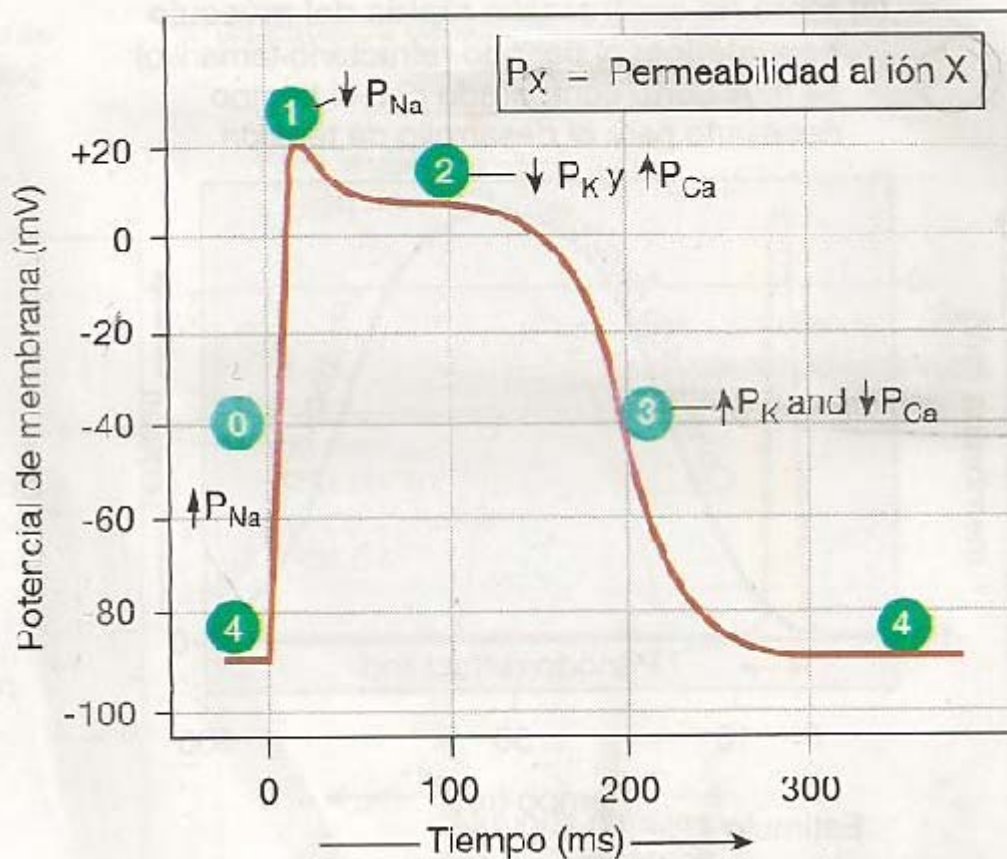
**FASE CERO: Despolarización:** Cuando una onda de despolarización se propaga a una célula contráctil a través de las uniones de hendiduras, el potencial de membrana se torna más positivo. Los canales de  $\text{Na}^+$  regulados por voltaje se abren, lo que permite que el  $\text{Na}^+$  entre en las células. El **potencial de membrana** alcanza alrededor de **+20 mV** antes de que los canales de sodio se cierren.

**FASE UNO: Repolarización inicial:** Cuando los canales de sodio se cierran la célula comienza a repolarizarse, a medida que el  $\text{K}^+$  sale a través de los canales de potasio abiertos.

**FASE DOS: Meseta:** El potencial de acción se aplanar luego en una meseta como resultado de la disminución de la permeabilidad al  $\text{K}^+$  y el aumento de la permeabilidad al  $\text{Ca}^{+2}$ . Los canales de calcio, regulados por voltaje, activados por la despolarización, se han estado abriendo lentamente durante la fase de despolarización y de repolarización inicial.

La combinación de la entrada de calcio con la menor salida de potasio provoca que el potencial de acción se aplane.

**FASE TRES: Repolarización rápida:** La meseta termina cuando los canales de calcio se cierran y la permeabilidad al potasio aumenta una vez más. Cuando los canales de potasio tardíos se abren, el potasio sale rápidamente, lo que retorna a la célula a su potencial en reposo (fase cuatro).



**Potencial de  
Acción en un célula  
contráctil  
miocárdica**

Fase	Canales de membrana
0	Los canales de $Na^+$ se abren
1	Los canales de $Na^+$ se cierran
2	Los canales de $Ca^{2+}$ se abren; los canales rápidos de $K^+$ se cierran
3	Los canales de $Ca^{2+}$ se cierran; los canales lentos de $K^+$ se abren
4	Potencial de reposo

## CÉLULAS AUTORRÍTMICAS MIOCÁRDICAS

Su capacidad para generar espontáneamente potenciales de acción, es el resultado de una **membrana inestable**, que comienza a **-60 mV** y se desplaza lentamente hacia arriba en dirección al umbral. Como el potencial de membrana nunca “descansa” en un valor constante, se denomina **potencial de marcapasos**. Siempre que éste se despolarice hasta el umbral, la célula dispara un nuevo potencial de acción.

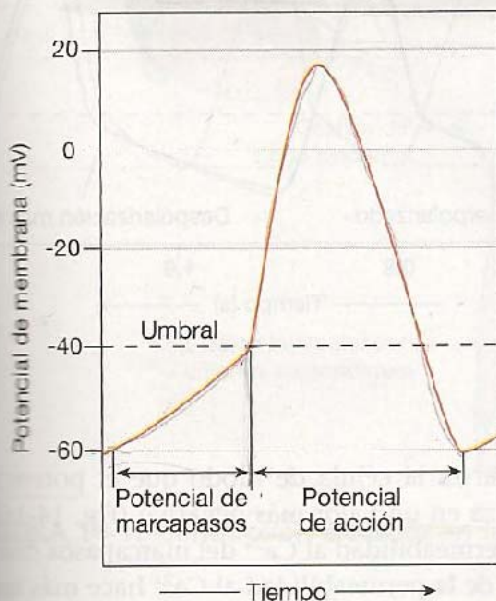
Estas células tienen canales diferentes. Cuando el potencial de membrana de la célula es de **-60 mV**, los **canales  $I_f$** , permeables tanto a  $\text{Na}^+$  como a  $\text{K}^+$ , se abren. Estos canales permiten que la corriente iónica fluya.

Cuando en los potenciales de membrana negativos, los canales  $I_f$  se abren, la entrada de  $\text{Na}^+$  excede la salida de  $\text{K}^+$ . La entrada neta de una carga positiva despolariza lentamente a la célula autorrítmica. A medida que el potencial de membrana se vuelve más positivo, los canales  $I_f$  se cierran gradualmente y se abren los de  $\text{Ca}^{2+}$ . La entrada de  $\text{Ca}^{2+}$  continúa la despolarización y el potencial de membrana se eleva hacia el umbral. Cuando el potencial de membrana alcanza el umbral, se abren canales de  $\text{Ca}^{2+}$  adicionales. El calcio entra rápidamente en la célula y crea la pendiente de la fase de despolarización del potencial de acción.

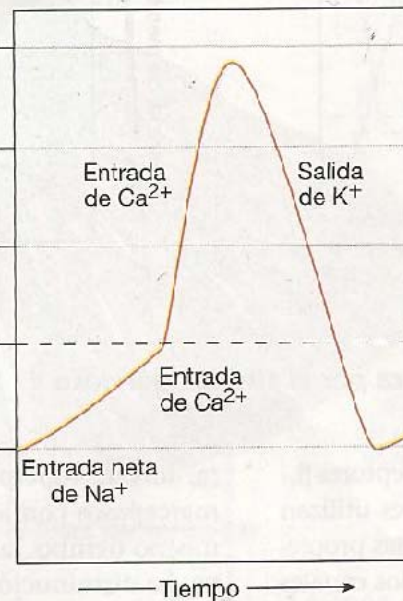
La fase de repolarización es similar a la de las células contráctiles miocárdicas.

### Potencial de Acción en células autorrítmicas cardíacas

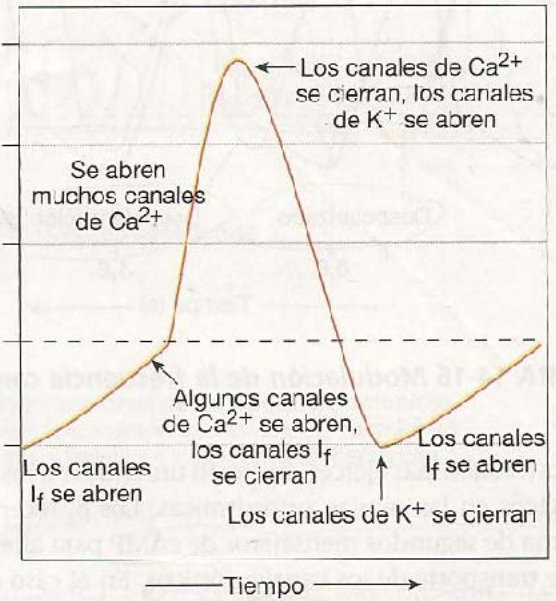
(a) El potencial de marcapasos se torna gradualmente menos negativo hasta que alcanza el umbral, momento en que dispara un potencial de acción.



(b) Movimientos iónicos durante un potencial de marcapasos y un potencial de acción.



(c) Estados de distintos canales iónicos



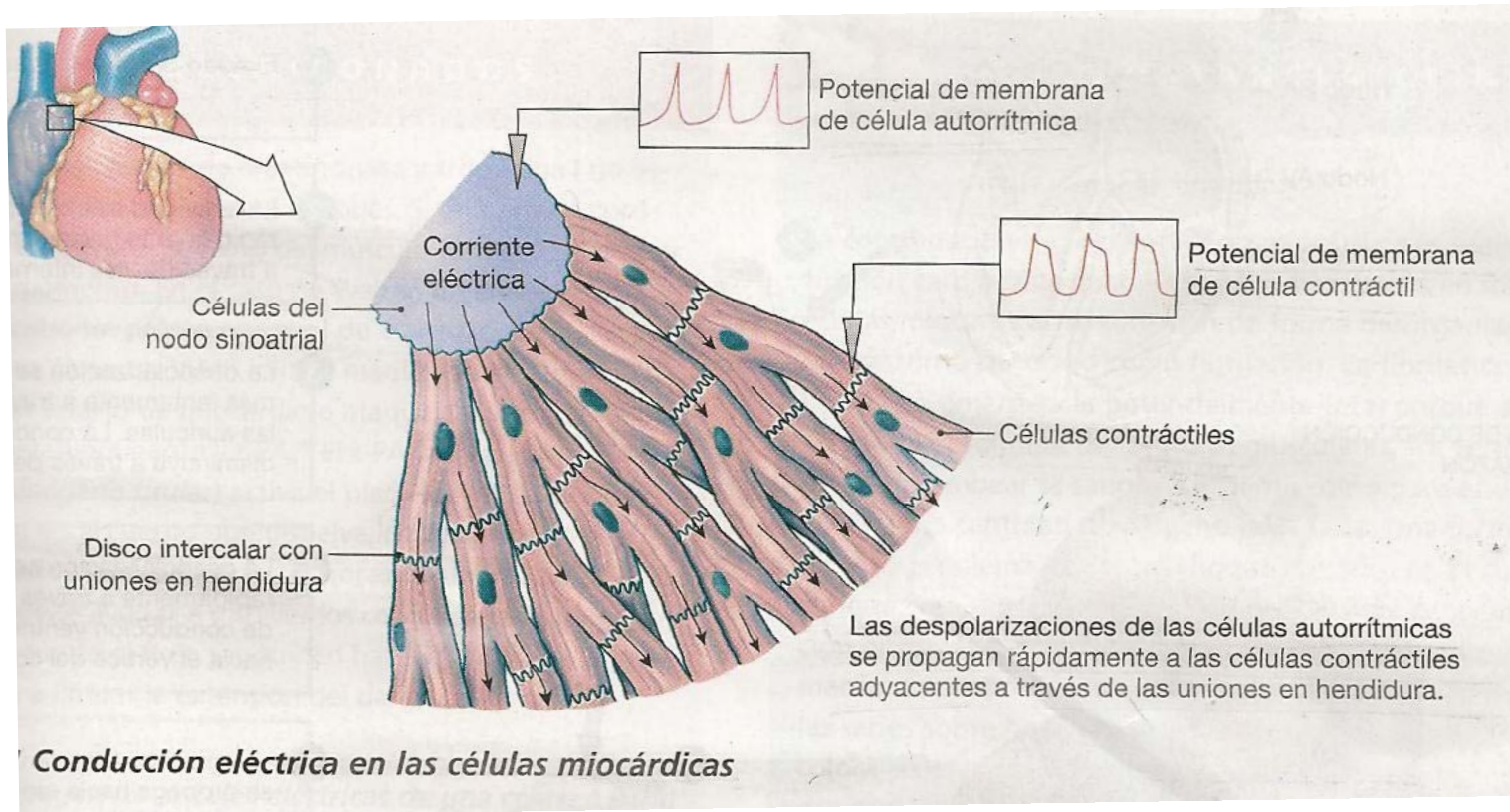
**Cuadro comparativo entre las células contráctiles miocárdicas y las células autorritmicas cardíacas.**

	<b>CÉLULAS CONTRÁCTILES MIOCÁRDIICAS</b>	<b>CÉLULAS AUTORRÍTMICAS CARDÍACAS</b>
<b>Potencial de membrana</b>	Estable a -90 mV	Potencial de marcapasos inestable, habitualmente comienza en -60 mV
<b>Eventos que producen un potencial umbral</b>	La despolarización se propaga a través de las uniones de hendiduras	Entrada neta de Na <sup>+</sup> a través de los canales If, reforzado por la entrada de Ca <sup>+2</sup>
<b>Fase de crecimiento del potencial de acción</b>	Entrada de Na <sup>+</sup>	Entrada de Ca <sup>+2</sup>
<b>Fase de repolarización</b>	Meseta extensa causada por la entrada de Ca <sup>+2</sup> ; fase rápida causada por la salida de K <sup>+</sup>	Rápida, causada por la salida de K <sup>+</sup>
<b>Hiperpolarización</b>	Ninguna; el potencial de reposo es de -90 mV, potencial de equilibrio para K <sup>+</sup>	Ninguna; cuando la repolarización llega a -60 mV, los canales If se abren nuevamente
<b>Duración del potencial de acción</b>	Extendido: mas de 200 mseg	Variable; generalmente mas de 150 mseg
<b>Periodo refractario</b>	Prolongado porque el retorno al estado inicial de las compuertas de los canales de Na <sup>+</sup> se difiere hasta el final del potencial de acción.	Ninguna

## **EL CORAZÓN COMO BOMBA**

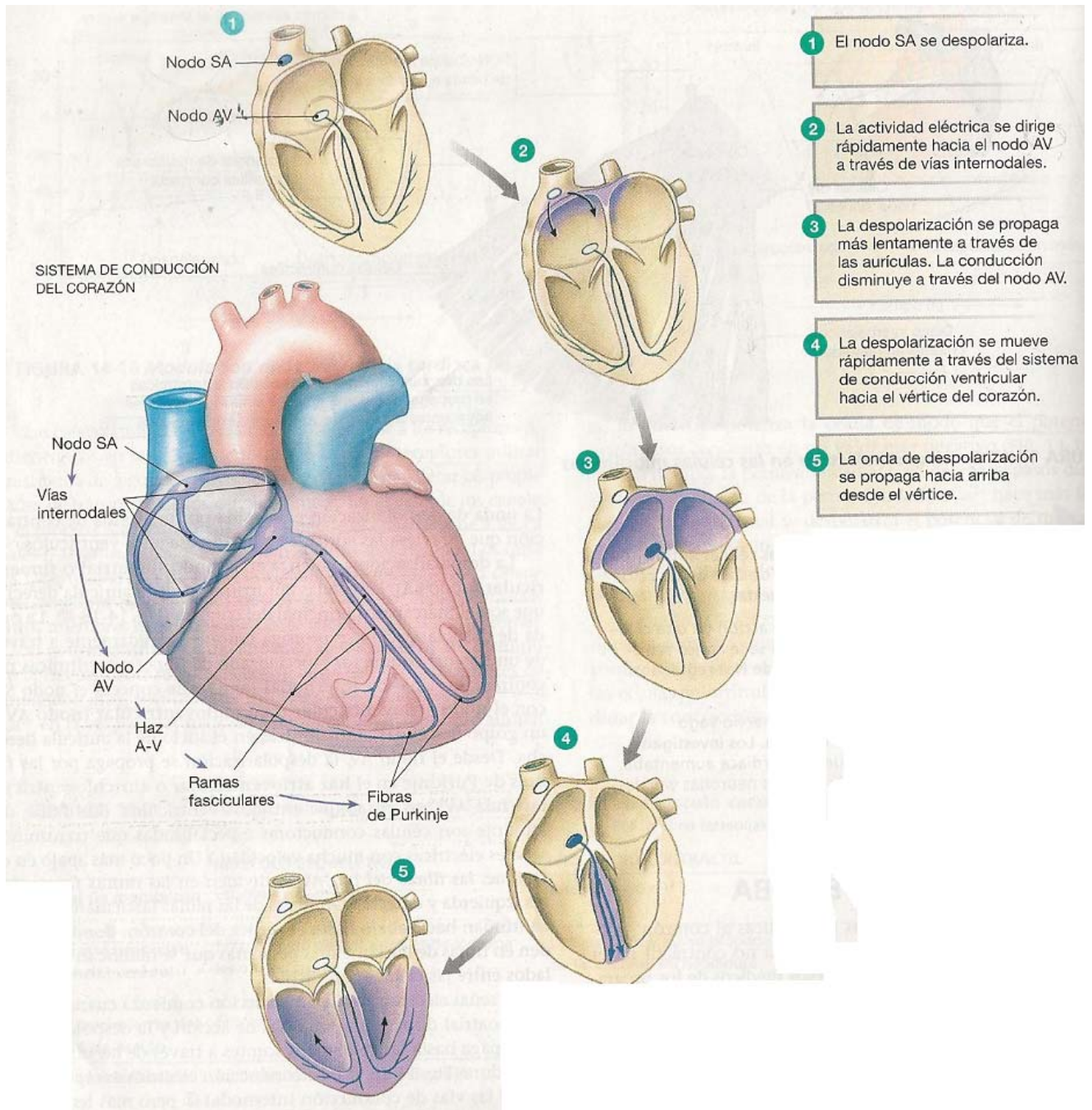
La despolarización comienza en el **nodo sinoauricular (células autorritmicas ubicadas en la aurícula derecha)**. Esta onda de despolarización, seguida por una onda de contracción atraviesa las aurículas y luego pasa a los ventrículos. Desde el **nodo auriculoventricular** la despolarización se propaga por las **fibras de Purkinje (células conductoras especializadas que transmiten señales eléctricas con mucha velocidad, hasta 4m/s)**, en el haz auriculoventricular en el tabique entre los ventrículos.

A medida que los potenciales de acción se propagan a través de las aurículas, encuentran el **esqueleto fibroso** del corazón, en la unión de las aurículas y los ventrículos. Esta barrera impide la transferencia de señales eléctricas desde las aurículas a los ventrículos. En consecuencia **el nodo AV es la única vía a través de la cual los potenciales de acción pueden alcanzar las fibras contráctiles de los ventrículos**. Además el nodo AV, retarda ligeramente la transmisión de estos potenciales, lo que permite a las aurículas completar su contracción antes de que comience la contracción ventricular.



Conducción eléctrica en el corazón (el sombreado violeta representa la despolarización)





## FASES DEL CICLO CARDÍACO:

El ciclo cardíaco consiste en dos fases denominadas **diástole (relajación)** y **sístole (contracción)**. La sangre fluye desde un área de mayor presión a otra de menor presión. La contracción aumenta la presión, mientras que la relajación la disminuye,

$$P = \frac{F}{A}$$

Donde P: presión  
F: fuerza

A: área

Analizando la definición de presión (fuerza por unidad de área que se ejerce perpendicularmente a una superficie), se puede concluir que si una de las cámaras del corazón se contrae, disminuye su área y aumenta la presión en su interior. Si ésta se relaja, se dilata (aumenta su área), disminuyendo la presión.

**FASE 1: CORAZON EN REPOSO:** las aurículas y los ventrículos están relajados. Las aurículas se están llenando con sangre proveniente de las venas y los ventrículos acaban de completar una contracción. A medida que los ventrículos se relajan, las válvulas AV se abren. La sangre fluye por gravedad desde las aurículas a los ventrículos. Los ventrículos relajados se expanden para permitir que la sangre ingrese.

**FASE 2: LLENADO VENTRICULAR (sístole auricular):** aunque la mayor parte de la sangre entra a los ventrículos cuando las aurículas están relajadas, el llenado se completa cuando las aurículas se contraen y empujan la sangre a los ventrículos. La **sístole auricular** una vez que comienza, la onda de despolarización recorre las aurículas. El aumento de presión que acompaña a la contracción, empuja la sangre a los ventrículos. Una pequeña cantidad de sangre debe retroceder a las venas ya que no existe ninguna válvula unidireccional que bloquee el flujo retrogrado.

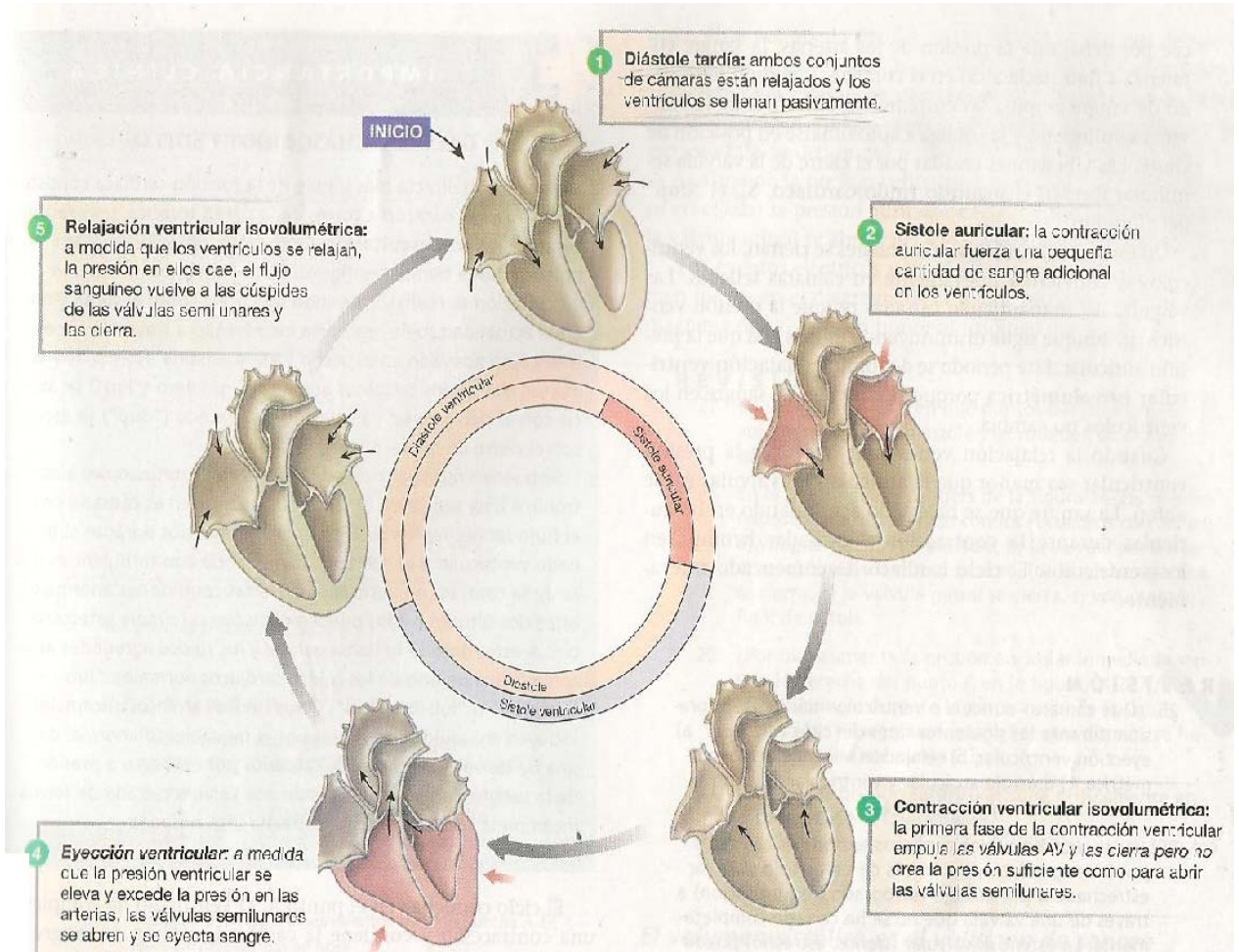
**FASE 3: CONTRACCIÓN VENTRICULAR TEMPRANA (primer ruido cardíaco):** a medida que las aurículas se contraen, la onda de despolarización se mueve lentamente a través de las células conductoras del nodo AV y luego desciende rápidamente por las fibras de Purkinje hasta el vértice del corazón. La **sístole ventricular** comienza allí, a medida que el músculo comprime la sangre hasta la base. La sangre que presiona la cara inferior de las válvulas AV las obliga a cerrarse y así no puede fluir hacia atrás de las aurículas. El primer ruido cardíaco se debe al **cerrado de las válvulas AV** ("lub "). Los ventrículos se continúan contrayendo y comprimen la sangre. Como ésta no tiene a donde ir, **el volumen de sangre en el interior del ventrículo se mantiene constante.**

Mientras los ventrículos comienzan a contraerse, las fibras auriculares se están repolarizando y relajando. Cuando la presión auricular cae por debajo de la presión de las venas, la sangre fluye desde ésta hasta las aurículas. El cierre de las válvulas AV aísla las cámaras cardíacas superiores e inferiores, lo que significa que el llenado auricular es independiente de los acontecimientos que tienen lugar en los ventrículos.

**FASE 4: EXPULSIÓN VENTRICULAR:** a medida que los ventrículos se contraen, generan presión para abrir las válvulas semilunares y empujar la sangre hacia las arterias. La **presión creada por la contracción ventricular se convierte en la fuerza impulsora del flujo sanguíneo.** La sangre con alta presión es forzada a entrar en las arterias y desplaza la sangre de baja presión en su interior, empujándola hacia los vasos distales. Durante esta fase las válvulas AV se mantienen cerradas y las aurículas continúan llenándose.

**FASE 5: RELAJACIÓN VENTRICULAR (segundo ruido cardíaco):** al final de la expulsión ventricular, los ventrículos comienzan a repolarizarse y relajarse. A medida que lo hacen, la presión ventricular disminuye hasta ser más baja que la presión de las

arterias, la sangre entonces, comienza a fluir hacia atrás del corazón. Este flujo retrogrado de sangre obliga a **cerrar las válvulas semilunares** formando el segundo ruido cardíaco (“dup”). Cuando la **relajación ventricular** hace que la presión ventricular sea menor que la auricular, las válvulas AV se abren. La sangre que se ha acumulado en las aurículas durante la contracción ventricular irrumpe en los ventrículos, iniciando un nuevo ciclo.



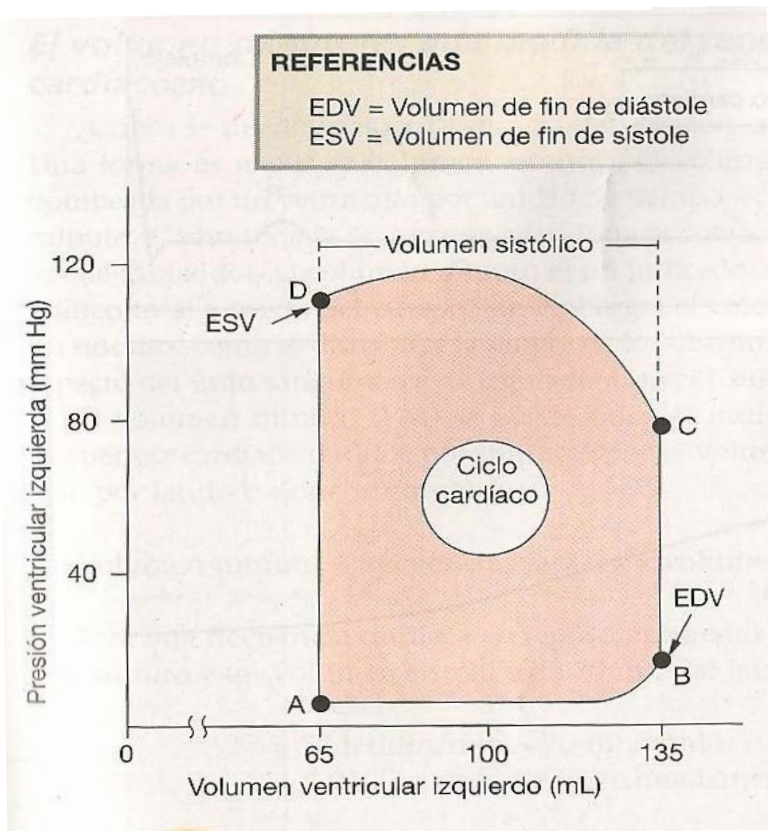
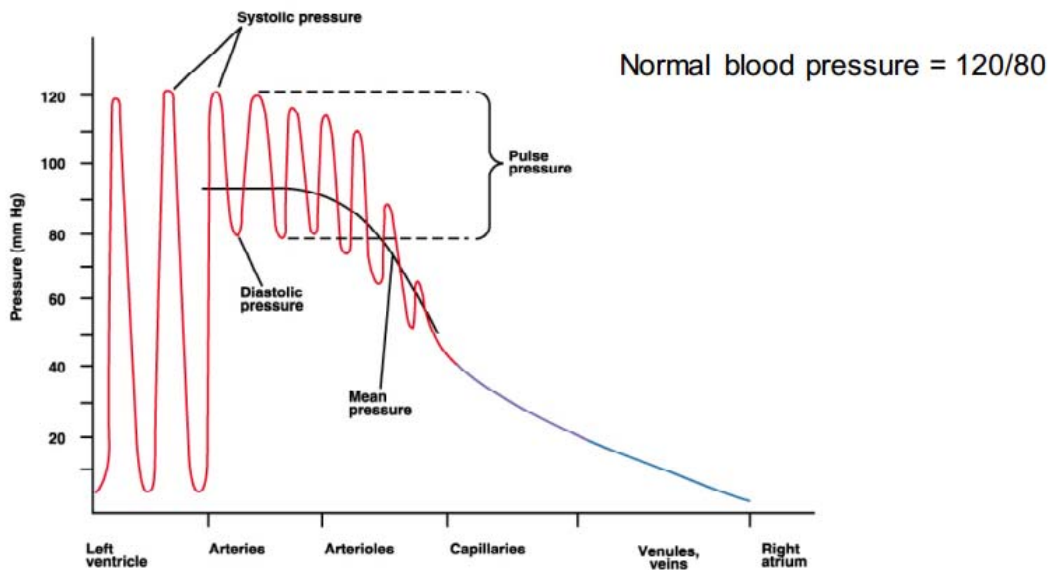
## LAS CURVAS PRESIÓN-VOLUMEN REPRESENTAN EL CICLO CARDÍACO

Teniendo en cuenta las presiones en las diferentes cavidades del corazón y en las arterias principales, se puede realizar un gráfico presión- volumen para describir el ciclo cardíaco.

CAVIDAD	PRESIÓN SISTÓLICA/DIASTÓLICA (mm Hg)	PRESIÓN MEDIA (mm Hg)
Aurícula Derecha		0 a 8
Ventrículo derecho	15-30	0 a 8
Aurícula Izquierda		1 a 10
Ventrículo izquierdo	90-140	3 a 12
Arteria Aorta	90-140/ 60-80	70 a 100
Arteria pulmonar	15-30/ 4-12	10 a 22

Sistólica = ventrículo contraído

Diastólica = ventrículo llenándose



El siguiente gráfico representa los cambios de presión-volumen de sangre en el ventrículo izquierdo durante un ciclo cardíaco

Esta figura representa los **cambios de volumen (eje x) y presión (eje y)** que ocurren durante un ciclo cardíaco en el ventrículo izquierdo, que envía sangre a la circulación sistémica, creando presiones más altas que el derecho, que envía sangre a través del circuito pulmonar, más pequeño.

El flujo de sangre a través del corazón está gobernado por el mismo principio que gobierna el flujo de todos los líquidos y gases: **el flujo se dirige desde las áreas de**

**mayor presión a las de menor presión.** Cuando el corazón se contrae, la presión aumenta y la sangre fluye fuera del corazón, hacia las áreas de menor presión.

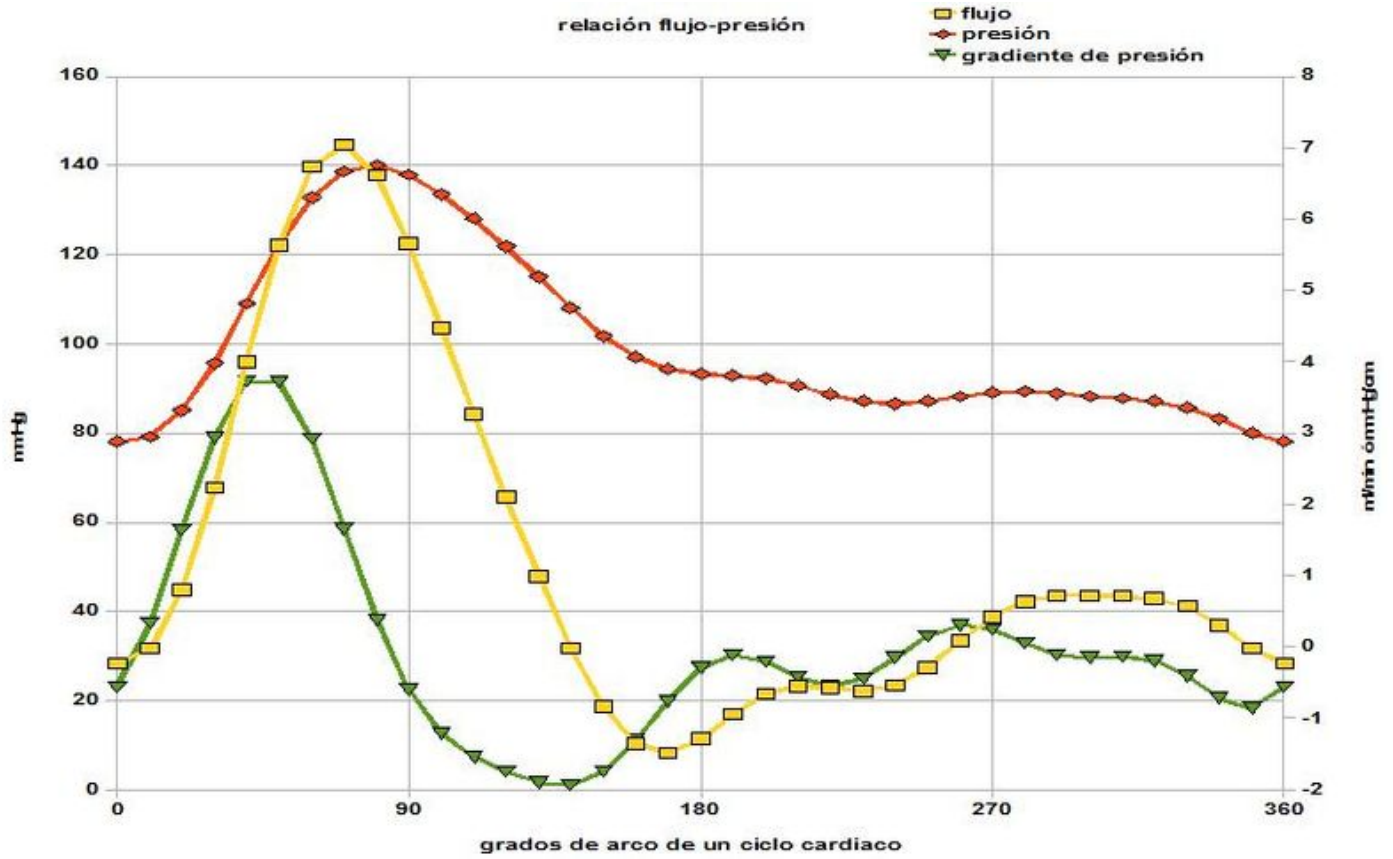
El ciclo comienza en el **punto A**. El ventrículo ha completado una contracción y **contiene la cantidad mínima de sangre que tendrá durante el ciclo**. Se ha relajado y su **presión está en su valor mínimo**. La sangre está fluyendo hacia la aurícula por las venas pulmonares. Una vez que la presión en la aurícula excede la presión en el ventrículo, se abre la válvula mitral, entre la aurícula y el ventrículo. La sangre auricular fluye ahora hacia el ventrículo aumentando su volumen **(del punto A al punto B)**. A medida que la sangre fluye hacia el interior, el ventrículo relajado se expande para hacer lugar a la sangre que entra, en consecuencia, **el volumen del ventrículo aumenta pero la presión sube muy poco**.

La última porción del llenado ventricular, la realiza la contracción auricular, el ventrículo contiene ahora, **el volumen máximo de sangre que tendrá durante este ciclo cardíaco (punto B)**. Como el llenado ventricular ocurre al final de la relajación ventricular (diástole), este volumen se denomina, **volumen de fin de diástole**.

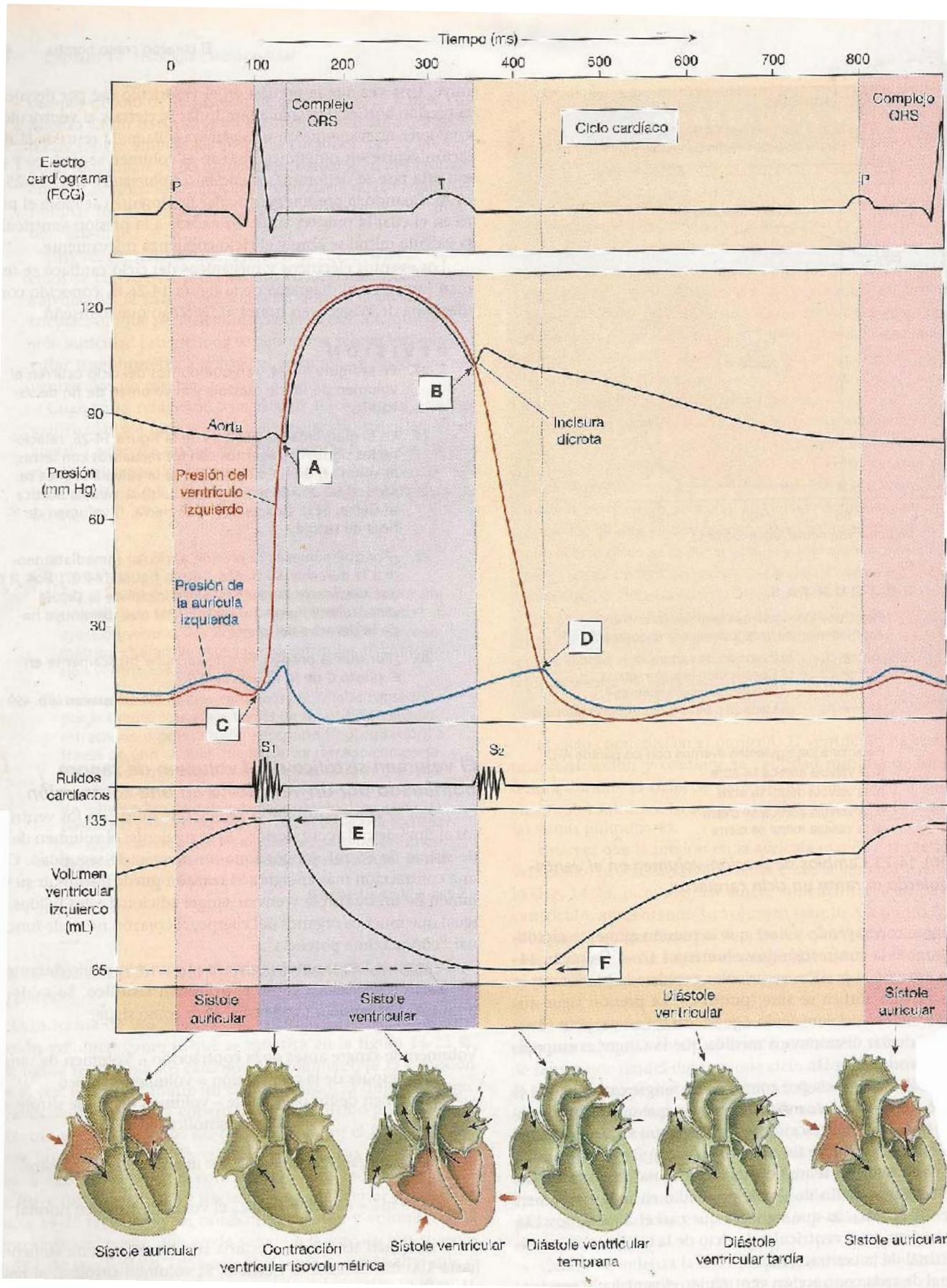
Cuando comienza la contracción ventricular, la válvula mitral se cierra. Con la válvula AV y la semilunar cerrada, la sangre del ventrículo no tiene ningún lugar donde ir. El ventrículo se sigue contrayendo y hace que la **presión aumente rápidamente durante la contracción (del punto B al punto C)**. Una vez que la presión ventricular excede la presión en la aorta, la válvula aórtica se abre **(punto C)**. La presión sigue aumentando mientras el ventrículo sigue contrayéndose, pero el **volumen ventricular disminuye** a medida que la sangre es empujada hacia la aorta **(del punto C al punto D)**.

El corazón no se vacía por completo de sangre cada vez que el ventrículo se contrae. La cantidad de sangre que queda en el ventrículo al final de la contracción se conoce como **volumen de fin de sístole (punto D)**, que es la **cantidad mínima de sangre que tendrá el ventrículo durante un ciclo**.

Al final de cada contracción ventricular, el ventrículo se relaja, a medida que lo hace, la **presión ventricular disminuye**. Una vez que la presión en el ventrículo cae por debajo de la presión aórtica, la válvula semilunar se cierra y el ventrículo se convierte nuevamente en una cámara cerrada. El resto de la relajación ocurre sin ningún cambio en el volumen sanguíneo, esta es la fase de relajación **(de D hasta A)**. Cuando la presión ventricular cae hasta el punto en el cual la presión auricular excede a la ventricular, la válvula mitral se abre y el ciclo comienza nuevamente.



Los **eventos eléctricos y mecánicos del ciclo cardíaco** se resumen en el siguiente diagrama:



## PRESIONES INTRACARDÍACAS

La presión intracardíaca o intravascular es la presión hidrostática ejercida por la sangre contra la pared de las cavidades cardíacas o de los vasos. Como se ha dicho anteriormente, el volumen de sangre en el interior del ventrículo se mantiene constante durante la fase 3, se podría considerar que **la sangre se encuentra en “reposo”** y en ésta situación se podría aplicar el **Teorema Fundamental de la Hidrostática** :

$$P_2 = P_1 + \rho gh$$

Donde P1 es la presión inicial  
P2 es la presión final  
 $\rho$  es la densidad de la sangre  
g es la gravedad  
h es la altura

Aplicando este teorema, se puede concluir que la presión de la sangre será la misma en todos los puntos que se ubiquen a una misma altura y la presión aplicada a ésta en un punto, se transmite a todos los puntos del fluido con igual intensidad.

En **condiciones fisiológicas**, los ventrículos generan una presión sistólica, que expulsa la sangre hacia las grandes arterias, con una mínima resistencia intracardíaca a la expulsión, la cual puede considerarse como nula. En este caso, se puede analizar a la sangre como un **fluido ideal en movimiento**, debido a la ausencia de viscosidad, su densidad constante, flujo laminar y estacionario, aplicándose para el análisis la **ecuación de Bernoulli** (Esta ecuación solo se puede utilizar en la situación planteada)

$$\frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho gh_1 + P_1 = \frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho gh_2 + P_2$$

Donde P: presión  
v: velocidad  
 $\rho$ : densidad  
g: gravedad  
h: altura

Finalmente la sangre fluye hacia los distintos órganos por medio de arterias y arteriolas, que ofrecen una importante **resistencia al flujo**, determinando un **descenso** significativo de las **presiones entre las arterias y los capilares**. En esta situación se aplica la **ley de Poiseuille** que veremos más adelante. Hay que tener en cuenta que esta ecuación solo se puede aplicar cuando la sangre presenta un flujo laminar y no sería apta durante el ciclo cardíaco, debido a que la abertura y cierre de las válvulas, generan turbulencias en el interior del corazón. Las turbulencias se generan cuando la velocidad de flujo resulta ser muy grande, aumentando el número de colisiones entre las moléculas, la fricción y un aumento considerable de la resistencia.



Para determinar si la sangre en una determinada situación presenta flujo laminar, inestable o turbulento, se utiliza el **número de Reynolds**:

$$N_R = \frac{2R\rho v}{\eta} \propto \frac{\text{inercia}}{\text{fricción}}$$

Donde: R: radio  
 ρ: densidad  
 v: velocidad de la sangre  
 η: viscosidad

Se observa que cuando:

$N_r < 2000$  el flujo es laminar

$N_r > 3000$  flujo es turbulento

$N_r$  esta entre 2000 y 3000 flujo es inestable

## FLUJO SANGUÍNEO

Los líquidos y los gases fluyen a favor de los gradientes de presión  $\Delta P$ , desde regiones de mayor presión a menor presión. Por lo tanto, la sangre puede fluir en el aparato cardiovascular solo si una región desarrolla una mayor presión que otra.

La contracción muscular aumenta la presión en las cámaras cardiacas. La sangre fluye fuera del corazón (la región de máxima presión) al circuito cerrado de los vasos sanguíneos (la región de menor presión). A medida que la sangre recorre el sistema, la presión se pierde debido a la fricción entre la sangre y las paredes del vaso sanguíneo. Hay que recordar que la fuerza de rozamiento es una fuerza que se opone al movimiento. Por ende, la presión cae continuamente a medida que la sangre se aleja del corazón. La presión más alta en los vasos del aparato cardiovascular se encuentra en la aorta y las arterias sistémicas en el momento, en que reciben sangre del ventrículo izquierdo. La presión mínima se encuentra en las venas cavas, antes de vaciarse en la aurícula derecha

## LA PRESIÓN DE UN LÍQUIDO EN MOVIMIENTO DISMINUYE CON LA DISTANCIA

Teniendo en cuenta que la presión en un líquido, es la fuerza ejercida por el líquido sobre el recipiente que lo contiene, si el líquido no está en movimiento, la presión que ejerce se denomina **presión hidrostática** y su intensidad es igual en todas las direcciones. En el corazón y en los grandes vasos la presión se mide en mm Hg.

En un sistema en el cual el líquido está fluyendo, la presión cae en función de la distancia a medida que se pierde energía debido a la fricción. Además, esta presión ejercida por el líquido en movimiento, tiene dos componentes: uno dinámico que representa la energía cinética del sistema y una lateral que representa la presión hidrostática (energía potencial) ejercida sobre las paredes del sistema.

$$W = \Delta E_c + \Delta U + Q$$

Donde W: es el trabajo realizado por la sangre

Ec: es la Energía Cinética que posee la sangre en movimiento

U: es la energía potencial que varía según la altura

Q es la energía disipada por rozamiento, equivalente al trabajo efectuado por esta fuerza.

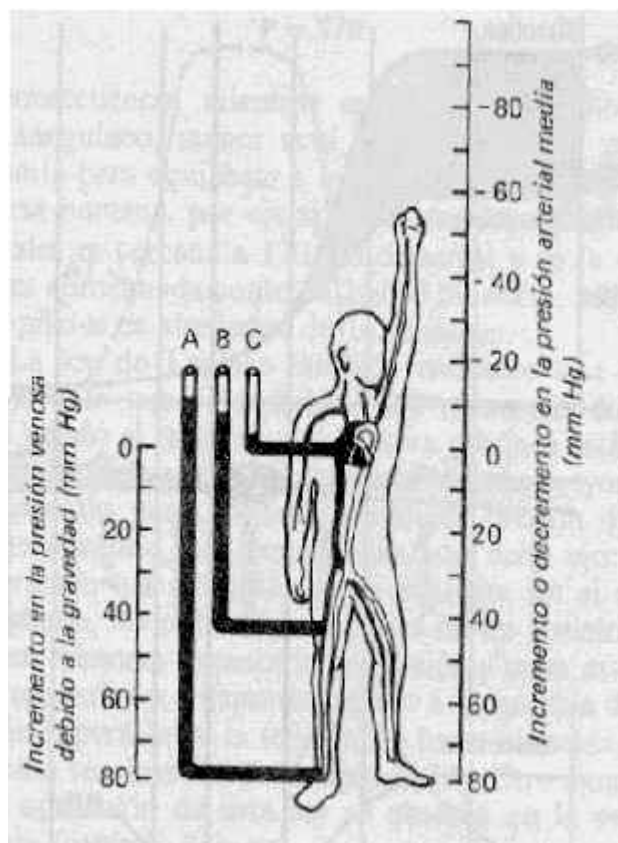
$$Q = \mu k \cdot N \cdot s$$

Donde  $\mu k$ : es el coeficiente de rozamiento

N: el módulo de la fuerza normal

S: el módulo del desplazamiento.

La gravedad de la Tierra juega un papel muy importante en la presión de cualquier vaso sanguíneo. Si éste se ubica por debajo del nivel del corazón, la presión está aumentada y la de cualquier vaso por encima del corazón, está disminuida. **La magnitud del efecto gravitacional, el producto de la densidad de la sangre, la aceleración de la gravedad y la distancia vertical arriba o abajo del corazón, es de 0.77 mmHg/cm a la densidad de la sangre normal.** Así, en posición de pie, cuando la presión arterial media a nivel del corazón es de 100 mmHg, la presión media en una arteria grande de la cabeza (50 cm arriba del corazón) es de 62 mmHg y la presión de una arteria grande del pie (105 cm abajo del corazón) es de 180 mmHg.



Como se dijo anteriormente, en el corazón humano la contracción de los ventrículos genera una presión que es transferida a la sangre. Esta **sangre en alta presión, fluye fuera del ventrículo y dentro de los vasos sanguíneos, desplazando la sangre con menor presión que ya está en los vasos**. Esta se denomina **presión motriz**, porque es la fuerza que mueve la sangre a través de los vasos sanguíneos.

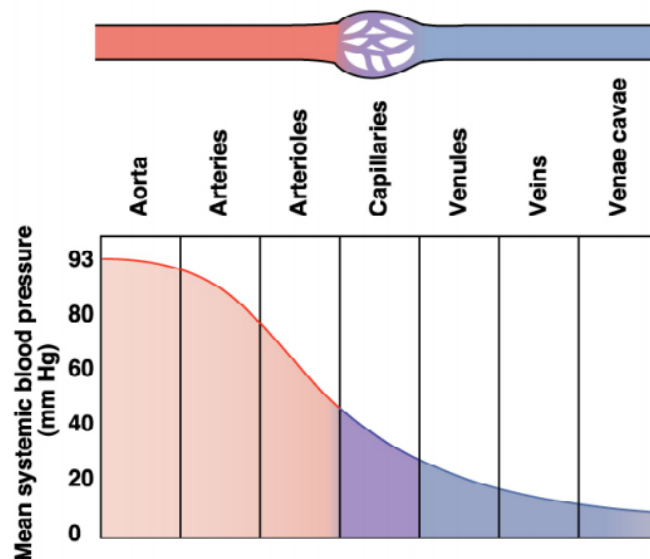
El flujo de la sangre a través del sistema cardiovascular es directamente proporcional al gradiente de presión.

$$\text{Flujo} \propto \Delta P$$

Esta relación nos informa que cuanto mayor es el gradiente de presión, mayor es el flujo del líquido.

## MEDIDAS DE PRESION SANGUÍNEA

Valor de la Presión sistémica vs. vasos por los que circula la sangre



LA RESISTENCIA SE OPONE AL FLUJO

La sangre que fluye a través de los vasos sanguíneos encuentra fricción en las paredes de los vasos y en células sanguíneas, que frotan unas contra otras, a medida que fluyen. La tendencia del aparato cardiovascular a oponerse al flujo sanguíneo se denomina **resistencia hidrodinámica**.

La relación entre el flujo medio, la presión media y la resistencia en los vasos sanguíneos es análoga, en general, a la relación entre corriente, la fuerza electromotriz y la resistencia en un circuito eléctrico expresada por la **ley de Ohm**:

$$V = R \cdot i \text{ (Ley de Ohm)}$$

$$P = R \cdot F$$

Donde P: presión

R: resistencia hidrodinámica

F: flujo

El aumento en la resistencia de un vaso sanguíneo conduce a la disminución en el flujo a través de este vaso. Esto se puede expresar como:

$$\text{Flujo} \propto 1/R$$

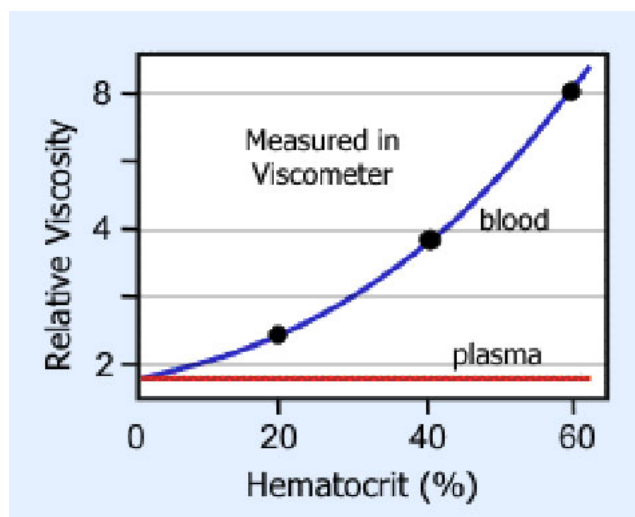
Esta expresión nos dice que el flujo es inversamente proporcional a la resistencia. **Si la resistencia aumenta el flujo disminuye.**

La resistencia hidrodinámica depende de dos factores: el radio del vaso sanguíneo, su longitud y la viscosidad del líquido.

La **viscosidad** es la fricción interna del fluido:

$$F = \eta \frac{A \cdot \Delta v}{\Delta y}$$

Donde  $\eta$ : es el coeficiente de viscosidad que depende del fluido.



Todos estos datos se reúnen en la **Ley de Poiseuille**

$$Q = \frac{\Delta P \pi R^4}{8\eta L}$$

Donde  $\eta$ : es la viscosidad

L: longitud del vaso

R: radio del vaso sanguíneo

Q: caudal de sangre

Como  $8/\pi$  es una constante, la relación puede escribirse como:

$$R \propto L \cdot \eta / r^4$$

Definiendo **Resistencia Hidrodinámica** como:

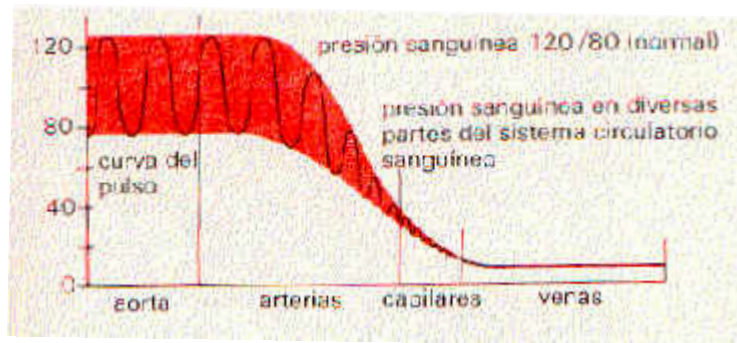
$$R_H = \frac{(8 \eta L)}{(\pi R^4)}$$

Entonces la **Ecuación de Poiseuille** puede escribirse del siguiente modo:

$$\Delta P = R_H \cdot Q$$

Esto nos dice:

1. La resistencia al flujo de la sangre ofrecida por un vaso sanguíneo aumenta a medida que aumenta su longitud
2. La resistencia aumenta a medida que la viscosidad de la sangre aumenta
3. La resistencia disminuye a medida que el radio del vaso sanguíneo aumenta.



**La Ley de Poiseuille se aplica sólo al flujo laminar (no turbulento) de un fluido de viscosidad constante, que es independiente de la velocidad del fluido.**

La viscosidad sanguínea está determinada por la relación entre los eritrocitos y el plasma y por la cantidad de proteínas presentes en el plasma. Normalmente esta es constante y pequeños cambios en la longitud tienen poco efecto sobre la resistencia. Esto significa que los cambios en el radio de los vasos sanguíneos son la variable principal que afecta la resistencia en la circulación sistémica.

La sangre es un fluido complejo, formado por partículas sólidas de diferentes formas suspendidas en un líquido. Los glóbulos rojos de la sangre, por ejemplo, son corpúsculos de forma de disco que están orientados al azar a velocidades bajas, pero que resultan orientados a velocidades altas para facilitar el flujo. Así pues, la viscosidad de la sangre disminuye cuando aumenta la velocidad de flujo, de forma que la ley no es estrictamente válida. Sin embargo, dicha ley es una buena aproximación que es muy útil a la hora de obtener una comprensión cualitativa del flujo sanguíneo.

En resumen:

$$F \propto \Delta P/R$$

Esto nos dice que el **flujo de sangre en el aparato cardiovascular es directamente proporcional al gradiente de presión e inversamente proporcional a la resistencia al flujo.**

### **LA VELOCIDAD DE FLUJO DE LA SANGRE DEPENDE DEL CAUDAL Y DEL ÁREA DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL**

La velocidad media del movimiento de la sangre en un vaso sanguíneo es inversamente proporcional al área de la sección transversal total en ese punto.

$$V_m = \frac{\Delta x}{\Delta t}$$

Donde  $V_m$ : velocidad media de la sangre

$\Delta x$ : desplazamiento (variación en la posición )

$\Delta t$ : variación en el tiempo

Por lo tanto, **la velocidad media de la sangre es rápida en la aorta, declina paulatinamente en los vasos menores y es mínima en los capilares.** La velocidad media del flujo sanguíneo aumenta de nuevo cuando la sangre entra en las venas y es relativamente rápida en la vena cava, aunque no tanto como en la aorta.

Aunque la velocidad media de la sangre en la porción proximal de la aorta, es de 40 cm/seg, el flujo es fásico y la velocidad varía desde 120 cm/seg durante la sístole, hasta un valor negativo durante el reflujos transitorio, antes de que las válvulas aórticas se cierren en la diástole.

**Para circular con rapidez a través de los capilares, la sangre ha de bombearse a una cierta presión. La presión sanguínea se debe a la fuerza de los latidos del corazón y a la resistencia de las arterias.** La fuerza de los latidos es mayor cuando las venas se contraen; la resistencia crece si las arterias se estrechan.

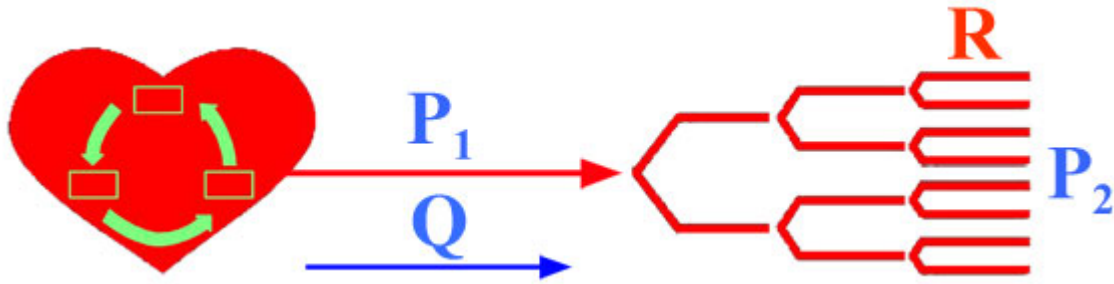
Otro concepto importante de destacar es el **caudal**, que se define como el volumen de sangre que pasa por un punto dado por unidad de tiempo:

$$Q = \frac{V}{t}$$

La relación entre velocidad de flujo (distancia que recorre un volumen fijo de sangre en un período de tiempo), caudal y área se la denomina **ecuación de continuidad** que establece que el producto del área transversal del vaso sanguíneo por la velocidad de la sangre es constante.

$$A_1 \cdot v_1 = A_2 \cdot v_2$$

$$V = Q/A$$



El corazón genera presión cuando se contrae y bombea sangre hacia el lado arterial de la circulación. **Las arterias actúan como un reservorio de presión durante la fase de relajación del corazón, manteniendo la presión arterial media que es la fuerza motriz primaria del flujo sanguíneo.** Esta presión está influida por dos parámetros: El volumen minuto (volumen de sangre que bombea el corazón por minuto) y la resistencia periférica (la resistencia de los vasos sanguíneos al flujo sanguíneo que los atraviesa).

Presión arterial media  $\propto$  volumen minuto x resistencia

periférica

	Diámetro de la luz	Espesor de la pared	Todos los vasos de cada tipo	
			Área de sección total aproximada (cm <sup>2</sup> )	Porcentaje del volumen sanguíneo contenido
Aorta	2.5 cm	2 mm	4.5	2
Arteria	0.4 cm	1 mm	20	8
Arteriola	30 mm	20 mm	400	1
Capilar	5 mm	1 mm	4500	5
Vénula	20 mm	2 mm	4000	54
Vena	0.5 cm	0.5 mm	40	
Vena cava	3 cm	1.5 mm	18	



## **CONCLUSIÓN**

Muchas veces la idea de enfrentarnos a algo desconocido causa cierto miedo. Llegado el momento de decidir el tema para el seminario final, sin pensarlo dijimos “El corazón y la sangre”. Así, comenzamos a investigar en láminas, revistas, libros, la web, formulas, para concluir en estas simples hojas, que esperamos que sean de utilidad para alguien más, como lo fueron para nosotras.

Este trabajo nos condujo a buscar por cuenta propia datos que resultarían interesantes para conocer el funcionamiento del cuerpo humano, y no dejamos de sorprendernos de cuán complejo es éste y de la cantidad de conceptos físicos, aprendidos durante el curso de la materia, que se relacionan con el mismo.

El corazón es uno de los órganos más importantes del organismo, bombea sangre por todo el cuerpo, un tejido fluido que recorre los vasos sanguíneos internos, y sin la cual no sería posible la vida. El aparato circulatorio es esencial porque de él depende el funcionamiento del organismo mediante la distribución de oxígeno, nutrientes, hormonas, la regulación de la temperatura corporal y el transporte de desechos.

Centrándonos en los conceptos físicos estudiados, se confirma que este sistema es altamente complejo: hay diferencia de presiones y de volumen de sangre en cada una de las cuatro cámaras cardíacas, durante el ciclo cardíaco, transferencia de energía entre las células del musculo cardíaco, otorgándole al corazón una propiedad única que lo caracteriza, la capacidad de generar un potencial de acción, sin la presencia de estímulos externos. Finalmente nos centramos en las diferentes leyes y teoremas que rigen el flujo de la sangre.

# **BIBLIOGRAFÍA**

- **Silverthorn.** “*Fisiología Humana: Un enfoque integrado*”. Ed. Panamericana. 4º Edición.
- **J.W. Kane y M.M. Sternheim.** “*Física*”. Ed. Reverté. 2º Edición
- **Giancoli Douglas C.** “*Física*”. 3º Edición
- **Sobotta.** “*Atlas de Anatomía Humana*”. Tomo II. Ed. Panamericana. 20º Edición.
- Apuntes de la cátedra: <http://www0.unsl.edu.ar/~cornette/teorias.html>
- [http://www.ele.uva.es/~lourdes/docencia/Master\\_Biosensores/Sensores\\_Presion.pdf](http://www.ele.uva.es/~lourdes/docencia/Master_Biosensores/Sensores_Presion.pdf)
- <http://es.wikipedia.org/wiki/Hemodin%C3%A1mica>
- <http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulos/flujoentuberias/flujosanguineo/flujosanguineo.html>
- [http://es.wikipedia.org/wiki/Flujo\\_sangu%C3%ADneo](http://es.wikipedia.org/wiki/Flujo_sangu%C3%ADneo)
- <http://www.lawebdefisica.com/apuntsfis/fluidosge/>
- <http://ocw.unican.es/ciencias-de-la-salud/fisiologia-humana-2011-g367/material-de-clase/bloque-tematico-1.-fisiologia-del-aparato/tema-5.-hemodinamica-o-fisica-del-flujo-sanguineo/tema-5.-hemodinamica-o-fisica-del-flujo-sanguineo>
- <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/pturb.html>

3

SEMINARIO DE FÍSICA 2013

*La Visión de los Insectos*



Universidad Nacional de San Luis  
Profesorado de Tercer Ciclo de la Enseñanza General Básica y de la Educación  
Polimodal en Matemática  
Física  
**Alumna:** Maria Laura Vazquez  
**Profesor:** Hugo Velasco

# *Índice*

- Introducción
  
- Conceptos físicos
  
- Índice de refracción
  - Reflexión y refracción
  - Ley de refracción (Ley de Snell)
  - Reflexión total interna
  - Polarización
  
- La visión de los insectos:
  - Tipos de ojos en los insectos
  - El rabdoma como guía de ondas
  - Los insectos y el color
  
- Orientación de insectos mediante la luz polarizada
  
- Conclusión
  
- Bibliografía

## INTRODUCCIÓN:

La gran mayoría de los insectos disponen de algún grado de visión y muchos han desarrollado varios sistemas muy sofisticados para ver, es decir, para captar las diversas longitudes de ondas de la luz, pudiéndose dar uno o varios sistemas a la vez.

Los insectos, a diferencia de nosotros, poseen varios receptores que conforman una imagen. Lo que constituye las imágenes percibidas por los insectos son pequeños fragmentos que unidos dan forma a lo visto, tal como ocurre en una imagen digital.

Muchos [animales](#) son capaces de percibir la polarización de luz, usando esa habilidad con objetivos de navegación ya que la polarización lineal de la luz de cielo es siempre perpendicular a la dirección del sol. Esta capacidad es muy común entre los [insectos](#), incluyendo las [abejas](#), que usan esta información para orientar su [danza de la abeja](#). La visión de los insectos es, innegablemente fascinante. De hecho, los ojos de los insectos comprenden mecanismos que hasta han inspirado a la ciencia para [crear lentes de cámaras](#).

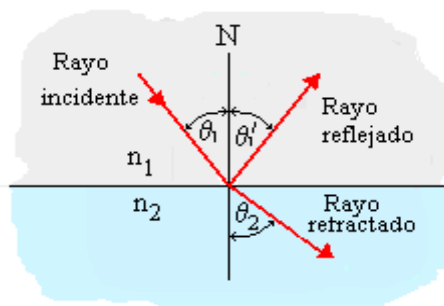
## CONCEPTOS FÍSICOS

### 5.1 Índice de refracción

Es la relación entre la velocidad de propagación de la onda en un medio de referencia (por ejemplo el [vacío](#) para las [ondas electromagnéticas](#)) y su velocidad en el medio del que se trate.

### Reflexión y refracción

Cuando un rayo de luz se desplaza por el medio 1 caracterizado por un índice de refracción  $n_1$  llega a la superficie de separación con el medio 2 caracterizado por un índice de refracción  $n_2$ , da lugar al rayo reflejado que se propaga por el medio 1 y el rayo refractado que se propaga por el medio 2.



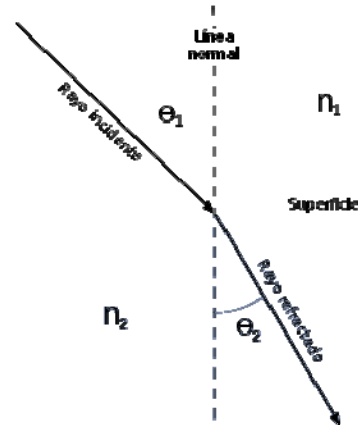
Siendo  $n_2$  y  $n_1$  el índice de refracción del medio 2 y el medio 1 respectivamente,  $\theta_1$  es el ángulo de incidencia,  $\theta_1'$  ángulo de reflexión y  $\theta_2$  ángulo de refracción (ángulos que forman los rayos con la normal a la superficie de separación de los medios)

### 5.2 Ley de refracción (Ley de Snell)

La relación entre el seno del ángulo de incidencia y el seno del ángulo de refracción es igual a la razón entre la velocidad de la onda en el primer medio y la velocidad de la onda en el segundo medio, o bien puede entenderse como *el producto del índice de refracción del primer medio por el seno del ángulo de incidencia es igual al producto del índice de refracción del segundo medio por el seno del ángulo de refracción*, esto es:

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$$

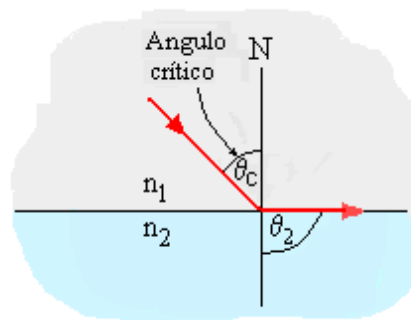
- $n_1$ : índice de refracción del primer medio
- $\theta_1$ : ángulo de incidencia
- $n_2$ : índice de refracción del segundo medio
- $\theta_2$ : ángulo de refracción



### Reflexión total interna

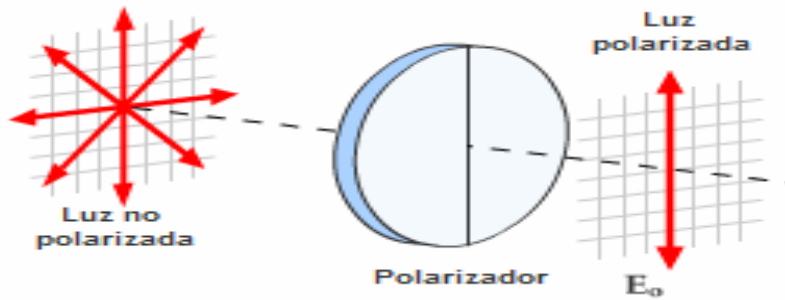
Es el fenómeno que se produce cuando un rayo de luz atraviesa un medio de índice de refracción  $n_2$  menor que el índice de refracción  $n_1$  en el que éste se encuentra, se refracta de tal modo que no es capaz de atravesar la superficie entre ambos medios reflejándose completamente.

Este fenómeno solo se produce para ángulos de incidencia superiores a un cierto valor crítico,  $\theta_c$ . Para ángulos mayores la luz deja de atravesar la superficie y es reflejada internamente de manera total. La reflexión interna total solamente ocurre en rayos viajando de un medio de alto índice refractivo hacia medios de menor índice de refracción.



### Polarización

Una onda transversal, como por ejemplo la luz puede vibrar en todas las direcciones perpendiculares a su dirección de propagación. Si esta onda llega a un filtro que solo deja pasar una sola de todas las direcciones posibles, entonces decimos que esta onda luego de atravesar este filtro está polarizada linealmente, es decir, la onda se propaga solo vibrando en la dirección permitida del filtro.



## LA VISION DE LOS INSECTOS

### TIPOS DE OJOS EN LOS INSECTOS

Los insectos (artrópodos) pueden tener tres tipos de receptores visuales, o una combinación de varios de ellos.

- **Receptores dérmicos:** sin ser células dedicadas a la visión, algunas especies tienen partes de su cuerpo que son fotosensibles.
- **Ocelos:** también llamados “ojos simples”, ya que están compuestos de una sola unidad receptora, u “omatidios”. La mayoría de los insectos tienen estos ocelos, ya sea aislados o en pequeños grupos.

Un omatidio está formada básicamente por una lente biconvexa de naturaleza cuticular, debajo de la cual existe una capa corneágena transparente que recubre los elementos sensoriales, denominados retínulas, que son un grupo de células visuales cuyas regiones contiguas presentan un haz muy compacto de microvellosidades denominado rabdmero, que se halla desplazado para formar con los rabdmeros de otras células un rabdoma de forma mas o menos cilíndrica.

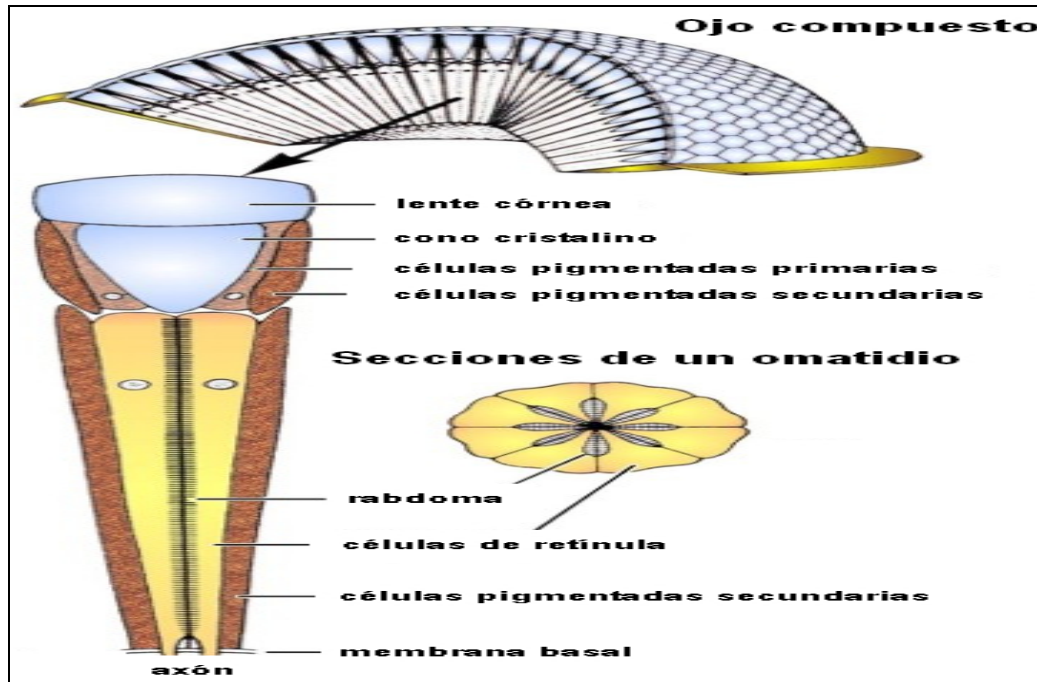
Este rabdoma se puede esquematizar como una varilla cilíndrica con un índice de refracción mas alto que el medio que la rodea, de forma que actúa como una guía de ondas que trasmite la luz por múltiples reflexiones internas.

Los ocelos son incapaces de distinguir las formas y su función consiste en detectar la presencia de luz y su intensidad.

- **Ojos compuestos:** Los insectos voladores, que necesitan una mayor resolución visual, tienen lo que se denomina “ojos compuestos”, que están formados por múltiples ocelos o unidades receptoras (omatidios) (llegando a los 30.000 encontrados en algunas especies de libélulas). Cada omatidio está formado por una lente, formando la cara superficial de cada una lo que se denomina una “faceta”, un cono cristalino transparente, células fotosensibles distribuidas de forma radial alrededor del rabdoma, que hace la función de guía de onda para transmitir la señal, formándose una imagen invertida en las células retinulares fotosensibles; y células pigmentarias que separan cada receptor del



resto.



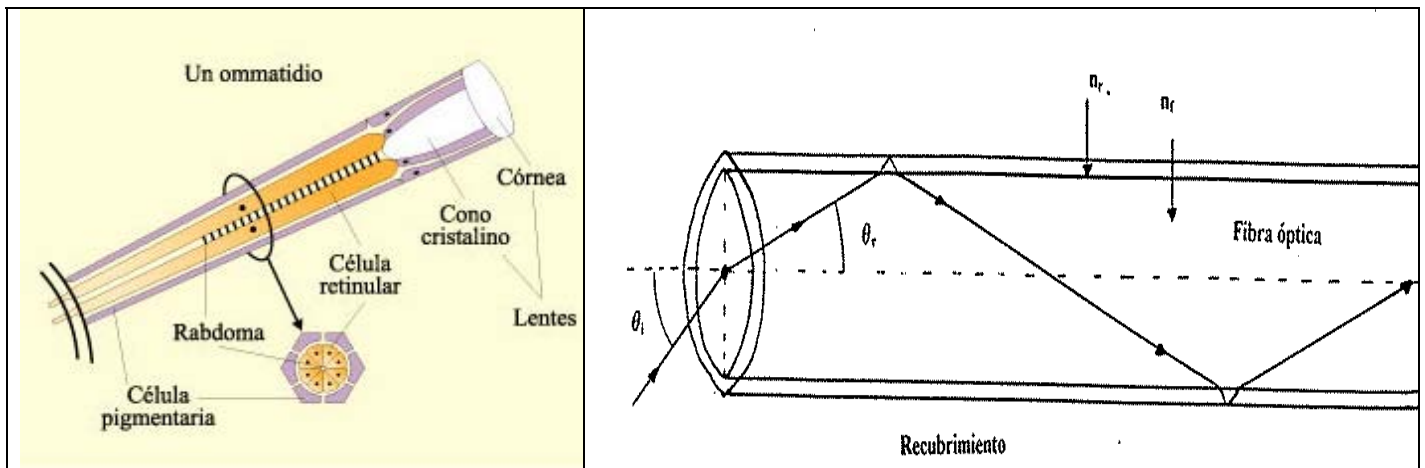
## EL RABDOMA COMO GUÍA DE ONDAS

El efecto de la guía de ondas se basa en el fenómeno de reflexión interna (el rayo reflejado y el rayo incidente tienen la misma intensidad).

El fenómeno de la reflexión total es en el que está basado la guía de ondas, como pueden ser las fibras ópticas o el rabdoma del ojo de los insectos.

Un rayo de luz que penetre en la guía será totalmente reflejado si su ángulo de incidencia es lo suficientemente grande cuando llegue a la superficie. Una sola guía no puede transmitir una imagen entera, sino que cada guía capta la luz de una parte del objeto y es la asociación de guías (de omatidios) la que da la imagen total.

El rayo que entra en el rabdoma debe hacerlo con un cierto ángulo para que se pueda dar la reflexión total en el interior del rabdoma, es decir, que el ángulo de incidencia debe ser mayor que el ángulo crítico, si es así no hay rayo refractado y toda la luz incidente se transforma en luz reflejada. Este ángulo crítico se puede hallar por la ley de Snell.



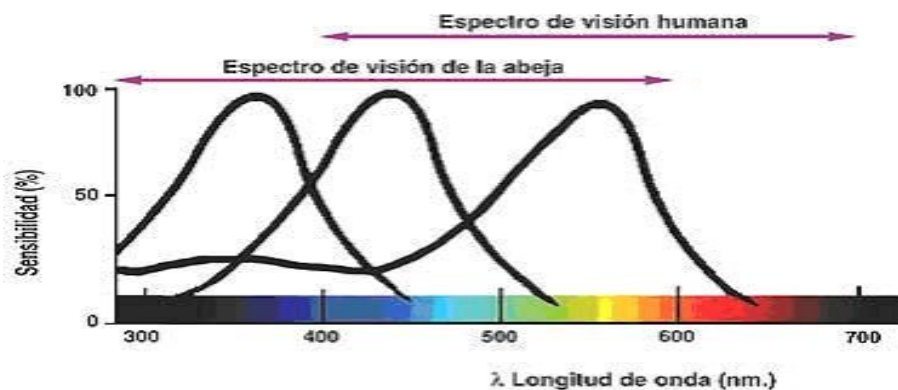
## LOS INSECTOS Y EL COLOR

Las imágenes que se forman en el cerebro de la mayoría de los insectos con ojos compuestos están formadas por un mosaico de minúsculas imágenes individuales que se combinan para generar una imagen formada por pequeños “puntos”.

Tienen dos clases de pigmentos, lo cual les permite diferenciar algunas tonalidades de colores. Los receptores pigmentarios de los insectos están mucho más desplazados hacia el ultravioleta de los humanos, lo cual les permite ver perfectamente esta radiación. Uno de estos pigmentos absorbe el azul y el ultravioleta y el otro absorbe el verde y el amarillo. Esto quiere decir que no son capaces de discriminar colores puros de otros que son una combinación, más o menos como los daltónicos pero con las frecuencias desplazadas hacia el ultravioleta. Además, no pueden ver demasiado bien el rojo puro.

Algunos insectos tales como la abeja, el abejorro, o la libélula tienen tres tipos de receptores pigmentarios, por lo que pueden diferenciar colores 360 nm (ultravioleta), 440 nm (azul-violeta), y 588 nm (amarillo-verde-rojo) dentro de su espectro visual, lo cual significa que pueden distinguir cualquier color o combinación en un margen que va desde el ultravioleta hasta el amarillo-rojo (sin llegar al rojo puro).

Si nos fijamos, podemos ver que las luces que se utilizan para atraer a los insectos son siempre de color azul-violeta, dado que es el color que mejor pueden ver. Podemos hacer la prueba con una luz roja, y veremos que los insectos no se ven atraídos.



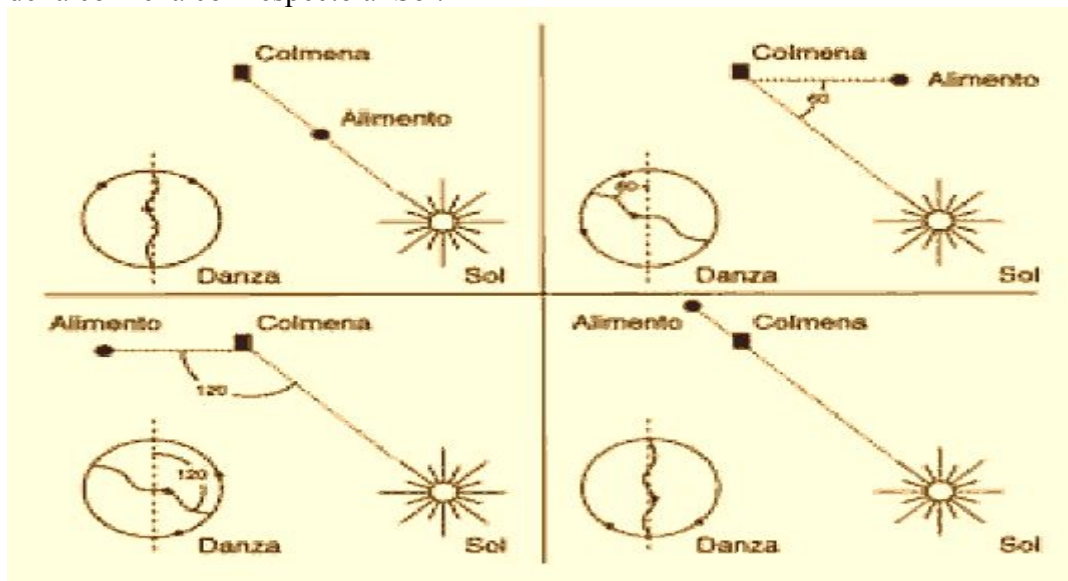
## ORIENTACIÓN DE INSECTOS MEDIANTE LA LUZ POLARIZADA

Los ojos de los insectos perciben un fenómeno natural que los de los seres humanos no captan, la polarización de la luz diurna y esta facultad la aplican como capacidad orientativa.

La luz polarizada terrestre varía con la posición del sol, con la orientación del triangulo determinado por el sol, el observador y el punto observado, siendo el rayo de luz polarizada siempre perpendicular al anterior triangulo.

El primer investigador que descubrió este fenómeno de orientación en los insectos fue Karl Von Frisch. En 1949 pudo demostrar, utilizando luz polarizada, que las abejas utilizan el Sol como [brújula](#) para orientarse, recordando los patrones de polarización presentados por el cielo en diversas horas del día y de la localización de señales previamente encontradas. Sin duda sus aportes a la [apicultura](#) fueron enormes.

El segundo de los descubrimientos de Karl Von Frisch merecedor del Nobel de 1973 guarda relación con la danza que hacen las abejas para informar a la colonia sobre el lugar donde se encuentra el alimento, siendo el baile distinto en función de la distancia a la que se encuentra la localización; si está en dirección a favor o contraria al sol; o dependiendo del ángulo que forma el sitio con relación al sol y a la colmena. Para largas distancias, incluso van modificando el ángulo de la danza teniendo en cuenta el movimiento aparente del Sol. Por otro lado, como perciben el campo gravitatorio, para sus danzas toman de referencia la línea vertical del panal que relacionan con la posición de la colmena con respecto al Sol.



## CONCLUSIÓN

El presente seminario me ha permitido observar como a través de la física se pueden explicar fenómenos que ocurren en la naturaleza, como la visión de los insectos. A su vez esta información contribuye al desarrollo de la tecnología.

Además teniendo en cuenta mi futuro docente, he seleccionado este tema porque lo considero apropiado para llevarlo al contexto educativo como un problema significativo para trabajar distintos conceptos del campo de la física y de la matemática.

## **BIBLIOGRAFÍA**

<http://www.investigacionyciencia.es>

<http://es.wikipedia.org>

<http://www.solociencia.com>

[www.polarization.com](http://www.polarization.com)

<http://www.agenciasinc.es>

<http://books.google.com.ar> Física para las ciencias de la vida By Alan H. Cromer

4

# “El ojo humano”



Física.

2013

Seminario de Física.

[ De Costa, Antonella;  
Guerra, M. Florencia]  
[Licenciatura en Biología  
molecular]  
[Universidad Nacional de San  
Luis]  
[Facultad de Química, Bioquímica  
y Farmacia]

---

## Índice

Introducción.....	2
Introducción teórica.....	3
Aportes Físicos.....	4
El ojo como sistema óptico... ..	6
El ojo como sistema óptico central.....	8
Formación de la imagen.....	8
Elementos ópticos del ojo.....	8
Imagen en la retina.....	10
Formación de la imagen.....	10
Tamaño real de la imagen y tamaño aparente.....	11
Acomodación.....	11
Mecanismo.....	11
Amplitud de la acomodación.....	12
Vicios de refracción.....	12
Agudeza visual.....	15
Fijación visual.....	15
Valor de la agudeza visual.....	15
Campo visual.....	16
Visión del relieve.....	17
Mecanismo de la visión del relieve.....	17
Esfuerzo de convergencia.....	17
Visión estereoscópica.....	18
Conclusión.....	20
Bibliografía.....	21

# El ojo Humano.

## Introducción

El 50% de la información que recibimos de nuestro entorno la recibimos a través de los ojos. La ingente información que tomamos en un simple vistazo a nuestro alrededor se guarda durante un segundo en nuestra memoria y luego la desechamos casi toda ¡No nos fijamos en casi nada!

Por eso, en este trabajo abordaremos al ojo humano, explicando su funcionamiento basándonos en la óptica física y la óptica geométrica. Además también nos resulta interesante saber cuáles son las enfermedades que puede padecer el ojo y como corregirlas.



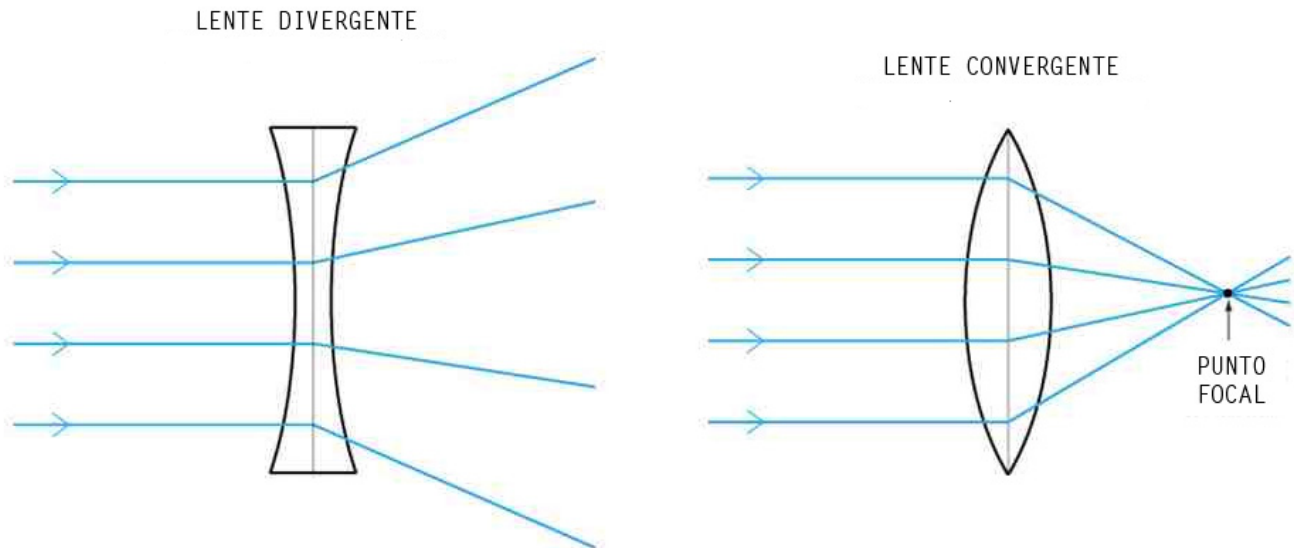
## Introducción teórica.

- ✓ El **ojo** es un órgano fotorreceptor, capaz de formar imágenes del objeto emisor o reflector de la luz. Está compuesto por el globo ocular y sus anexos.
  
- ✓ **Sistema óptico centrado:** es un conjunto formado por medios de distintos índices de refracción, separados por superficies esféricas cuyos centros de curvatura se hallan todos en una misma recta, llamada eje principal del sistema. Una sucesión de lentes y el aire que puede haber delante, entre o detrás de ellas constituye un sistema óptico centrado, si todos los centros de curvatura pertenecen a una misma recta.
  
- ✓ **Acomodación:** cuando el objeto se encuentra a más de 6 mts de distancia y el ojo en reposo la imagen aparece en el plano focal, el cuál coincide con la retina. Pero cuando el objeto se encuentra más próximo la imagen se forma más allá del plano focal, y en estas condiciones el ojo no puede ver con nitidez. Para corregir esto existe un mecanismo gracias el cual el foco se desplaza hacia adelante, de modo que la imagen se forme más allá del plano focal, lo hace en la retina.
  
- ✓ **Agudeza visual:** Es la capacidad del ojo para distinguir como diferentes dos objetos, luminosos o iluminados, situados relativamente próximos entre sí y a una distancia determinada del observador. Cuando los dos objetos se alejan del ojo más allá de un determinado límite, es imposible distinguirlos. Esto ocurre porque las láminas de los dos objetos se forman en el mismo lugar de la parte sensible de la retina del ojo. Geométricamente, la agudeza visual está limitada por el ángulo formado entre las líneas que parten del ojo y pasan tangentes a los bordes más próximos de los objetos. Dicho ángulo es, por término medio, igual aproximadamente a un sesentavo de grado, pero puede variar en más o en menos, según un relativo número de factores ópticos y psicológicos. La agudeza visual está influida por los siguientes factores ópticos: nivel de iluminación, uniformidad de iluminación, contraste con luces de colores diferentes, deslumbramiento, sombra de objetos sobresalientes e iluminados, incertidumbre e intermitencia de la luz, etc. Existen además otros factores debidos al cansancio, al estado de tensión por haber repetido varias veces las observaciones, al tiempo disponible para la distinción, etc.

## Aportes físicos.

✓ Una **lente** es un elemento óptico transparente, fabricado con vidrio, cristal o plástico, que refracta la luz para formar una imagen. Una lente puede tener superficies cóncavas o convexas, de manera que la luz paralela que incide sobre ella sea refractada bien hacia el plano focal, como en una lente convergente, o bien desde él, como en una lente divergente.

✓ **Lente convergente.** Lente que es más gruesa en su centro que en sus bordes, de

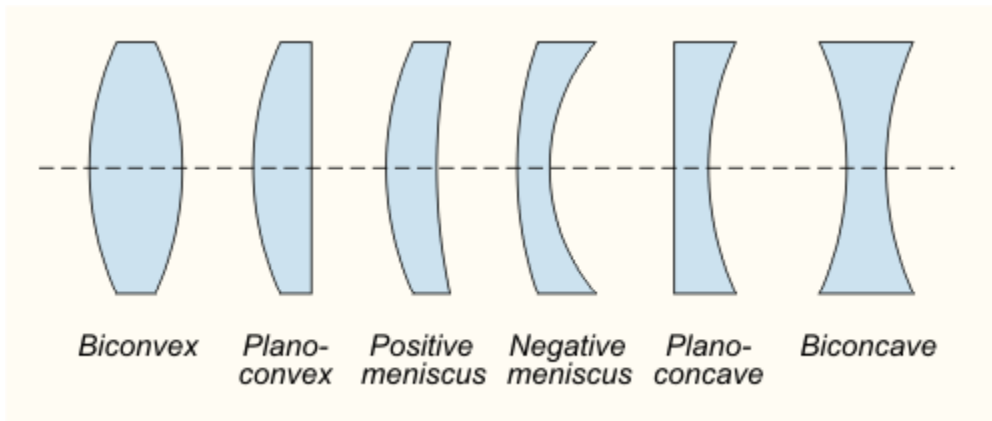


manera que la luz paralela que la atraviesa converge hacia un foco. Una lente convergente produce una imagen real: una que puede ser observada proyectada sobre una pantalla.

✓ **Lente divergente.** Lente que es más gruesa en los bordes que en el centro, de manera que la luz que entra en ella paralela sale divergiendo de un punto. La visión a través de una lente divergente es directa, aunque hace que los objetos parezcan menores de lo que realmente son. No puede ser utilizada para producir una imagen real que pueda ser proyectada sobre una pantalla, sino que produce una imagen virtual: una que sólo puede ser vista mirándola a través de la propia lente.

✓ **Lente cóncava:** están curvadas hacia adentro. La luz que atraviesa una lente cóncava se desvía hacia afuera. Solo producen imágenes virtuales.

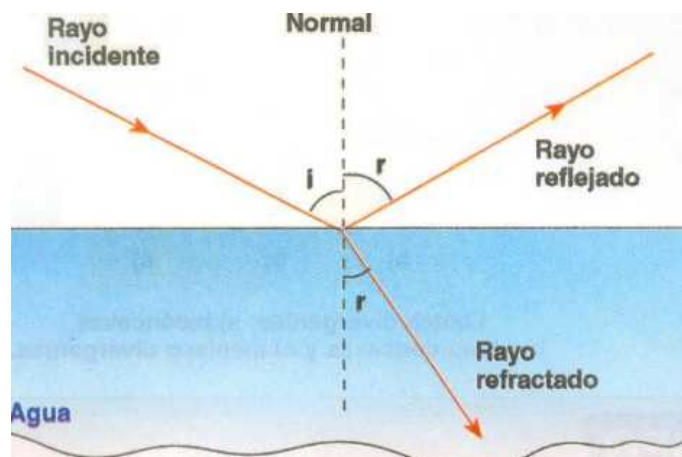
✓ **Lentes convexas:** Por regla general refractan los rayos en convergencia, produciendo imágenes reales.



✓ **Lente tórica:** La graduación de esta lente es diferente en sus meridianos perpendiculares, es decir, si se mide la graduación a  $0^\circ$  y a  $90^\circ$  no coincidirá. Debido a esto, al valor del astigmatismo siempre se le asocia un eje, comprendido entre  $0$  y  $180^\circ$  ya que a la hora de montar una lente tórica debe ir exactamente con esa orientación para que se forme una imagen nítida.

✓ **Refracción:** es el fenómeno que se presenta en un rayo sonoro o luminoso cuando incide oblicuamente sobre la superficie de separación de dos medios, y en virtud del cual el rayo cambia de dirección y velocidad. Cuando un rayo luminoso incide sobre la superficie que separa dos medios, por ejemplo el aire y el agua, parte de la luz incidente se refleja, mientras que la otra parte se refracta y penetra en el segundo medio.

✓ **Reflexión:** es un fenómeno en virtud del cual la luz al incidir sobre la superficie de los cuerpos cambia de dirección, invirtiéndose el sentido de su propagación.



**El ojo como óptico**

Desde nuestro punto de vista nos interesa considerar el ojo como una cámara provista de elementos refringentes<sup>1</sup> que proyectan la imagen del objeto observado sobre una superficie sensible: la retina.

**sistema**

punto de interés como una elementos

A continuación vamos a considerar por separado cada una de las partes que desempeña un papel en la óptica geométrica de la visión.

El cristalino es una lente biconvexa cuyo índice de refracción es de 1,4085. Está contenido en una envoltura llamada cápsula del cristalino, y el conjunto constituye una estructura elástica

que espontáneamente tiende a disminuir su diámetro y aumentar su espesor anteroposterior. Su elasticidad le permite la adaptación de la vista para un enfoque adecuado.

La córnea constituye una lámina en forma de casquete elipsoidal y de caras aproximadamente paralelas. Su espesor es de 0,8 mm. en su parte central y de 1 mm. en su periferia. Junto con el humor acuoso que ocupa la cámara anterior, puede ser considerada una lente cóncava o convexa cuyo índice de refracción es de 1,37.

La retina es una membrana nerviosa sobre la cual se forma la imagen del objeto que se observa. Esta provista de fotorreceptores (conos y bastones), los cuales dan origen a la información que, una vez procesada por las otras células de la retina, es enviada a los centros nerviosos superiores. En el polo posterior de la retina existe una pequeña zona, denominada mácula lútea, alrededor de 2 mm. de diámetro, en cuyo centro se halla la fovea central. En esta depresión sólo se encuentran conos yuxtapuestos entre sí.

El iris, situado por delante del cristalino, hace contacto con la cara anterior de este y desempeña el papel de un diafragma que regula su apertura, la pupila; lo cual permite graduar adecuadamente la entrada de luz.

Los humores acuoso y vítreo tienen un índice de refracción de 1,3365. EL humor vítreo constituye por sí solo una lente cóncava, por su cara convexa esta directamente en contacto con la retina, que es la pantalla donde se forma la

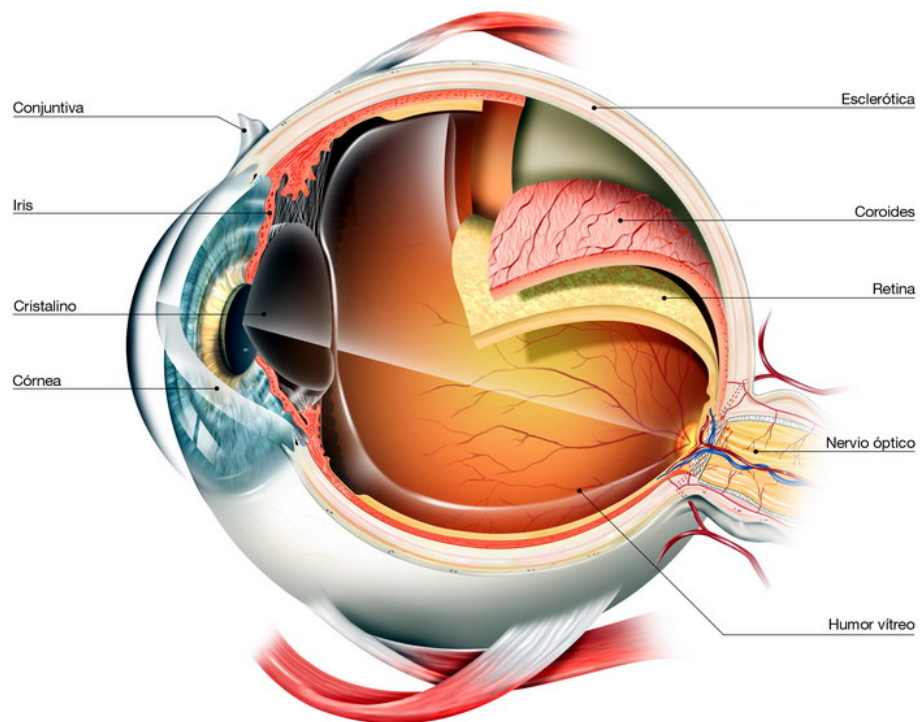
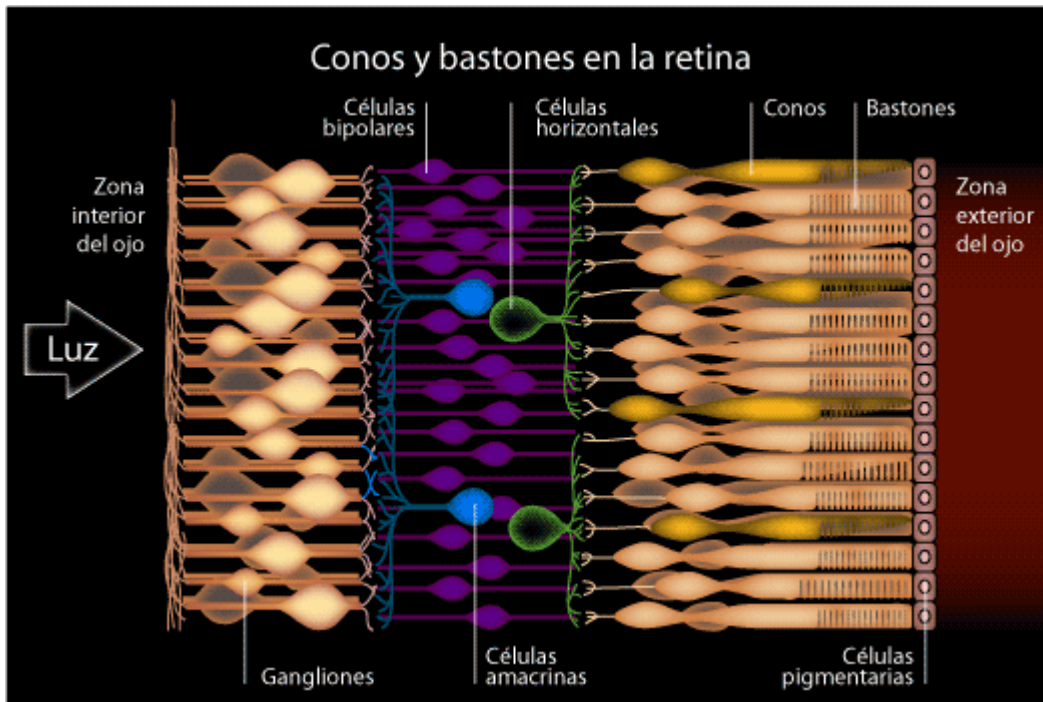


imagen.

<sup>1</sup>Refringente: Díc. del cuerpo que refracta la luz.



Dimensiones del

cristalino

**El ojo como sistema óptico central**

**sistema**

**Formación de la**

En la siguiente figura

**imagen:**

se muestra

como se desplaza la imagen cuando aumenta la distancia del objeto del sistema óptico. Se observa también que a medida que aquel que se aleja (I y II) la imagen se acerca al plano focal correspondiente.

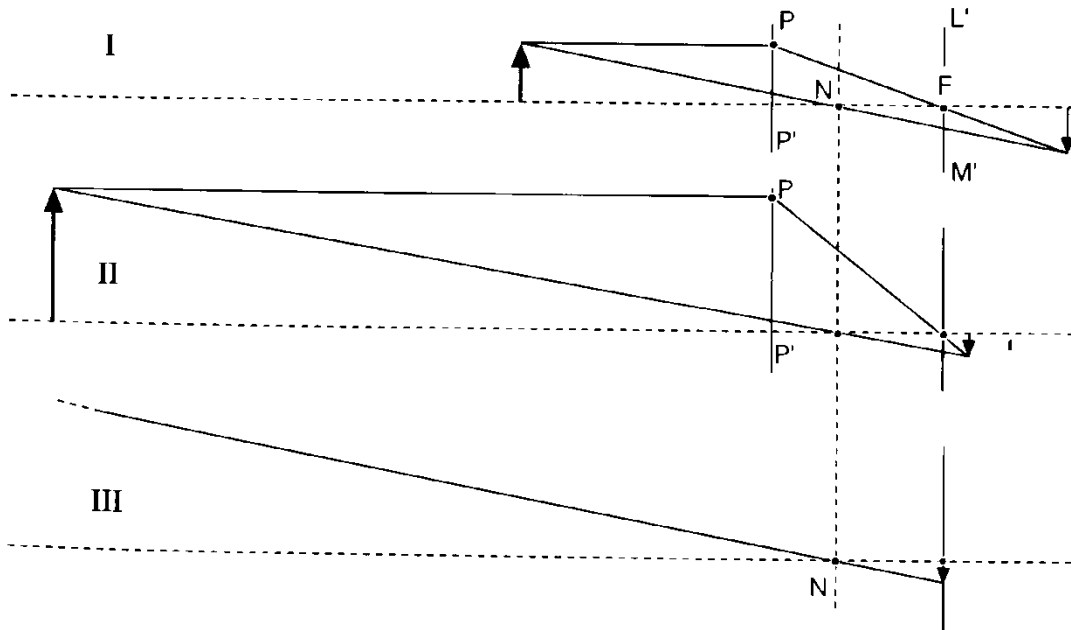


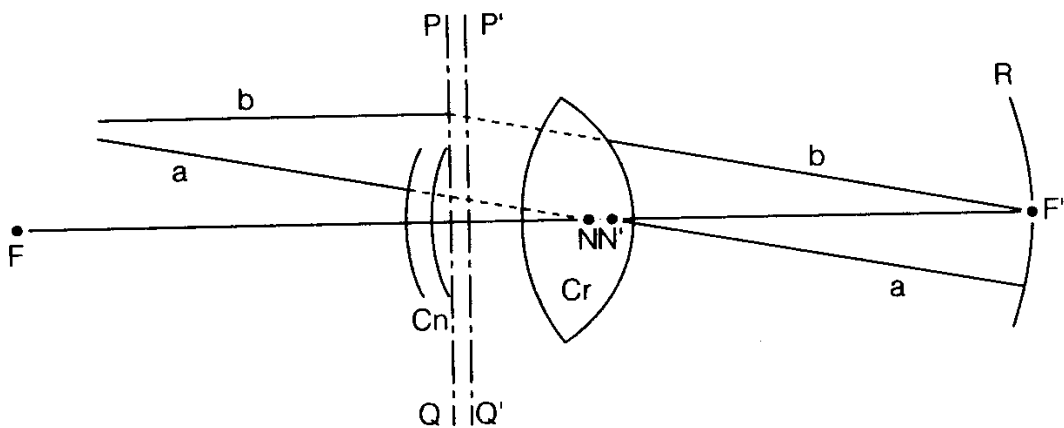
Fig: Efecto de alejamiento del objeto. L' M' plano focal imagen. Si los planos principales están muy cercanos entre sí y los planos nodales también, se puede representar un solo plano principal, P P' y un solo punto nodal equivalente, N.

Esto es lo que ocurre en el ojo humano. En el esquema III se ha supuesto un objeto muy grande con el solo fin de evitar una imagen muy pequeña.

Si la distancia del objeto al sistema es suficiente grande, la imagen puede considerarse formada prácticamente en el plano focal. En tal caso, aquella puede obtenerse directamente trazando el rayo que pasa por el punto nodal equivalente (III). Su intersección con el plano focal permite trazar la imagen buscada.

### Elementos ópticos del ojo:

Para describir al ojo como sistema óptico basta dar la ubicación de sus planos principales, sus focos y sus puntos nodales. Esta posición será representada en la siguiente figura.



Posición óptica de los elementos del ojo. C n, cornea, Cr cristalino, R retina, PQ y P'Q' planos principales, N y N', puntos nodales

Distancia de los diferentes elementos ópticos del ojo a la superficie anterior a la córnea.

Primer plano principal

1,7 mm.

Segundo plano principal

2 mm.

Primer punto nodal

7 mm.

Segundo punto nodal

7,3 mm.

Foco posterior

24,1 mm.

Foco anterior

15,7 mm.

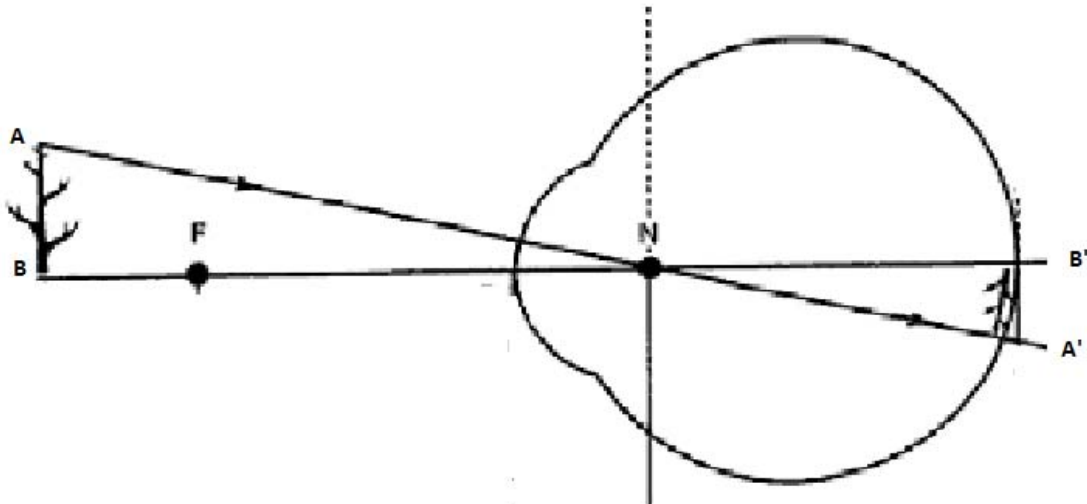
Como se observa en la figura, el ojo en reposo tiene su foco imagen sobre la retina. Además, los puntos nodales distan muy poco entre sí, de modo que pueden ser reemplazados por uno solo colocado entre ellos que llamaremos punto nodal equivalente.

## Imagen en la retina.

### Formación de la imagen:

La imagen de un punto cualquiera siempre se halla situada por el rayo que pasa por el punto nodal equivalente. Si el objeto se encuentra en el infinito la imagen se forma en el plano focal. Por lo tanto, como el ojo en reposo tiene su foco imagen en la retina, se formara en ella la imagen de cualquier punto situado suficientemente lejos. (A más de 6 más. del ojo).

Cuando el punto objeto se encuentra más cerca su imagen deberá hallarse sobre el rayo que pasa por el punto nodal equivalente. En consecuencia para obtener la imagen de un punto cualquiera basta trazar el rayo que pasa por dicho punto y por el punto nodal y determinar su intersección con la retina.



### Tamaño real de la imagen y tamaño aparente:

A partir de la figura anterior se puede calcular el tamaño de la imagen  $A'B'$ . Como los triángulos  $ABN$  y  $A'B'N$  son casi iguales se cumple la siguiente relación:

$$\frac{AB}{A'B'} = \frac{BN}{B'N}$$

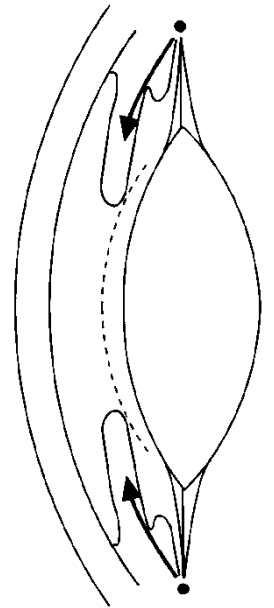
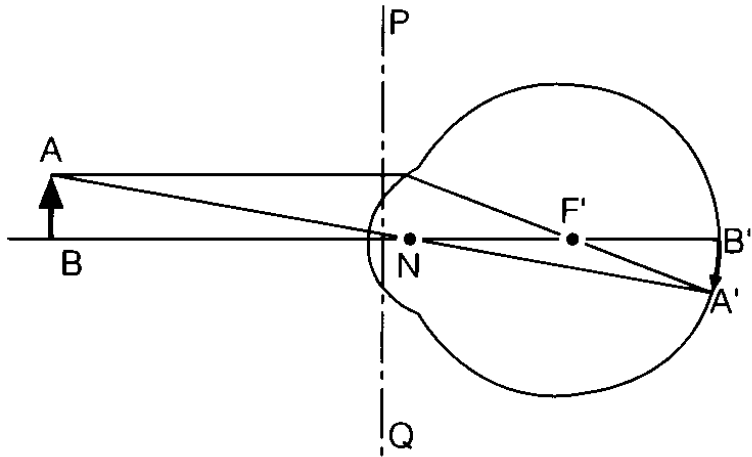
De la cual se puede despejar  $A'B'$  :

$$A'B' = \frac{ABB'N}{BN}$$

## Acomodación

**Mecanismo:**

El desplazamiento del foco imagen hacia adelante es el resultado del cambio del diámetro anteroposterior del cristalino, el cual a su vez se produce como consecuencia de la contracción de musculo ciliar. Al contraerse este musculo desplaza la inserción de la zonula de zinn. A causa de esto la zonula disminuye su tensión y el cristalino se abomba reduciendo su circunferencia aumentando su diámetro anteroposterior





### **Amplitud de la acomodación:**

El punto más cercano que el ojo puede ver con nitidez sin emplear el mecanismo de acomodación recibe el nombre de punto remoto (6 mts.). A medida que el objeto se va acercando el cristalino acorta su distancia focal de modo que la imagen se mantiene siempre en la retina. Esto tiene un límite, cuando el ojo se ha acercado alrededor de 10 o 20 cm del ojo, el cristalino ya no puede acercar más su distancia focal. Si entonces el objeto sigue acercándose se forma en la retina una imagen borrosa. Se llama punto próximo al punto más cercano que puede originar una imagen nítida gracias al mecanismo de acomodación.

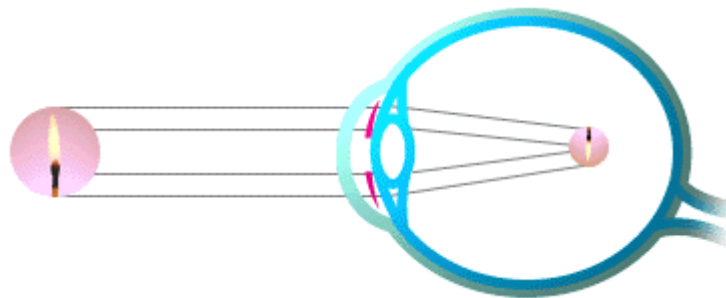
La posición del punto próximo varía con la edad, es más cercano en los niños y se aleja del ojo a medida que la edad aumenta.

Se llama amplitud de acomodación a la variación del poder dióptrico<sup>2</sup> que tiene lugar en el ojo como consecuencia de la acomodación.

### **Vicios de refracción:**

Debido a diferentes motivos el ojo es incapaz de muchos casos de formar una imagen nítida en la retina.

\* **Miopía:** el diámetro anteroposterior del ojo es mayor que el normal, de modo que, aun en ausencia de acomodación, la imagen del punto remoto se forma delante de la retina. En consecuencia, no se pueden ver con nitidez los objetos alejados



Para  
miopía se

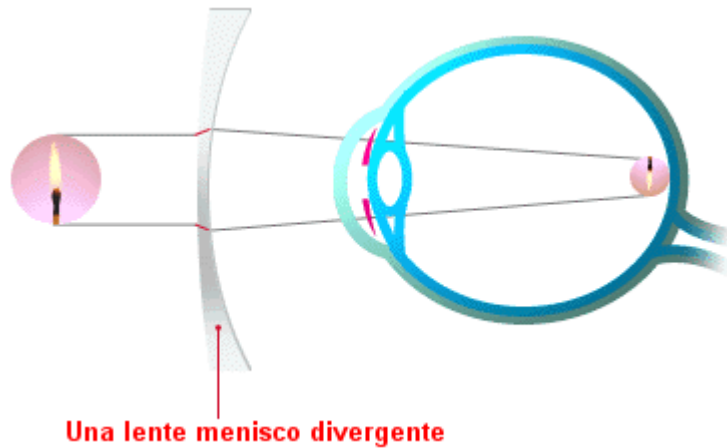
foco de las

divergentes empleadas para corregir la miopía debe estar en el punto remoto para que los rayos que salen de ellas se enfoquen en la retina.

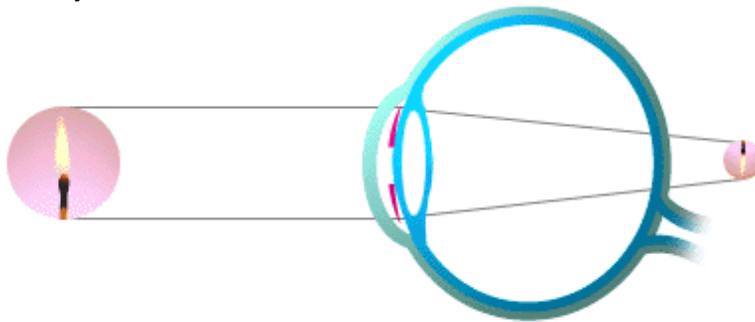
corregir la  
necesitan lentes  
divergentes. El

lentes

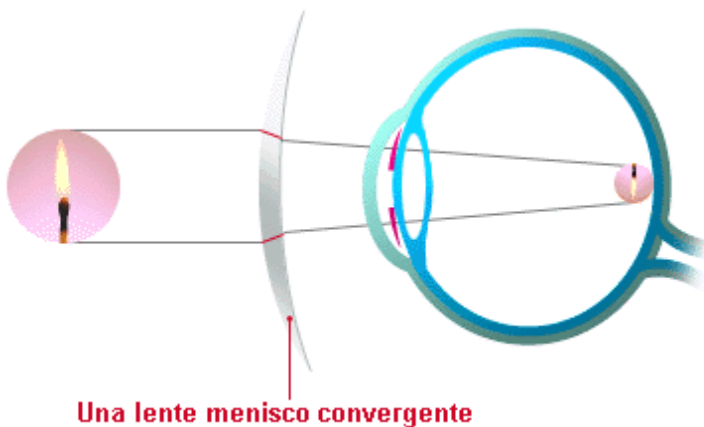
<sup>2</sup> Dióptrico: Díc. del sistema óptico formado por dos medios refringentes y una superficie de separación. Los más importantes son el plano y el esférico, según que la superficie de separación sea plana o esférica.



\* **Hipermetropía:** el diámetro anteroposterior en el globo ocular es menor que el normal, de modo que la imagen de un objeto alejado, con el ojo en reposo se forma detrás de la retina. Solo mediante el mecanismo de la acomodación se puede llevar la imagen a la retina. Pero si parte de ese mecanismo tiene que emplearse cuando el objeto se encuentra alejado, se comprende que al acercarse éste se llegara al máximo de la acomodación cuando todavía el objeto se encuentra relativamente lejos del ojo. El sujeto hipermétrope no puede ver con nitidez los objetos cercanos.

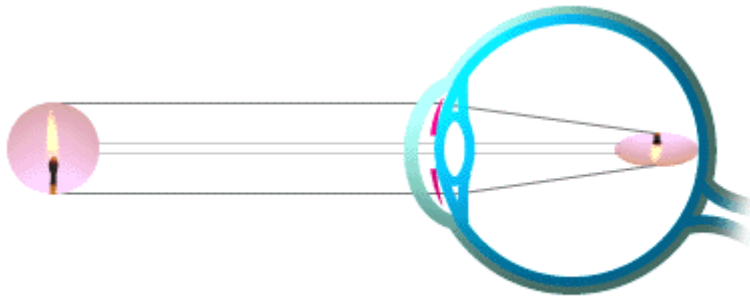


El punto remoto es virtual y está detrás del ojo.  
La hipermetropía se corrige con lentes convergentes. En algunos casos se corrige al crecer la persona y agrandarse el globo ocular.

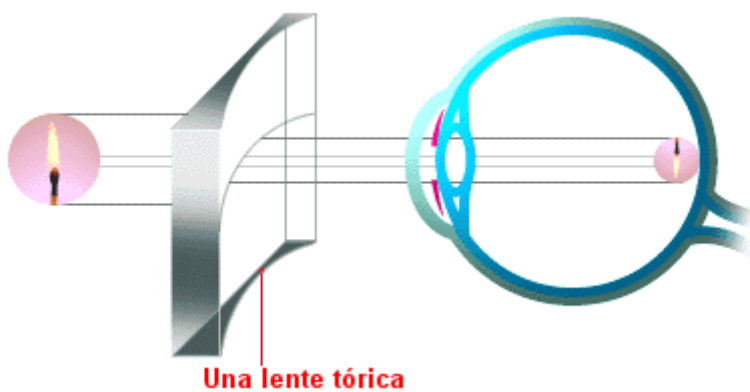


\* **Astigmatismo:** El defecto reside en la córnea, cuyas curvaturas en los distintos planos que pasan por el eje óptico son diferentes. Como consecuencia, los rayos pertenecientes a los

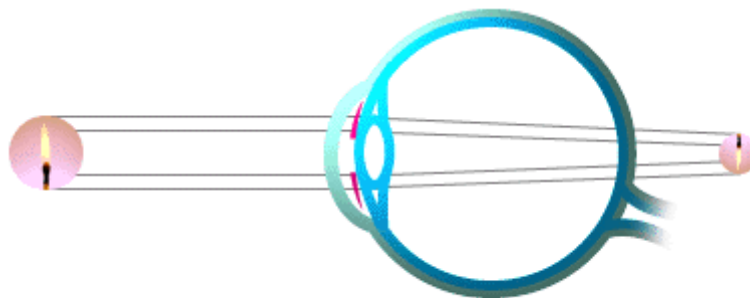
diferentes planos tienen sus focos en distintos puntos del eje, y el ojo astigmático no es capaz de formar una imagen con total nitidez, cualquiera sea la distancia a la que se haya el objeto.



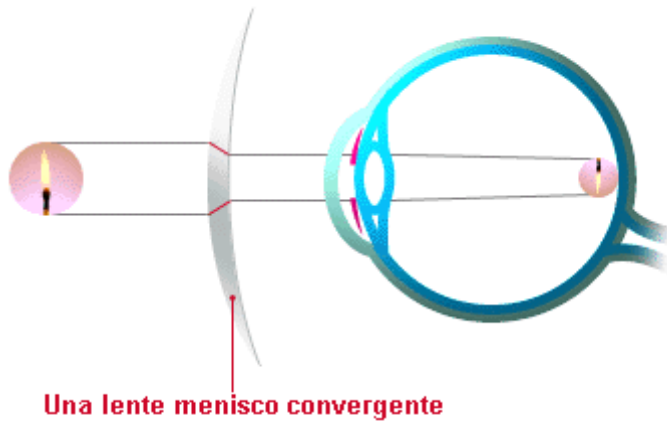
Para corregirlo es necesaria una lente cilíndrica compensadora.



\* **Presbicia (vista cansada):** Es un estado que se debe a la pérdida de elasticidad del cristalino y que sobreviene con la edad. Por este motivo, la amplitud de la acomodación disminuye y el punto próximo se va alejando. El presbíta puede ver bien los objetos alejados, pero no los cercanos.



Se corrige con lentes convergentes.



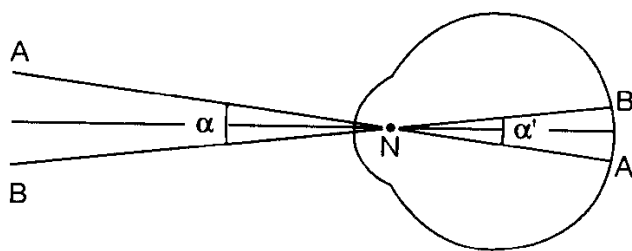
\* **Cataratas:** Es muy frecuente que al envejecer el cristalino se vuelva opaco y no permita el paso de la luz. En esto consiste la catarata. Hoy se operan extirpando el cristalino e instalando en su lugar una lente plástica intraocular que hace sus funciones y que no necesita ser sustituida en el resto de la vida.

### Agudeza visual

#### Fijación visual:

Para observar un objeto con nitidez es necesario orientar el ojo de modo que la imagen de aquel se forme en la fovea. Este proceso recibe el nombre de fijación visual. Efectuada la fijación la recta que pasa por la fovea y por el punto nodal equivalente pasa también por el objeto. Esta recta se denomina visual.

#### Valor de la agudeza visual:



El valor del ángulo  $\alpha$  puede ser calculado, si se supone que para qué dos puntos cercanos puedan ser distinguidos es necesario que sus imágenes se formen en la fovea, en dos conos separados entre sí por un tercero, en el cual no debe formarse la imagen.

Como el diámetro de un cono en la fovea es de alrededor de  $2 \mu$ , una separación mayor de  $4 \mu$  sería suficiente para que las imágenes  $A'$  y  $B'$  no se formen en los conos contiguos. A partir de ese valor y de la distancia  $NA'$  se puede calcular el ángulo  $\alpha$ , igual a  $\alpha'$

$$\operatorname{tg} \alpha' = \frac{B'A'}{NA''}$$

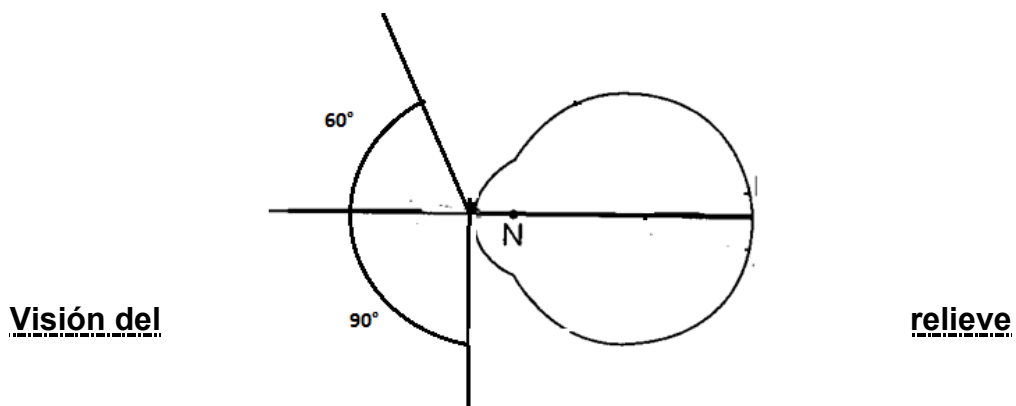
$$\text{Tg } \alpha = 0,004 \text{ mm} : 17 \text{ mm} = 0,0002$$

$$\alpha = 0,0002 < 0^\circ 1'$$

La agudeza visual normal es menor a 1'. Este valor se toma como unidad para medir la agudeza visual, la cual se expresa, con fines prácticos, por la inversa de la menor distancia aparente medida en minutos entre dos puntos visibles distintamente. Ejemplo: si dicho ángulo mide  $0^\circ 2'$ , la agudeza visual vale  $\frac{1}{2}$

### Campo visual

Se llama campo visual al ángulo sólido con vértice en la pupila que contiene todos los puntos del espacio visible con el ojo en una posición fija. Por ejemplo, si con un ojo se observa fijamente un punto situado al frente se puede percibir, sin mover el ojo un punto colocado a la izquierda tal que los rayos provenientes de él formen con la visual un ángulo de  $90^\circ$ . En cambio, el campo visual de ese ojo se extiende hacia la derecha hasta los  $60^\circ$ , hacia arriba hasta los  $55^\circ$  y hacia abajo hasta los  $70^\circ$ .



El hombre posee una desarrollada visión tridimensional de la cual proviene de la elaboración que, en un nivel superior el organismo efectúa con la información (bidimensional) proveniente de la retina.

### Mecanismo de la visión de relieve:

La información que puede llegar a los centros superiores es diferente provenga de un solo ojo o intervengan también las relaciones entre las imágenes que se forman en ambos ojos. Trataremos ambos ojos.

#### \* **Visión monocular del relieve:**

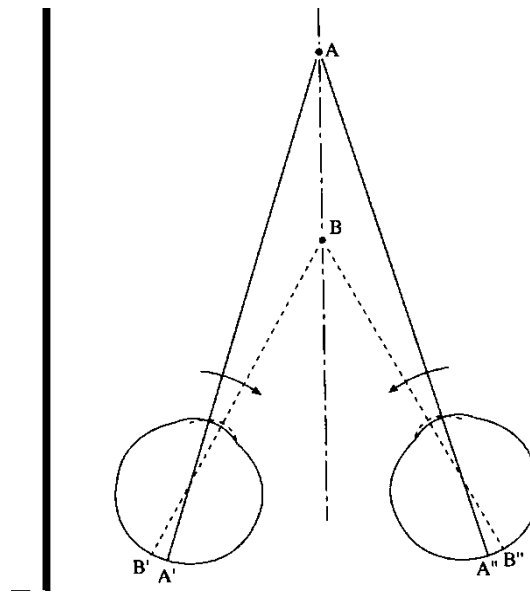
Un solo ojo es capaz de enviar suficiente información como para que los centros superiores [puedan adquirir noción de la distancia que se encuentra el objeto observado. Esta información está constituida por el tamaño de la imagen, la percepción de detalles, el esfuerzo de acomodación, la ocultación de unos cuerpos por otros y la sombras que proyectan.

✳ **Visión binocular del relieve:**

Depende de dos elementos: el esfuerzo de convergencia y la visión estereoscópica

➤ **Esfuerzo de convergencia:**

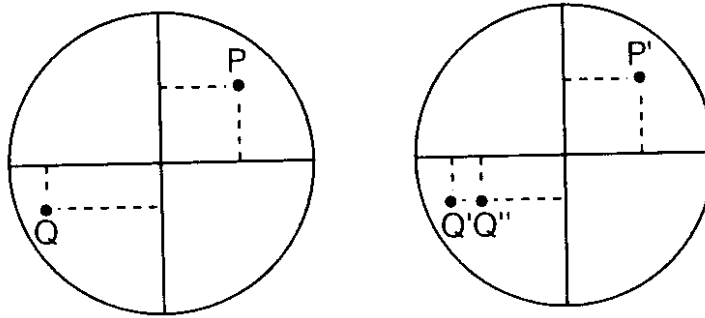
Como los centros de los dos ojos está separada por una distancia de 6 cm, para dirigir las visuales a un punto, ellos deben converger, y esta convergencia es tanto mayor cuanto más cercano es el punto. El esfuerzo necesario para hacer rotar a los ojos oculares es efectuado por los músculos accesorios de los ojos. La información que envían los propioceptores en relación con la convergencia contribuye a la sensación de profundidad, especialmente cuando los objetos se hayan relativamente cercanos



➤ **Visión estereoscópica:**

Si con ambos ojos se mira una figura plana, perpendicular al plano sagital al plano de la cabeza las imágenes que se forman en ellos son iguales. Se observa en la siguiente figura que las dos imágenes  $A'B'$  y  $A''B''$ , además de ser iguales tiene la misma posición. Si se ha fijado el punto medio C del objeto y tomamos sus imágenes como referencia, se comprueba que las dos imágenes del punto A se encuentra a la derecha de la fóvea, mientras que las dos del punto B están a la izquierda.

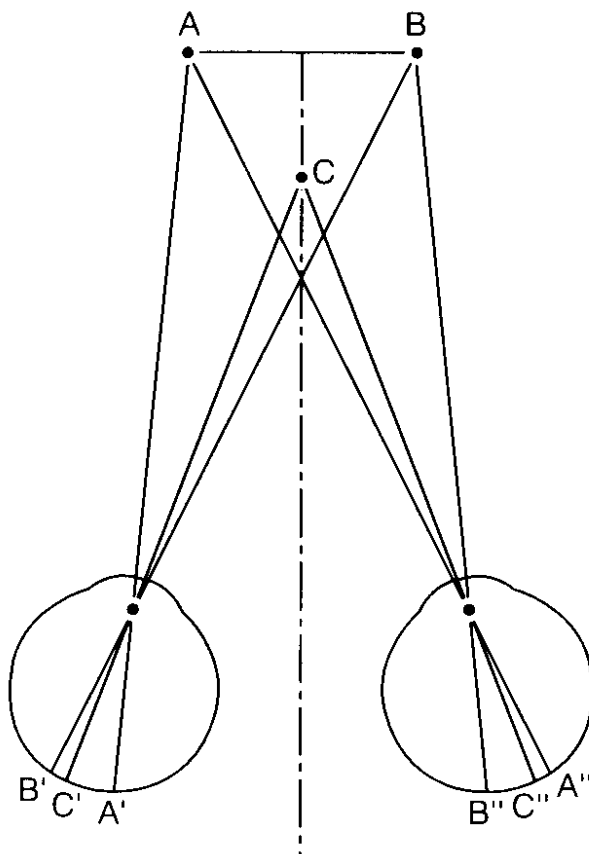
El sujeto ve un solo punto A y un solo punto B, aunque de cada uno existen dos imágenes una en cada ojo. Se dice que las imágenes  $B'$  y  $B''$  así como  $A'$  y  $A''$ , se hallan en puntos correspondientes; se llaman así los puntos de la retina como por ejemplo P y P', Q y Q' que tiene las mismas coordenadas respecto de un par de meridianos, uno horizontal y otro vertical que pasan por la fóvea. Cuando las imágenes se forman en puntos correspondientes el sujeto ve un solo objeto. Si las imágenes no se producen en puntos correspondientes el objeto se ve doble como ocurriría, por ejemplo, sí las imágenes del mismo punto fueran Q' en un ojo y Q'' en el otro. Esto es lo que sucede cuando la convergencia no es correcta.



Sí se observa  
con ambos ojos

ahora  
un objeto

en relieve, las imágenes que se forman en ellos son diferentes. Las siguientes figuras se aprecian que en el ojo izquierdo el punto  $C'$  está más cerca de  $B'$  mientras que en el derecho el punto  $C''$  está más cerca de  $A''$ . En consecuencia las imágenes de  $A' C' B'$  y  $A'' C'' B''$  son diferentes, si los puntos  $A'$  y  $A''$  por una parte, y  $B'$  y  $B''$  por otra caen en puntos correspondientes, las imágenes  $C'$  y  $C''$  no pueden hallarse en puntos de este tipo. Por el contrario si  $C'$  y  $C''$  ocupan puntos correspondientes, no lo hacen los otros puntos.



## **Conclusión**

Como conclusión del presente trabajo de investigación sobre el ojo humano, su funcionamiento y enfermedades debidas a problemas de acomodación, podemos apreciar que el cuerpo cuenta con una complicada estructura de receptores visuales, que lo mantienen conectado con el exterior y le brindan información sobre el ambiente que lo rodea. La visión es uno de los sentidos más importantes, ya que gracias a este nos podemos desarrollar de mejor manera en nuestras actividades diarias. Sin la información recibida por la vista y por los otros sentidos, el ser humano tendría demasiados problemas en su vida cotidiana, por eso queríamos resaltar la importancia de los avances tecnológicos para los tratamientos de las enfermedades oculares, como así también para detectarlas. Por ultimo queríamos agregar que el trabajo nos resultó sumamente interesante ya que en la actualidad mucha gente tiene problemas oculares y debido a esto queríamos averiguar las causas de los mismos y las distintas formas de mejorarlos.

## **Bibliografía:**

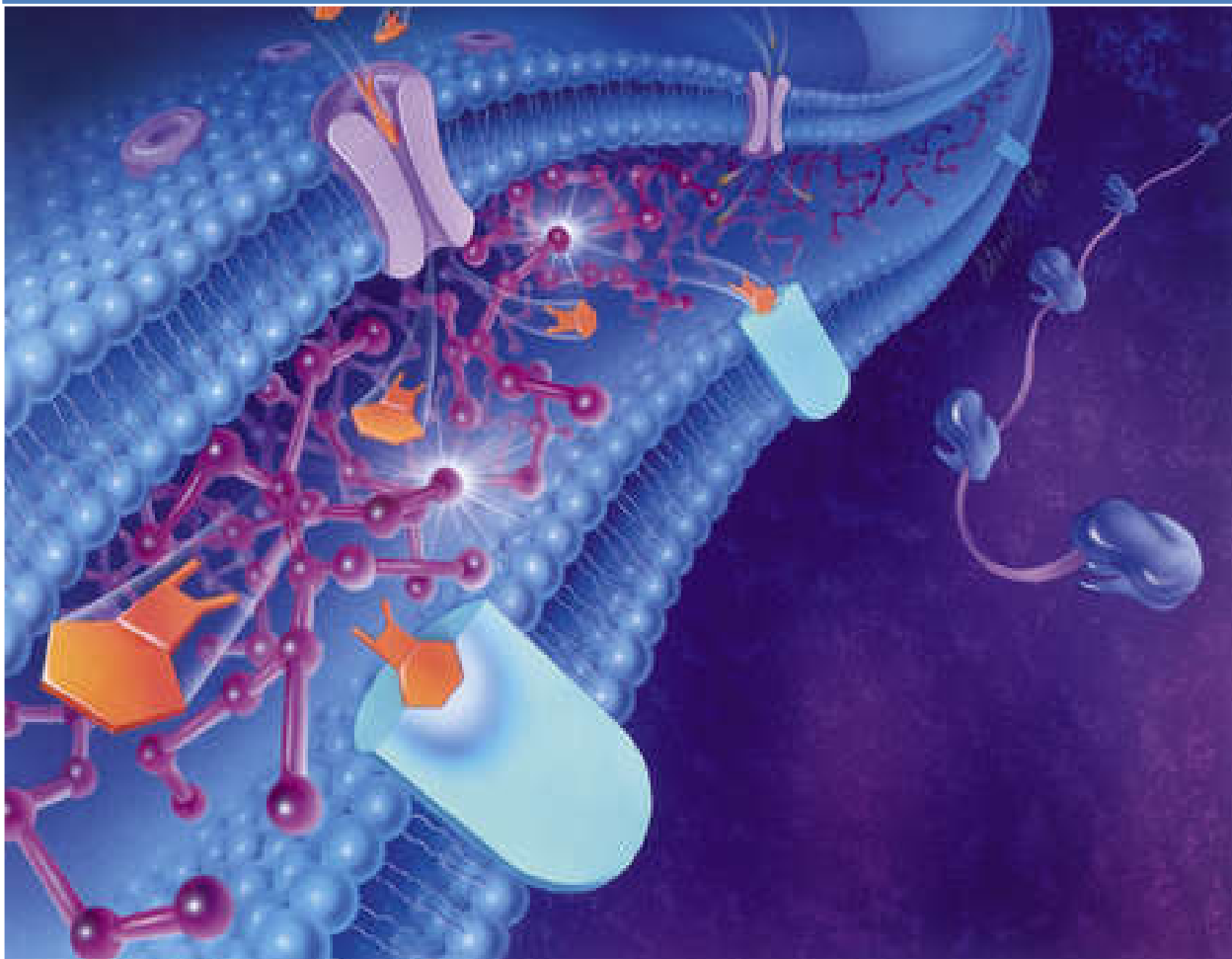
- Burguat N. Grall y, Loth D. Phisique et biophysique (vol III) Part 3° "Visiom" Cap III. Ed. 1973. "Transduction" Masson et Cie Editeurs. París 1973
- Damask AC. Medical Physics. Vol II. Cap 6 "vision". Academic Press. Nuevas York 1981
- <http://teleformacion.edu.aytolacoruna.es/FISICA/document/fisicaInteractiva/OptGeometrica/Instrumentos/ollo/ollo.htm>
- ["Anatomía humana" Xavier Crespo, Nuria Curell, Jordi Curell, Ediciones mistral, Barcelona España. Edición 1996.](#)



5

2013

# Análisis de los transportes transmembrana desde la Mecánica de los Fluidos



*Integrantes: Córdoba María  
Evelyn, Martínez Ojeda Ana  
Laura.*

25/06/2013

## Introducción

El transporte de materia es uno de los aspectos más relevantes de los organismos vivos, puesto que es un proceso básico e indispensable para la vida. Resulta tan importante, que si bien se ve afectado por las condiciones externas, es establecido principalmente por el propio organismo. Se desarrollan distintos tipos de transportes, el transporte pasivo, donde podemos incluir el fenómeno de ósmosis, que es determinado por las propiedades estructurales del organismo, mientras que el transporte activo se halla designado por la actividad metabólica. En este seminario, discutiremos aspectos acerca del transporte del agua y de materia a través de las membranas biológicas (ósmosis), acompañado del análisis físico de las variables involucradas, por medio de la aplicación de las leyes correspondientes que gobiernan la física de los fluidos reales, que son característicos de nuestro organismo.

### ➤ OBJETIVO PRINCIPAL PROPUESTO:

Exponer y justificar, a partir de la bibliografía biológica y física, que los fluidos implicados en los transportes a través de las membranas celulares, responden a la mecánica de los fluidos reales.

## Conceptos claves

Antes de comenzar el análisis y desarrollo del problema planteado, a continuación se hará una breve explicación de las nociones básicas asociadas al presente trabajo:

- ✓ Membrana plasmática: estructura laminar que envuelve a la célula, definiendo sus límites y manteniendo las diferencias esenciales entre su contenido y el entorno.
- ✓ La estructura básica de la membrana plasmática, la bicapa lipídica, constituye una barrera para la permeabilidad de la mayoría de las sustancias, mientras que para las moléculas polares no lo es.
- ✓ Los solutos que atraviesan la membrana de forma pasiva ("cuesta abajo"), llevan a cabo el denominado transporte pasivo o difusión facilitada.
- ✓ El gradiente de concentración se ve establecido si la molécula transportada carece de carga, y la dirección del transporte pasivo viene determinada únicamente por la diferencia de concentración a los dos lados de la membrana.
- ✓ Si el soluto tiene una carga neta, su transporte se ve influido por su gradiente de concentración y por el gradiente eléctrico a través de la membrana (el potencial de membrana).
- ✓ El gradiente de concentración y el gradiente eléctrico pueden combinarse para calcular la fuerza neta de dirección de flujo para cada soluto cargado.
- ✓ Los solutos que pasan a través de la membrana en contra de su gradiente electroquímico ("cuesta arriba"), llevan a cabo un transporte activo.
- ✓ El agua fluye por ósmosis cuando existe una diferencia en la concentración de solutos a través de la membrana.

- ✓ Los fluidos celulares pueden ser analizados a partir de las leyes que rigen los fluidos reales:
- Ley de Laplace
- Ley de Poiseuille
- ✓ A partir de la ecuación del Número de Reynolds podemos determinar características de los fluidos celulares.

### Desarrollo:

Las células están siempre, limitadas de su medio circundante por una membrana superficial llamada membrana plasmática. Además, las células eucariotas -dentro de las cuales se encuentran las células animales y vegetales- están compartimentalizadas en organelas por medio de membranas internas que constituyen las mitocondrias (en células animales) y cloroplastos (en células vegetales).

Sin duda, una de las propiedades más sobresalientes de las membranas es su capacidad de actuar como barreras de permeabilidad selectiva y controlar la cantidad y naturaleza de las sustancias que la atraviesan. La selectividad de esta membrana traería como consecuencia que la célula retuviera en su interior a las moléculas esenciales dentro de ella aun cuando su concentración en el medio exterior fuera muy baja, y que también eliminara los productos de desecho del metabolismo.

Las células, deben tener la capacidad de responder a cambios de su medio externo. Por ejemplo, el volumen celular solo puede cambiar de forma controlada, ya que un cambio de volumen altera la concentración de las moléculas dentro de la célula, y un cambio brusco puede modificar las estructuras celulares. Este control del volumen celular se logra mediante la regulación de algunas sustancias orgánicas de bajo peso molecular y de iones inorgánicos. Las sustancias osmorreguladoras u osmolitos pueden ser el glicerol, azúcares, aminoácidos, potasio, sodio, etc.

La permeabilidad de las membranas varía ampliamente, dependiendo del tipo de soluto o fluido que la célula necesite. Por lo general, los gases fluyen fácilmente a través de la membrana, y las moléculas pequeñas lo hacen con mayor facilidad que las moléculas grandes cuando son del mismo tipo. Las sustancias pueden difundir a través de la membrana de manera pasiva -**transporte pasivo**, sin requerimiento energético, a través del cual los solutos atraviesan la membrana a favor de su gradiente-. O por medio de manera activa, -**transporte activo**, mecanismo que requiere de energía-. La selectividad de las membranas permite que, en la célula y en las correspondientes organelas, se mantengan los medios adecuados o microambientes específicos de manera controlada. Esto logra que, a pesar de cambios en el medio exterior, los procesos bioquímicos en el interior se realicen de manera controlada y ordenada.

Al mismo tiempo, las membranas permiten el intercambio entre el interior y exterior de los materiales necesarios como el oxígeno y los nutrientes, así como de los desechos metabólicos en sentido contrario. El control del movimiento de materiales a través de las membranas es de fundamental importancia en el proceso homeostático, ya que afecta directamente a propiedades como el pH, fuerza iónica, actividad enzimática y otras funciones metabólicas y osmóticas.

Las membranas también participan en funciones como lo son las interacciones celulares, reacciones enzimáticas, generación de ATP, captación de energía luminosa, excitación de los nervios, etc.

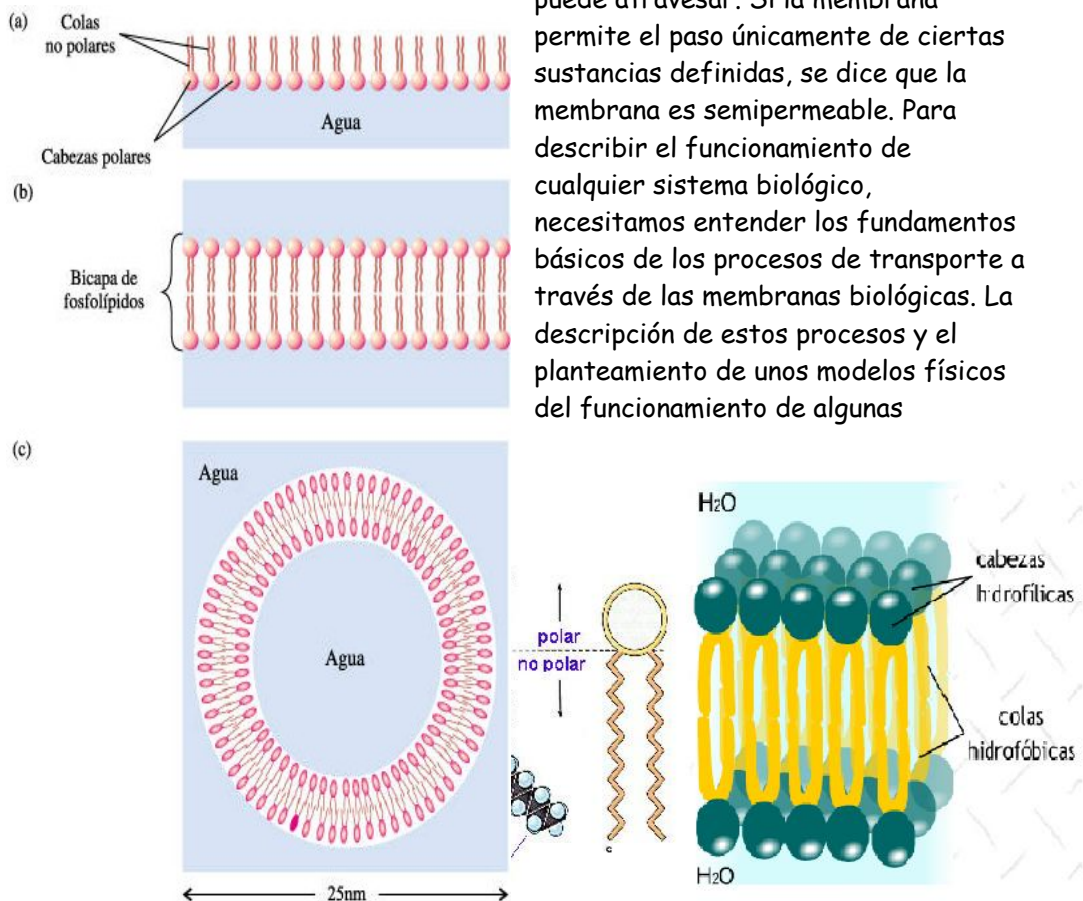
Para que se dé un flujo, es necesario que exista un **gradiente** -diferencia de concentración o presión- que sirva como fuerza conductora. El flujo pasivo de materiales a través de una membrana puede ser provocado por cuatro tipos de fuerzas termodinámicas: los gradientes de presión, la concentración del soluto, el potencial eléctrico y la temperatura.

Hemos mencionado y dado una muy breve reseña del papel que juegan las membranas plasmáticas definiendo los límites y manteniendo las diferencias esenciales entre el contenido y el entorno de una célula, ahora nos adentraremos un poco más en el tema para dar explicación a otros conceptos físicos relevantes.

### Membranas biológicas

Las membranas separan dos regiones del espacio y permiten el paso de sustancias a su través mediante poros (transporte pasivo) o bombas moleculares (transporte activo). Se dice que una membrana es permeable a una sustancia cuando ésta la puede atravesar.

Si la membrana permite el paso únicamente de ciertas sustancias definidas, se dice que la membrana es semipermeable. Para describir el funcionamiento de cualquier sistema biológico, necesitamos entender los fundamentos básicos de los procesos de transporte a través de las membranas biológicas. La descripción de estos procesos y el planteamiento de unos modelos físicos del funcionamiento de algunas

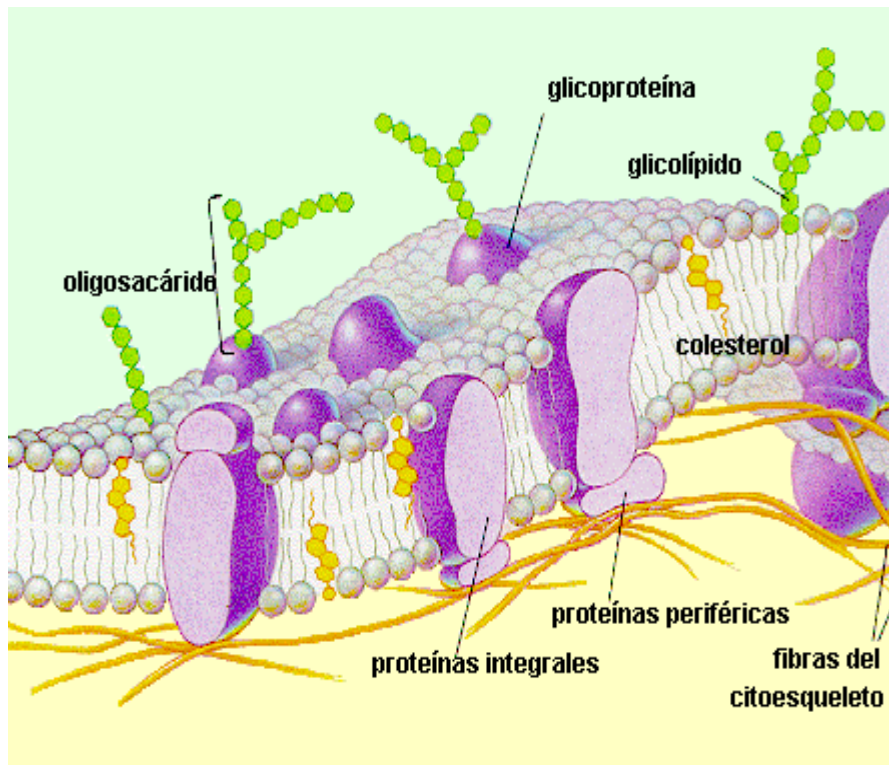


lógicas.

Las membranas biológicas están compuestas por lípidos y proteínas. Los lípidos son esencialmente colesterol y fosfolípidos. Éstos están en la membrana en una doble capa de forma que las colas hidrofóbicas estén orientadas en el interior para evitar contacto con el agua, que forma parte de los fluidos tanto internos como externos a la célula.

Las proteínas quedan absorbidas dentro de la doble capa lipídica, formando una especie de conductores que permiten el paso a través de la membrana -que es hidrofobia en su interior debido a la presencia de las colas hidrofóbicas de los fosfolípidos- de ciertos tipos de solutos que son necesarios para las células y que

de otra manera no podrían



abastecerse. Forman así los distintos tipos de proteínas transmembrana diferentes transportadores; dentro de éstos se encuentran los poros a través de los que se efectúa principalmente el transporte de pequeñas moléculas a favor de su gradiente y sin necesidad del consumo de energía externa.

Pero antes de abordar el tema es necesaria la descripción de algunos procesos de transporte a través de la membrana y para ayudarnos a cuantificarlos necesitamos definir una magnitud que es *el flujo*. Esta magnitud indica la cantidad de sustancia que en la unidad de tiempo atraviesa el área unidad. Se simboliza como  $J$ .

El mecanismo más sencillo mediante el que una sustancia puede atravesar la membrana es la puramente mecánica. En efecto, una diferencia de presión hidrostática entre ambos lados de la membrana produce un flujo de materia a su través. El proceso se describe mediante *la ley de Poiseuille*, donde suponiendo que el poro es cilíndrico, de radio  $a$  y de longitud  $l$  que coincide con el espesor de la membrana, y que la membrana tiene  $N$  poros por unidad de área, se obtiene que el flujo  $J$  está relacionado con la diferencia de presión a ambos lados según:

$$J = \frac{N\pi a^4}{8\mu l} \Delta p = L_F \Delta p$$

Donde el cociente  $L_F$  se denomina *permeabilidad* o coeficiente de filtración. Con ciertas técnicas es posible evaluar el radio medio de los poros de la membrana así como su espesor  $g$ . Suponiendo que los poros son cilíndricos e iguales, así como

también que la membrana tiene el mismo espesor en todas partes, puede calcularse el flujo por un poro y puede medirse el flujo total de fluido por unidad de área de membrana.

La resistencia hidrodinámica total,  $R_{hT}$  puede relacionarse con la resistencia hidrodinámica de un poro  $R_{hp}$ , teniendo en cuenta que todos los poros pueden suponerse distribuidos en paralelo, por lo que a partir de la ecuación:

$$\frac{1}{R_{hp}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots$$

Resulta la siguiente:

$$\frac{1}{R_{ht}} = \frac{N}{R_{hp}}$$

Donde N es el número de poros por unidad de área. La ecuación comporta que el caudal total  $Q_T$  esté relacionado con el caudal que circula por cada poro  $Q_p$ , según  $Q_T = NQ_p$  y por lo tanto, si se consigue medir el caudal total de fluido por unidad de área de la membrana y se puede calcular el caudal que circula por cada poro, puede determinarse el número N de poros.

Si suponemos ahora dos disoluciones del mismo compuesto pero de distinta concentración separadas por una membrana semipermeable que permite el paso del disolvente pero no del soluto. Como la concentración es distinta, se produce un flujo del disolvente que irá de la zona menos a la más concentrada. Desde un punto de vista cualitativo podemos explicar este fenómeno si pensamos que el número de moléculas de disolvente que chocan con la membrana en la disolución más concentrada es inferior al número de choques que experimentan las moléculas de disolvente en la disolución menos concentrada. Como el flujo de partículas a través de la membrana es proporcional al número de choques, el flujo neto de disolvente irá de las zonas de menor hacia las zonas de mayor concentración. Así, este flujo es proporcional a la diferencia de concentración y se puede entonces escribir:

$$J = -k\Delta C$$

Donde  $J$  es el flujo neto de disolvente y  $k$  una constante de proporcionalidad. Si se producen diferentes concentraciones y presiones, el flujo total se deberá a ambos procesos y entonces se escribe:

$$J_T = L_p \Delta p - k\Delta C$$

En una membrana semipermeable perfecta es posible demostrar que  $k = L_p RT$ , donde R es la constante universal de los gases y T la temperatura absoluta. Así

$$J_T = L_p (\Delta p - RT\Delta C)$$

El producto  $RT\Delta C$  tiene unidades de presión y se denomina *presión osmótica*. Una forma de determinar experimentalmente la presión osmótica de una

disolución es variar  $\Delta p$  hasta que  $J_T = 0$ , con lo que entonces  $\Delta p - \Delta \pi = RT\Delta C$  y el valor de  $\Delta p$  coincide con el de la presión osmótica.

El flujo pasivo de materiales a través de una membrana puede ser provocado por cuatro tipos de fuerzas termodinámicas: los gradientes de presión, la concentración del soluto, el potencial eléctrico y la temperatura. Estos últimos factores, impulsan a ciertos iones a fluir en un mismo sentido -desde el interior hasta el exterior de la célula o viceversa-; en otras ocasiones, la diferencia de concentración tiende a hacerlos fluir en sentido opuesto; en este último caso se da una competición entre la diferencia de concentración y la de potencial.

Para poder predecir el sentido del flujo iónico resultante, llevaremos a cabo un análisis cuantitativo, escribiendo el flujo  $J$  como suma de dos contribuciones, la del gradiente de concentración y la del gradiente de potencial eléctrico. Las constantes de proporcionalidad serán: la constante de difusión  $D$ , que según la relación de Einstein puede escribirse en la forma  $D = \mu kT$ , con  $\mu$  la movilidad de los iones, para el término en el gradiente de concentración, y  $zeC\mu$ , donde  $z$  es la valencia de los iones,  $e$  es la carga del electrón en valor absoluto y  $C$  la concentración para el término en el gradiente de potencial  $V$ . Así tendremos:

$$J = -\frac{\mu kT}{dx} - zeC\mu \frac{dV}{dx}$$

Un gradiente de densidad o de potencial eléctrico en una disolución afecta de distinta forma su movimiento y en la interdependencia de estas fuerzas está la base de las teorías elementales de la bioelectricidad.

Consideramos ahora una situación para entender mejor el concepto planteado anteriormente. Supongamos que una membrana es perfecta y que solo permite el paso de un tipo de ión y es impermeable a otro, en caso que no haya corriente neta se cumple:

$$z_1 J_1 + z_2 J_2 = 0$$

Si la membrana impide el paso del ión 2, entonces  $J_2 = 0$  y por la condición anterior  $J_1 = 0$  pero este último flujo, se debe en parte al flujo de difusión y por otra parte al flujo eléctrico; por lo tanto,

$$J_1 = -\mu_1 kT \frac{dC_1}{dx} - eC_1 \mu_1 \frac{dV}{dx} = 0$$

Y si  $z_1$  es +1, la ecuación considerando  $C_1 = C$ , queda



$$\frac{-kT dC}{eC dx} = \frac{dV}{dx} \quad \text{o bien}$$

$$dV = \frac{-kT dC}{e C}$$

Integrando  $C$  y  $C''$  y los correspondientes voltajes  $V'$  y  $V''$  se llega a la ecuación:

$$V'' - V' = -\frac{kT}{e} \ln \frac{C''}{C'}$$

Esta última ecuación es la denominada ecuación de Nernst.

Para aclarar los conceptos anteriormente desarrollados se adjuntan los siguientes ejemplos:

②

Una célula esférica de radio  $2 \times 10^{-6}$  m tiene una concentración interior de sustancias que no pueden atravesar la membrana de 0,001 mol/l. La tensión de ruptura de la membrana es

$10^{-2} \text{ m}^{-1}$ . ¿se romperá la membrana cuando la célula se introduzca en un baño de agua pura?

$$(T = 300K)$$

Al ser la concentración en el interior de la célula superior a la del exterior, se producirá una entrada de agua pura. En la membrana se producirá un equilibrio dinámico, es decir, que la cantidad de agua que entre será la misma que la que salga, cuando la diferencia de presiones entre el exterior y el interior sea la presión osmótica evaluada según la concentración inicial, ya que suponemos que la cantidad total de agua que entra es muy pequeña y no altera el valor de la concentración. Por lo tanto,

$$\pi = CRT = \frac{0,001 \text{ mol}}{1} \times 0,082 \frac{\text{atm l}}{\text{K mol}} \times 300 \text{ K} = 0,0246 \text{ atm}$$

Por la ley de Laplace, que relaciona la presión dentro de la membrana esférica, la tensión y el radio de curvatura

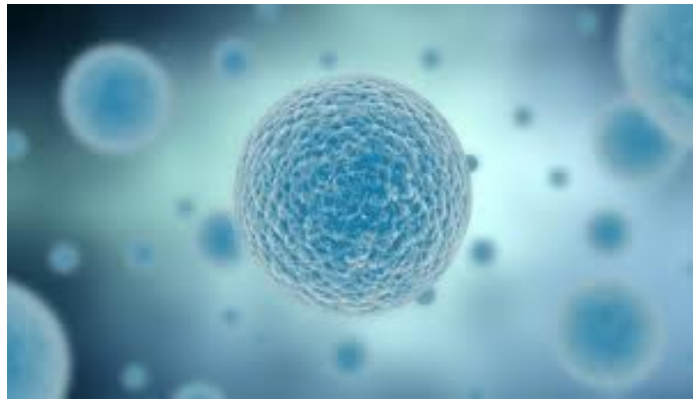
$$T = \frac{r \Delta p}{2}$$

Vemos que la tensión correspondiente será

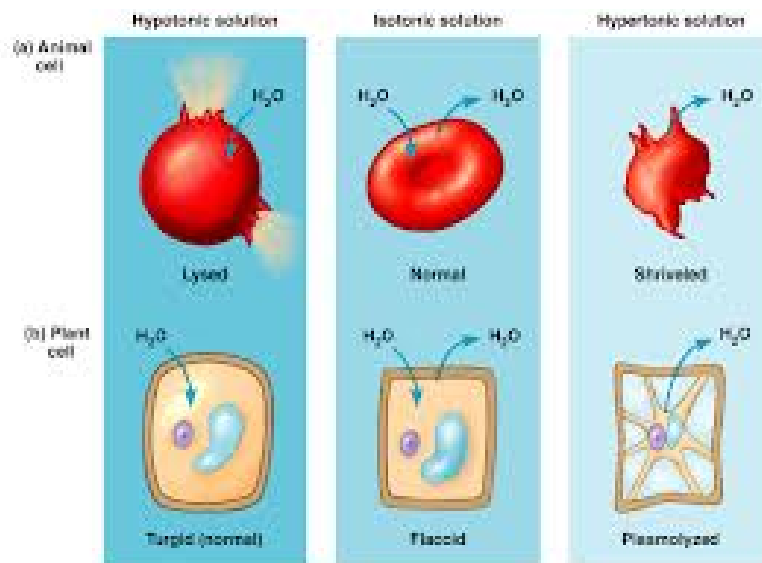
$$T = 2 \times 10^{-6} \times 0,00246 \text{ atm} \times 1,013 \times \frac{10^5 \text{ Nm}^{-2}}{2}$$

$$T = 2,492 \times 10^{-3} \text{ Nm}^{-1}$$

y por lo tanto, dado que la tensión es inferior a la ruptura, la célula **no se romperá**.



Un glóbulo rojo típico de  $5000 \text{ \AA}$  de radio tiene una membrana de tensión superficial máxima  $5 \times 10^{-2} \text{ N m}^{-1}$ . Lo introducimos en una disolución de  $1 \text{ M}$  de  $\text{NaCl}$ . Suponemos que el  $\text{NaCl}$  no puede atravesar la membrana de la célula. La concentración interior de sustancias que no pueden atravesar la membrana es  $3 \text{ M}$ . ¿Reventará el glóbulo rojo? ¿Cuál es la concentración mínima de  $\text{NaCl}$  necesaria para que el glóbulo rojo no reviente?  $T=300\text{K}$ ;  $R= 0,082 \text{ atm}$



$1 \text{ K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$

Al introducir un glóbulo rojo en la disolución de  $\text{NaCl}$ , dependiendo de la concentración de la misma, habrá una tendencia del agua a entrar o salir del glóbulo rojo. Esta tendencia vendrá reflejada por la presión osmótica  $\pi$ , que es función de la diferencia de concentraciones y de la temperatura. Si la disolución es  $1 \text{ M}$ , quiere decir que hay  $1 \text{ mol}$  por litro de  $\text{NaCl}$  y por lo tanto, el número de moles de sustancias que no pueden atravesar la membrana es de  $2$  ya que en la disolución acuosa el  $\text{NaCl}$  se descompone en  $\text{Na}^+ \text{Cl}^-$ . Por lo tanto, la diferencia de concentraciones es de  $1 \text{ mol}$  por litro y la presión osmótica

$$\pi = \Delta C RT = 1 \text{ mol l}^{-1} \times 0,082 \text{ atm l K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \times 300 \text{ K}$$

$$= 24,6 \text{ atm} = 2,49 \times 10^6 \text{ Nm}^{-2}$$

Cuando el agua que haya entrado en el glóbulo rojo haya producido un aumento de presión igual a la presión osmótica, el flujo de agua cesa. El valor de  $C$  se supone constante por el hecho de que aunque el flujo de agua sea suficiente como para variar la presión es muy pequeño como para variar la concentración apreciablemente. Aplicando la ley de Laplace

$$T = \frac{r \Delta p}{2} = \frac{5 \times 10^{-7} \text{ m} \times 2,49 \times 10^6 \text{ Nm}^{-2}}{2} = 62,3 \times 10^{-2} \text{ N m}^{-2}$$

Como la tensión resulta ser mucho mayor que la tensión superficial máxima, el glóbulo rojo se rompe. Podemos calcular la diferencia de presiones máxima que puede haber entre el exterior y el interior, sin que la membrana se rompa.

$$\Delta p = \frac{2T}{r} = \frac{2 \times 62,3 \times 10^{-2} \text{ N m}^{-2}}{5 \times 10^{-7}} = 2 \times 10^5 \text{ N m}^{-2} = 1,97 \text{ atm}$$

Y por lo tanto la máxima diferencia de concentraciones viene dada por:

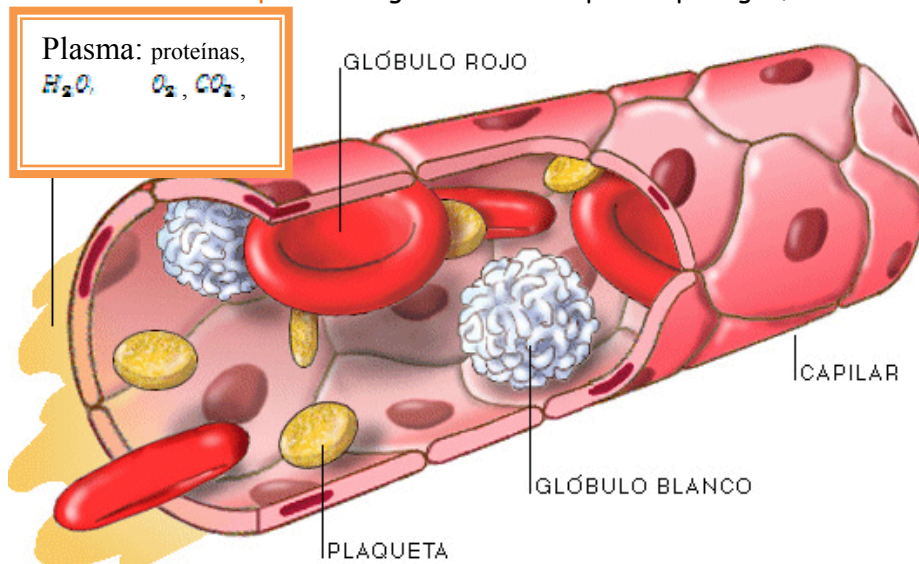
$$\Delta C = \frac{\pi}{RT} = \frac{1,97 \text{ atm}}{0,082 \frac{\text{atm l}}{\text{K mol}} \times 300 \text{ K}} = 0,08 \frac{\text{mol}}{\text{l}}$$

Con esto deducimos que la concentración de moles como mínimo ha de ser de 2,92M, es decir una concentración de 1,46 mol/l. Si el glóbulo rojo se introduce en una disolución de concentración acuosa 1,46 M o menor se romperá.

Desarrollados los ejemplos anteriores consideramos relevante agregar el siguiente tema relacionado y una aplicación correspondiente.

### Mecanismo de Starling.

Starling fue el primero en proponer el mecanismo de intercambio basado simplemente en la presión hidrostática y en la presión osmótica. Para comenzar a describir el mecanismo primero tomaremos en cuenta ciertas características. El plasma sanguíneo está compuesto por agua, electrolitos,



moléculas pequeñas de glucosa, oxígeno disuelto, dióxido de carbono, y proteínas. Las paredes de los capilares forman una membrana que permite el paso de todas las sustancias excepto las proteínas. Dado que el contenido proteínico del fluido intersticial y del plasma sanguíneo es distinto, ambos fluidos tienen valores distintos de presión osmótica. Así el plasma sanguíneo tiene presión osmótica de 28mmHg. La presión del extremo arterial es:

$$P_{Tp} = p_a - \pi = 25 - 28 = -3 \text{ mmHg}$$

Y en el extremo venoso

$$P_{Tp} = P_v - \pi = 10 - 28 = 18 \text{ mmHg}$$

Del extremo arterial al venoso, la presión total decrece linealmente desde -3mmHg hasta -18mmHg.

Por otra parte, el fluido intersticial tiene una presión total tanto en el extremo venoso como en el extremo arterial

$$P_{Ti} = p_{fi} - \pi = -6 - 5 = -11 \text{ mmHg}$$

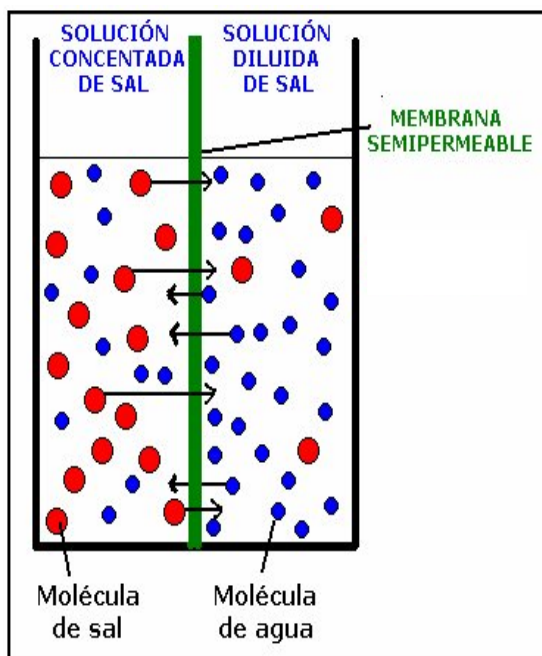
Se denota que en las cercanías del extremo arterial la presión es mayor en el interior del capilar que en el exterior y que, por tanto, habrá un flujo neto de productos hacia el fluido intersticial, produciéndose en consecuencia una entrada de nutrientes y de oxígeno al medio intracelular.

En cambio en el extremo venoso esta relación se ha invertido y la presión en el fluido intersticial es superior que la presión interior del capilar, por lo que el flujo es el inverso, produciendo una circulación de material desde el fluido intercelular hacia el plasma sanguíneo.

En cambio, el flujo hacia fuera del capilar es ligeramente superior al flujo hacia el interior. El exceso de fluido vuelve a la circulación vía sistema linfático.

Las anomalías en este mecanismo explican algunas disfunciones en los organismos. Así por ejemplo, personas con un funcionamiento deficiente de la parte derecha del corazón, encargada de bombear la sangre a los pulmones, experimentan un aumento en la presión venosa, lo cual provoca una acumulación de fluido en las piernas o en la espalda de estas.

Por el contrario si la temperatura corporal aumenta, es decir, si tiene fiebre, la presión osmótica  $\pi = CRT$  aumenta y el equilibrio se desplaza en la dirección contraria produciéndose un desequilibrio de forma que el flujo desde el líquido intersticial se ve favorecido. Así, periodos prolongados de fiebre producen la deshidratación de los tejidos.



Supongamos ahora que dos disoluciones del mismo compuesto con distintas concentraciones están separadas por un tabique. Las partículas de soluto y de disolvente chocan constantemente contra ambos lados del tabique. En el lado en que hay más partículas de soluto, es decir, donde la concentración es superior, los choques son más frecuentes. Al eliminar el tabique habrá más partículas de soluto que pasaran de la zona más concentrada

a la menos concentrada que las que realizaran el proceso inverso. Así se establecerá un flujo neto de partículas hacia la disolución menos concentrada. La ley de Fick establece que este flujo es proporcional al gradiente de concentraciones que expresado en una dimensión es:

$$J \sim - \frac{dC}{dx}$$

Donde  $C(x)$  es la distribución de la concentración en la dirección  $x$ . La constante de proporcionalidad es la constante de difusión  $D$  que es proporcional a la temperatura. La expresión para  $D$  es

$$D = ukT$$

Donde  $u$  se denomina movilidad. Así pues, se puede escribir la *ley de Fick* como

$$J = -ukT \frac{dC}{dx}$$

O en general

$$J = -D \text{ grad } C$$

Así el flujo es proporcional al gradiente de concentración y la constante de proporcionalidad depende de la sustancia que se difunde, a través de  $u$ , y de la temperatura.

Un resultado importante, en cuanto a aplicación biológica es el que se obtiene calculando el desplazamiento medio  $r^2$  de una partícula por difusión que resulta cumplir

$$r^2 = 2Dt$$

*Adjuntamos algunos otros ejemplos más, destinados a aclarar conceptos anteriormente desarrollados:*

- ⓐ *Suponiendo una membrana de espesor  $l$  que contiene  $N$  poros cilíndricos de radio  $a$  por unidad de área. Se define permeabilidad de una membrana para un determinado soluto ( $P$ ) como el cociente entre el flujo de soluto ( $\text{mol cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ )  $J_s$  y la diferencia de concentraciones de dicho soluto a un lado y al otro de la membrana ( $\Delta C$ ), cuando los dos lados de la membrana están a la misma presión, es decir,  $J_s = P \Delta C$ . A partir de la ley de Fick, obtener una expresión para la permeabilidad de esta membrana en función de sus características ( $N$ ,  $a$ ,  $l$ ) y el coeficiente de difusión  $D$  del soluto en agua.*

*Si  $N=6,36 \times$*

*$10^4$  poros  $a = 2 \times 10^{-8}$  cm,  $l = 5 \times 10^{-4}$  cm y  $D = 2 \times 10^{-6}$   $\text{cm}^2\text{s}^{-1}$  para un determinado soluto en agua, calcular la permeabilidad de la membrana para este soluto.*

*Según la ley de Fick, el soluto que atraviesa un cilindro de longitud  $l$ , entre cuyos extremos hay una diferencia de concentraciones  $\Delta C$ , es*

$$J_s(\text{poro}) = D \frac{\Delta C}{l}$$

Como hay  $N$  poros por unidad de área y la sección de un poro es  $\pi\alpha^2$  tendremos

$$J_s = \frac{N\pi\alpha^2 D}{l} \Delta C$$

Y según la definición de permeabilidad obtenemos

$$P = \frac{N\pi\alpha^2 D}{l}$$

Observamos que las unidades de  $P$  en el SI son  $\text{ms}^{-1}$ . Y según los datos del problema  $P = 3,2 \times 10^{-6} \text{ cm s}^{-1}$

Este problema proporciona una manera de evaluar el orden de magnitud del radio  $\alpha$  de los poros y el número  $N$  de poros de la membrana por unidad de área.

Efectivamente, el coeficiente de filtración  $L_f$  y la permeabilidad  $P$  de un determinado soluto se pueden medir experimentalmente. A partir de estos datos, y si sabemos  $l$ ,  $\mu$  y  $D$  podemos calcular  $N$  y  $\alpha$ .

Estos resultados se han de ver como una simple evaluación aproximada de los órdenes de magnitud correspondientes, ya que en realidad los poros no son ni rectos ni cilíndricos. Por otra parte en muchas membranas los canales son proteínas de longitud  $l \approx 10 \text{ nm}$ ,  $\alpha \approx 4 \text{ nm}$  con  $N = 10^{12} \text{ proteínas cm}^{-2}$ .

- ⓐ Ahora sabiendo que las moléculas de glucosa necesitan 0,1 segundos para recorrer por difusión una distancia media de  $10 \mu\text{m}$ , ¿Qué tiempo tarda en recorrer una distancia de 1 cm?

La relación entre la distancia media recorrida por difusión y el tiempo  $t$  que se tarda en recorrerla es  $\overline{r^2} = 2Dt$  donde  $D$  es la constante de difusión.

Así pues, si conocemos las dos distancias medias y el tiempo en recorrer una de ellas, podemos determinar el tiempo deseado a partir de la siguiente relación

$$\frac{\overline{r_1^2}}{\overline{r_2^2}} = \frac{t_1}{t_2}$$

Es decir

$$t_2 = t_1 \left( \frac{\overline{r_1^2}}{\overline{r_2^2}} \right) = 100.000 \text{ segundos}$$

Este resultado nos muestra la gran lentitud de los procesos de difusión. ¡Por esto agitamos el café! Si dejáramos que el azúcar se difundiera sin ayuda de la agitación, tendríamos que esperar mucho tiempo antes de poder tomarlo.

- ⓐ ¿Cuál es la máxima velocidad a la que puede circular el plasma sanguíneo por los capilares que rodean a un alveolo pulmonar para que el intercambio de oxígeno se realice por difusión? El radio de los capilares alveolares es de  $5\mu\text{m}$ , que la pared es de  $0,2\mu\text{m}$  de espesor, que tienen  $100\mu\text{m}$  de longitud y que la constante de difusión es  $D = 10^{-8} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$ .

El intercambio gaseoso se realiza por difusión. En esas condiciones, el tiempo típico de la difusión se calcula a partir de la expresión

$$\overline{r^2} = 2Dt$$

Donde  $\overline{r^2}$  es la distancia cuadrática media recorrida por difusión, que se puede identificar con el radio medio del capilar.

$$t = \frac{\overline{r^2}}{2D} = 12,5 \times 10^{-3} \text{ s}$$

Si la longitud del alveolo es de  $100\mu\text{m}$ , usando el resultado anterior se obtiene para la velocidad máxima de la sangre en los alveolos

$$v_m = \frac{l}{t} = 0,8 \text{ cm s}^{-1}$$

La velocidad real en los alveolos pulmonares es de  $0,1 \text{ cm}$  por segundo. Por lo tanto, el mecanismo de difusión es una explicación del intercambio de gases entre los pulmones y la sangre.

- ⓐ La hemoglobina es una proteína globular, de forma aproximadamente esférica. Calcular su radio a partir de la relación de Einstein para el coeficiente

$$D = \frac{kT}{6\pi\mu r}$$

de difusión, si la constante de difusión de la hemoglobina en agua a  $20^\circ\text{C}$  es  $D = 6,9 \times 10^{-7} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$  [ $\mu$  agua a  $20^\circ\text{C} = 0,01$  poise,  $k = 1,38 \times 10^{-16} \text{ erg K}^{-1}$  ]

Este problema pone en relieve el gran interés práctico de la fórmula de Einstein para el coeficiente de difusión, que nos permite obtener una magnitud, el radio molecular, muy difícil de medir directamente, en función de una magnitud de fácil medida directa. En este caso tenemos

$$r = \frac{kT}{6\pi\mu D} = 31,1 \text{ \AA}$$

Otro tema de interés para considerar es el tipo de flujo con el que se está tratando y sus características. Para conocer las características del flujo utilizamos el Número de Reynolds que nos sirve de guía al momento de clasificarlos entre laminares o turbulentos. Al ser una regla empírica es de gran ayuda ya que como se explicará a continuación con el simple hecho de utilizar una ecuación se puede clasificar el flujo dentro de las dos ramas (laminar o turbulento) y esto define sus características.

## Número de Reynolds

Hasta ahora hemos discutido el flujo de un fluido en régimen laminar según el cual las partículas fluidas no tienen una componente de la velocidad perpendicular a la dirección del flujo. En el ejemplo del flujo de un fluido por un tubo, a medida que aumenta la diferencia de presiones entre sus extremos, el fluido adquiere una velocidad cada vez más grande. El flujo laminar se mantiene hasta que la velocidad alcanza un valor determinado. Superado este valor, el flujo del fluido se hace inestable y cualquier pequeña perturbación acaba desestabilizándolo. Decimos que se desarrolla la turbulencia. El flujo turbulento es complicado de analizar, tanto desde el punto de vista físico como desde el punto de vista matemático. En el flujo turbulento se desarrollan componentes de la velocidad perpendiculares al flujo neto de fluido, estableciéndose un flujo neto de momento por todas las zonas del tubo. La velocidad en las paredes del tubo se mantiene cero, pero, en cambio, la velocidad en el centro se reduce drásticamente respecto al valor del flujo laminar. El flujo turbulento se caracteriza entonces por un perfil de velocidades mucho más plano que el de un flujo laminar. Otra característica del flujo turbulento es que en él se da una mayor disipación. En efecto, la inestabilidad de un flujo turbulento genera la formación de vórtices de tamaños muy distintos, donde se produce una buena parte de la disipación del flujo.

Sin embargo, el análisis de los fenómenos turbulentos a pesar de ser interesantes desde el punto de vista físico, desde el punto de vista de una primera visión de problemas de interés biológico no se hace imprescindible. En efecto, la mayor parte de situaciones de interés en biología se dan en condiciones donde el flujo es laminar. Incluso en los conductos donde la sangre sale del corazón, el flujo es prácticamente laminar. Solo en las fosas nasales parece que se ha desarrollado un entorno donde se favorece el flujo turbulento ya que allí parece importante la generación de turbulencia para facilitar la mezcla completa del aire y, por lo tanto, mejorar el olfato y el intercambio de calor.

Si las dimensiones del tubo varían, también varía el valor de la velocidad para el que se da la transición a la turbulencia. Así mismo, si varía el fluido, también varía las condiciones en las que se da la transición a la turbulencia. Existe una magnitud adimensional denominada número de Reynolds cuyo valor sirve para determinar si un flujo es laminar o turbulento. La utilización de magnitudes adimensionales es muy útil en mecánica de fluidos ya que la adimensionalización de las ecuaciones que representan las distintas situaciones físicas que se dan permite analizar de una forma bastante directa y sencilla la relación entre el comportamiento de los fluidos o el movimiento de los cuerpos en el seno de fluidos a escalas espaciales muy diferentes.

El Número de Reynolds para el flujo de un fluido por un tubo de radio R se define según la relación siguiente

$$R_e = \frac{\rho v R}{\mu} = \frac{v R}{\nu}$$

Donde  $\rho$  es la densidad del fluido,  $v$  su velocidad,  $\mu$  su viscosidad.

Experimentalmente, en los conductos de simetría cilíndrica se ha encontrado que si

•  $R_e < 1000$  el flujo es laminar



•  $1000 < R_g < 1500$  el flujo es inestable y no se puede afirmar de forma categórica si es laminar o turbulento

•  $R_g > 1500$  el flujo es turbulento

A la vista de la ecuación anterior se puede comprobar: para alcanzar valores del número de Reynolds grandes pueden aumentarse la velocidad, pero también puede lograrse el mismo efecto aumentando el radio del tubo, o incluso cambiando el tipo de fluido, reduciendo entonces la viscosidad.

∩ Dado que el cuerpo de un organismo vivo está formado en su mayor parte por agua, consideramos importante el desarrollo del proceso que constituye el pasaje de ésta de un medio a otro.

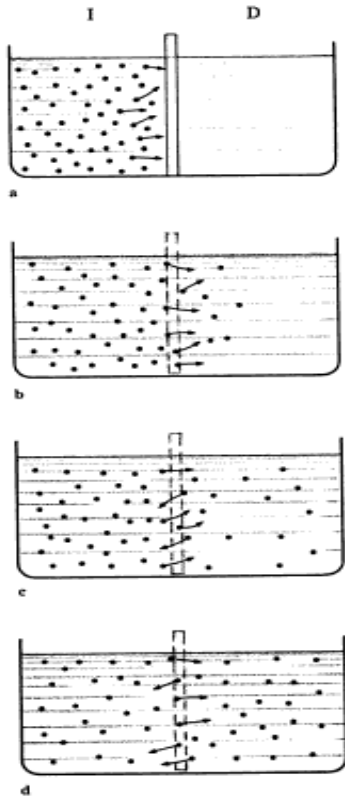
### Ósmosis

Cuando una sustancia se disuelve en un líquido, las moléculas de la sustancia (el soluto) se dispersan uniformemente por todo el líquido (el disolvente). La mezcla resultante se llama disolución.

El número de moles  $n$  de soluto por unidad de volumen del disolvente es la concentración molar  $c$  de una disolución. Así, si se disuelven  $n$  moles de soluto en un volumen  $V$  de disolvente, la concentración de la disolución es:

$$c = n/v$$

Consideramos en la siguiente figura:



- a) Una disolución de azúcar separada del agua pura por medio de un tabique.
- b) Cuando se suprime el tabique, algunas moléculas de agua se difunden en el compartimiento de la derecha.
- c) Cuando la concentración de azúcar aumenta en el compartimiento de la derecha, algunas moléculas de azúcar vuelven a pasar al compartimiento de la izquierda.
- d) En el equilibrio, la concentración es la misma en ambos compartimientos.
  - Existe, por lo tanto, un flujo neto de moléculas de izquierda a derecha hasta que la concentración es

Pero si tenemos en cuenta lo que ocurre en una célula, cuyos compartimientos están separados por una membrana semipermeable:

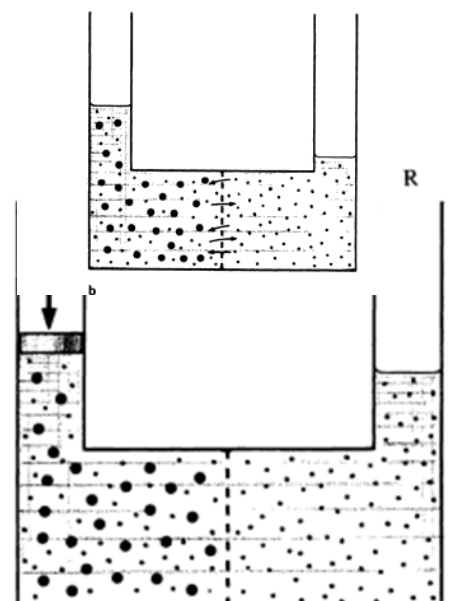
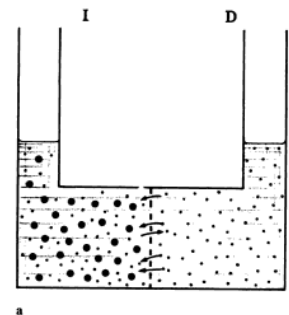
Existe un flujo neto de agua en la disolución de azúcar que da lugar a que el nivel del líquido suba en el compartimiento de la izquierda y baje en el de la derecha.

- ✚ La difusión del agua a través de una membrana semipermeable desde una región de baja concentración hasta otra de alta concentración se llama *ósmosis*.

- ✚ Otro fenómeno que podemos destacar en la ósmosis es la presión osmótica:

Para una mejor explicación... Se ha adaptado un émbolo al compartimiento de la izquierda para ajustar la presión en este compartimiento.

Aplicando una fuerza a este émbolo, se puede variar la presión  $p$  de la disolución de un soluto determinado. Al aumentar  $p$  disminuye la velocidad de flujo del agua en la disolución. A una cierta presión  $p_{os}$  cesa el flujo por completo, y cuando se incrementa la presión más allá de  $p_{os}$ , aparece la ósmosis inversa: el agua es obligada a abandonar la



disolución y a difundirse en el compartimiento de la derecha.

La presión  $p_{os}$  a la que no tiene lugar la ósmosis recibe el nombre de presión osmótica de la disolución.

Las moléculas de soluto se comportan como un gas encerrado, y la presión osmótica se puede considerar como la presión  $p_s$  de este "gas" disuelto. Si la disolución es diluida, la presión del soluto viene dada por la ley de los gases ideales:

$$p_s = \frac{nRT}{V}$$

Donde  $V$  es el volumen ocupado por la disolución.

Teniendo en cuenta que  $c = n/v$ , la expresión anterior la podemos escribir:

$$P_{os} = c RT$$

Cuando  $p$  (presión ejercida por el émbolo) es igual que  $p_s$  (presión del soluto), no hay flujo de agua desde ni hacia la disolución. Así  $p_s$  es igual a la presión osmótica de la disolución:

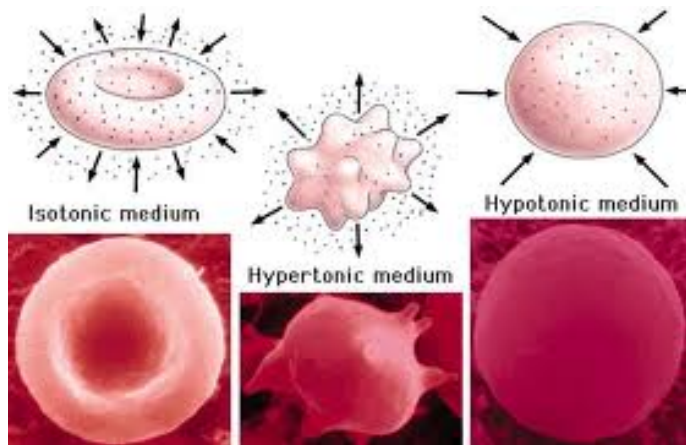
$$P_{os} = p_s = c RT$$

✚ La presión real dentro de una célula depende de la *osmolalidad* (concentración total de todas las partículas que no penetran en la disolución) del fluido que rodea a la célula y de la rigidez de la pared celular. Cuando una célula con una pared celular rígida, por ejemplo, un glóbulo rojo de la sangre, se coloca en agua pura, el agua trata de difundirse en la célula; pero dado que la célula no puede dilatarse, penetra muy poca agua. La presión del fluido interno aumenta hasta que o bien alcanza un valor de 7,9 atm por encima de la presión externa o revienta la célula. Normalmente los glóbulos rojos se abren cuando se les pone en agua pura. Así, cuando una célula provista de una pared celular no rígida se coloca en una disolución de osmolalidad algo menor que 0,30 osmoles/l, el agua se difunde en la célula; pero como la pared celular carece de rigidez, la presión del fluido interno no aumenta. En cambio, la célula se dilata cuando el agua se difunde en ella. Esto disminuye la concentración del fluido intracelular, y la ósmosis se detiene cuando la osmolalidad de dicho fluido se hace igual que la del fluido extracelular.

Cuando se coloca una célula de osmolalidad mayor que 0,30 osmoles/l, el agua sale de la célula, lo cual aumenta la osmolalidad del fluido intracelular. La célula se encoge hasta que las osmolalidades de los dos fluidos son iguales.

✚ Así, la ósmosis mantiene iguales las osmolalidades de los fluidos intracelular y extracelular.

✚ Una disolución isotónica es la que tiene la osmolalidad del fluido intracelular. Una célula colocada en una disolución isotónica no se hinchará ni se encogerá.



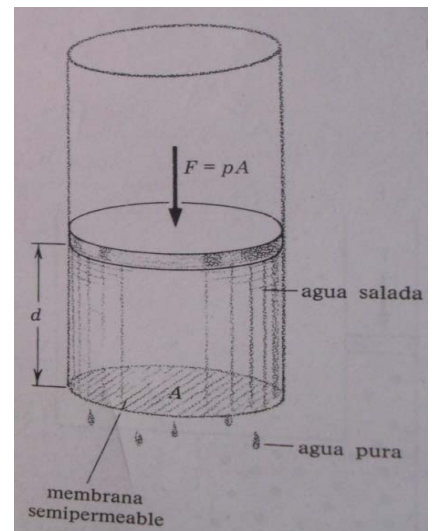
✚ La ósmosis inversa puede ser un método práctico para desalinizar el agua del mar. Este proceso requiere

poca energía. Ahora si consideramos que la presión del agua del mar es  $p$ , la fuerza sobre una membrana de área  $A$  es  $F=pA$ .

Por ejemplo, para purificar un volumen  $V= Ad$  de agua, el fluido debe desplazarse la distancia  $d=V/A$ . Por lo tanto, el trabajo realizado en la desalinización de un volumen  $V$  de agua es:

$$W = Fd = pA \frac{V}{A} = pV$$

Cuando la presión del agua salada supera a su presión osmótica, el agua pura pasa a través de la membrana semipermeable.



### Conclusión:

A partir del presente trabajo centrado en un tema fundamental para la biología celular, como lo es el transporte a través de membranas celulares y la importancia que tienen los fluidos implicados en dichos procesos, podemos concluir que mediante la aplicación de la física y de las leyes que caracterizan la mecánica de los fluidos reales, entre las que se encuentran la Ley de Laplace, Poiseuille y el Número de Reynolds; es posible dilucidar, comprender y conocer las características, el comportamiento y la variación que llevan consigo los fluidos en nuestro organismo. Así, podemos ver que es notable la relevancia y el alcance que tiene la física como ciencia aplicada y su repercusión en el análisis cuantitativo de los mecanismos de la vida.

### Bibliografía consultada:

- ✓ "Física para ciencias de la vida" de David Jou Mirabent, Josep Enric Llebot Rabagliat, Carlos Pérez García. (Primera y Segunda Edición)
- ✓ "Física para las ciencias de la vida" - Alan H. Cromer
- ✓ "Biología Molecular de la Célula - Bruce Alberts

6

Fuerzas de Sustentación  
El vuelo de los animales y de  
los aviones

María Martha Magallanes  
Profesorado en Biología  
2013

## INTRODUCCION

La elección del tema para el seminario se baso en tratar de entender como la física esta aplicada en todo el medio que nos rodea, como al mismo tiempo darme a comprender como todo los temas visto en la cursada de física están totalmente relacionados unos con otros. En especial este tema seminario me intereso debido a que pude observar como varios temas estaban en completa relación y que en conjunto lograban un resultado óptimo, como es el vuelo en las aves, aviones, etc. Se puede decir que el vuelo es el principal medio de [locomoción](#) utilizado por la mayoría de las especies de [aves](#). Jugando un papel destacado en la alimentación de las aves, en su reproducción, crecimiento y capacidad de evadir [predadores](#). Los principios básicos de vuelo de un ave son similares a los de un [avión](#) que se produce por la [fuerza de sustentación](#) que es producida por la acción del flujo de aire a través del [ala](#). Esta fuerza de sustentación se produce a la [presión del aire](#) es menor en la parte inmediatamente sobre el ala y ligeramente superior en la parte inferior del ala.

## DESCRIPCION DEL PROBLEMA

### ¿Por qué vuela un Avión?

Un avión es un cuerpo tridimensional que se mueve en el espacio alrededor de sus 3 ejes que son:

Eje Longitudinal = X

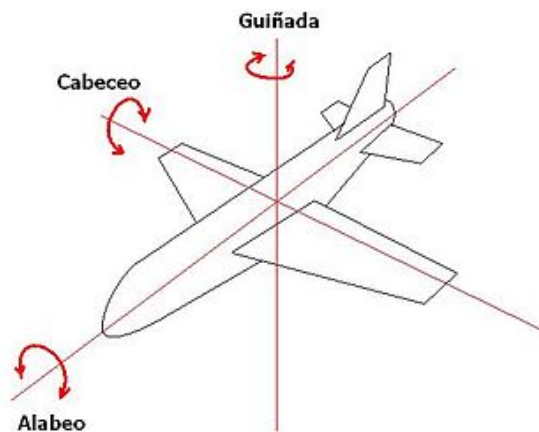
Es una línea imaginaria que va desde el morro hasta la cola de un avión; La rotación en torno al eje longitudinal se denomina "balanceo" y se controla con los alerones.

Eje Vertical = Z

Es una línea vertical imaginaria que atraviesa el centro del avión. La rotación en torno al eje vertical se denomina "guiñada" y se controla mediante el timón de dirección.

Eje Lateral ó Transversal = Y

Es una línea imaginaria desde la punta de un ala hasta la otra. El movimiento en torno al eje lateral se denomina "cabeceo" y se controla con el timón de profundidad.

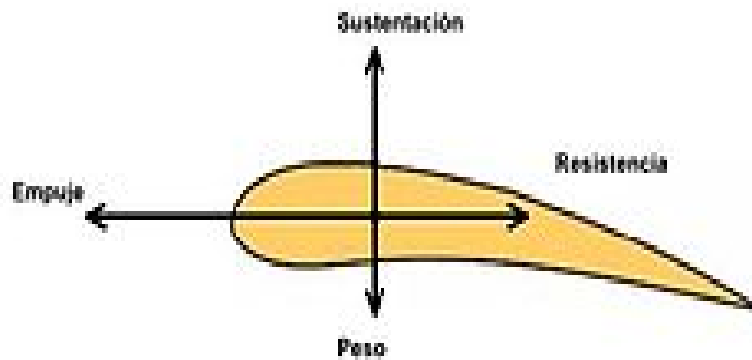


Fuerzas que actúen sobre la aeronave:

Las fuerzas en oposición se equilibran mutuamente en el vuelo estable, que incluye el vuelo en línea recta y nivelada así como el ascenso o el descenso estables a una velocidad constante. Se puede asumir que las cuatro fuerzas actúan en un punto único denominado centro de gravedad (CG).

Peso (W)

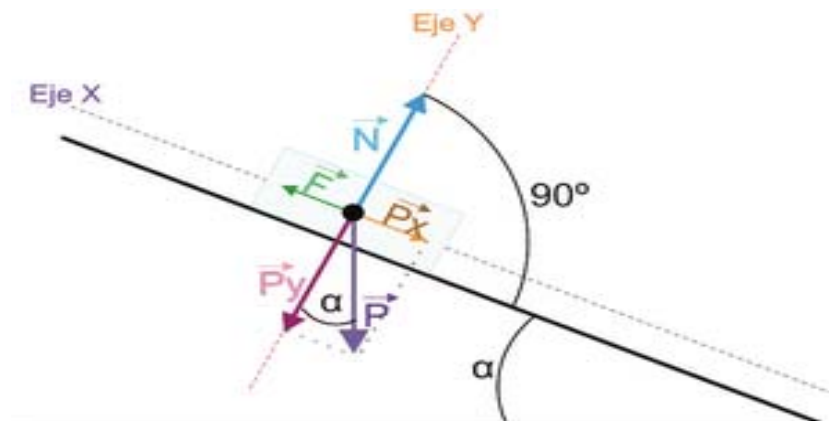
Una de las cuatro fuerzas básicas que actúan sobre un avión en vuelo. La sustentación es la fuerza opuesta al peso (más exactamente, la suma de todas las fuerzas hacia abajo) que actúa siempre en dirección al centro de la Tierra, esto es que la redondez de la tierra y el peso de un cuerpo se considera vertical.



### DESARROLLO

Para comenzar con el desarrollo del tema fuerza de sustentación en primer lugar pretendo comenzar desde la base introduciendo el significado de una fuerza es una magnitud física de carácter vectorial capaz de deformar los cuerpos (efecto estático), modificar su velocidad o vencer su inercia y ponerlos en movimiento si estaban inmóviles (efecto dinámico). En este sentido la fuerza puede definirse como toda acción o influencia capaz de modificar el estado de movimiento o de reposo de un cuerpo (imprimiéndole una aceleración que modifica el módulo o la dirección de su velocidad).

Comúnmente se refiere a la fuerza aplicada sobre un objeto sin tener en cuenta al otro objeto u objetos con los que está interactuando y que experimentará, a su vez, otras fuerzas. En fin, cabe definir la fuerza como un ente físico-matemático, de carácter vectorial, asociado con la interacción del cuerpo con otros cuerpos que constituyen su entorno.



A continuación luego de la introducción de fuerza podemos tratar de comprender a que se refiere con **fuerza de sustentación** que expresa que es la fuerza generada sobre un cuerpo que se desplaza a través de un fluido, de dirección perpendicular a la de la velocidad del corriente incidente. La aplicación más conocida es la del ala, de un ave o un avión, superficie generada por un perfil alar.

Como con otras fuerzas aerodinámicas, en la práctica se utilizan coeficientes adimensionales que representan la efectividad de la forma de un cuerpo para producir sustentación y se usan para facilitar los cálculos y los diseños.

El modelo matemático de la fuerza de sustentación es:

$$F_L = \frac{1}{2} \rho V^2 A C_L$$



Donde:

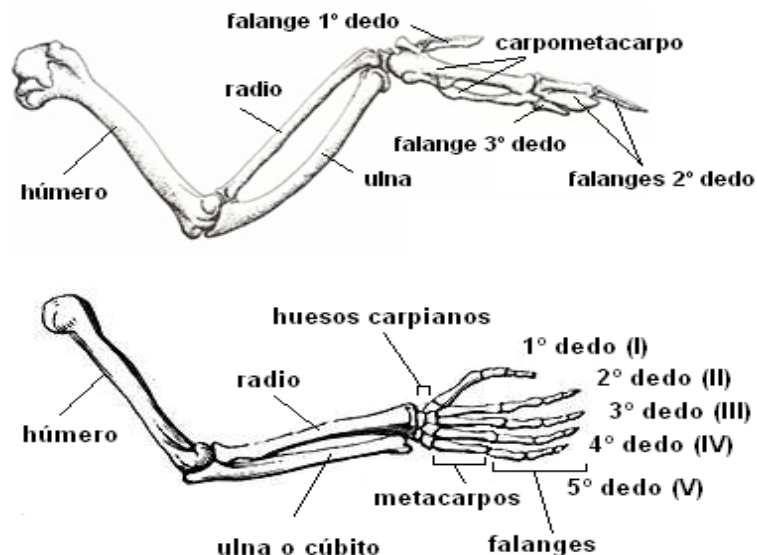
- $L$  es la fuerza de sustentación en Newton.
- $\rho$  es la densidad del fluido, en  $\text{kg/m}^3$ .
- $V$  es la velocidad, en  $\text{m/s}$ .
- $A$  es el área de referencia del cuerpo (también llamado "superficie alar"), representado por  $\text{m}^2$ .
- $C_L$  es el coeficiente de sustentación. Como el resto de coeficientes aerodinámicos, es adimensional. Este coeficiente se halla experimentalmente de acuerdo a:

$$C_L = \frac{L}{\frac{1}{2}\rho V^2 A}$$

Es la principal fuerza que permite que una [aeronave](#) con [alas](#) se mantenga en vuelo. Ésta, al ser mayor que el peso total de la aeronave, le permite despegar.

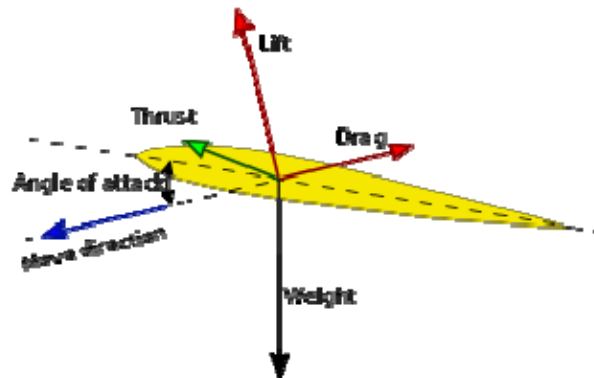
Para la sustentación se utiliza la notación  $L$ , del término inglés *lift* o sustentación en español, y  $C_L$  para el coeficiente de sustentación, el cual siempre se busca sea lo mayor posible.

Además hay que conocer y comprender un poco de la anatomía del ala del ave para comprender su vuelo y de los aviones, comenzando con los miembros anteriores del ave, las alas, que son la clave para el vuelo de un ave. Cada ala posee una veleta central, compuesta por los huesos del húmero, el radio y el cúbito, que golpea el viento. La mano se reduce a tres dígitos (dígitos II, III y IV), cuyo propósito se ha transformado a servir de anclaje para las plumas primarias o metacarpo, uno de los dos grupos de plumas responsables de la forma de perfil alar. El otro conjunto de plumas de vuelo que se ubican detrás de la articulación carpal en el ulna, se denominan los secundarios o cubitales. El resto de las plumas del ala se las conoce como de cobertura, existiendo tres conjunto de ellas.



Es por ello que el ala puede considerarse un plano aerodinámico sobre el que actúan dos fuerzas, una hacia arriba, la de *sustentación*, y otra que se opone al avance, la de *arrastre*. Para que el ave pueda volar, es necesario que la fuerza de sustentación, compense el peso del animal; el aire que circula por la superficie superior de sus alas crea un vacío que contribuye a esa fuerza de sustentación. Otro termino a conocer es la superficie generada por un **perfil alar** es la forma del área transversal de un elemento, que al desplazarse a través del aire es capaz de crear a su alrededor una distribución de presiones que genere sustentación y según el propósito que se persiga en el diseño, los perfiles pueden ser más finos o gruesos, curvos o poligonales, simétricos o no, e incluso el perfil puede ir variando a lo largo del ala. También tenemos que destacar el concepto de **ángulo de ataque**, a través de un ejemplo donde al introducir verticalmente un tablón de madera en un río, el perfil será un rectángulo, que es la sección

del tablón. Observaremos que la fuerza que arrastra dicho tablón corriente abajo es pequeña cuando enfrentamos la cara más estrecha a la corriente, y el arrastre es grande si enfrentamos a la corriente la cara más ancha. Esta fuerza que empuja en el sentido de la corriente se denomina resistencia o arrastre. Este arrastre varía conforme giramos el tablón respecto a un eje longitudinal, es decir, conforme varían el ángulo que forma la sección del tablón con la dirección de la corriente. Ese ángulo se denomina **ángulo de ataque**.



Lift: sustentación / Drag: arrastre/ Weight: peso/ Thrust: empuje/ Angle de attack: ángulo de ataque

Hemos comprendido la anatomía de ala y que hace posible que se mantenga en el aire, pero también se tiene que tener en cuenta la fuerza de sustentación se da tanto en un medio acuático como aéreo es decir que se encuentran dentro de un flujo que puede ser estacionario o turbulento. Pero si nos encontramos dentro del avión se puede observar un flujo estacionario, por lo que podemos aplicar la ecuación de Bernoulli:

$$P + \delta g h + \frac{1}{2} \delta v^2 = P' + \delta g h' + \frac{1}{2} \delta v'^2$$

Si tenemos un flujo de aire de velocidad inicial ( $v$ ) y densidad ( $\delta$ ) alrededor de la ala del avión, donde la líneas de corriente por encima del ala están apretadas que por debajo, lo que indica que la velocidad esta por encima es mayor que la velocidad que hay por debajo. De acuerdo con Bernoulli dice que  $P + \delta g h + \frac{1}{2} \delta v^2$  debe ser constante, en una línea de corriente y la presión que esta por encima del ala debe ser menor que la presión por debajo. Así la fuerza de sustentación sobre el ala de área  $A$  es:

$$L = (P' - P) A = A \frac{\delta}{2} (v^2 - v'^2)$$

- Los términos ( $\delta g h$ ) se desprecian ya que el espesor del ala es pequeño

Pero la expresión no es útil debido a que no se conoce las velocidades y no existe un método para conocerlas. Sin embargo se espera que ambas velocidades sean proporcionales a la velocidad inicial del aire por lo que la fuerza de sustentación se escribe:

$$L = C_L \frac{\delta}{2} v^2 =$$

El coeficiente sustentación ( $C_L$ ) depende de la forma del ala y del ángulo de ataque (el ángulo entre ala y dirección del flujo del aire) ya que cuando el ángulo es pequeño, la fuerza sustentación es proporcional al ángulo de ataque pero si el ángulo aumenta se origina turbulencia, la sustentación disminuye y se pierde velocidad.

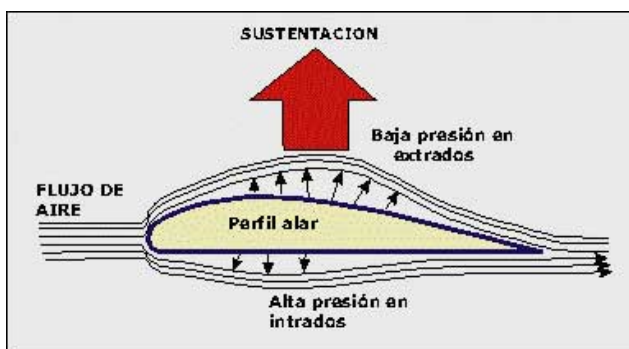
## RESULTADOS

Cuando un cuerpo se mueve en un fluido (el aire es un fluido), altera la disposición de las moléculas de éste.

Si se considera al aire como un fluido, compuesto por moléculas, cualquier cuerpo que se mueva en el mismo altera la disposición de dichas moléculas

Cuando el ala se mueve en el aire, las moléculas que circulan por la parte superior y las que circulan por la parte inferior lo hacen a una velocidad tal que en el final de la misma vuelven a encontrarse. Si el perfil del ala no es simétrico (tiene distinta curvatura en la parte superior a la de la parte inferior) para que dichas moléculas vuelvan a unirse, las que circulan por la parte mas larga -en las alas clásicas es la parte superior-, lo hacen a mayor velocidad que las que circulan por la parte inferior. Esa mayor velocidad produce una zona de baja presión que literalmente "succiona" el ala hacia arriba.

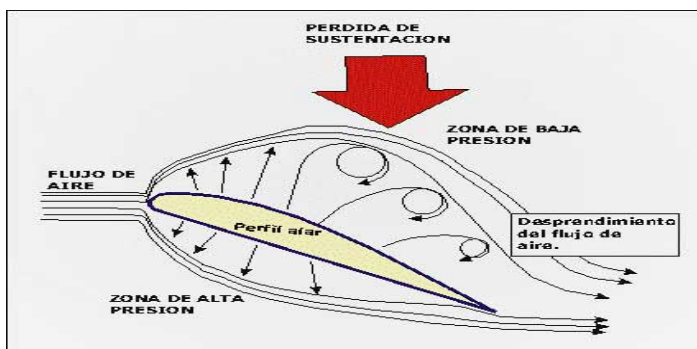
Por lo contrario, el aire que circula por el intrados (la parte inferior) lo hace a menor velocidad provocando una zona de alta presión.



*La sustentación es la que eleva el ala y por lo tanto al avión. Para que haya sustentación debe circular el aire con la suficiente velocidad para generar las zonas de presión. Por dicha razón, los aviones solo pueden empezar a volar cuando alcanzan una velocidad en el aire tal, que el mismo, al circular en la superficie del ala produce el mencionado efecto de succión.*

Pero si se amplía el ángulo de ataque del ala respecto al aire (o sea, si se levanta el borde de ataque, por ejemplo cuando un avión comienza a circular en ángulo ascendente). la sustentación continua hasta un cierto límite, superado el cual, las moléculas de aire que circulan por la parte superior se separan de la superficie del ala, volviéndose turbulentas y generando que la zona de baja presión desaparezca.

Cuando esto ocurre, desaparece de a poco la sustentación hasta el punto en que ya no alcanza para mantener el avión en el aire, fenómeno denominado "entrada en pérdida".



La entrada en pérdida, también puede ocurrir si la velocidad que tiene el avión en su movimiento en el aire, no es la suficiente para poder generar que se produzca la zona de baja presión en la parte superior del ala. Por eso, enviar el avión en picada es una solución en caso de no tener una fuente alternativa para generar velocidad.

Para concluir se comprendió que la sustentación es la fuerza que hace volar a un aeroplano. La mayor parte de la sustentación de un aeroplano procede de sus alas. La sustentación que crea un ala se controla mediante el ajuste de la velocidad aerodinámica y el ángulo de ataque, es decir, el ángulo en que el ala se encuentra con el viento de frente.

A medida que aumenta la velocidad aerodinámica o el ángulo de ataque de un avión, se incrementa la sustentación generada por las alas. A medida que aumenta la velocidad del avión, debe reducir el ángulo de ataque (bajar el morro ligeramente) para mantener una altitud constante. A medida que disminuye la velocidad, debe aumentar el ángulo de ataque (subir el morro ligeramente) para generar mayor sustentación y mantener la altitud.

En un ascenso o descenso, la sustentación se iguala al peso. El índice de ascenso o descenso de un avión está relacionado principalmente con el empuje generado por sus motores, no por la sustentación generada por las alas

#### **BIBLIOGRAFIA**

Física ( segunda edición) J.W. Kane- M.M. Sternheim  
Física – Maiztegui & Sabato – Edición 1  
Física, Curso Elemental: Mecánica – Alonso Marcelo

7

# Estructura de las células nerviosas Resistencia y capacidad eléctrica de un axón Circuitos de Interés en Biología

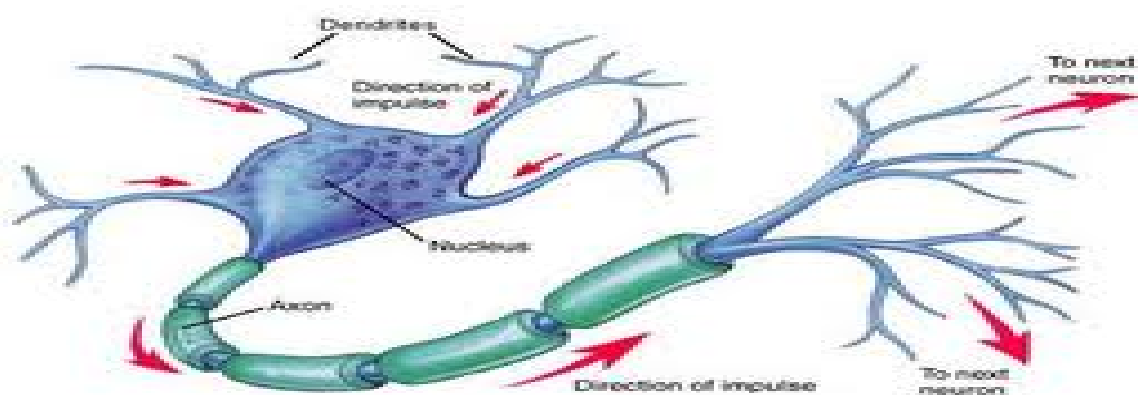
Alumna: Medina Agustina

Carrera: Licenciatura en Biología Molecular

Materia: Física

Profesor: Hugo Velasco

Año: 2013



## 1. INTRODUCCION:

El tema elegido por mi es la explicación de la conducción nerviosa, resistencia y capacidad eléctrica de un axón, es un tema interesante para interiorizarse ya que su estudio permite la comprensión de los impulsos nerviosos y su trasmisión en el cuerpo, y de esta forma entender mejor nuestro propio funcionamiento.

Encuentra su relación con lo aprendido y desarrollado en la materia tanto en la parte teórica como práctica, ya que conceptos propios de la física como potencial eléctrico, resistencia, corriente, capacidad, etc., pueden ser aplicados en un estudio con un punto de vista biológico. Esto es posible ya que desde la biología se pueden necesitar conceptos físicos como éstos para explicar distintos fenómenos biológicos, entre ellos, la conducción nerviosa, que es la manera en que la información se transmite en el cuerpo mediante impulsos eléctricos en fibras nerviosas también llamadas axones.

## 2. CONCEPTOS FÍSICOS:

- **ELECTROSTÁTICA:** parte de la física que estudia las cargas eléctricas en reposo.
- La carga eléctrica esta cuantizada (cualquier valor de carga es un múltiplo de la carga fundamental, la del electrón)
- La carga eléctrica se conserva, en cualquier proceso físico permanece constante
- Ley de Coulomb: la fuerza eléctrica entre dos cargas es proporcional al producto de las cargas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que las separa.

$$F_{21} = Kq_1q_2/r^2 \quad (K = 9 \cdot 10^9 \text{ Nm}^2\text{C}^{-2})$$

- El campo eléctrico es la fuerza por unidad de carga que se ejerce sobre una carga  $q$  colocada en una región de espacio donde experimenta una fuerza eléctrica  $F$ :

$$E = F/q$$

Si es generado por una carga  $Q$ :

$$E = K Q/r^2$$

- Potencial eléctrico: la fuerza eléctrica es una fuerza conservativa.
- La energía potencial eléctrica de una configuración de cargas es el trabajo que debe realizarse para traer las cargas, a velocidad constante, desde el infinito hasta la posición que ocupan.

$$U_E = K Qq/r$$

Potencial eléctrico:  $V = U_E/q$     Ó     $V = K Q/r$     Unidades: Volt = Joule/Coulomb

- **CORRIENTE ELECTRICA:** es el flujo de cargas a través de un conductor. Las cargas se mueven debido a una diferencia de potencial aplicada a los extremos del conductor. Es una corriente la responsable de la transmisión de los impulsos nerviosos.  
Se necesita una fuente de energía para mantener en el tiempo esta diferencia de potencial. La intensidad de la corriente depende de la diferencia de potencial aplicada y de las características del conductor, que determinan el valor de la resistencia del mismo.

Hay materiales que son:



- Conductores: poseen cargas libres al movimiento como una solución iónica.
- Aislantes: materiales donde las cargas en su interior están inmóviles.

Un axón de una neurona es comparable a un circuito eléctrico, a lo largo del cual hay una fuente de energía que queda caracterizada por el valor de su fuerza electromotriz (fem).

Hay circuitos que poseen:

- Resistencias en serie: la corriente a través de cada una de ellas es la misma y el voltaje total es la suma de los voltajes individuales.  
La resistencia equivalente es la suma de resistencias individuales.
- Resistencias en paralelo: la diferencia de potencial en los extremos de cada resistencia es la misma.  
La inversa de la resistencia equivalente es igual a la suma de las inversas de las resistencias individuales.
- Potencia en un circuito: el generador es responsable de convertir algún otro tipo de energía en energía potencial eléctrica. Ésta se transforma en el circuito en alguna clase de energía, por ejemplo calor.

La diferencia de potencial entre sus extremos es:

V: si es una batería

i R: si es una resistencia

El cambio de la energía potencial que ha sufrido esta carga es:

$$\Delta U_E = V \Delta Q$$

Este cambio de energía es el trabajo realizado por el elemento sobre la carga dividiéndolo por el tiempo resulta la potencia suministrada o disipada en el circuito:

$$P = i V = \Delta W / \Delta t$$

En un generador la potencia suministrada es:  $P = \mathcal{E} i$

En el caso de una resistencia la potencia disipada es:  $P = i^2 R$

### 3. DESARROLLO:

La neurona es la unidad fundamental del sistema nervioso, su función principal es la excitabilidad eléctrica de la membrana plasmática. Están especializadas en la recepción de estímulos y conducción del impulso nervioso en forma de potencial de acción (una [onda de descarga eléctrica](#) que viaja a lo largo de la [membrana celular](#) modificando su [distribución de carga eléctrica](#)) entre neuronas o con otros tipos celulares como a tejidos.

Estructura: posee una membrana cuya función principal es separar a la neurona de sus alrededores y restringir el flujo de materiales. De su cuerpo o soma surgen varias prolongaciones cortas que se denominan dendritas que transmiten impulsos hacia el soma celular y pueden tener varias ramificaciones; también de su soma surge una prolongación que se denomina axón que es mas larga, por ejemplo, los nervios que controlan los músculos tienen sus cuerpos celulares en la columna vertebral, que conducen los impulsos eléctricos hacia otra neurona o hacia otro tipo de célula.

Las neuronas tienen esta capacidad de comunicarse con precisión, rapidez y a larga distancia con otras células que se denomina sinapsis. Ocurre mediante impulsos eléctricos que viajan por las dendritas, y luego por el axón que la conectan con la célula siguiente.

La **sinapsis** es una unión intercelular especializada entre [neuronas](#) o entre una neurona y una célula casi siempre [glandular](#) o [muscular](#). En estos contactos se produce la transmisión del impulso nervioso. Éste se inicia con una descarga química que origina una corriente eléctrica en la membrana de la célula presináptica (célula emisora); una vez que este impulso nervioso alcanza el extremo del axón (la conexión con la otra célula), la propia neurona segrega un tipo de compuestos químicos ([neurotransmisores](#)) que se depositan en el espacio sináptico (espacio intermedio entre esta neurona transmisora y la neurona postsináptica o receptora). Estas sustancias segregadas o neurotransmisores ([noradrenalina](#) y [acetilcolina](#) entre otros) son los encargados de excitar o inhibir la acción de la otra célula llamada célula post sináptica.

#### **Resistencia y capacidad eléctrica de un axón:**

En el axón, que consta de una membrana cilíndrica que contiene un líquido conductor, (el axoplasma), la corriente puede viajar en el fluido y puede salir a través de la membrana al fluido intersticial.

La resistencia de un axón de determinado largo al paso de la corriente es proporcional a la resistividad del axoplasma  $\rho_a$ . La resistencia de la unidad de la unidad de área de membrana a la corriente de pérdida se denomina  $R_m$ .

La resistencia de un axón es realmente grande:

$$R = \rho_a l / A \Rightarrow R = 2 \Omega m * 0.01 m / \pi * (5 \cdot 10^{-6} m)^2 = 2.5 \cdot 10^8 \Omega$$

Como la membrana no es un aislador perfecto, la carga se escapa. Si la resistencia a las corrientes de pérdida a través de la unidad de área de la membrana es  $R_m$ , entonces una porción de la membrana de área  $A$  tiene una resistencia  $R' = R_m / A$ .

Para un axón de longitud  $l$  y de área superficial de membrana  $2\pi r l$ , la resistencia de pérdida de la membrana es:  $R' = R_m / 2\pi r l$

También la membrana posee capacidad eléctrica, a ambos lados de ésta, se acumulan cargas de eléctricas de signo opuesto.

La carga por unidad de superficie dividida por la diferencia de potencial resultante es la capacidad eléctrica por unidad de área:  $c = q/v$  (en faradios).

La membrana es muy fina, entonces una pequeña porción de ella parece plana, por lo que se puede utilizar la formula de la capacidad eléctrica de un condensador plano.

En un condensador de dos capas:  $C = K \epsilon_0 A / l$  (capacidad proporcional al área de las placas)

Una membrana de longitud  $l$  tiene un área  $2\pi r l$ , y con una capacidad por unidad de área  $C_m$ , la capacidad de un axón de longitud  $l$  es:

$$C = C_m (2\pi r l)$$

#### PARAMETROS DEL AXON:

MAGNITUD	AXON CON MIELINA	AXON SIN MIELINA
Resistividad del axoplasma, $\rho_a$	$2 \Omega m$	$2 \Omega m$
Capacidad por unidad de área de una membrana, $C_m$	$5 \cdot 10^{-5} F m^{-2}$	$10^{-2} F m^{-2}$
Resistencia por unidad de área de membrana, $R_m$	$40 \Omega m^{-2}$	$0.2 \Omega m^{-2}$
Radio, $r$	$5 \mu m$	$5 \mu m$

#### **Comportamiento de un axón en reposo:**

Por la membrana del axón pueden pasar varios iones. En un axón en reposo la mayoría de estos iones en el exterior son  $Na^+$  y  $Cl^-$ , mientras que en el interior la mayoría son iones  $K^+$ .

Se conviene que el potencial eléctrico del exterior del fluido del axón es cero. En el interior es 90 m V menor ( $V_i = -90 m V$ ).

En el interior y el exterior de la célula se encuentra el mismo número de iones positivos y negativos. A pesar de esto hay una diferencia de potencial a través de la membrana, por lo que hay cargas netas  $^{\pm}Q$  a cada lado de ella,

las que se calculan como  $Q = CV$  (capacidad del axón por el potencial del axón en reposo).

El exceso de iones positivos sobre los negativos en el exterior de la célula es igual al exceso de iones negativos sobre los positivos en el interior. Estos iones en exceso forman capas finas de carga a los lados de la membrana. Los iones suelen difundirse desde el lugar en donde se encuentran en mayor cantidad hasta el lugar en el que se encuentren en menor proporción. Por lo que en axón los iones de  $\text{Na}^+$  se difundirán al interior celular. El interior celular es negativo por lo que el campo eléctrico se dirige hacia el interior celular y ayuda al transporte de más iones sodio en ese sentido. Como la concentración de  $\text{Na}^+$  sigue siendo mayor en el exterior el sodio es bombeado hacia afuera contra de las fuerzas eléctricas y los efectos de las diferencias de concentración (este proceso requiere de energía metabólica). Con los iones  $\text{Cl}^-$  sucede que se encuentran en mayor cantidad en el exterior de la célula por lo que la difusión de este ion produce un flujo en un sentido hacia el interior celular. Por otro lado, la fuerza eléctrica sobre los iones negativos tiene un sentido contrario al del campo, lo que hace que algunos iones  $\text{Cl}^-$  vayan al exterior. Aquí no hay movimiento neto de estos iones ya que en este caso el efecto de la diferencia de concentraciones se ve contrarrestado por la diferencia de potencial en reposo.

Los iones  $\text{K}^+$  se difunden hacia afuera (porque se encuentran en mayor concentración adentro de la célula) pero las fuerzas eléctricas envían iones hacia el interior. En este caso hay un mecanismo que devuelve potasio hacia el interior de la célula y mantiene desequilibradas las concentraciones a ambos lados de la membrana.

Para determinar si un ion se encuentra en equilibrio se calcula el potencial teórico de reposo para el cual no habría flujo neto del ion a través de la membrana celular. A esta diferencia de potencial de equilibrio a través de la membrana celular, los flujos que resultan de las diferencias de concentración de los iones y de potencial se contrarrestan.

La diferencia de potencial de equilibrio para un ion puede obtenerse de una ecuación llamada Ecuación de Nernst. Trata a los iones de una solución diluida como un gas ideal. Una diferencia de potencial a través de una membrana producirá una diferencia de concentraciones a ambos lados de la membrana. Habrá equilibrio cuando la energía potencial de un ion de carga  $q$ ,  $q(V_i - V_o)$ , sea igual al trabajo necesario para transportarlo a la zona de mayor concentración. Este trabajo es  $k_B T \ln(c_o/c_i)$ ,  $k_B$  es la constante de Boltzmann,  $T$  es la temperatura,  $c_o$  es la concentración exterior,  $c_i$  es la concentración interior.

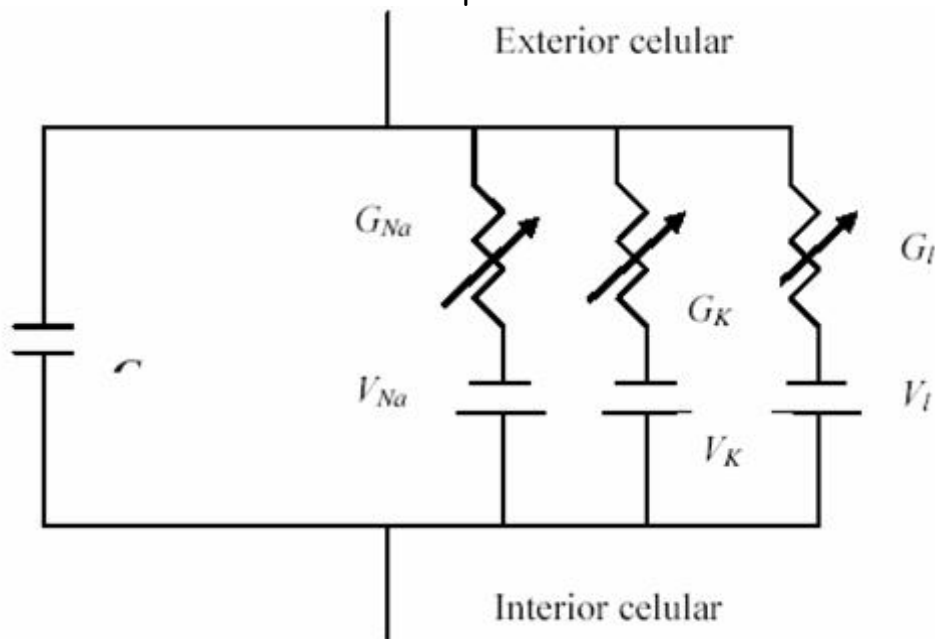
Ecuación de Nernst:  $q(V_i - V_o) = k_B T \ln(c_o/c_i)$

**Bomba de sodio y potasio:**

Los flujos netos de  $\text{Na}^+$  hacia el interior de la célula y de  $\text{K}^+$  hacia el exterior de la célula debidos a la difusión por el gradiente de concentración y a la fuerza eléctrica, se denominan flujos pasivos, porque no es necesaria energía para que se produzcan. Algunos procesos como la bomba Na-K devuelven el  $\text{Na}^+$  y el  $\text{K}^+$  a través de la membrana y mantienen sus concentraciones iónicas en desequilibrio, este proceso requiere energía metabólica.

#### Respuesta a estímulos débiles:

Para un estímulo eléctrico que es menor que un cierto umbral crítico, la respuesta del axón es parecida a la de una red análoga de resistencias y condensadores. Donde la fem representa el estímulo.



Si se aplica un estímulo débil en algún punto del axón, no hay cambios significativos en su potencial. Un estímulo superior al umbral produce un pulso de corriente que recorre el largo del axón sin atenuación. El fluido intersticial que rodea al axón tiene muy poca resistencia y puede representarse como un conductor. Cada segmento del axón tiene una resistencia al paso de la corriente a través de su longitud. La membrana tiene una resistencia  $R'$  a una corriente de pérdida mas una capacidad. Cuando se aplica un estímulo en el circuito análogo al axón las diferencias de potencial a través de los condensadores cambien gradualmente. Cuando uno se aleja del estímulo los cambios se producen mas lentamente.

#### Potencial de acción

Es una onda de descarga eléctrica que viaja a lo largo de una membrana celular modificando su distribución de carga eléctrica. Son utilizados en el cuerpo para llevar información o impulsos de una célula a otra. Son la vía funcional de transmisión de códigos neuronales.

Si se aumenta el potencial hasta un valor por encima del umbral del potencial de acción (valor típico:  $-50\text{ mV}$ ), el potencial aumenta y se vuelve positivo llegando a valores altos. Luego vuelve a su valor de reposo. Si el estímulo sobrepasa el valor del umbral la forma y tamaño del pico de la curva del potencial de acción son independientes del valor del estímulo inicial.

El potencial de acción no es proporcional al estímulo, sino que es una respuesta del tipo todo o nada.

En un axón sin mielina el potencial de acción va acompañado de cambios en la permeabilidad de la membrana al  $\text{K}^+$  y  $\text{Na}^+$ . Cuando el potencial  $V_i$  en este tipo de axón aumenta por encima del potencial de acción en algún punto la permeabilidad del  $\text{Na}^+$  aumenta en un factor mayor a 1000. Esto provoca un flujo rápido hacia adentro de iones  $\text{Na}^+$  que cambian el signo de  $V_i$  de negativo a positivo. Tras  $0.3\text{ ms}$  el potencial se aproxima al potencial de equilibrio del sodio que se determina con la ecuación de Nernst, por lo que el flujo de estos iones hacia el interior disminuye. La permeabilidad del sodio empieza a disminuir hasta su nivel normal que es bajo.

Por otro lado la permeabilidad del potasio aumenta en un factor de 30, esto hace que estos iones empiecen a fluir hacia afuera de la célula y  $V_i$  se hace negativo nuevamente.  $V_i$  llega a alcanzar un valor por debajo del potencial de reposo próximo al potencial de equilibrio del potasio (poco más negativo que el potencial de reposo)

En un periodo de un milisegundo aproximadamente el potencial vuelve a un valor próximo al valor del potencial de reposo, debido a cambios en la permeabilidad del potasio y no a efectos de la bomba de sodio y potasio que actúa más lento.

La bomba reestablece gradualmente las concentraciones de  $\text{Na}^+$  y  $\text{K}^+$  que se alteraron ligeramente durante el pulso del potencial de acción (este proceso dura aprox  $50\text{ ms}$ )

Este mecanismo amplifica un pulso y permite que un potencial de acción recorra la longitud de un axón sin atenuación. En un axón sin mielina excitado en un extremo ( $V_i$  positivo en este punto) los iones positivos se mueven hacia este extremo en el exterior de la membrana y se apartan del mismo en su interior. Esto hace disminuir la carga en las caras adyacentes de la membrana, de forma que el potencial del axoplasma se hace menos negativo y crece hasta el umbral del potencial de acción. Esto hace que aumente la permeabilidad del sodio que conduce un flujo entrante de sodio y un potencial de acción en la porción adyacente de la membrana. Así el potencial de acción se propaga de punto a punto a lo largo de la longitud del axón.

En axones con mielina, pocos iones pasan a través de la vaina de mielina excepto en los nodos de Ranvier, los cuales se hallan separados por 1mm. En los nodos la membrana responde a un estímulo por encima del umbral como en un axón sin mielina:

La permeabilidad al  $\text{Na}^+$  aumenta rápidamente, produciendo un flujo entrante de  $\text{Na}^+$  y el pulso de potencial de acción característico. Esto también produce flujos de iones positivos que se alejan del nodo en el interior y se acercan a él por el exterior. En un axón con mielina parte de la corriente se pierde a través de la membrana, igualmente en su mayoría llega al siguiente nodo. La corriente del axón reduce el número de cargas en la membrana y aumenta el potencial en el nodo siguiente, hasta llegar al umbral del potencial de acción, este nodo se dispara y el potencial de acción viaja a lo largo del axón.

Como la amplificación (proceso que ocurre cada vez que se genera un potencial de acción en algún punto del axón, porque allí es donde se consume energía) y los transportes iónicos ocurren solo en los nodos, se necesita menos energía metabólica para restablecer un axón con mielina en su estado de reposo después de un pulso de potencial que para un axón sin mielina. La propagación del potencial de acción es más rápida en un axón con mielina. La velocidad del potencial de acción es la distancia  $X$  entre dos nodos de Ranvier dividida por el tiempo  $T$  necesario para reducir la carga de la membrana y aumentar por encima del umbral el potencial en el segundo nodo.

#### **Circuito del Potencial a través de la neurona:**

Cuando una célula nerviosa es excitada (estimulada) por un medio eléctrico, mecánico o químico, ocurre un rápido cambio de permeabilidad de la membrana a los iones de  $\text{Na}^+$ , estos iones difunden desde el líquido tisular a través de la membrana plasmática hacia el citoplasma celular. Esto induce a que la membrana se despolarice progresivamente. La súbita entrada de iones  $\text{Na}^+$  seguida por la polaridad alterada produce determinado potencial de acción que es de aproximadamente +50 mv. Este potencial es muy breve (5 nseg) ya que muy pronto la mayor permeabilidad de la membrana a los iones de  $\text{Na}^+$  cesa y aumenta la permeabilidad de los iones  $\text{K}^+$ , de modo que estos comienzan a fluir desde el citoplasma celular y así el área localizada de la célula retorna al estado de reposo.

Una vez generado el potencial de acción se propaga por la membrana plasmática, alejándose del sitio de iniciación y es conducido a lo largo de las neuritas como el impulso nervioso. Una vez que el impulso nervioso se ha difundido por una región de la membrana plasmática, no puede provocarse otro potencial en forma inmediata. La duración de este estado no excitable se denomina período refractario.

La transmisión, que no es más que un desplazamiento de cargas eléctricas por la membrana neuronal, constituye el impulso nervioso.



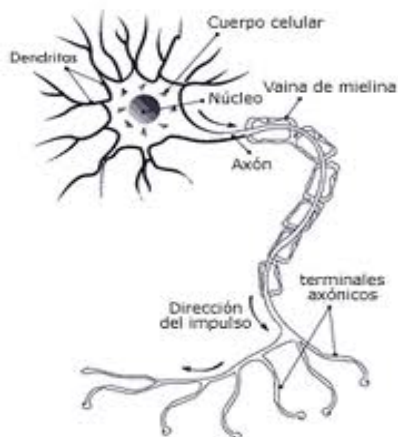
#### 4. CONCLUSION:

En este trabajo se han desarrollado conceptos propios de la física que fueron estudiados en la teoría del curso, con el fin de aplicarlo en el campo de la biología que es de interés para los biólogos. Particularmente en el seminario se trató el fenómeno de la conducción nerviosa, usando conceptos como los de electricidad y circuitos eléctricos para comprender la transmisión de los impulsos eléctricos entre neuronas, y de neuronas a otras células.

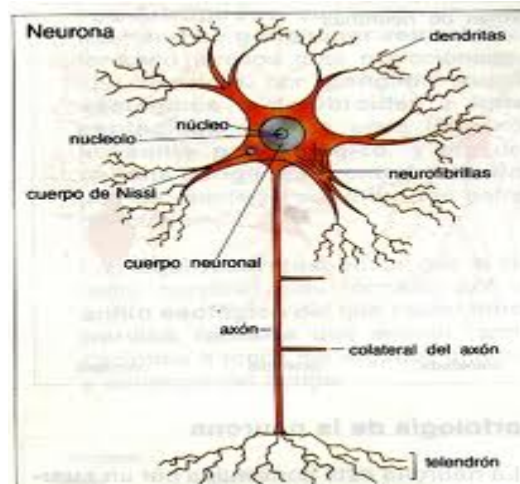
Integrar los puntos de vista físico y biológico ayuda a tener una mejor y más amplia comprensión de este fenómeno que ocurre en nuestro cuerpo.

#### 5. GLOSARIO:

##### Neurona con mielina



##### Neurona sin mielina



**CAPACITOR:** es un dispositivo pasivo utilizado en electricidad capaz de almacenar energía sustentando un campo eléctrico. Formado por un par de superficies conductoras (en forma de laminas) en situación de influencia total (todas las líneas de campo eléctrico que parten de una van a parar a la otra) separadas por un material dieléctrico o por el vacío. Las placas, sometidas a una diferencia de potencial, adquieren una determinada carga eléctrica, positiva en una de ellas y negativa en la otra, siendo nula la variación de carga total.

**CAPACITANCIA:** propiedad que tienen los cuerpos de almacenar una carga eléctrica, medida de la cantidad de energía eléctrica almacenada para una diferencia de potencial dada. El dispositivo que almacena energía de esta manera es el capacitor.

La relación entre la diferencia de potencial que existe entre las placas del capacitor y la carga eléctrica almacenada en este es:  $C = q/V$

Unidad de la capacidad: Faradios

DESPOLARIZACION: disminución del valor absoluto del potencial de membrana en una neurona.

#### **5. BIBLIOGRAFIA CONSULTADA:**

- Kane Y M. Sternheim. Física. Ed. Reverté. 2000

8

SEMINARIO DE FÍSICA

# LA FÍSICA DE LOS GIGANTES

---

EL ASCENSO DE SAVIA EN LOS ÁRBOLES

INTEGRANTES: Dussel María Emilia, Eggel María Luz

CARRERA: Licenciatura en Biología Molecular

PROFESOR: Velasco Hugo

AÑO: 2013

## Introducción

Diariamente estamos en contacto con diversos fenómenos naturales, los cuales no somos capaces de percibir ni de apreciar la gran complejidad que poseen.

Nuestra existencia está fuertemente ligada a las plantas, seres fotosintéticos que usualmente no se los respeta ni se les da el debido cuidado e importancia que merecen. Su existencia está muy relacionada a leyes y fenómenos físicos que rigen sus múltiples comportamientos.

Todos relacionamos la circulación de la savia en la plantas con el sistema circulatorio de animales. En este último caso, la sangre es impulsada a todas las partes del cuerpo por una “bomba” que es el corazón. Pero si los vegetales no poseen una “bomba impulsora” ¿Cuál es el fenómeno que permite tan espectacular suceso?

En este informe, vamos a estudiarlo y comprenderlo, desde una mirada netamente Física sin descuidar su relación con la Biología.

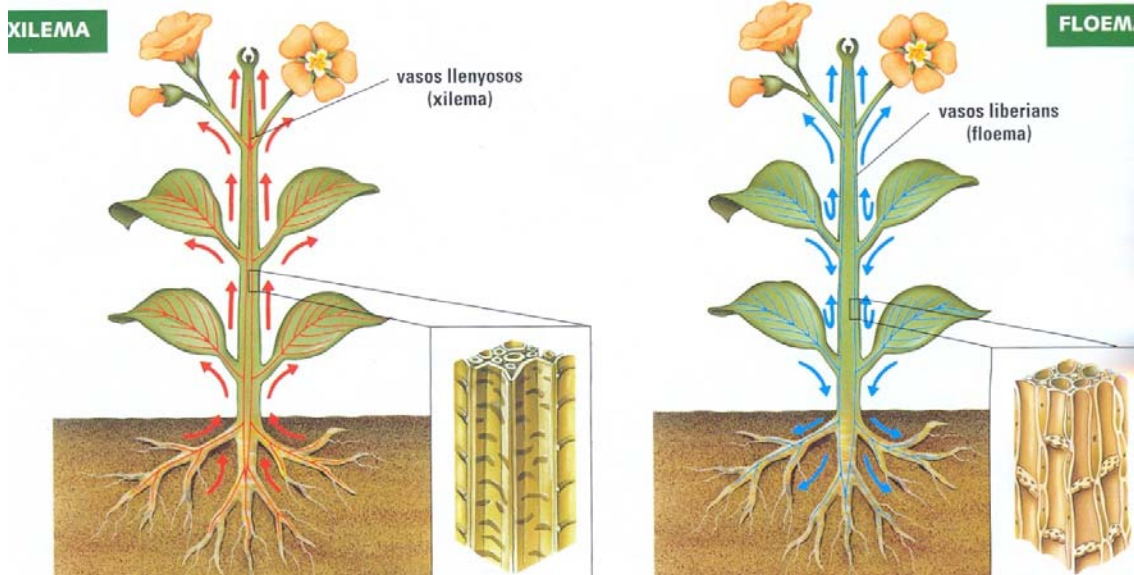
## DESARROLLO

Primero y principal, es importante definir ciertas partes y componentes de las plantas que cobrarán fuerte importancia a lo largo de este trabajo.

La savia es un fluido transportado a lo largo de tejidos vasculares de plantas traqueófitas, es decir, plantas portadoras de vasos que realizan el transporte de la misma en los organismos vegetales.

Los Tejidos a través de los cuales se conduce la savia, se denominan tejidos de conducción, y son:

- **Xilema**
- **Floema**



El **xilema** transporta la **savia bruta** (o savia inorgánica, por ser compuesta de nutrientes retirados del suelo por la planta, agua y sales minerales) y está localizado en la capa más interna del tallo. Transporta la savia de las raíces hasta las hojas, donde realizará la fotosíntesis. Está formado por células muertas que tienen la función de evitar la deformación causada por la presión de la savia.

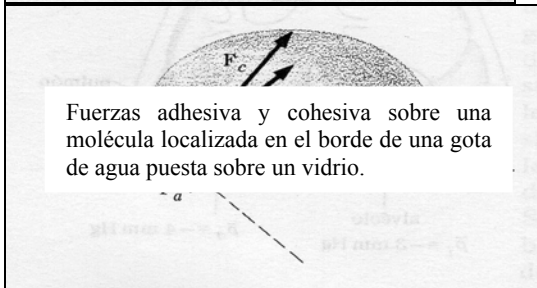
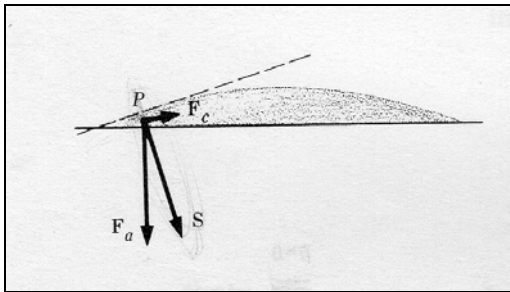
El **floema** transporta **savia elaborada** (o savia orgánica, producto de la fotosíntesis, donde los nutrientes son convertidos en glucosa) y está localizada en la capa más externa del tallo. Transporta savia elaborada de las partes clorofílicas, donde sucede la fotosíntesis, hasta las partes vivas de la planta, donde la glucosa será convertida en energía. Es formada por células vivas, alargadas y sin núcleo.

Generalmente, se cree que el ascenso de savia bruta a través del xilema se debe netamente a fenómenos de capilaridad. Pero... **¿Qué es la capilaridad? ¿Qué fuerzas la determinan?**

En un líquido existen dos tipos de fuerzas que le permiten quedarse concentrado o expandirse cuando está en contacto con una superficie sólida. Estas son:

- **Fuerza Adhesiva:** es la fuerza neta ejercida por la superficie sólida sobre las moléculas de un líquido.
- **Fuerza Cohesiva:** es la atracción entre moléculas del líquido, lo que le permite mantenerse unido.

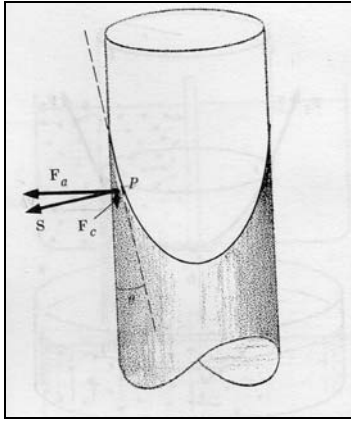
Dependiendo de la magnitud de cada fuerza, el líquido se adherirá más a la superficie (Fuerza adhesiva mayor que la Fuerza cohesiva) o disminuirá la superficie de contacto con el sólido adquiriendo así una forma más “redondeada” (Fuerza cohesiva mayor que la Fuerza adhesiva).



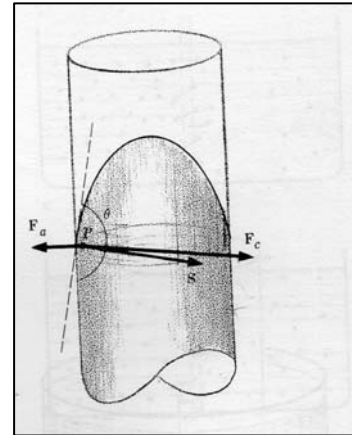
Fuerzas adhesiva y cohesiva sobre una molécula localizada en el borde de una gota de agua puesta sobre un vidrio.

Fuerzas adhesivas y cohesivas sobre una molécula localizada en el borde de una gota de mercurio colocada en un vidrio.

Observando las imágenes inferiores, se puede ver que la superficie del líquido en contacto con la superficie del sólido forma un ángulo con respecto a la superficie de este. Este ángulo está determinado por la competición de las fuerzas adhesivas y cohesivas. Podemos definir así ángulo de contacto  $\theta$  al ángulo que forma la tangente a la superficie de un líquido en el punto de contacto con el sólido que lo contiene, con la superficie de este.



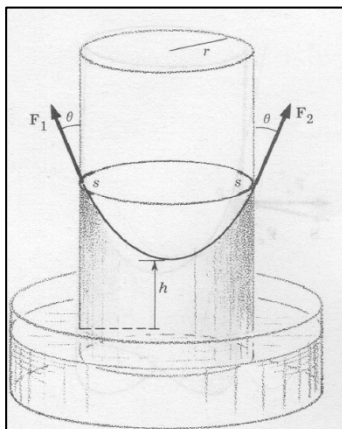
El menisco de un líquido en un capilar es cóncavo cuando la fuerza adhesiva es mayor que la fuerza cohesiva.



El menisco de un líquido en un capilar es convexo cuando la fuerza adhesiva es menor que la fuerza cohesiva.

- **Si  $\theta$  es menor que  $90^\circ$**  el líquido tenderá a ascender por el capilar, formando un menisco cóncavo. En este caso, la fuerza de adhesión es mayor que la de cohesión.
- **Si  $\theta$  es mayor que  $90^\circ$**  el líquido tenderá a descender por el tubo capilar, formando un menisco convexo, por lo que las fuerzas de cohesión son mayores que las de adhesión.
- **Si  $\theta$  es igual que  $90^\circ$**  el líquido no ascenderá ni bajará.

Introduciéndonos un poco más en la física, podemos ver como el ángulo de contacto  $\theta$ , influye notablemente en la altura del líquido en el capilar.



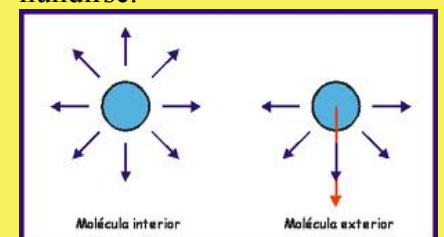
La figura de la izquierda muestra un tubo de radio  $r$  en contacto con un líquido de densidad  $\rho$ , en el cual se encuentra actuando la  $F_1$  y  $F_2$  en dos porciones de longitud  $s$  situadas en posiciones opuestas. Los módulos de ambas fuerzas son la tensión superficial  $\gamma$  por la longitud  $s$  de la superficie ( $\pi r$ ).

$$F_1 = F_2 = \gamma s = \gamma \pi r$$

### ¿Qué es la Tensión Superficial?

**Definición:** Es la fuerza por unidad de longitud que ejerce la superficie del líquido sobre una línea cualquiera situada en ella.

Toda molécula que forma parte de la superficie del líquido experimenta únicamente fuerzas de atracción solo en dirección de las demás moléculas. Como resultado, actúa sobre cada una de ellas una fuerza neta hacia "adentro" del líquido. Así, se forma una "película" a lo largo de la superficie que busca resistir cualquier intento por aumentar su área. Este fenómeno es lo que permite, por ejemplo, que pequeños insectos "caminen" sobre el agua sin hundirse.



Las componentes horizontales de dichas fuerzas, al tener igual dirección pero sentidos opuestos se anulan, quedando únicamente las componentes verticales:

$$F_1 = F_2 = \cos\theta \gamma \pi r$$

Sin embargo, las componentes verticales, al tener igual dirección y sentido se suman. Por ende la fuerza total es:

$$F_T = 2 \cos\theta \gamma \pi r$$

Si el fluido se encuentra en equilibrio, la fuerza total será igual a la fuerza ejercida por el peso del mismo:

Si,  $P = mg = \rho Vg$  donde  $V (\pi r^2 h)$  es el volumen y  $\rho$  la densidad del líquido.

Entonces,  $P = F_T$  por lo que:

$$2 \cos\theta \gamma \pi r = \rho \pi r^2 h g$$

O sea,

$$h = (2 \cos\theta \gamma) / \rho g r$$

Esta última ecuación nos da la altura  $h$  de una columna de líquido que esta sostenida por acción capilar. Podemos concluir que  $h$  es directamente proporcional a  $\gamma$  e inversamente proporcional a  $r$  y  $\rho$ .

Luego de esta breve introducción sobre capilaridad, nos preguntaremos por qué no es la causa principal del ascenso de la savia bruta. Esta incógnita, se puede esclarecer mejor con la siguiente demostración:

*Suponiendo que la fuerzas de adhesión entre el agua y el xilema sea mucho mayor que las de cohesión, se puede deducir que  $\theta$  tendrá un valor cercano a  $0$  ( $\cos 0^\circ = 1$ ).*

$$h = 2 \gamma / \rho g r.$$

Si  $r = 2 \times 10^{-5} \text{ m}$ ;  $\rho_{H_2O} = 10^3 \text{ kg/m}^3$ ;  $\gamma_{H_2O} = 0,0727 \text{ Nt/m}$ , entonces:

$$h = (2 \times 0,0727 \text{ Nt/m}) / ((10^3 \text{ kg/m}^3) (9,8 \text{ m/s}^2) (2 \times 10^{-5} \text{ m})) = 0,74 \text{ m}$$

Este resultado nos indica, que sería imposible elevar la savia solo por efectos de capilaridad, ya que la altura promedio de las plantas es muy superior a 0,74m. Además, cabe destacar que cuando el agua asciende por capilares estrechos, esta lo hace gracias al menisco abierto en la posición superior de la superficie. En cambio, en las células xilemáticas de las plantas se llenan totalmente de agua, imposibilitando la aparición de un menisco abierto.

De este modo, se puede descartar la capilaridad como el principal instrumento de ascenso de savia bruta.

En el siglo XIX, ciertos investigadores estudiaron la posibilidad que en los vegetales hubiera algún tipo de célula en el tallo que actuara como “bomba” para impulsar la savia, similar a la función del corazón en los animales. Tras numerosos experimentos e investigaciones fue imposible evidenciar algún tipo de célula de bombeo. Además, como explicamos al principio, el xilema está compuesto en su mayoría por células ya muertas, lo que contrarresta aún más a esta hipótesis.

Otro fenómeno que se encuentra muy relacionado al ascenso de savia es la **ósmosis**. La absorción de agua de las plantas a través de las raíces se debe a este proceso.

La concentración de solutos que hay en las raíces es mayor que la que se encuentra en el suelo. Por eso se observa, que el agua ingresa desde el suelo hacia el interior de la planta por medio de las raíces, tratando de equilibrar las concentraciones. A este proceso se lo denomina ósmosis. **Pero, ¿Como ocurre?**



En rasgos generales, cuando se coloca gas en un recipiente cerrado, este tiende a distribuirse equitativamente ocupando todo el espacio posible del mismo. Las moléculas de soluto en una disolución, se mueven al azar, dispersándose en todo el disolvente al igual que en el caso de los gases. Pero si en el mismo recipiente, se coloca una membrana semipermeable que lo divide en dos compartimientos, la situación cambia.

Las membranas semipermeables, son un ejemplo de las membranas que cubren a las células. Estas permiten el paso selectivo de ciertas moléculas. Las de agua fluyen a través de esta, relativamente lento. En cambio, moléculas más grandes como azúcares, no la atraviesan libremente.

Dicho todo esto, se concluye que las raíces al estar formadas por miles de células, constituyen una gran membrana semipermeable.

Volviendo al ejemplo del recipiente, si en un lado se coloca agua pura y en el otro una disolución de agua y azúcares, separados por una membrana, estos al no poder difundir libremente “quedan atrapados”. En cambio, el agua puede difundir sin inconvenientes a un lado u al otro del recipiente. Pero el número de moléculas de agua de la disolución de azúcares que chocan con la membrana es menor que el número de moléculas de agua que chocan del compartimiento de agua pura. Esto se debe a que las moléculas de azúcar al ser grandes, ocupan diversos espacios próximos a la membrana impidiendo el paso de algunas moléculas de disolvente.

Gracias a esto, se explica porque difunde un mayor número de moléculas desde el compartimiento de agua pura hasta el de la disolución, existiendo así un flujo neto de agua hacia la disolución de azúcar que da lugar a que aumente el líquido en este compartimiento y disminuya en el compartimiento de agua pura.

Podemos definir así, **concentración molar**, que es el número de moles de soluto por unidad de volumen del disolvente. Si se disuelven  $n$  moles de soluto en un volumen  $V$  de disolvente, la concentración molar queda expresada como:

$$C = n/V$$

Debido al flujo neto de agua de un compartimiento a otro, se generan diferentes presiones en cada uno, dando lugar a la presión osmótica.

Para definirla, es necesario definir primero la ley de los gases ideales, ya que, como se explicó antes, la solución tiende a comportarse como un gas ideal:

$$p = (nRT)/V$$

Donde  $p$  es la presión ejercida por el gas,  $n$  el número de moles,  $R$  es la constante de los gases (8,314J/mK),  $T$  es la temperatura y  $V$  el volumen.

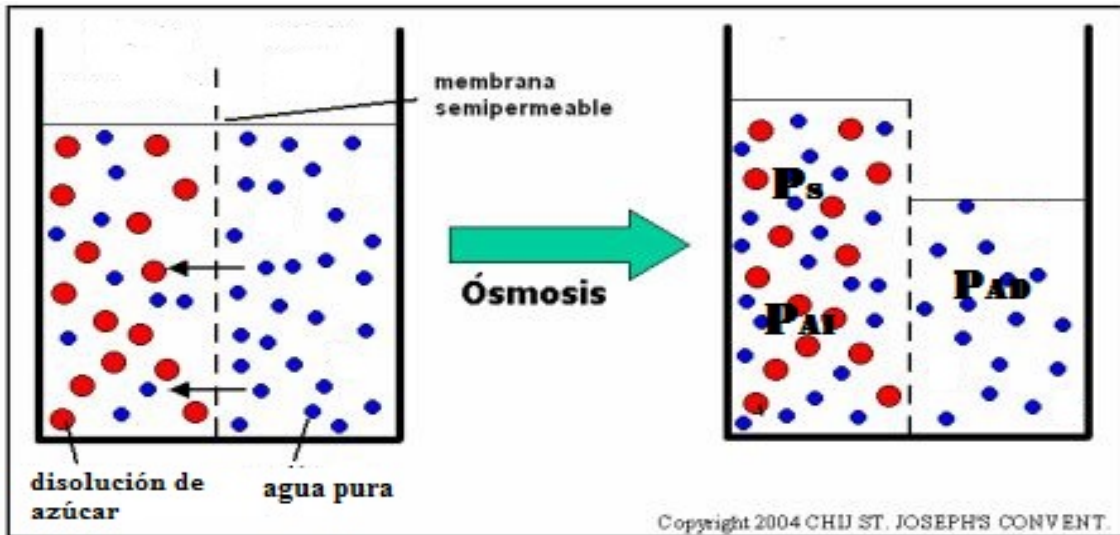
Esta fórmula aplicada a una concentración  $c$  quedaría como:

$$p = cRT$$

Si tenemos una disolución diluida, la presión ejercida por el soluto estará dada por la ecuación anterior.

Como se dijo anteriormente, se generan diferentes presiones a ambos lados de la membrana. Estas son:

- **P<sub>ad</sub>**: presión del agua pura (Compartimiento derecha)
- **P<sub>ai</sub>**: presión del agua de la disolución. (Compartimiento izquierdo)
- **P<sub>s</sub>**: presión del soluto de la disolución. (Compartimiento izquierda).



La presión total de la disolución ( $P_D$ ) es la suma de la presión del disolvente (agua) y la presión del soluto.

$$P_D = P_{ai} + P_s$$

La diferencia de presión entre los dos compartimientos da lugar a la **presión osmótica** ( $P_{os}$ ), que es la medida de la tendencia del agua a difundirse en la disolución.

$$P_D - P_{ad} = P_{os}$$

Cuando se detiene el flujo neto de agua a través de la membrana, la presión del agua va a ser la misma a ambos lados. Por lo que, la presión osmótica queda determinada por la presión del soluto ( $P_{os} = P_s$ )

Reemplazando en la ecuación de los gases ideales, nos queda que:

$$P_{os} = cRT$$

Para entender mejor el papel que juega la osmosis, veamos el siguiente ejemplo:

*En los arces, la savia sube a principios de primavera gracias a la diferencia de presión osmótica entre la savia (recordemos que es una disolución de azúcares) en el interior del árbol y el agua del suelo que se encuentra alrededor de las raíces. La savia posee aproximadamente un 1 % en peso de sacarosa ( $C_{12}H_{22}O_{11}$ ), en agua. Podemos suponer que la temperatura es de 27° C.*

*La masa molecular de la sacarosa es de 342 u.m.a, por lo que un mol tiene 342 g. de masa. Un metro cúbico de solución tiene aproximadamente la misma masa que un metro cúbico del agua, o sea,  $10^3$  kg. La sacarosa al encontrarse en un 1% en la solución, su masa es de 10 kg ( $10^4$  g).*

*Con estos datos podemos determinar que un metro cúbico de solución contiene 29,2 moles de sacarosa. Su concentración es de 29,2 moles/ $m^3$*

*Con este dato podemos calcular la presión osmótica con la fórmula  $P_{os} = cRT$ .*

$$P_{os} = (29,2 \text{ moles}/m^3) (8,314J/mK) (300K)$$

$$P_{os} = 7,28 \times 10^4 \text{ Pa}$$

*Finalmente podemos determinar la altura a la cual ascenderá la savia en los arces sabiendo que el peso de la columna de este fluido dividido por el área A de su base es igual a la presión osmótica (ya que la presión, es igual a la fuerza ejercida por unidad de área). Recordemos que el peso w puede escribirse como  $w = \rho Vg$ , donde  $\rho$  es la*

densidad de la savia (aproximada a la del agua,  $1000\text{Kg/m}^3$ ). La altura del árbol es  $h$ , por lo que  $V = Ah$ .

Con lo dicho anteriormente podemos reescribir la fórmula de  $P_{os}$  como:

$$P_{os} = w/A = \rho Ahg/A = \rho hg$$

Así,  $h = P_{os}/\rho g$ .

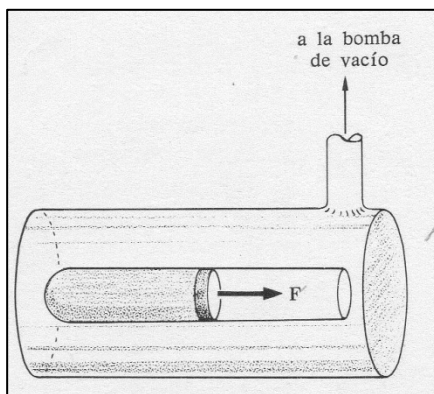
Con los datos anteriores:

$$h = 7,28 \times 10^4 \text{ Pa} / ((1000\text{kg/m}^3) (9,8\text{m/s}^2)) = 7,43\text{m}$$

En el caso de los arces en primavera, la concentración de azúcar es mucho mayor al 1%, por lo que se puede determinar que la fuerza impulsora de la savia es gracias a la ósmosis. Sin embargo, en el verano, la concentración de sacarosa disminuye notablemente como para que la presión osmótica sea la encargada de ascender la misma. También podemos añadir, que en la mayoría de los arboles la concentración de solutos en las raíces es mucho más pequeña que la de los arces. Todos estos factores indican que la presión osmótica no es suficiente para permitir el completo ascenso de la savia. Debe existir otro mecanismo, no desarrollado aun, que sea el encargado. Este se explica a continuación.

### Presión Negativa

Para poder entender lo que implica la presión negativa, utilizaremos el siguiente ejemplo:



Se posee un tubo con un fluido en su interior, y con un émbolo como se ilustra en la figura de la izquierda. Suponiendo que la presión en el exterior del tubo sea 0 (tubo en el vacío), la fuerza que ejerce el fluido por unidad de área del émbolo será igual a la presión del mismo. ( $P = F/A$ ), es decir, la fuerza que ejerce hacia afuera. Se podría pensar entonces que si la fuerza se ejerce hacia adentro, la presión es negativa.

Pero, **¿Por qué se ejercería una fuerza hacia adentro?**

Si el émbolo, ejerce una fuerza hacia afuera es lógico pensar que la fuerza ejercida por el fluido tendrá el mismo sentido, lo que hará que el mismo tienda a aumentar su volumen. Pero llegará un punto en el cual, la fuerza de cohesión obligará al líquido a ejercer una fuerza en sentido contrario impidiendo su expansión, ya que una de las propiedades de los líquidos es que mantienen su volumen más o menos constante. Esto provocará que el líquido posea tensión y una presión negativa ( $P = -F/A$ ).

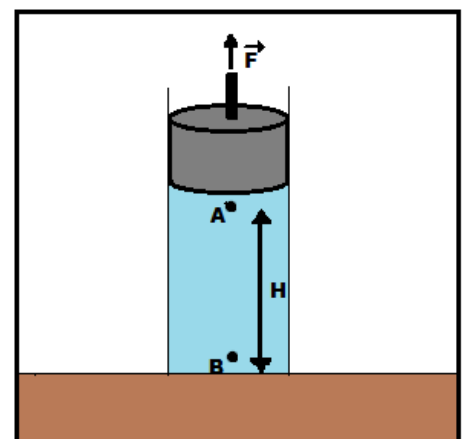
Cabe aclarar que este hecho sucede cuando se tiene un tubo y un líquido libre de impurezas y limpio.

Sabiendo que  $p = \rho gh$ , donde  $\rho$  es la densidad del fluido,  $g$  es la gravedad y  $h$  es la altura a la cual se está midiendo la presión, se puede decir que la presión negativa será igual a la diferencia de presiones entre el punto A y B, como se observa en la imagen de la derecha;

$$P_n = P_a - P_b = \rho gh_a - \rho gh_b$$

Si la altura en el punto b es cero, el último término de la ecuación anterior se simplifica, quedando así:

$$P_n = P_a - \rho gh$$



Se puede comprobar experimentalmente que la fuerza máxima por unidad de área sobre el émbolo es de -300 atm justo antes de que la columna de agua se separe del mismo.

Como se vio anteriormente, con los procesos de capilaridad y ósmosis resultaría imposible hacer ascender la savia hasta la copa de árboles muy altos.

Luego del descubrimiento de la presión negativa, la misma se instauró como el fenómeno de excelencia para el ascenso de savia a grandes alturas.

Para terminar de comprender esta idea, estudiemos lo que sucede en un árbol que tiene 60 m de altura.

*Usando la fórmula de Presión Negativa,  $P_n = P_a - \rho gh$ , podemos determinar así la presión negativa que habrá en la copa del árbol.*

*$P_a$  es la presión que hay en la base, siendo esta la misma que la del aire, 1 atm (101325 Pa) y  $\rho$  la densidad de la savia, que es aproximadamente igual que la del agua,  $10^3 \text{ kg/m}^3$ .*

*Reemplazando estos valores se obtiene que:*

$$P_n = 101325 \text{ Pa} - (10^3 \text{ kg/m}^3) (9,8 \text{ m/s}^2) (60 \text{ m})$$

$$P_n = - 486675 \text{ Pa} = - 4,8 \text{ atm}$$

El valor obtenido de presión negativa no supera el máximo calculado experimentalmente para el agua (-300 atm). En los árboles, a medida que esta se va evaporando en las hojas, la columna de agua que se encuentra en el interior del xilema se va “moviendo” hacia arriba quedando intacta. Este proceso está dado gracias al poder de cohesión que tiene, explicado anteriormente. Es por esto, que se cree que la presión negativa dada por las fuerzas de cohesión del agua es la responsable del ascenso de savia hasta la copa de los árboles extremadamente altos. Pero, **¿Existe una altura límite en la cual el agua ya no ascienda más?**

*Ya sabemos que la máxima presión negativa que soporta el agua es de -300 atm (-30498825 Pa). Con el uso de la ecuación  $P_n = P_a - \rho gh$  podemos deducir que altura alcanzará el agua antes de que la misma se fraccione en pequeñas gotas y precipite.*

$$h = (P_n - P_a) / (-\rho g)$$

$$h = (-30498825 \text{ Pa} - 101325 \text{ Pa}) / (-9.8 \text{ m/s}^2 \times 1000 \text{ Kg/m}^3)$$

$$h = 3112,12 \text{ m}$$

*Este resultado es la altura máxima que soporta el agua. Ningún árbol podrá superarla, mostrando así que sea cual sea su altura, nunca superará los -300 atm.*

Hemos concluido con el desarrollo de los principales mecanismos que intervienen en el ascenso de agua en los vegetales. Para mejor comprensión de lo que sucede en el interior de los mismos, se ilustra en la siguiente imagen una breve explicación de los procesos actuantes.



**El Mecanismo de tensión-adhesión-cohesión** es el que engloba a la ósmosis, capilaridad y presión negativa, de los cuales los últimos dos se basan en las propiedades de adhesión y cohesión del agua.

### CONCLUSIÓN

Permanentemente, las plantas utilizan todos los mecanismos desarrollados a lo largo del seminario, para su subsistencia. Ninguno de ellos obra por separado, sino que están estrechamente relacionados.

Podemos terminar este trabajo resumiendo, en pocas palabras para su total comprensión, el proceso general de ascenso de savia, desde las raíces hasta las copas de los árboles.

El agua debe ingresar a las raíces; dicho suceso se origina a través de la ósmosis, que en conjunto con la capilaridad, promueven el ascenso de la misma a través de los pelos capilares de la raíz. Pero esto sólo permite que la savia alcance una cierta altura, es aquí donde interviene la presión negativa para hacerla llegar hasta las hojas más elevadas.

Todos estos fenómenos, se dan gracias a la gran fuerza de cohesión que posee el agua (debido a las interacciones puente de hidrógeno), lo que le permite ir ascendiendo a través del xilema. Al llegar a las hojas, algunas moléculas de agua son eliminadas a través de la transpiración, las cuales son rápidamente reemplazadas por otras, generándose así un flujo ascendente permanente.

Como se puede ver, la cohesión, adhesión y ósmosis, hacen posible que este maravilloso proceso pueda llevarse a cabo día a día, de forma ininterrumpida. Sin las plantas, la vida en la tierra sería casi imposible, demostrándonos la complejidad e importancia que poseen.

*“Si supiera que el mundo se acaba mañana, yo, hoy todavía, plantaría un árbol”*  
*Martin Luther King*

### **BIBLIOGRAFÍA**

1. **Alan H. Cromer:** Física para las ciencias de la vida. Segunda Edición. Editorial Reverté, 1998.
2. **Escuela Peier, Información Didáctica.** Floema y Xilema.  
<http://www.escuelapedia.com/floema-y-xilema/>
3. **Escuela Peier, Información Didáctica.** Mecanismo Tensión-Cohesión-Adhesión. <http://www.escuelapedia.com/teoria-de-la-tension-cohesion/>
4. **J.W. Kane, M.M. Sternheim.** Segunda Edición. Editorial Reverté, 2000.
5. **Salisbury, Frank B.:** Fisiología vegetal.

9

# LA ORIENTACIÓN DE LAS ABEJAS EN LA NATURALEZA

Universidad Nacional de San Luis.

Física – 2013.



Perez, Celia Noemí.

Quiroga, Sofia.

Profesor Titular: Dr. Velasco Hugo.



# INDICE

➤	<b>Introducción.....</b>	<b>3</b>
➤	<b>Marco teórico.....</b>	<b>5</b>
	• Vectores.....	6
	• Magnetismo.....	7
	• Polarización Electromagnética.....	11
	• Flujo Óptico.....	13
➤	<b>Investigación.....</b>	<b>14</b>
	• Brújula Solar.....	17
	• Comunicación de las abejas a través de su danza.....	18
	• Brújula de Luz Polarizada.....	20
	• Flujo Óptico que usan las abejas.....	20
➤	<b>Conclusión.....</b>	<b>22</b>
➤	<b>Bibliografía.....</b>	<b>23</b>



# INTRODUCCIÓN



Todos los seres vivos son sensibles a señales del medio ambiente, lo que posibilita, por ejemplo, seguir una rutina para satisfacer sus necesidades, entre ellas alimentarse, para la cual necesitan de la navegación y de la orientación (saber qué dirección hay que seguir), responsables en parte de la supervivencia de la especie. Una de esas señales,

presente desde el surgimiento de la vida en la Tierra, es el campo geomagnético, donde la Tierra se comporta como un enorme imán (dipolo magnético). Los polos del campo geomagnético no siempre han estado en el mismo lugar. A veces se invierte su posición. Se ha descubierto que cuando esto ha sucedido, grandes grupos de seres vivos se han extinguido entre cada período de inversión.

Entre estos seres vivos se encuentran las abejas, las cuales poseen una cierta importancia ya que tienen la capacidad de encontrar su alimento, volver en línea recta al panal sin desviarse y luego (recordando el camino utilizado) indicarles a las demás abejas de la colmena como dirigirse hacia esa fuente de alimento,

Para conseguir hacer todo lo que hacen, las abejas tienen un cerebro que permite orientarse, medir distancias, tener una representación espacial de los puntos de interés, hacer cálculos vectoriales, aprender asociando estímulos, recordar y comunicar un camino, comparar imágenes con información almacenada, así como controlar de manera precisa su vuelo a través de la detección de movimiento para la navegación.

# MARCO TEÓRICO



## **1. VECTORES**

En física, un vector es una herramienta geométrica utilizada para representar una magnitud física definida por su módulo (longitud), su dirección (orientación) y su sentido (que distingue el origen del extremo). Los vectores se pueden representar geoméricamente como segmentos de recta dirigidos («flechas») en el plano o en el espacio.

Algunos ejemplos de magnitudes físicas que son magnitudes vectoriales son: la velocidad con que se desplaza un móvil, ya que no queda definida tan sólo por su módulo (lo que marca el velocímetro, en el caso de un automóvil), sino que se requiere indicar la dirección y el sentido (hacia donde se dirige); la fuerza que actúa sobre un objeto, ya que su efecto depende, además de su intensidad o módulo, de la dirección en la que actúa; también, el desplazamiento de un objeto.



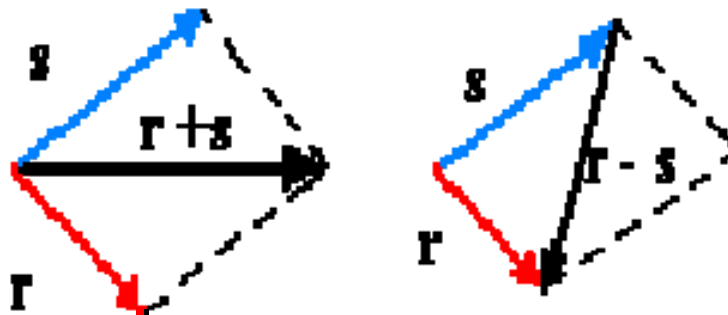
*Un vector queda definido por su módulo, dirección y sentido: desde A hasta B.*

Un vector es un segmento de recta orientado en el espacio y se caracteriza por:

- su origen o punto de aplicación, A, y su extremo b;
- su dirección, la de la recta que lo contiene;
- su sentido, el que indica la flecha;
- su módulo, la longitud del segmento AB.

La suma o resta de vectores es otro vector que tiene por coordenadas la suma de las coordenadas de los dos vectores:  $\mathbf{a} + \mathbf{b} = \text{suma} = (a_1 + b_1, a_2 + b_2)$ .

La resta  $\mathbf{a} - \mathbf{b}$  equivale a sumar dos vectores  $\mathbf{a} + \mathbf{b}_1$  donde  $\mathbf{b}_1 = -\mathbf{b}$ .



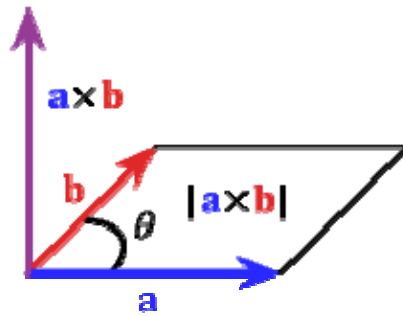
El producto de un escalar,  $\mathbf{k}$ , por un vector  $\mathbf{r}$  es otro vector,  $\mathbf{kr}$ , de la misma dirección que  $\mathbf{r}$  y cuyo sentido viene determinado por el signo de  $\mathbf{k}$ . Si  $\mathbf{k} = 0$ , el vector  $\mathbf{kr}$  es el vector nulo.

Dado dos vectores  $\mathbf{a}$  y  $\mathbf{b}$  se llama producto escalar del vector  $\mathbf{a}$  por el vector  $\mathbf{b}$  (se lee a multiplicado escalarmente por  $\mathbf{b}$ , o  $\mathbf{a}$  escalar  $\mathbf{b}$ ), al escalar fruto de la siguiente operación  $\mathbf{a} \cdot \mathbf{b} = axbx + ayby$

Puede comprobarse que la anterior operación puede también expresarse como el producto de los módulos de ambos vectores multiplicado por el coseno del ángulo  $\theta$ , que forman entre sí, es decir,  $\mathbf{a} \cdot \mathbf{b} = \mathbf{a} \mathbf{b} \cos\theta$ .

También se puede decir que el producto escalar nos proporciona el valor de la proyección de un vector sobre el otro.

Dados dos vectores **a** y **b**, se llama producto vectorial de **a** por **b** o **a x b** (se lee **a** multiplicado vectorialmente por **b**) a un vector **p** perpendicular al plano formado por los dos vectores (dirección del vector). El sentido de dicho vector es el de avance de un tornillo de rosca a derechas que girará del primer vector hacia el segundo por el camino más corto. El módulo del vector producto vectorial es igual al producto de los módulos de los dos vectores por el seno de ángulo,  $\theta$ , que forman (tomado desde **a** hasta **b**).  $|\mathbf{p}| = |\mathbf{a} \times \mathbf{b}| = a b \sin\theta$   
 $\mathbf{p} = \mathbf{a} \times \mathbf{b} = a b \sin\theta \mathbf{u}$ , donde **u** es el vector unitario en la dirección perpendicular al plano formado por **a** y **b**.



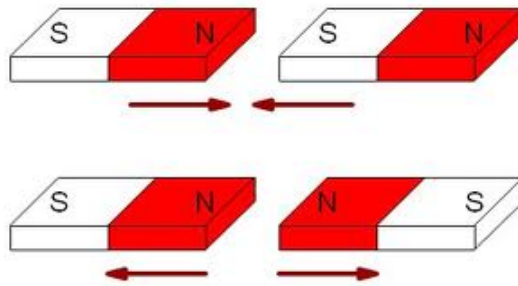
## 2. MAGNETISMO

Las fuerzas características de los imanes se denominan fuerzas magnéticas. Las corrientes eléctricas y, en general, las cargas en movimiento se comportan como imanes, es decir, producen campos magnéticos.

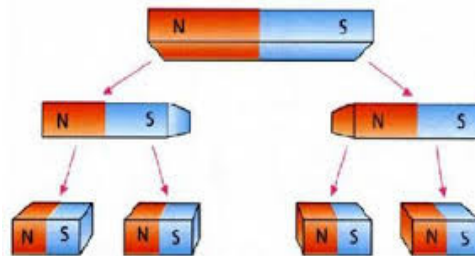
El estudio del comportamiento de los imanes pone de manifiesto la existencia en cualquier imán de dos zonas extremas o polos en donde la acción magnética es más intensa. Los polos magnéticos de un imán no son equivalentes, como lo prueba el hecho de que enfrentando dos imanes idénticos se observen atracciones o repulsiones mutuas según la manera en que se aproximen.

Para distinguir los dos polos de un imán recto se les denomina polo norte y polo sur. Esta referencia geográfica está relacionada con el hecho de que la Tierra se comporte como un gran imán. Las experiencias con brújulas indican que los polos del imán terrestre se encuentran próximos a los polos Sur y Norte geográficos respectivamente. Por tal motivo, el polo de la brújula que se orienta aproximadamente hacia el Norte terrestre se denomina polo Norte y el opuesto constituye el polo Sur. Tal distinción entre polos magnéticos se puede extender a cualquier tipo de imanes.

Las experiencias con imanes ponen de manifiesto que polos del mismo tipo (N-N y S-S) se repelen y polos de distinto tipo (N-S y S-N) se atraen.



Otra propiedad característica del comportamiento de los imanes consiste en la imposibilidad de aislar sus polos magnéticos. Así, si se corta un imán recto en dos mitades se reproducen otros dos imanes con sus respectivos polos norte y sur. Y lo mismo sucederá si se repite el procedimiento nuevamente con cada uno de ellos.



Un imán ordinario sólo ejerce fuerzas magnéticas sobre cierto tipo de materiales, en particular sobre el hierro. Las fuerzas magnéticas son fuerzas de acción a distancia, es decir, se producen sin que exista contacto físico entre los dos imanes.

## 2.1. ELECTROMAGNETISMO

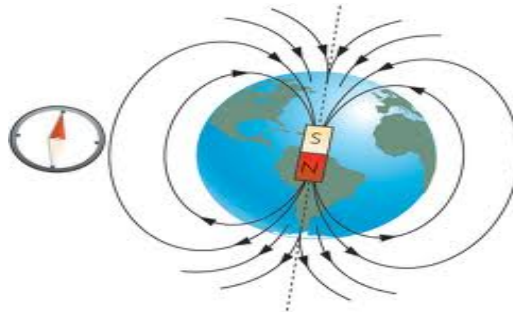
Entre partículas cargadas en reposo existen fuerzas eléctricas, cuando estas partículas están en movimiento la fuerza eléctrica continúa, pero aparece la fuerza magnética. Por ejemplo una corriente eléctrica (cargas en movimiento) genera efectos magnéticos a su alrededor, diremos que ha generado un campo magnético. Éste, a su vez, afectará el movimiento de cualquier partícula cargada que se mueva en su zona de influencia.

La unificación de estas dos interacciones, la eléctrica y la magnética, estudiadas por separado inicialmente y aparentemente diversas, fue uno de los progresos teóricos más trascendentales. Puede resumirse en el siguiente concepto: **una carga en movimiento produce un campo magnético y la variación de un campo magnético produce un campo eléctrico.**

## 2.2. EL CAMPO MAGNETICO

Un campo magnético es una región del espacio donde existe una fuerza sobre una carga en movimiento, aparte de la fuerza eléctrica.

El hecho de que las fuerzas magnéticas sean fuerzas de acción a distancia permite recurrir a la idea física de campo para describir la influencia de un imán o de un conjunto de imanes sobre el espacio que les rodea. Al igual que en el caso del campo eléctrico, se recurre a la noción de líneas de fuerza para representar la estructura del campo. En cada punto las líneas de fuerza del campo magnético indican la dirección en la que se orientará una pequeña brújula (considerada como un elemento de prueba) situada en tal punto. Por convenio se admite que las líneas de fuerza salen del polo Norte y se dirigen al polo Sur.



### 2.3. LA INTENSIDAD DEL CAMPO MAGNÉTICO

Como sucede en otros campos de fuerza, el campo magnético queda definido matemáticamente si se conoce el valor que toma en cada punto una magnitud vectorial que recibe el nombre de intensidad de campo. La intensidad del campo magnético se representa por la letra  $B$  y es un vector tal que en cada punto coincide en dirección y sentido con los de la línea de fuerza magnética correspondiente. Las brújulas, al alinearse a lo largo de las líneas de fuerza del campo magnético, indican la dirección y el sentido de la intensidad del campo  $B$ .

La obtención de una expresión para  $B$  se deriva de la observación experimental de lo que le sucede a una carga  $q$  en movimiento en presencia de un campo magnético. Si la carga estuviera en reposo no se apreciaría ninguna fuerza mutua; sin embargo, si la carga  $q$  se mueve dentro del campo creado por un imán se observa cómo su trayectoria se curva, lo cual indica que una fuerza magnética ( $F_m$ ) se está ejerciendo sobre ella.

Del estudio experimental de este fenómeno se deduce que:

- $F_m$  es tanto mayor cuanto mayor es la magnitud de la carga  $q$  y su sentido depende del signo de la carga.
- $F_m$  es tanto mayor cuanto mayor es la velocidad  $v$  de la carga  $q$ .
- $F_m$  se hace máxima cuando la carga se mueve en una dirección perpendicular a las líneas de fuerza y resulta nula cuando se mueve paralelamente a ella.
- La dirección de la fuerza magnética en un punto resulta perpendicular al plano definido por las líneas de fuerza a nivel de ese punto y por la dirección del movimiento de la carga  $q$ , o lo que es lo mismo,  $F_m$  es perpendicular al plano formado por los



vectores B y v.

Se llega entonces a la expresión del módulo de la fuerza magnética:

$$F_m = q v B \sin\theta$$

donde B representa el módulo o magnitud de la intensidad del campo y  $\theta$  el ángulo que forman los vectores v y B. Dado que  $F_m$ , v y B pueden ser considerados como vectores, es necesario además reunir en una regla lo relativo a la relación entre sus direcciones y sentidos: el vector  $F_m$  es perpendicular al plano formado por los vectores v y B y su sentido coincide con el de avance de un tornillo que se hiciera girar en el sentido que va de v a B (por el camino más corto).

Esta ecuación constituye una definición indirecta del módulo o magnitud de la intensidad del campo magnético, dado que a partir de ella se tiene:

$$B = F_m/q.v.\sin\theta$$

La dirección de B es precisamente aquella en la que debería desplazarse q para que  $F_m$  fuera nula; es decir, la de las líneas de fuerza. La unidad del campo magnético en el SI es el tesla (T) y representa la intensidad que ha de tener un campo magnético para que una carga de 1 C, moviéndose en su interior a una velocidad de 1 m/s perpendicularmente a la dirección del campo, experimentase una fuerza magnética de 1 newton.  $1 \text{ T} = 1 \text{ N}/1 \text{ C} \cdot 1 \text{ m/s}$

## 2.4. DIPOLO MAGNÉTICO

Un dipolo magnético es un elemento puntual que produce un campo magnético dipolar, la cantidad que caracteriza a un dipolo es su momento magnético dipolar,  $\vec{\mu}$ .

Se define momento dipolar magnético de una espira, que delimita un Área A y transporta una corriente i, al vector:

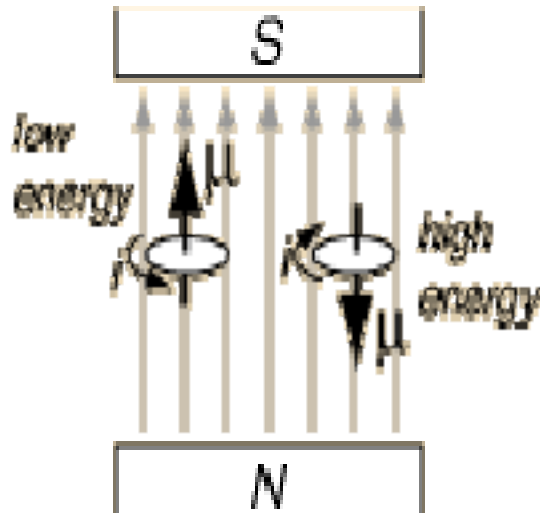
$$\vec{\mu} = Ai \hat{n}$$

Un momento dipolar magnético en un campo magnético, posee una energía potencial que depende de su orientación respecto al campo magnético. Puesto que las fuentes magnéticas son inherentemente fuentes dipolares que se pueden visualizar como un bucle con corriente I y área A, la energía se expresa normalmente en términos del momento dipolar magnético:

$$U = -\mu \cdot B$$

La energía se expresa como un producto escalar, e implica que su valor es mínimo cuando el momento magnético está alineado con el campo magnético.

El nivel  $U = 0$  corresponde a la espira orientada de tal modo que el momento dipolar es perpendicular al campo exterior.



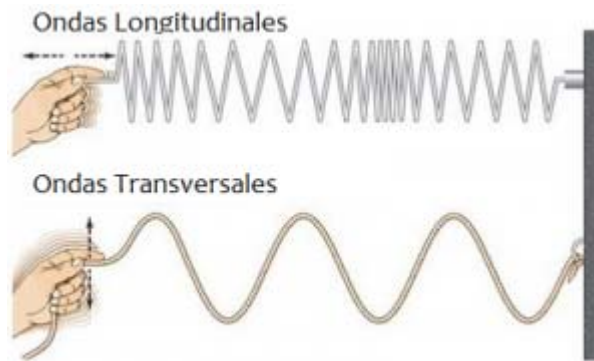
### 3. POLARIZACIÓN ELECTROMAGNÉTICA

Para describir éste efecto, es necesario primero definir qué es una onda:

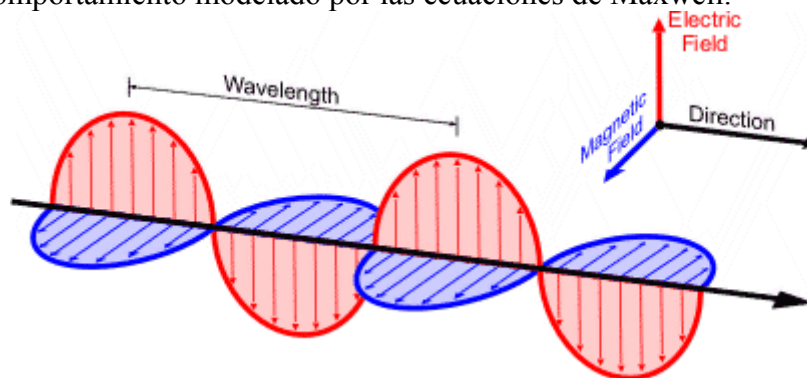
Una onda es una perturbación en un medio, que se propaga a través del mismo a velocidad constante, siendo esta velocidad característica del medio.

Si en un instante existen dos o más ondas simultáneamente en un punto, el desplazamiento del punto es la suma de los desplazamientos que hubiera tenido con cada onda por separado. Éste principio es llamado Principio de Superposición.

Existen dos tipos de ondas: las ondas transversales, donde la perturbación de un punto es perpendicular a la dirección de propagación, por ejemplo las ondas de una cuerda, ondas lumínicas. El otro tipo de ondas, son las ondas longitudinales, donde la perturbación de un punto tiene la misma dirección que la propagación de la onda, por ejemplo, las ondas de compresión de un resorte y el sonido.



Una onda electromagnética es una onda transversal compuesta por un campo eléctrico y un campo magnético simultáneamente. Ambos campos oscilan perpendicularmente entre sí; comportamiento modelado por las ecuaciones de Maxwell.

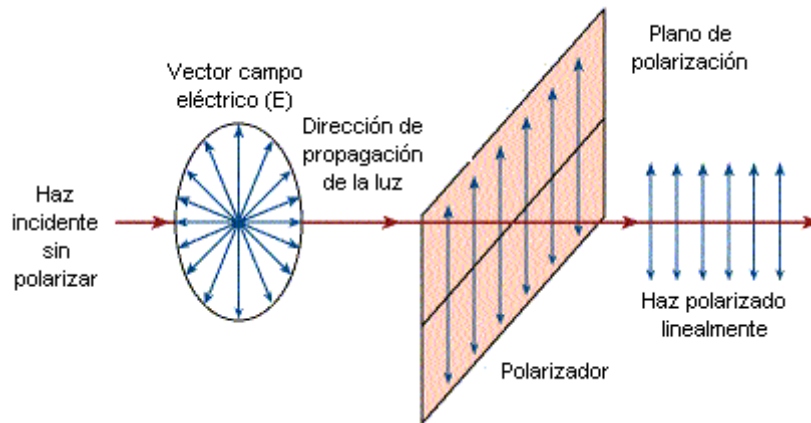


La polarización electromagnética es un fenómeno que puede producirse en las ondas electromagnéticas, como la luz, por el cual el campo eléctrico [http://es.wikipedia.org/wiki/Campo\\_el%C3%A9ctrico](http://es.wikipedia.org/wiki/Campo_el%C3%A9ctrico) oscila sólo en un plano determinado, denominado plano de polarización; cuando se trata de ondas luminosas, la luz que vibra en un sólo plano se llama luz polarizada. Este plano puede definirse por dos vectores, uno de ellos paralelo a la dirección de propagación de la onda y otro perpendicular a esa misma dirección el cual indica la dirección del campo eléctrico.

En una onda electromagnética no polarizada, al igual que en cualquier otro tipo de onda transversal sin polarizar, el campo eléctrico oscila en todas las direcciones normales a la dirección de propagación de la onda. Las ondas longitudinales, no pueden ser polarizadas porque su oscilación se produce en la misma dirección que su propagación.

Habitualmente se decide por convenio que para el estudio de la polarización electromagnética se atiende exclusivamente al campo eléctrico, ignorando el campo magnético, ya que el vector de campo magnético puede obtenerse a partir del vector de campo eléctrico, pues es perpendicular y proporcional a él.

Cuando la luz no polarizada pasa a través de una lámina de Polaroid (polarizador) solo se transmiten las componentes de la amplitudes paralelas al eje óptico de la lámina. Si en la trayectoria de un haz polarizado, cuyo campo eléctrico vibra con amplitud  $E_1$ , se coloca una lámina de polaroid de modo que su eje óptico forme un ángulo  $\theta$  con la dirección de polarización de la onda incidente, la amplitud del campo eléctrico de la onda transmitida es  $E_1 \cos\theta$ . Una lámina colocada con este fin es un analizador y permite conocer si un haz de luz está polarizado y su plano de polarización.



## 4. FLUJO ÓPTICO

El flujo óptico es el patrón del movimiento aparente de los objetos, superficies y bordes en una escena causado por el movimiento relativo entre un observador (un ojo o una cámara) y la escena. Se crea cuando las imágenes de la escena se mueven desde adelante hacia atrás durante el desplazamiento del observador.

Las técnicas de Flujo Óptico tratan de dar solución a la determinación de la velocidad de los objetos dentro de la secuencia de imágenes. Mientras más cerca se encuentre el observador de un objeto en particular de la escena, aumenta la intensidad del flujo y viceversa.

# INVESTIGACIÓN



Para el tema de esta investigación, la orientación de en la naturaleza, de las cuales una de sus herramientas para ello es el campo magnético, se hará una breve referencia sobre cómo se origina éste en la Tierra.

abordar

las abejas

hará una

Existen dos teorías que tratan de explicar el origen del campo magnético terrestre. Una de ellas es el **Efecto Dínamo** que consiste en la generación espontánea de un campo magnético en un fluido conductor eléctricamente neutro. Es decir, el magma, un fluido conductor, puede generar y mantener el campo magnético terrestre como consecuencia de los movimientos del hierro líquido en el núcleo externo. La otra teoría es **la gran cantidad de depósitos de mineral de hierro**, los cuales en tiempos remotos se magnetizaron en forma gradual y prácticamente con la misma orientación, por ello actúan como un enorme imán.

El campo magnético terrestre se extiende desde el núcleo hasta atenuarse progresivamente en el espacio exterior, la magnetosfera. Además los campos electromagnéticos naturales al interior de la Tierra pueden ser modificados o neutralizados mediante otros campos artificiales.

Todos los elementos del sistema, ya se trate de seres vivos o no, mantienen una relación entre sí y dan origen a fenómenos eléctricos y magnéticos que conforman el campo electromagnético en que todos y cada uno de los cuerpos vibran y emiten energía. Por lo tanto, la interacción de los campos magnéticos con los seres vivos es la magneto-orientación. Esto consiste en que las moléculas y átomos tanto de materiales diamagnéticos como paramagnéticos en presencia de un campo magnético experimentan una fuerza que tiende a orientarlos en una configuración que minimiza la energía libre.

La tierra actúa como un imán gigante y posee un polo norte y un polo sur interconectados por líneas magnéticas de fuerza. En principio, el campo magnético

terrestre representa una fuente fiable de información direccional, dado que los polos magnéticos están cerca de los polos geográficos y no se modifican durante la vida de un animal. Los campos magnéticos pasan virtualmente inadvertidos para los seres humanos, pero muchas especies de animales poseen la capacidad de detectarlos y utilizarlos para navegar.

Los animales pueden percibir la polaridad y la inclinación del campo magnético terrestre. Hay dos atributos del campo magnético terrestre generadores de señales de navegación que los animales utilizan como “brújula magnética”. Las líneas de fuerza magnéticas poseen un componente polar, esto es, las polaridades norte y sur, y también poseen un componente de inclinación; o sea, el ángulo que forman las líneas de fuerza magnéticas con la superficie de la tierra. Las líneas de fuerza magnéticas abandonan la tierra en dirección casi vertical en el polo sur magnético, y el ángulo de inclinación de estas líneas declina en forma constante a medida que disminuye la latitud hasta que en el ecuador magnético las líneas son paralelas a la superficie de la tierra. A partir de allí, el ángulo de inclinación de las líneas de fuerza magnéticas aumenta en forma constante hasta que en el polo norte magnético las líneas vuelven a ser casi verticales.

Al contrario que la luz, los sonidos o los olores, el campo magnético penetra los tejidos vivos con poca modificación por lo que los órganos sensoriales no necesitan estar sobre la superficie corporal sino que se pueden encontrar en cualquier estructura interior. Se han emitido las siguientes hipótesis sobre la percepción del campo magnético:

- En primer lugar, reacciones fotoquímicas, como la fotoexcitación de la rodopsina, podrían generar un estado de excitación química que decline a una velocidad que dependa de la fuerza de los campos magnéticos; lo cual explicaría la dependencia de la luz de la percepción magnética de pájaros y salamandras.
- la segunda hipótesis postula que cristales del mineral ferromagnético magnetita presentes en los animales actuarían como pequeños imanes que se orientarían como la aguja de una brújula. Estos cristales se detectaron en bacterias, abejas melíferas, salmones, palomas y otros organismos. Estos imanes internos podrían activar neuronas magnetorreceptoras mediante mecanismos aún no elucidados.

En consecuencia, las abejas perciben la polaridad magnética utilizando una brújula que capte la polaridad direccional. Detectan la dirección y sentido del campo magnético en el que se encuentran por medio de cristales de un mineral natural llamado magnetita ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), obteniendo así información sobre el sentido y latitud. En ellas, la magnetita está embutida en la parte anterior del abdomen, en la membrana celular de ciertos grupos de neuronas y se cree que cuando se reorienta siguiendo al campo magnético terrestre induce corrientes que modifican la polarización celular.

Las propiedades magnéticas de la magnetita dependen de su tamaño y forma, y pueden ser catalogadas como:

- **Multidominios magnéticos** (donde la configuración total de los momentos magnéticos de cada dominio da lugar a una baja energía magnética en toda la partícula),
- **Monodominios magnéticos** (caracterizadas por tener un momento magnético estable)
- **Superparamagnéticas** (magnéticamente inestables debido a la energía térmica del medio externo).

En general, estas partículas tienen un comportamiento magnético diferente, ya que mientras las de mayor tamaño (multidominios y monodominios) están permanentemente magnetizadas, las menores (superparamagnéticas), con tamaños por debajo de un cierto

tamaño crítico, pueden modificar su vector de magnetización y aún perder la magnetización por variaciones en la temperatura, sin que estas partículas se muevan. Así, estas últimas responden rápidamente a variaciones del campo magnético, pudiendo de esta forma, desempeñar el papel de sensor de las variaciones magnéticas del medio ambiente durante el vuelo de las abejas.

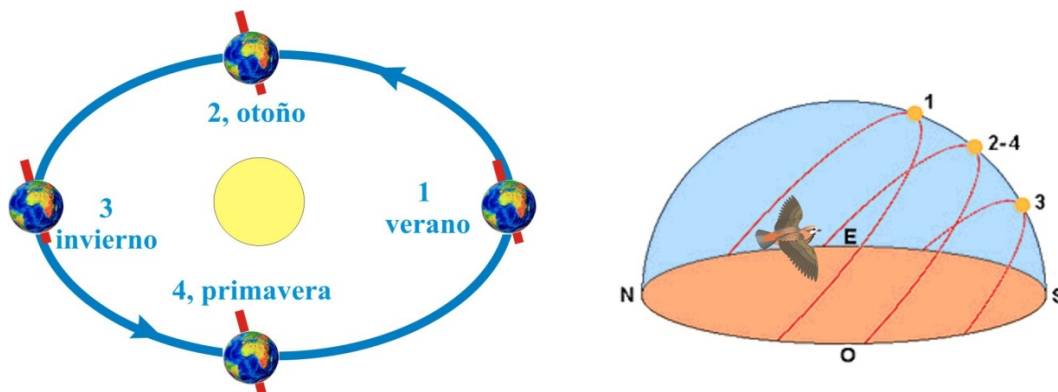
Esta magnetopercepción les permitiría a las abejas encontrar su fuente de alimentación en días nublados mediante el seguimiento secuencial de las imágenes asociadas con gradientes magnéticos.

## BRÚJULA SOLAR

Las abejas utilizan la posición del Sol para obtener información direccional. El sol se desplaza de este a oeste describiendo un ángulo de alrededor de  $15^\circ$  por hora, de manera que para utilizar la posición del Sol como brújula es necesario que éstas sepan qué hora es.

Dos variables definen la posición del Sol respecto a la Tierra: la altura sobre el horizonte y el azimut. La altura corresponde a la componente vertical; es nula al amanecer y máxima al mediodía. El azimut corresponde a la componente horizontal; define la trayectoria del Sol proyectada en el horizonte y determina la dirección de la brújula solar

El Sol se mueve de forma constante, pero la velocidad del azimut no es uniforme a lo largo del horizonte. La trayectoria aparente del Sol a través del cielo es una función compleja que depende de la latitud del observador y la estación del año.

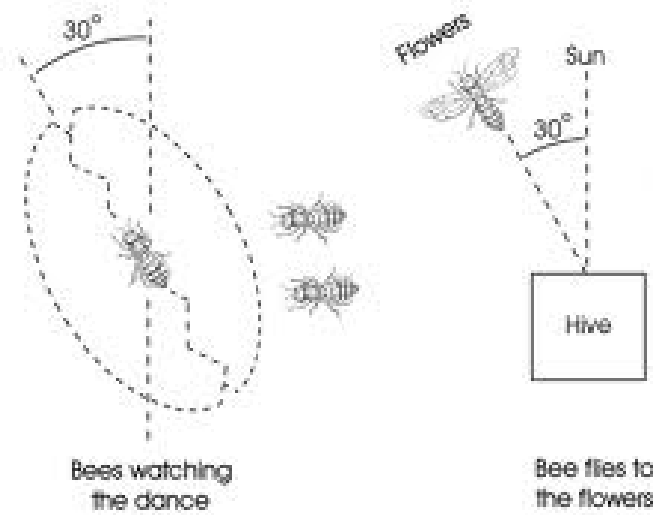


Dado que la posición del Sol en la bóveda celeste depende de la latitud geográfica, cuando una abeja se mueve de norte a sur, el arco solar que al principio de su viaje estaba inclinado hacia el sur, se va haciendo cada vez más vertical a medida que se acerca al ecuador, y se inclina hacia el norte a medida que se acerca al hemisferio sur. Éstas son capaces de compensar esos cambios mediante mecanismos que modifican la dirección de su trayectoria con respecto al Sol. Por ejemplo, si vuela hacia el este, durante la mañana se dirigirá hacia el sol, conforme avance el día se desviará hacia el lado, al mediodía volará en dirección perpendicular al astro y al atardecer lo dejará atrás. Para realizar tal tarea las abejas (como otros animales migratorios) utilizan un programa temporal endógeno adaptado a los cambios del azimut, algo así como un “reloj interno”. Recibe el nombre de ritmos circadianos, se relacionan con ciclos diarios

y se hallan determinados genéticamente. Los ritmos circadianos oscilan con un periodo independiente, aunque cercano al de las variaciones cíclicas ambientales de 24 horas asociadas a la rotación de la Tierra. Puesto que el periodo de ese reloj interno no coincide con el solar, externo, el animal debe obtener información de los ciclos ambientales asociados a la rotación o a la traslación terrestre para adecuar las funciones del organismo a los cambios rítmicos del medio, de esta forma se sincroniza el periodo interno con el día astronómico. El ciclo de luz-oscuridad es el que sincroniza el reloj biológico con el reloj solar, adelantándolo o atrasándolo según el caso.

### COMUNICACIÓN DE LAS ABEJAS A TRAVÉS DE SU DANZA

Se sabe que las abejas ejecutan una danza en la colmena, tomando como referencia el campo gravitacional de la Tierra. Las abejas forrajeras, cuando regresan de una exitosa búsqueda de alimento, ejecutan una danza cuya orientación en relación a la dirección vertical de los panales de la colmena indica, a las otras abejas, la localización de la fuente de alimento. El ángulo entre la dirección de la danza y la vertical indica el ángulo entre la fuente de comida y el Sol. Para realizar la danza, las abejas descubridoras usan tres puntos de referencia: la fuente de alimento, el sol y la colmena.



Si la nueva fuente de alimentos se encuentra a menos de 90 m de distancia de la colmena, la abeja ejecuta un baile circular en el que se desplaza primero unos 2 cm o más, y después describe círculos en dirección opuesta. Un buen número de las abejas de la colonia sigue de cerca la danza e imita sus movimientos

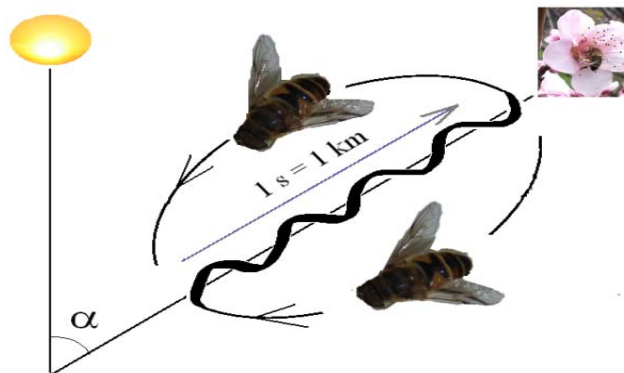
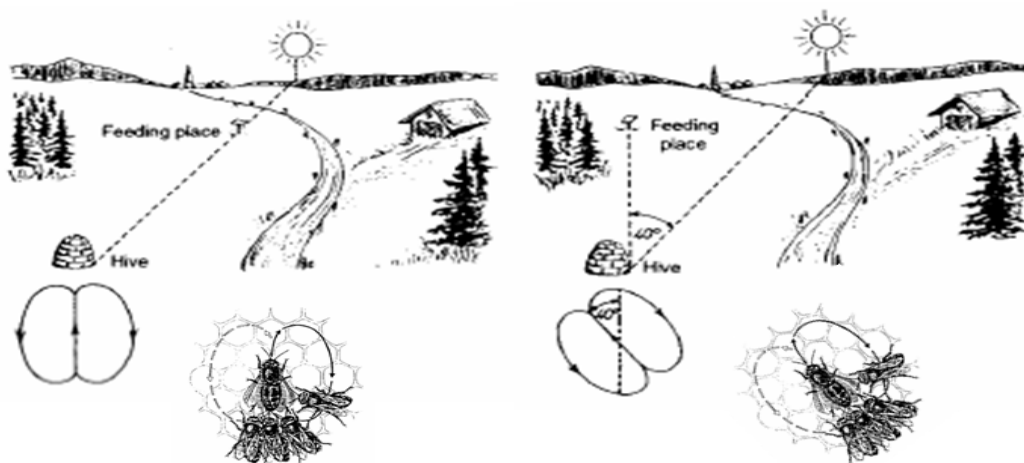


*Danza de las obreras,  
el "baile en círculo"*

Durante esta ceremonia, las otras obreras perciben la fragancia de las flores en las que la exploradora recogió el néctar. Una vez se sabe que hay alimento a poca distancia de la colmena, y se establece qué aroma tiene, las otras abejas van al exterior y vuelan en círculos cada vez mayores hasta dar con su fuente.



Si la nueva fuente de néctar o polen se encuentra a una distancia mayor, su descubridora ejecuta una danza más elaborada en forma de 8, caracterizada por movimientos intermitentes a lo largo del diámetro del círculo y por un movimiento oscilante, vigoroso y constante del abdomen. El número de veces que la abeja describe un círculo en un tiempo dado informa a las otras abejas de la distancia a la cual hay que volar hasta llegar a donde está la comida. Los movimientos indican la dirección en que se encuentra. Si el tramo recto (diámetro) está hacia arriba, hay que volar directamente hacia el sol. Si está hacia abajo, significa que las abejas darán un ángulo con la vertical, las abejas deberán seguir un curso a la derecha o izquierda del sol con el mismo ángulo.



En esta danza, han sido observados ciertos "errores" de hasta  $20^\circ$  a la izquierda o a la derecha de la dirección "correcta", variando con la dirección del campo geomagnético. Todas las abejas, danzando en un instante dado cometen el mismo "error", tanto en intensidad como en dirección.

Por otro lado, cuando un enjambre de abejas deja la colmena original, abejas obreras de este enjambre construyen nuevos panales en la misma dirección magnética de la colmena anterior. Son necesarios campos magnéticos relativamente fuertes para destruir esta orientación de los panales.

### **BRÚJULA DE LUZ POLARIZADA**

Para la búsqueda de alimento, las abejas necesitan localizar la posición del sol. En días parcialmente nublados, después de la puesta del sol o cuando es imposible apreciar

la posición de éste, las abejas utilizan la luz polarizada como fuente de información de brújula.

Las partículas atmosféricas polarizan la luz del sol. La luz polarizada vibra en un solo plano con respecto a la dirección del rayo luminoso. Una fracción de energía en un rayo de luz solar se polariza si se refleja desde una partícula atmosférica, la atmósfera terrestre contiene gran cantidad de partículas reflectoras (polvo, gotas de agua, cristales de hielo...) capaces de polarizar la luz del Sol y suministrar la información lumínica que permite a un animal utilizar la luz polarizada como brújula. El ojo humano no es capaz de detectar diferencias útiles de la polarización de la luz solar, pero los ojos de numerosos insectos y pájaros poseen esta capacidad.

En la medida que una banda de cielo azul siga siendo visible, una abeja es capaz de detectar el plano de polarización de la luz y utilizar esta información para conocer la posición del Sol.

Las abejas son capaces de recibir luz polarizada porque cada molécula de rodopsina de su ojo es sensible al plano de polarización de la luz y además, todas las moléculas de rodopsina de un mismo fotorreceptor están alineadas en forma similar para que todas absorban luz en el mismo plano de polarización. Gracias a esa facultad pueden buscar su comida lejos del panal y, de modo certero, hallar el camino de regreso.

### **FLUJO ÓPTICO QUE USAN LAS ABEJAS**

Las abejas poseen lo que los investigadores llaman conducta sensoriomotora. Ésta, les permite recoger información visual del ambiente y utilizarla para distintos fines, como medir la velocidad de desplazamiento sobre el suelo y reaccionar a su entorno. Las señales visuales son captadas por una gran cantidad de neuronas de su sistema nervioso y luego procesadas para por ejemplo, poder medir la distancia entre la colmena y la fuente de alimento, independientemente de las variaciones del viento; regular su velocidad de vuelo, consiguiendo así decelerar en espacios angostos y viceversa; evitar obstáculos que se presenten a su alrededor de forma eficiente, manteniendo la equidistancia a las paredes al compensar las velocidades aparentes de las imágenes laterales; durante el aterrizaje, mantienen constante la velocidad de la imagen de la superficie con lo que disminuye la velocidad de vuelo a medida que pierden altura, alcanzando el punto cero al llegar a la superficie.

Esto se produce gracias al flujo óptico que perciben, integrando el movimiento aparente de lo que les rodea mientras vuelan: una imagen de su entorno se mueve desde adelante hacia atrás en su campo visual, creando éste flujo óptico, el cual depende de la relación entre velocidad y la distancia a las superficies más cercanas. Cuanto más cerca están de los objetos que encuentran en su trayecto, mayor será el movimiento aparente de ellos, aumentando la intensidad del flujo. Como respuesta a éste aumento, las abejas disminuyen la velocidad de vuelo, para así mantener constante la velocidad media de las imágenes que pasan por ambos ojos y evitar colisiones.

Como se mencionó anteriormente, las abejas pueden determinar distancias. Entrenando a las abejas para entrar en un túnel con diseños rayados y recolectar una solución azucarada a una distancia fija de la entrada, se puede registrar el comportamiento de búsqueda en un túnel sin recompensa: la abeja se para a la distancia aprendida. Se comprobó que las abejas no estiman la posición mediante ningún ángulo relacionado con la entrada o la salida, siguen buscando a la distancia correcta cuando se reduce la apertura o se alarga el túnel. Tampoco se guían por el período espacial de las marcas, ya que cuando éstas se cambian continúan acertando. Siguen buscando a la distancia correcta cuando se les pone un ventilador delantero

o trasero, de hecho efectúan una recompensación del efecto del viento: buscan un poco más allá con viento de frente, y se paran un poco antes con viento trasero.



Sin embargo, los investigadores observaron que al aumentar el flujo óptico, sistemáticamente sobreestiman la distancia de vuelo. Hecho que observaron cuando la abeja comunica la sobreestimación a las demás abejas a través de la danza ondulante: las otras abejas, que no se desplazaron a través del túnel, vuelan en dirección correcta pero se dirigen a una fuente que está demasiado lejos para buscar el alimento.

# CONCLUSIÓN



Las abejas, así como una gran diversidad de animales, tienen una estructura fisiológica extremadamente compleja y completa que les permite captar una gran diversidad de señales ambientales para así orientarse y efectuar una correcta navegación favoreciendo a su supervivencia en la naturaleza. Toda la información que obtienen, como la posición del Sol, los atributos de la luz polarizada o las líneas de fuerza en el campo magnético terrestre les sirve como “brújula”

para ello, guiándolas de la forma más eficiente posible.

Se puede observar la gran importancia que tienen estas señales para las distintas especies animales en el planeta, los cuales al tener una alta sensibilidad a este tipo de

estímulos, un pequeño cambio en ellos, como el cambio del campo magnético provocado por maquinaria creada por el hombre, puede afectarlos de manera sustancial causando perturbaciones en su orientación. Dependiendo de la magnitud del cambio, los animales buscan estrategias para adaptarse a ellos, si éstos son leves; de lo contrario, si los cambios son demasiado considerables, pueden llevar en un extremo a la extinción de la especie (situación observada a lo largo de la historia de la vida en la Tierra al generarse grandes variaciones del flujo magnético).

## Bibliografía:

- **Vectores:**

<http://departamento.us.es/dfisap1/ffi/applets/maticas/vectores/>

- **Campo Magnético:**

<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/magnetic/magpot.html>

[http://www.fisicanet.com.ar/fisica/magnetismo/ap01\\_campo\\_magnetico.php#.UcHcutgRBMN](http://www.fisicanet.com.ar/fisica/magnetismo/ap01_campo_magnetico.php#.UcHcutgRBMN)

<http://www.slideshare.net/DidacticaCienciasUAC/una-mirada-a-la-influencia-del-campo-magnético-en-la-orientación-magnética>

<http://fisica.unav.es/mhd/invest.html>

<http://cienciaescolar.net/proyectos/?p=2430>

6

¿Qué es el magnetismo? Arnaldo González Arias

Fisiología Animal -Richard W. Hill, Gordon A. Wyse

[http://elpais.com/diario/1997/01/22/sociedad/853887620\\_850215.html](http://elpais.com/diario/1997/01/22/sociedad/853887620_850215.html)

- **Polarización:**

<http://www.educa2.madrid.org/web/educamadrid/principal/files/c356c887-f3ad-4417-bb32-3f202f5af6bc/pagina%208.htm>

Guía Teórica del curso

- **Flujo óptico:**

[http://noticiasdelaciencia.com/not/1525/las\\_abejas\\_regulan\\_su\\_velocidad\\_de\\_vuelo\\_teniendo\\_tambien\\_en\\_cuenta\\_los\\_obstaculos\\_en\\_vertical/](http://noticiasdelaciencia.com/not/1525/las_abejas_regulan_su_velocidad_de_vuelo_teniendo_tambien_en_cuenta_los_obstaculos_en_vertical/)

[http://alioptico.us.es/portaleto/Navegacion\\_abejas/flujoptico.htm](http://alioptico.us.es/portaleto/Navegacion_abejas/flujoptico.htm)

<http://www.apinews.com/es/noticias/item/2573-/2573->

Fisiología Animal -Richard W. Hill, Gordon A. Wyse

- **Danza de las abejas y brújula solar:**

<http://www.educa2.madrid.org/web/educamadrid/principal/files/c356c887-f3ad-4417-bb32-3f202f5af6bc/pagina%205.htm>

<http://editorialgrania.com/guia-del-campo/la-danza-de-las-abejas/>

<http://www.ciencia.cl/CienciaAlDia/volumen3/numero2/articulos/articulo5.html>

10

# Seminario de Física.

## Palancas en el cuerpo humano. La columna vertebral.

**Integrantes:**

Pereira, Adrián.  
Vettorazzi, Lucía.

**Carrera:** Profesorado en biología.

## INTRODUCCION

Dentro de la física, la mecánica se encarga de estudiar las condiciones que hacen que los objetos permanezcan en reposo (estática) y de las leyes que rigen su movimiento (dinámica).

Nuestro cuerpo utiliza para moverse diferentes tipos de palancas. Sin embargo no se le da la importancia necesaria en el funcionamiento de la misma. En este trabajo se tratará de desarrollar cómo funciona una palanca en el cuerpo humano, haciendo que un principio teórico se vea en concreto y en nuestro propio cuerpo, y pueda ayudar a comprender la importancia de este fenómeno físico relacionándolo con la biología.

## DESARROLLO

La estática es el estudio de las fuerzas que actúan sobre un objeto que está en equilibrio y en reposo. Aunque no se produzca movimiento, hay muchas cuestiones interesantes con relación a estas fuerzas que pueden resolverse mediante las leyes de Newton. Por ejemplo se pueden hallar las fuerzas que actúan sobre las distintas partes de la ingeniería: puentes o edificios, o de estructuras biológicas como las mandíbulas, los distintos miembros o la columna vertebral. Además, puede utilizarse para comprender la multiplicación de fuerzas obtenidas con las maquinas simples, tales como las diversas palancas que se encuentran en cuerpo humano.

Antes de considerar las aplicaciones de la estática, hemos de analizar las condiciones de equilibrio de un sólido rígido: un objeto ideal que ocupa un lugar en el espacio y que no cambia su forma ni su tamaño al ser sometido a una fuerza. Los objetos reales están constituidos por un gran número de partículas, átomos y moléculas, que se mantienen unidas por fuerzas que actúan entre ellas y éstos pueden vibrar o doblarse al ser sometidos a fuerzas. Sin embargo, objetos como los huesos son suficientemente rígidos como para que dichas deformaciones resulten despreciables.

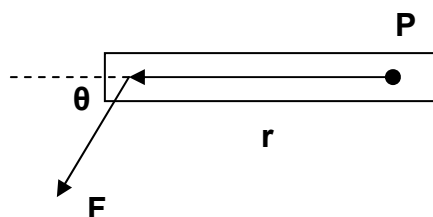
Un sólido rígido estará en equilibrio si se cumplen dos condiciones. La primera condición es: si la suma vectorial de todas las fuerzas que actúan sobre un cuerpo es cero, el cuerpo se encuentra en reposo, esto hace referencia a que el cuerpo se encuentra en equilibrio de traslación ( $\sum \mathbf{F}=0$ ). La segunda condición de equilibrio para un cuerpo rígido es: si la sumatoria de los momentos actuantes sobre un cuerpo es cero, el cuerpo se encuentra en reposo, lo que indica que se encuentra en equilibrio de rotación ( $\sum \zeta=0$ ). También al considerar el equilibrio y la estabilidad necesitamos utilizar el concepto de centro de gravedad. Este es el punto que se puede considerar concentrado el peso de un sólido rígido.

Centrándonos en el tema en cuestión, la magnitud que indica la capacidad de una fuerza para producir rotación se llama momento. El momento  $\zeta$  es una magnitud vectorial que depende de la fuerza  $\mathbf{F}$ , de la distancia  $r$  desde un punto del eje de rotación hasta el punto en que actúa la fuerza y del ángulo  $\theta$  entre  $r$  y  $\mathbf{F}$ .

$$\zeta = r \times F$$

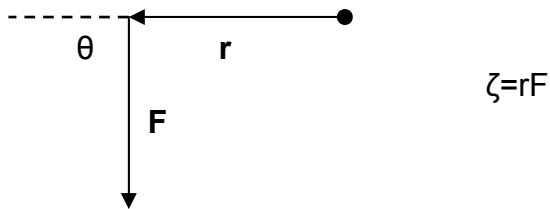
El módulo del momento alrededor del punto P vale

$$\zeta = r F \sin\theta$$

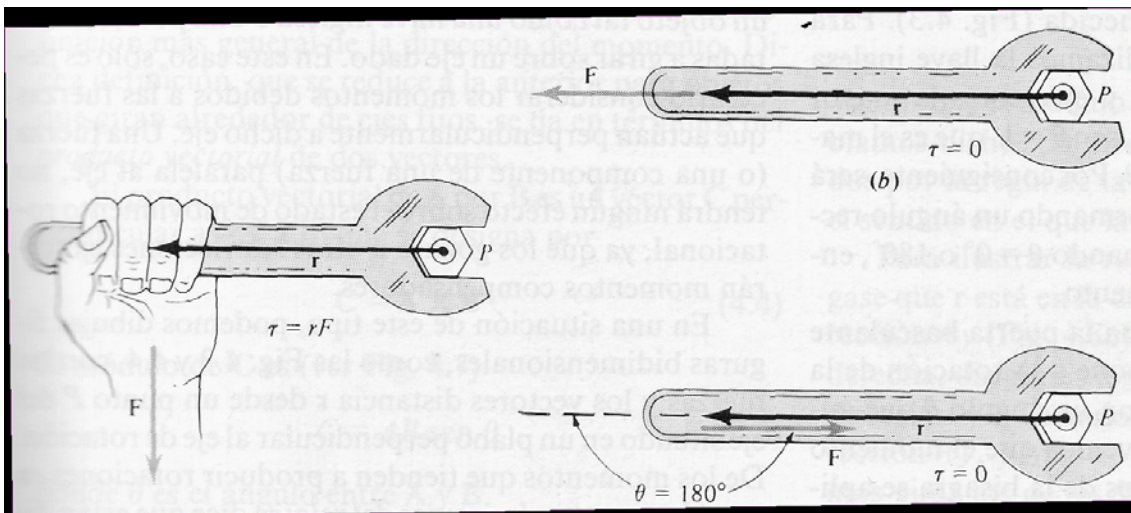




Por consiguiente, el momento es máximo cuando  $r$  y  $F$  forman un ángulo recto ( $\theta=90^\circ$ ).



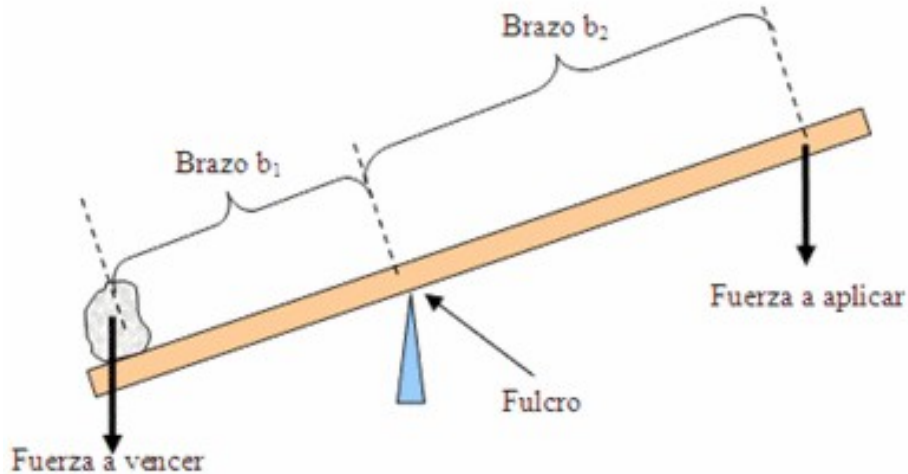
Y es nulo cuando  $r$  y  $F$  son paralelos ( $\theta=0$ ) u opuestos ( $\theta=180^\circ$ ).



**Palancas en el cuerpo.**

Una palanca es en esencia una barra rígida que puede girar libremente alrededor de un punto de apoyo llamado fulcro. En la cual, se aplica una fuerza  $F_a$  y se contrarresta una fuerza de carga  $F_l$ . La ventaja mecánica V.M de la palanca se define como la razón de los módulos de estas fuerzas.

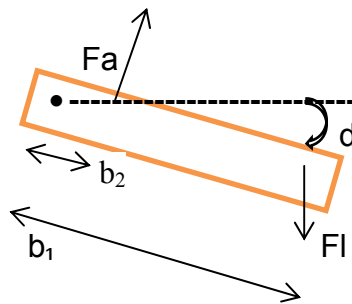
$$V.M \text{ (ventaja mecánica)} = F_l / F_a$$



El desarrollo evolutivo de brazos, piernas y otras estructuras del esqueleto ha sido fuertemente influido por las necesidades de los animales. Cuando las fuerzas son perpendiculares a una palanca, su ventaja mecánica es:

$$V.M = (F_l / F_a) / (b_2/b_1)$$

Por lo tanto, las extremidades cortas con pequeños valores de  $b_1$  tendrán ventajas mecánicas relativamente grandes y serán capaces de ejercer grandes fuerzas. Sin embargo, la distancia  $d$  que recorre el extremo de un miembro es proporcional a su longitud  $b_1$ , por lo que el movimiento rápido requiere extremidades largas.



### La columna vertebral.

La columna vertebral humana consta de 24 vertebras. Cuando una persona se agacha, la columna se comporta como una palanca de poca ventaja mecánica. Así, el agacharse para recoger aunque sea un objeto ligero, produce una gran fuerza sobre el disco sacrolumbar, que separa la última vertebra del sacro, el hueso que sostiene la columna vertebral.

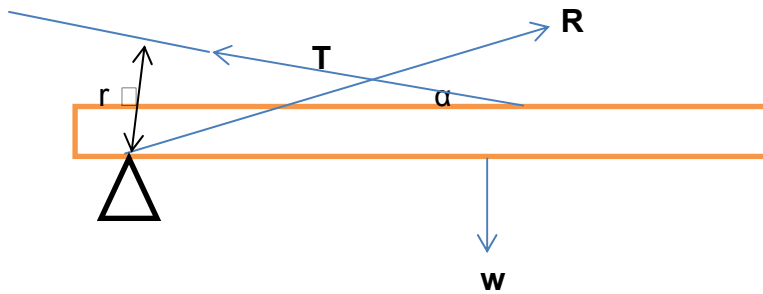


Para comprender por qué esta fuerza es tan grande, podemos utilizar un modelo que trata la columna como una barra con pivote. El pivote corresponde al sacro y ejerce una fuerza **R**. Los diversos músculos de la espalda son equivalentes a un solo músculo que produjera una fuerza **T**, tal como se muestra en la figura de abajo. Cuando la espalda está horizontal el ángulo  $\alpha$  es de  $12^\circ$ . **w** es el peso del torso, cabeza y brazos, que alcanza aproximadamente el 65% del peso total del cuerpo. Como  $\alpha$  es pequeño, la línea de acción de **T** pasa cerca del pivote, por lo cual el brazo de palanca  $r_{\perp}$  (distancia perpendicular a la línea de acción de la fuerza **T**) es pequeño. Sin embargo, el peso **w** actúa en ángulo recto con respecto a la columna y su brazo de palanca es mucho mayor. Por consiguiente, para que sus momentos se equilibren, la fuerza muscular **T** debe ser mucho mayor que el peso. Como **T** es grande, también lo es su componente horizontal. En el equilibrio, la fuerza **R** debida al sacro ha de tener una componente horizontal igual pero opuesta, de modo que la fuerza debida al sacro es también mucho mayor que el peso.

Ejemplo:

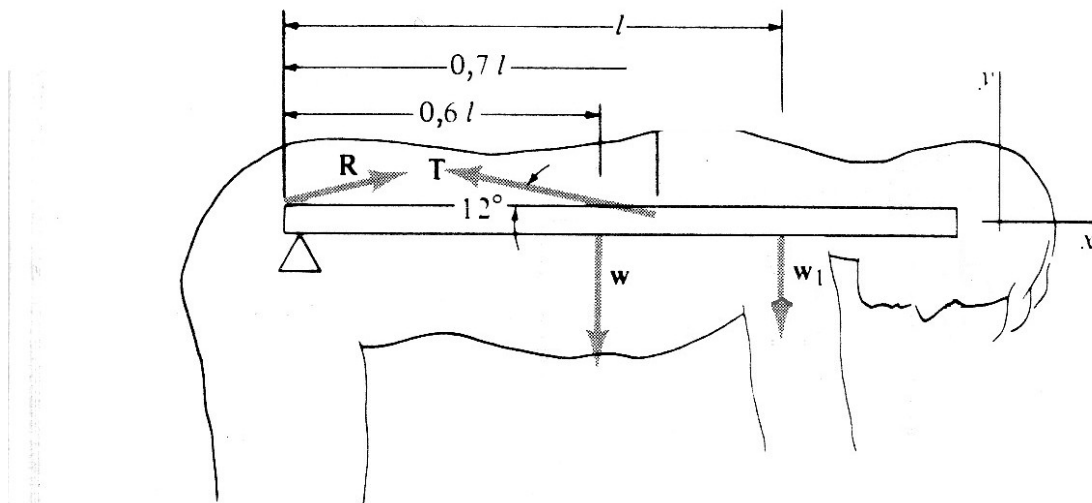
Para un hombre de 77kg, **T** y **R** se aproximan a 227kg. Si el hombre, además, está levantando un niño de 18 kg, de modo que en el extremo derecho de la barra haya un peso adicional de 18kg, **T** y **R** alcanzan 340 kg.

Figura. (Diagrama de fuerzas para la columna vertebral de una persona inclinada, con la espalda horizontal.)



Ejercicio:

En la figura, el peso del tronco es  $w = 490 \text{ N}$ . Encontrar la fuerza  $T$  ejercida por los músculos de la columna vertebral y las componentes  $R_x$  y  $R_y$  de la fuerza  $R$  ejercida por el pivote (sacro) si el peso que sostiene  $w_1$  es a) cero; b)  $175 \text{ N}$ .



Resolución:

Datos:

$$w = 490 \text{ N}$$

$$w_1 = 0 \text{ en a)}$$

$$w_1 = 175 \text{ en b)}$$

$$\sum F_x = -T \cdot \cos 12^\circ + R \cdot \cos \theta = 0$$

$$\sum F_y = T \cdot \sin 12^\circ + R \cdot \sin \theta - w_1 - w = 0$$

$$\sum \zeta = T \cdot \sin 12^\circ \cdot (0,7 l) - w \cdot (0,6 l) - w_1 \cdot l = 0$$

$$a) T \cdot \sin 12^\circ \cdot (0,7 \text{ l}) = w \cdot (0,6 \text{ l}) + w_1 \cdot l$$

$$T \cdot \sin 12^\circ = \frac{w \cdot (0,6 \text{ l}) + w_1 \cdot l}{0,7 \text{ l}}$$

$$0,7 \text{ l}$$

$$T \cdot \sin 12^\circ = \frac{w \cdot (0,6 \text{ l}) + w_1 \cdot l}{0,7 \text{ l}}$$

$$0,7 \text{ l}$$

$$T \cdot \sin 12^\circ = \frac{(w \cdot (0,6) + w_1) \cdot l}{0,7 \text{ l}}$$

$$0,7 \text{ l}$$

$$T = \frac{(490 \text{ N} \cdot (0,6) + 0)}{0,7 \cdot \sin 12^\circ} = 2020 \text{ N}$$

$$0,7 \cdot \sin 12^\circ$$

Despejando  $R \cdot \cos\theta = R_x$

$$-T \cdot \cos 12^\circ + R \cdot \cos\theta = 0$$

$$R \cdot \cos\theta = T \cdot \cos 12^\circ$$

$$R \cdot \cos\theta = 2020 \text{ N} \cdot \cos 12^\circ = \mathbf{1975,9 \text{ (i) N}}$$

Despejando  $R \cdot \sin\theta = R_y$

$$T \cdot \sin 12^\circ + R \cdot \sin\theta - w_1 - w = 0$$

$$R \cdot \sin\theta = w_1 + w - T \cdot \sin 12^\circ$$

$$R \cdot \sin \theta = 0 + 490 \text{ N} - 2020 \text{ N} \cdot \sin 12^\circ = \mathbf{70 \text{ (j) N}}$$

$$|\mathbf{R}| = \mathbf{1977 \text{ N}}$$

$$b) T \cdot \sin 12^\circ \cdot (0,7 \text{ l}) = w \cdot (0,6 \text{ l}) + w_1 \cdot \text{l}$$

$$T \cdot \sin 12^\circ = \frac{w \cdot (0,6 \text{ l}) + w_1 \cdot \text{l}}{0,7 \text{ l}}$$

$$0,7 \text{ l}$$

$$T \cdot \sin 12^\circ = \frac{w \cdot (0,6 \text{ l}) + w_1 \cdot \text{l}}{0,7 \text{ l}}$$

$$0,7 \text{ l}$$

$$T \cdot \sin 12^\circ = \frac{(w \cdot (0,6) + w_1) \cdot \text{l}}{0,7 \text{ l}}$$

$$0,7 \text{ l}$$

$$T = \frac{(490 \text{ N} \cdot (0,6) + 175 \text{ N})}{0,7 \text{ l}} = 3222 \text{ N}$$

$$0,7 \cdot \sin 12^\circ$$

Despejando  $R \cdot \cos \theta = R_x$

$$-T \cdot \cos 12^\circ + R \cdot \cos \theta = 0$$

$$R \cdot \cos \theta = T \cdot \cos 12^\circ$$

$$R \cdot \cos \theta = 3222 \text{ N} \cdot \cos 12^\circ = \mathbf{3151 \text{ (i) N}}$$

Despejando  $R \cdot \sin \theta = R_y$

$$T \cdot \sin 12^\circ + R \cdot \sin \theta - w_1 - w = 0$$

$$R.\text{sen}\theta = w_1 + w - T.\text{sen } 12^\circ$$

$$R.\text{sen}\theta = 175 + 490 \text{ N} - 3222 \text{ N}.\text{sen } 12^\circ = \mathbf{5 (-j) \text{ N}}$$

$$|\mathbf{R}| = \mathbf{3151 \text{ N}}$$

## Conclusiones

Como el sólo hecho de inclinarse (agacharse), incluso sin levantar un peso, produce una gran **T** sobre la columna, debería evitarse. Si por el contrario, se flexionan las rodillas pero se mantiene la espalda vertical, los centros de gravedad de todos los pesos están aproximadamente en la vertical del sacro. En consecuencia, sus momentos con respecto al sacro son pequeños y los músculos y las articulaciones no realizan grandes fuerzas o fuerzas apreciables. La fuerza sobre el disco sacrolumbar entonces es, aproximadamente, igual al peso total que sostiene. Esto nos demuestra cuán importante es la física en la biología. Gracias a la física, se logró comprender los esfuerzos que realizan las palancas del cuerpo humano para inclinarse, levantar un peso, etc.

## BIBLIOGRAFIA

- Joseph W. Kane y Morton M. Sternheim. Física. Ed. Reverté, S.A. 1998.
- Cromer Alan H. Física para las ciencias de la vida. Ed. Reverté. 1981.
- Velasco Hugo, Apuntes de física. Departamento de Física. Universidad Nacional de San Luis. 2013.



11

# Ultrasonido en Diagnóstico por Imagen: Los ecos del Interior



## Autores:

Sanchez Hernan y Bruera

Manuel

Licenciatura en Biología

Molecular

# **ÍNDICE**

➤ Introducción.....	Página 2
➤ Conceptos Físicos Introdutorios.....	Página 3
- Ondas.....	Página 3
- Carac. del Sonido y del Ultrasonido .....	Página 5
- Propiedades Especificas.....	Página 6
➤ Desarrollo.....	Página 11
➤ Conclusión.....	Página 18
➤ Bibliografía.....	Página 19

## **INTRODUCCIÓN**

La medicina necesita guiarse por los síntomas y signos que presenta el cuerpo del paciente a fin de determinar el tipo de patología con la que se enfrenta. Muchos de esos signos pueden apreciarse fácilmente con los sentidos, sin embargo muchos otros síntomas deben ser determinados por exámenes más rigurosos que requieren de la aplicación de la ciencia y de avances tecnológicos como lo son los diagnósticos por imágenes. Existen distintos tipos de estos diagnósticos, siendo los más comunes los que utilizan rayos X y Ultrasonidos. Estos últimos son un avance importante en medicina debido a que en muchos casos han sustituido a la cirugía exploratoria y otros procedimientos riesgosos dolorosos y costosos. En la aplicación

de ultrasonidos para diagnóstico por imágenes no existe evidencia de efectos perjudiciales como lo hay con las imágenes que se forman por rayos X, por ello esta técnica se considera como un método no invasor, más seguro e innovador para la exploración del organismo, de allí su gran importancia y gran avance en la medicina.

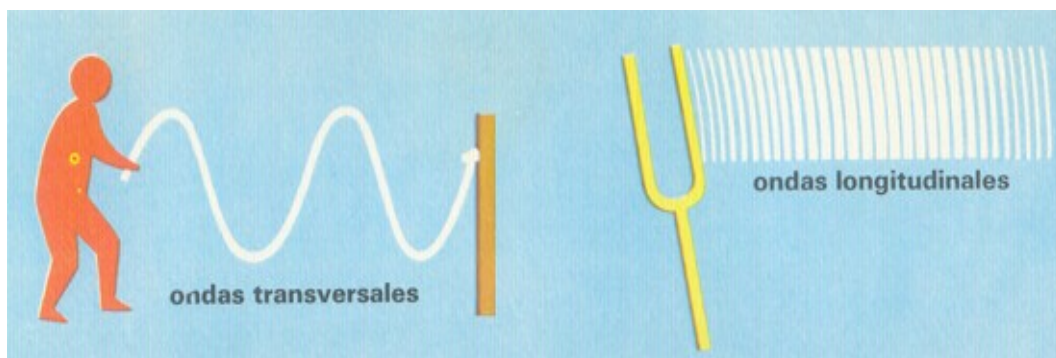
La acústica es la rama de la Física interdisciplinaria que estudia el Sonido, que es una sensación, en el órgano del oído, producida por el movimiento ondulatorio en un medio elástico, debido a rapidísimos cambios de presión, generados por el movimiento vibratorio de un cuerpo sonoro. Los sonidos audibles para el ser humano son los que generalmente se encuentran dentro del rango de frecuencias de 20 a 20.000 Hz (ciclos / segundos) que abarcan los tonos graves, medios y agudos. Existen ondas sonoras con frecuencias que se encuentran fuera de este rango. Aquellas que se encuentran por debajo del espectro audible se denominan infrasonidos y aquellos que se encuentran por encima, Ultrasonidos. Estos últimos son utilizados en medicina como se dijo anteriormente, debido a que al tener frecuencias muy altas son excelentes para atravesar objetos o partes de un organismo donde sonidos con frecuencias bajas no podrían penetrar y donde radiaciones altamente ionizantes como los rayos X producirían consecuencias adversas.

## **CONCEPTOS FISICOS INTRODUCTORIOS**

### **Ondas:**

Los sonidos viajan a través de un medio con una velocidad definida y en forma de ondas. Estas son una perturbación en un medio, que se propaga a través del mismo a velocidad constante, siendo esta velocidad característica del medio, transportando energía y movimiento ondulatorio, pero no materia.

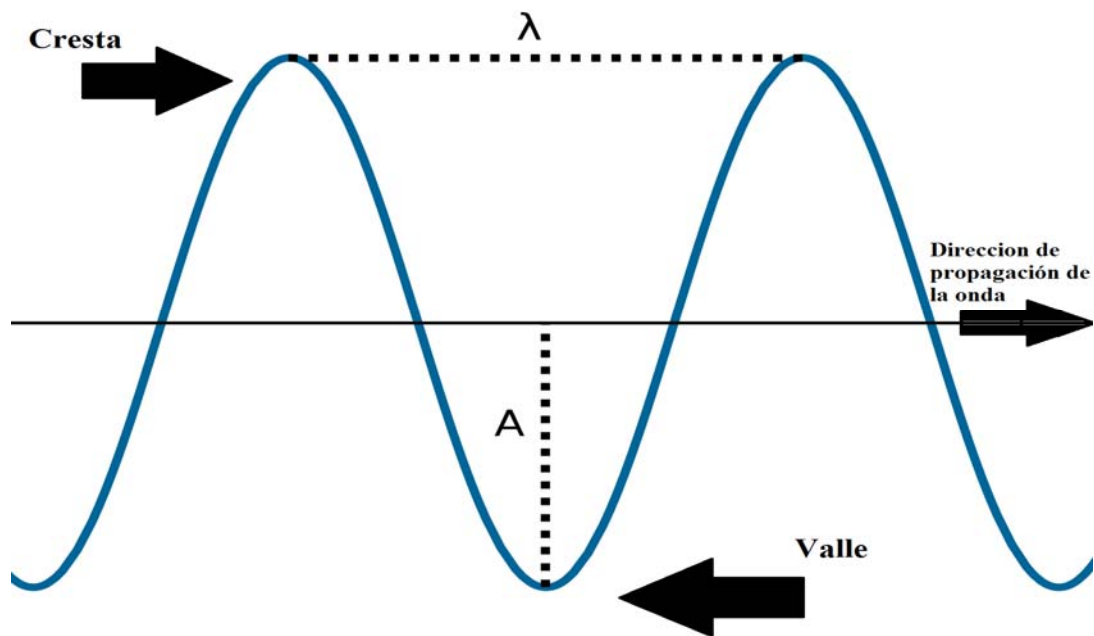
Existen diversos tipos de ondas, como las longitudinales y las transversales. Las primeras se caracterizan porque su sentido de propagación es el mismo que el sentido de perturbación del medio, mientras que las ondas transversales tienen un sentido de propagación perpendicular al de perturbación.



Las ondas tienen carácter sinusoidal y pueden definirse mediante la siguiente función:

$$f(x) = A \operatorname{sen} (2\pi x/\lambda + \delta)$$

Ésta nos permite conocer la posición de una partícula perteneciente al medio donde la onda se propaga en un determinado instante.



- **A es la amplitud:** es la distancia vertical entre una cresta y el punto medio de la onda, se mide en metros (m)
- **Frecuencia (F):** Es el número de oscilaciones o ciclos que pasan por segundo por un punto. La frecuencia la cuantificamos en ciclos por segundo o Hertz. La frecuencia está determinada por la fuente emisora de la onda y por el medio a través del cual está viajando.
- **λ es la longitud de onda:** Es la distancia que hay entre el mismo punto de dos ondulaciones consecutivas, o la distancia entre dos crestas consecutivas, es decir dos puntos igualmente perturbados. Se mide en metros (m). Cuando se modifica la frecuencia también se modifica la longitud de onda. La longitud de onda y la frecuencia son inversamente proporcionales para una misma velocidad.

$$\lambda = v / F$$

Donde V es la velocidad de la onda en el medio en el que se propaga.

- **δ es el desfase:** representa el desplazamiento de la función con respecto al eje de las abscisas

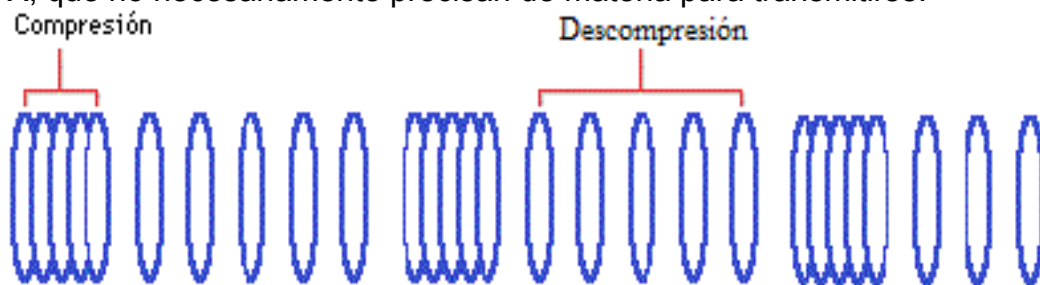
- **Periodo (T):** es el tiempo que tarda la onda en ir de un punto de máxima amplitud al siguiente, se mide en segundos (s)

## Características del sonido y del ultrasonido

El sonido posee propiedades ondulatorias, a semejanza de las ondas electromagnéticas como la luz, y presenta efectos diversos de interacción con el medio, tales como refracción, reflexión, difracción e interferencia, así como también absorción, atenuación y su velocidad de propagación dependiente del medio.

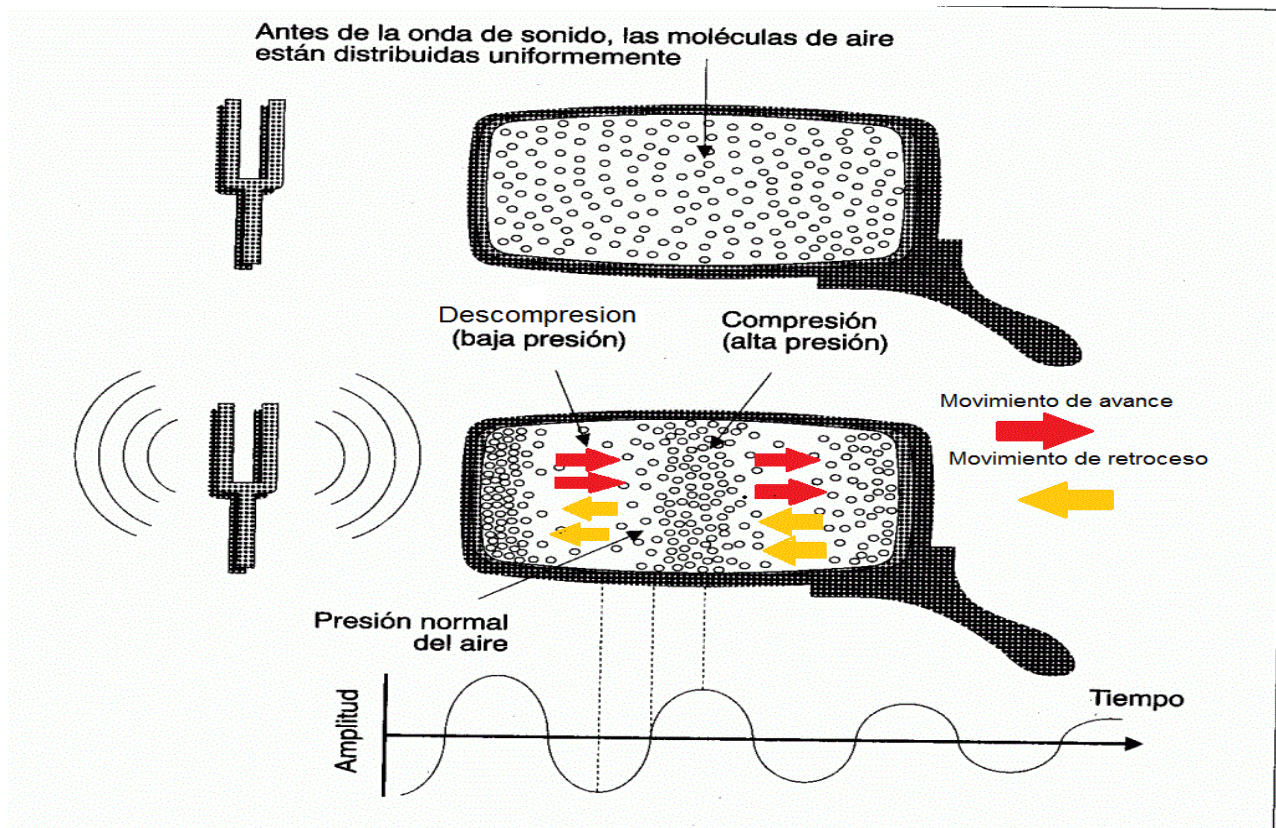


El Ultrasonido se define como una serie de ondas mecánicas longitudinales, originadas por la vibración de un cuerpo elástico (cuerpo capaz de producir sonido) y propagadas por un medio material, cuya frecuencia supera la del sonido audible por el humano: 20.000 ciclos / segundo o 20 KHz. Cuando estos sonidos se generan, las moléculas del medio son comprimidas y descomprimidas alternativamente por la acción mecánica de las ondas producidas por un generador. La transmisión del sonido exige de materia para transmitirse por lo que no lo pueden hacer en el vacío como las ondas electromagnéticas, como por ejemplo los rayos X, que no necesariamente precisan de materia para transmitirse.



El sonido es transmitido desde su generador hasta el oyente por las moléculas del medio, las cuales permanecen en su lugar y no recorren distancia alguna. La compresión y descompresión alternantes produce un movimiento de avance y retroceso que se transmite de molécula a molécula. Ese movimiento de avance y retroceso se hace en la dirección de la onda sonora, por lo que como ya se dijo el Ultrasonido es una onda longitudinal.

En la siguiente figura se explica lo antes dicho. Las moléculas de aire se encuentran uniformemente distribuidas antes de que el diapason (cuerpo elástico vibrante) comience a vibrar. Cuando este último vibra, emite ondas sonoras que provoca que las moléculas de aire a su alrededor avancen y retrocedan hasta su posición original, logrando la compresión y descompresión alternadamente que provoca la propagación de la onda sonora.



### Propiedades específicas:

- **Intensidad:** se define como la energía que transporta una onda por unidad de tiempo a través de una unidad de área. Las unidades para la intensidad resultan de la relación de una unidad de potencia entre una unidad de área. En unidades del SI, la intensidad se expresa en Watts/m<sup>2</sup>

$$I = P / A$$

Donde P es la potencia en watts = joule / segundos y A es el área en metros <sup>2</sup>

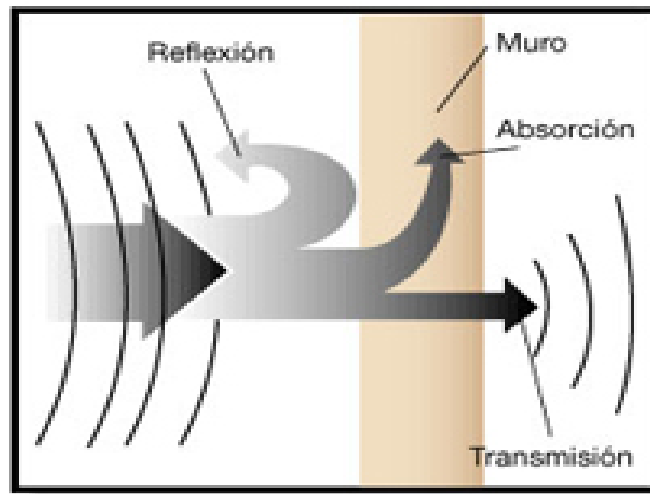
- **Atenuación:** cuando un haz de una onda sonora se propaga a través de un medio, su intensidad disminuye al aumentar la distancia. Por ejemplo cuando las ondas ultrasónicas se propagan a través de las diferentes interfaces tisulares del cuerpo, la energía ultrasónica pierde potencia y su intensidad disminuye progresivamente a medida que inciden estructuras más profundas. Esta disminución de la intensidad con la longitud recorrida se denomina atenuación y es medida en decibeles (dB) que es igual a 1/10 Bell. Además la atenuación del haz acústico está directamente relacionada con la frecuencia de la onda.

$$A \text{ (dB)} = F \text{ (MHz)} \times d \text{ (m o cm)}$$

Donde F es la frecuencia en Mega Hertz y d la distancia en metros o centímetros

- **Absorción:** es uno de los principales mecanismos que producen la atenuación de la onda sónica en un medio. Ello es debido que en el proceso de absorción una parte de la energía es retenida y convertida en calor, producto del rozamiento

asociado a las vibraciones a que están sometidas las partículas o moléculas presentes en el medio. Otra fuente de producción de atenuación en ondas sonoras es la dispersión de las mismas que consiste en la desviación de la dirección de propagación de la energía.

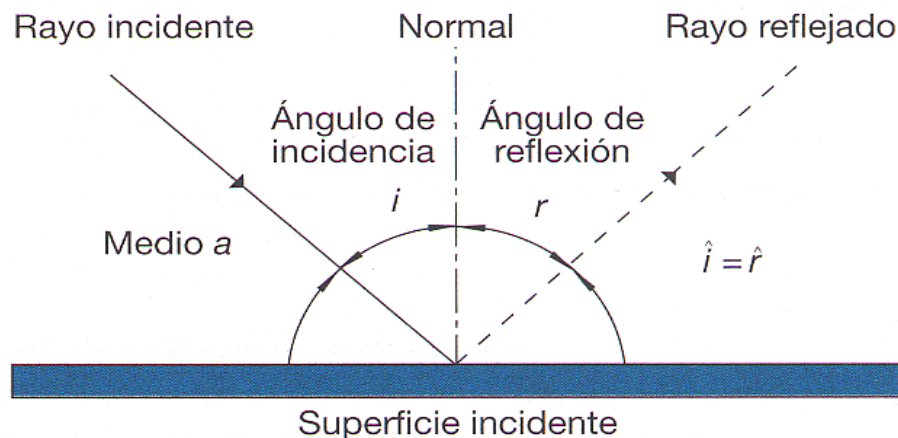


- **Reflexión (ecos):** es el cambio de dirección de una onda que al estar en contacto con la superficie de separación entre dos medios cambiantes regresa al medio inicial.

La ley de reflexión establece que:

$$\theta_r = \theta_i$$

Donde  $\theta_i$  es el ángulo de incidencia que se define como el formado por el rayo incidente con la perpendicular a la superficie reflejante o reflectora, y  $\theta_r$  es el ángulo de reflexión correspondiente a la onda reflejada.



- **Refracción:** es el fenómeno que se produce cuando cualquier onda que viaja por un medio y cruza la frontera con otro medio en el cual su velocidad cambia, transmite una onda que puede moverse en una dirección distinta.

La ley de refracción establece que:



$$\frac{v_1}{\text{sen } \theta_1} = \frac{v_2}{\text{sen } \theta_2}$$

Donde  $v_1$  y  $v_2$  las velocidades de las ondas en cada medio de propagación, y  $\theta_1$  el ángulo de incidencia y  $\theta_2$  el ángulo de refracción.

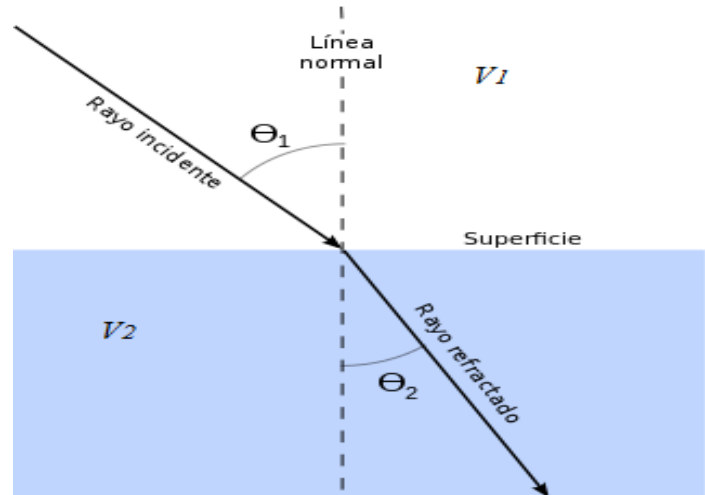
Si  $v_1 > v_2$  el ángulo  $\theta_1 < \theta_2$  el rayo refractado se acerca a la normal.

Si  $v_1 < v_2$  el ángulo  $\theta_1 > \theta_2$  el rayo refractado se aleja de la normal.

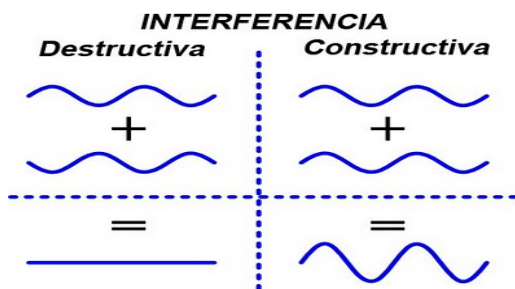
Para un ángulo límite  $\theta_c$  el ángulo de refracción es  $\theta_2 = \pi/2 = 90^\circ$

$$\text{sen } \theta_c = \frac{v_1}{v_2}$$

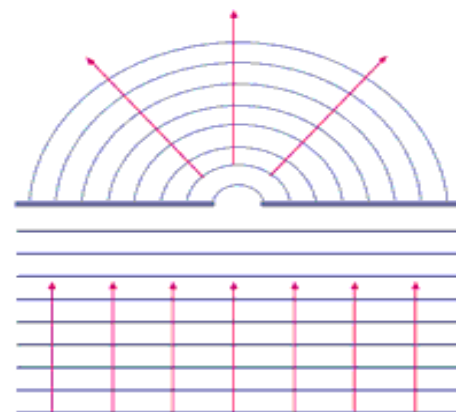
El ángulo límite es aquél ángulo incidente para el cual el rayo refractado emerge tangente a la superficie de separación entre los dos medios.



- **Interferencia:** se produce cuando dos ondas pasan por la misma región del espacio al mismo tiempo. El efecto de este fenómeno es constructivo cuando ambas ondas están en fase, es decir llegan en las mismas condiciones, como por ejemplo máximos o mínimos, en el punto de interferencia, o destructivo si están en oposición de fases.



- **Difracción:** se basa en la desviación de las ondas al encontrar un obstáculo o al atravesar una rendija. La magnitud de este fenómeno depende de la relación existente entre la longitud de onda y el tamaño del obstáculo o rendija.



Difracción de ondas

- **Velocidad de propagación:** La velocidad  $V$  con que se propaga una onda sonora en un medio viene determinada por la fuerza entre las moléculas. A nivel microscópico, estas fuerzas vienen caracterizadas por el módulo de compresibilidad  $K$ . Esta magnitud proporciona una medida de cuán difícil resulta comprimir una sustancia. Cuando aumenta la presión sobre un objeto, su volumen disminuye y su densidad, que es el cociente entre su masa y su volumen aumenta. El módulo de compresibilidad relaciona el cambio de presión  $\Delta P$  con el cambio relativo de densidad  $\Delta\delta/\delta$

$$\Delta P = k (\Delta\delta/\delta)$$

Se comprueba que la velocidad del sonido depende del módulo de compresibilidad y de la densidad del medio. Mediante el análisis dimensional se halla que:

$$V = \sqrt{\frac{k}{\delta}}$$

Se puede concluir que la velocidad con la que se propaga el sonido aumenta en materiales que tienen un módulo de compresibilidad elevado como por ejemplo en acero, y disminuye en aquellos que posean módulos pequeños como gases. Para el caso del cuerpo a examinar por ultrasonido, esta velocidad varía en cada tejido; por ejemplo, en la grasa, las ondas sonoras se mueven más lentamente; mientras que en el aire, la velocidad de propagación es tan lenta, que las estructuras que lo contienen no pueden ser evaluadas por ultrasonido. Las moléculas en los tejidos o partes del cuerpo más compresibles están muy separadas, por lo que transmiten el sonido más lentamente mientras que en aquellos donde las moléculas están más cercanas se transmite con mayor velocidad. A continuación se observa una tabla que explica en números lo antes dicho.

<b>Velocidad del Ultrasonido en distintos medios</b>	
Aire	348 m/s
Hueso	3.360 m/s
Grasa	1.500 m/s
Musculo	1.580 m/s
Tejido Blando	1.540 m/s
Agua	1.480 m/s
Hígado	1.550 m/s

## DESARROLLO

El diagnóstico por imágenes a través de un aparato de ultrasonido es un método por el cual es posible obtener imágenes de los órganos y tejidos internos del cuerpo en tiempo real o simples fotografías mediante el envío de ondas sonoras de alta frecuencia hacia el interior del mismo.

- ¿Cuáles son los principios físicos que rigen a estas técnicas de diagnóstico y como están constituidos los instrumentos para realizarlas?

El uso de ultrasonido para diagnóstico médico se trata de una técnica de pulso y eco. Un pulso de sonido de alta frecuencia se dirige hacia el organismo para detectar su reflexión (eco) desde los límites entre los órganos y demás estructuras o lesiones del cuerpo.

Las frecuencias que se utilizan en el diagnóstico ultrasónico son entre 1 y 10 MHz (1 MHz =  $10^6$  Hz). Las velocidades de ondas sonoras en los tejidos del cuerpo humano son en promedio de 1540 m/s por lo que la longitud de onda de una frecuencia de 1 MHz es aproximadamente:

$$\lambda = \frac{\text{Velocidad}}{\text{frecuencia}} = \frac{1540 \text{ m/s}}{1000000 \text{ 1/s}} \approx 1,5 \times 10^{-3} \text{ m} = 1,5 \text{ mm}$$

Esto establece el tamaño más pequeño de objetos que se pueden detectar, las frecuencias mayores tienen menores longitudes de onda y, en principio, permiten visualizar detalles más finos. Sin embargo mientras mayor es la frecuencia, más se absorbe la onda en el organismo y más se pierde la intensidad de las reflexiones en las partes profundas del cuerpo. Por ejemplo a una frecuencia de 1 MHz la intensidad disminuye un 50% en 7cm de tejido animal blando convirtiendo la energía de la onda en calor. En algunas situaciones la intensidad viene limitada por

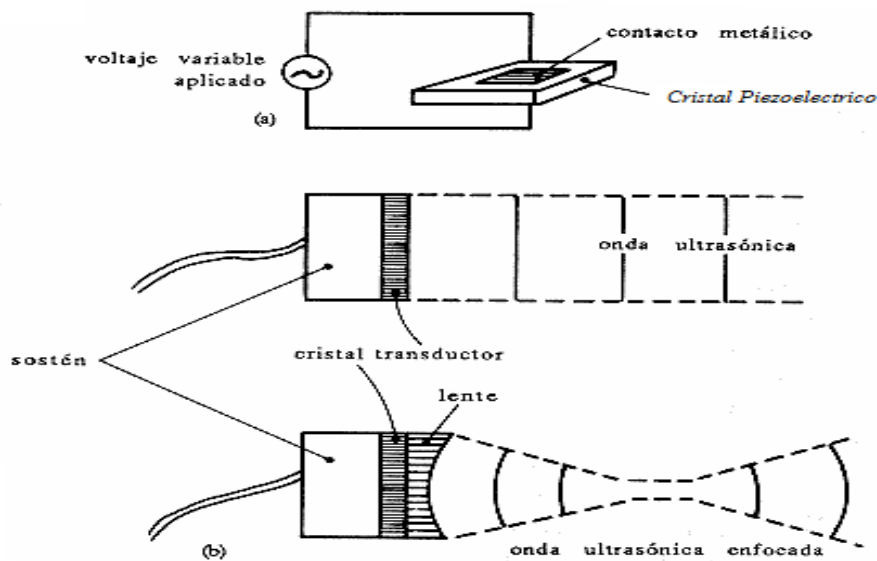
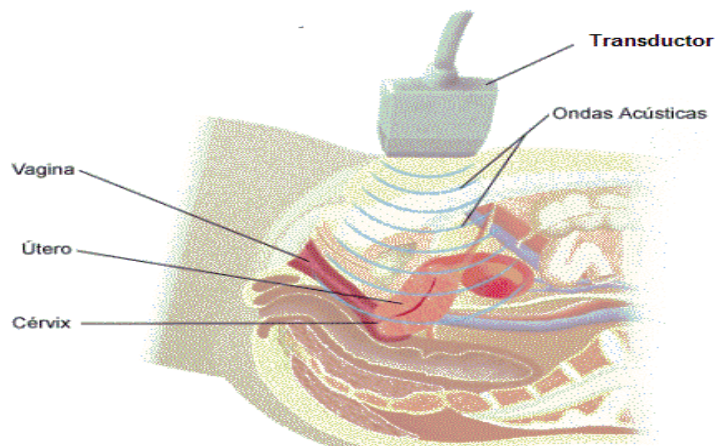


las posibilidades del aparato o principalmente por los efectos destructivos de los ultrasonidos sobre los tejidos animales.

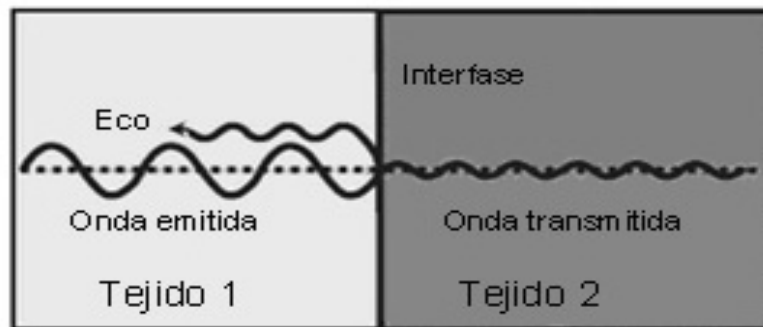
La técnica de pulso y eco previamente mencionada funciona de la siguiente manera:

En primer lugar el transductor se coloca sobre la superficie corporal del paciente a través de una capa de gel para eliminar el aire entre las superficies (transductor-piel) y emite un breve pulso de ultrasonido.

Este instrumento es un dispositivo que transforma el efecto de una causa física, como la presión, la temperatura, la dilatación, la humedad, etc., en otro tipo de señal, normalmente eléctrica. En el caso de los transductores de ultrasonido, el pulso se genera en el interior del mismo, que contiene cristales piezoeléctricos. Estos poseen la capacidad de transformar la energía eléctrica en sonido aplicando campos eléctricos periódicos a los cristales alterando las posiciones moleculares y produciendo así tensiones en dichos cristales, originando que estos vibren y produzcan sonido u ondas acústicas. Los transductores también funcionan como receptores ya que las vibraciones mecánicas producidas por el sonido, originan vibraciones en el cristal piezoeléctrico produciendo campos eléctricos que pueden detectarse y utilizarse para controlar las ondas sonoras que se reciben.



Una vez producido el pulso de ultrasonido, éste atraviesa los tejidos por lo que se producen una serie de hechos, entre ellos, la reflexión o rebote de los haces ultrasónicos hacia el transductor, que es llamada “eco”.



Una reflexión ocurre en el límite o interface entre dos materiales y provee la evidencia de que un material es diferente a otro; esta propiedad es conocida como impedancia acústica y es el producto de la densidad y la velocidad de propagación de la onda en el medio. El contacto de dos materiales con diferente impedancia acústica da lugar a una interface entre ellos. Así es como tenemos que la impedancia (Z) es igual al producto de la densidad ( $\delta$ ) de un medio por la velocidad (V) del sonido en dicho medio:

$$Z = V \delta$$



Por ejemplo, la impedancia acústica de los huesos humanos se calcula haciendo el producto de su densidad ( $\approx 1,8 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ ) por la velocidad de propagación del mismo (3360 m/s) y esto es igual a:

$$z = v \delta = 3360 \frac{m}{s} \times 1800 \frac{kg}{m^3} \approx 6 \times 10^6 \frac{kg}{m^2 s}$$

Cuando dos materiales tienen la misma impedancia acústica, este límite no produce un eco. Si la diferencia en la impedancia acústica es pequeña se producirá un eco débil; por otro lado, si la diferencia es amplia, se producirá un eco fuerte y si es muy grande se reflejará todo el haz de ultrasonido.

A continuación la energía reflejada por los ecos de la onda ultrasónica regresan al transductor con diferentes niveles de intensidades produciendo vibraciones en el cristal, lo que provoca distintas intensidades de corriente eléctrica que son transformadas, amplificadas y procesadas para convertirse en imágenes en tiempo

real o simples fotografías, teniendo una escala de grises distintas que indican la intensidad del eco regresando al transductor como elementos fotográficos (píxeles).



La amplitud y la intensidad de la onda sonora de retorno determinan la gama o tonalidad de gris que deberá asignarse. Los ecos muy débiles dan una sombra cercana al negro dentro de la escala de grises, mientras que ecos potentes dan una sombra cercana al blanco.

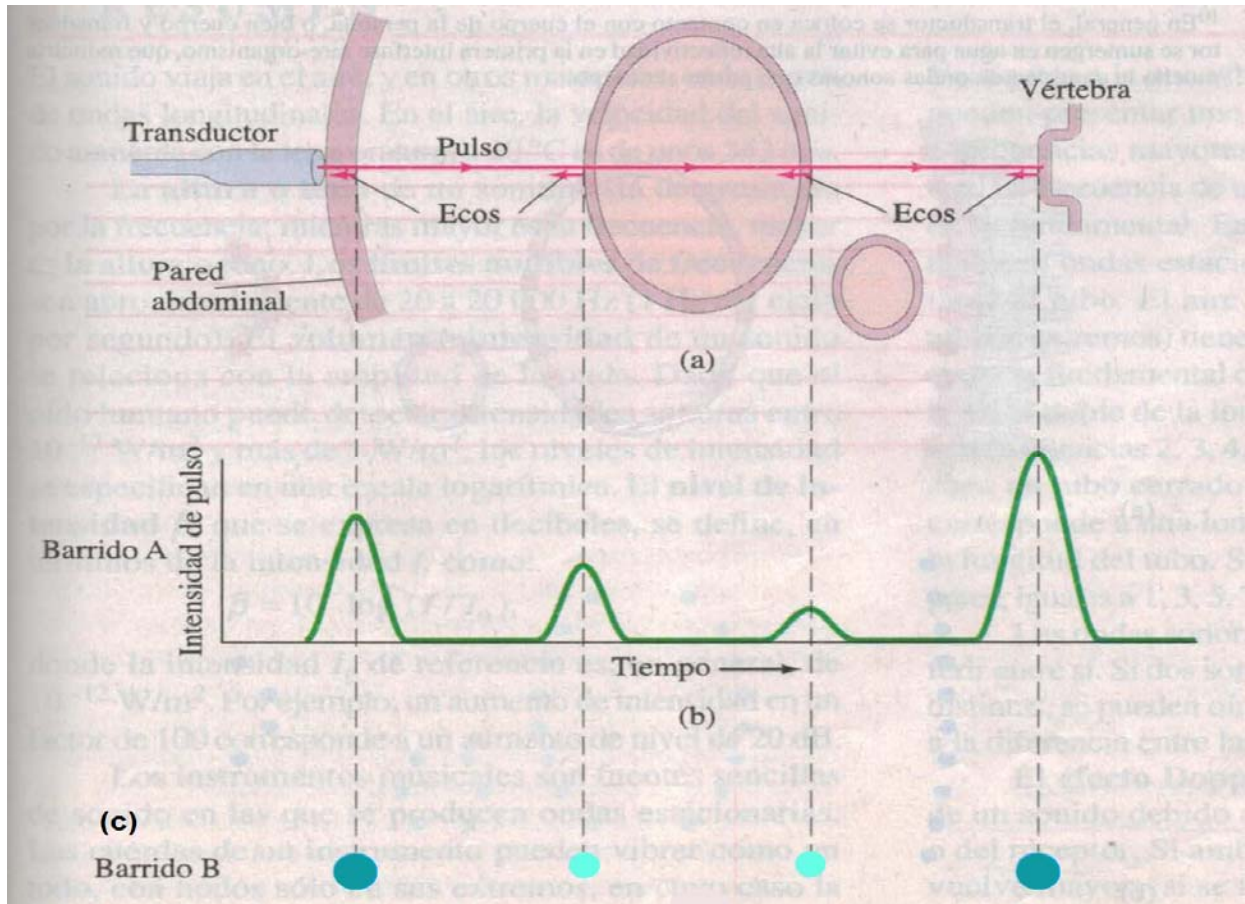
El circuito receptor puede determinar la amplitud de la onda sonora de retorno y el tiempo de transmisión total, ya que rastrea tanto cuando se transmite como cuando retorna. Conociendo el tiempo del recorrido se puede calcular la profundidad del tejido refractante usando la constante  $V$  de  $1540 \text{ m/s}$  como velocidad del sonido en el interior del cuerpo.

Por ejemplo: se desea conocer la distancia que existe entre el abdomen del cuerpo y la vértebra a través de un haz de onda de ultrasonido que es aplicado por un transductor sobre el cuerpo humano. El transductor emite un haz o pulso ultrasónico en un tiempo  $T_i = 0 \text{ seg}$  y recibe el eco en un tiempo  $T_f = 2 \times 10^{-4} \text{ seg}$  por lo que la distancia será:

$$d = (T_f - T_i) v = (0.0002 \text{ seg} - 0 \text{ seg}) 1540 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 0,308 \text{ m} = 30,8 \text{ cm}$$

También conociendo la profundidad del órgano o tejido del cuerpo que se desea observar o diagnosticar se puede calcular el tiempo transcurrido entre el pulso y el eco reflejado tomado por el transductor. Consideramos el ejemplo anterior, un pulso que pasa por el abdomen, parte de este pulso se refleja en diversas fronteras del cuerpo, el tiempo transcurrido entre la emisión del pulso y la recepción de su reflexión es proporcional a la distancia hasta la superficie reflectora, por ejemplo si la distancia del transductor a la vértebra es de  $30,8 \text{ cm}$  el pulso efectuará un viaje redondo de  $61,6 \text{ cm}$  ( $30,8 \text{ cm}$  de ida y  $30,8 \text{ cm}$  de vuelta), que le tomará un tiempo

$$T = \frac{d}{v} = \frac{0,616 \text{ m}}{1540 \text{ m/s}} = 4 \times 10^{-4} \text{ s} = 320 \mu\text{s}$$



Por otra parte la fracción de intensidad sonora reflejada cuando un haz de ultrasonido pasa de un medio a otro depende de las densidades y de las velocidades del sonido en ambos medios. Si consideramos que una onda sonora pasa de un medio de densidad  $\delta_1$  donde la velocidad del sonido es  $V_1$  a un segundo medio de densidad  $\delta_2$  donde su velocidad es  $V_2$ . La razón de la intensidad reflejada a la incidente cuando la onda se propaga perpendicularmente a la interfaz es:

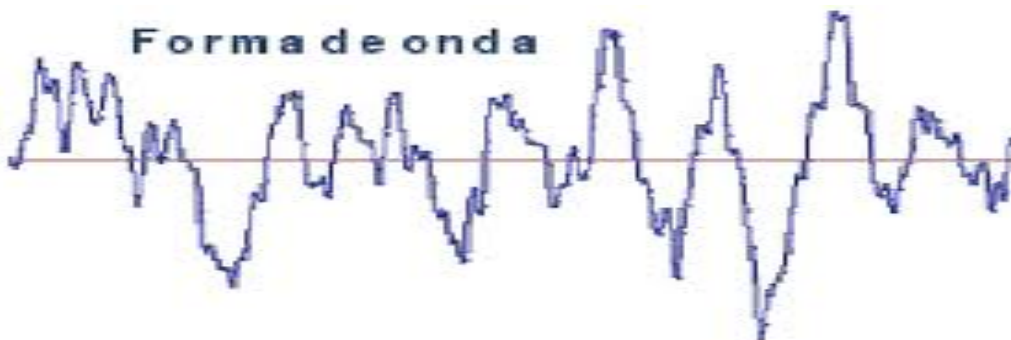
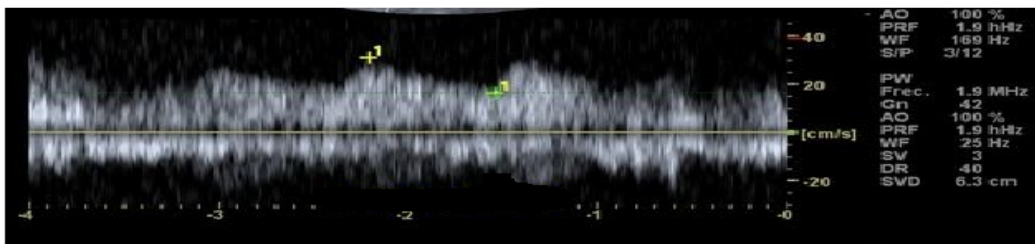
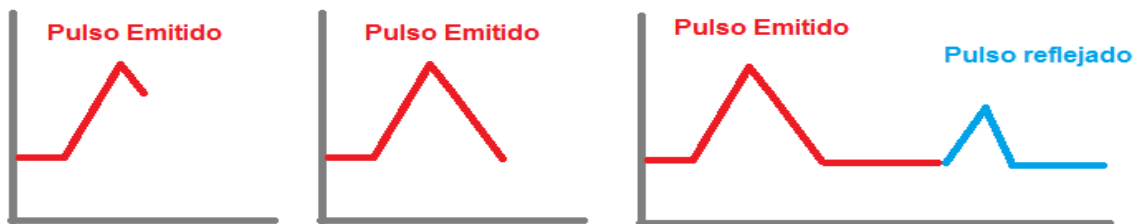
$$\frac{I_r}{I_i} = \left( \frac{\delta_1 V_1 - \delta_2 V_2}{\delta_1 V_1 + \delta_2 V_2} \right)^2$$

Como la velocidad del sonido no varía mucho para el caso de tejidos animales, la amplitud de la onda reflejada depende sobre todo de la diferencia de densidades. Es esta dependencia lo que causa reflexiones detectables en los límites aunque el cambio de densidad sea muy pequeño. Para demostrar esto podemos calcular la razón de las intensidades de las ondas reflejadas e incidente de un haz de onda de ultrasonido que pasa de un medio de una densidad de  $1070 \text{ kg/m}^3$  a un medio de una densidad de  $1030 \text{ kg/m}^3$  dentro del cuerpo humano donde la velocidad de propagación del sonido es igual en tejidos blandos, utilizando la ecuación anterior podemos estimar que las velocidades del sonido se anulan y resulta:

$$\frac{r_r}{R} = \left( \frac{\frac{1070 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} - 1030 \text{ kg/m}^3}{1070 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} + 1030 \text{ kg/m}^3} \right)^2 = 3,62 \times 10^{-4} \text{ S}$$

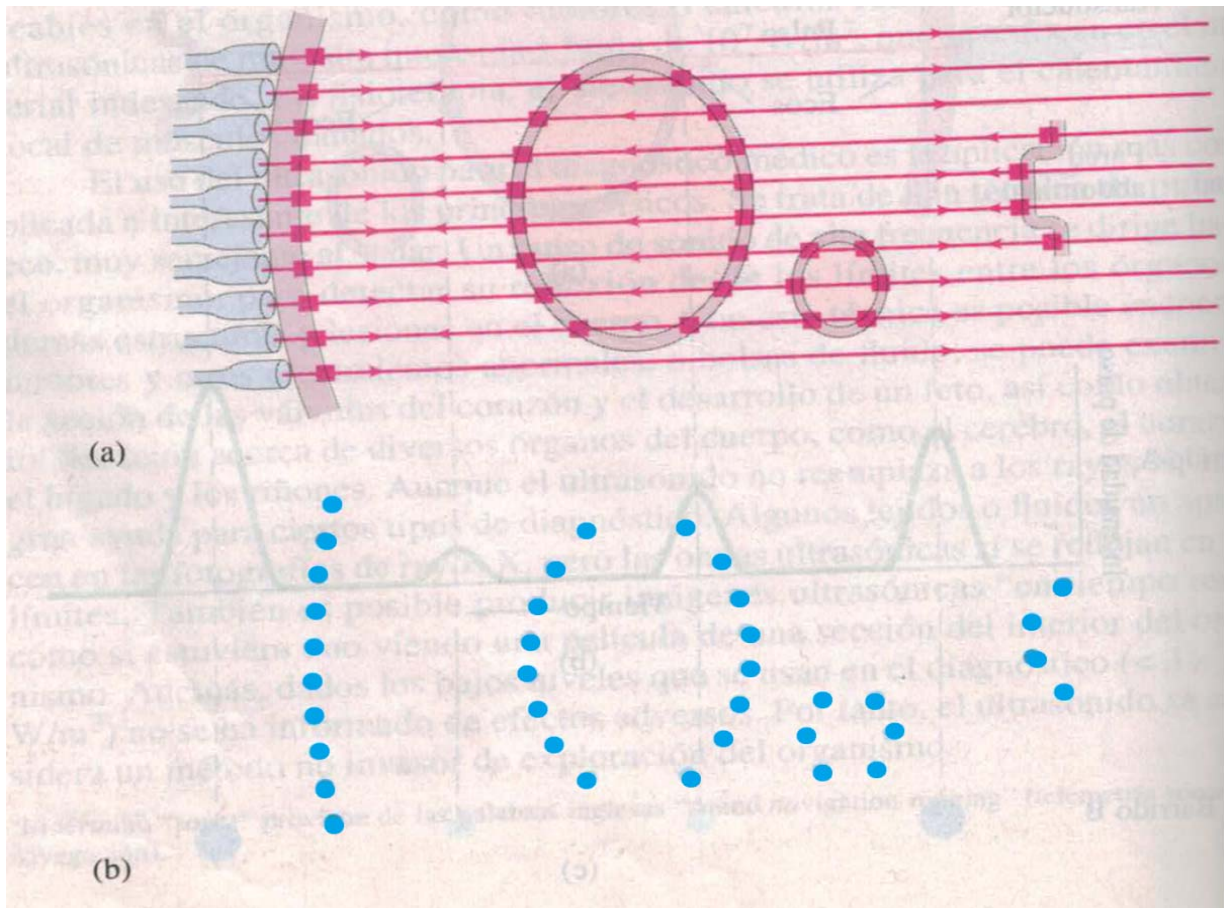
Aunque esta razón es muy pequeña, el sonido reflejado puede no obstante medirse. La parte de la onda que no se refleja sigue adelante y puede experimentar nuevas reflexiones al alcanzar otras superficies límite.

Existen distintitos tipos de barridos de los pulsos sonoros que se reflejan. Una gráfica como la de la figura anterior **parte (b)** se puede presentar directamente y se denomina barrido A o en modo A. Este utiliza la intensidad de la onda para representar el pulso reflejado en graficas como función del tiempo:



En la actualidad, es mucho más común el Barrido B, que se puede usar para imágenes bidimensionales de un corte transversal del cuerpo. En un barrido de modo B, cada eco se representa como un punto cuya posición está determinada por la demora y cuya luminosidad depende de la intensidad del eco. Se puede formar una imagen bidimensional con una serie de barridos B. el transductor se mueve y en cada posición emite un pulso y recibe su eco como se muestra en la siguiente figura.





Cada barrido B se puede graficar adecuando el espacio de sus vecinos para formar una imagen. Con más líneas se obtiene una imagen más precisa. Se puede obtener una imagen más rápida mediante un agrupamiento de transductores o rotando un solo transductor alrededor de un cierto punto de modo que “mire” en una secuencia de dimensiones distintas a través del cuerpo.

En la actualidad existen nuevos modos de realizar diagnostico con imágenes usando ultrasonido. Una de las técnicas más novedosas es la basada en ondas transmitidas, en lugar de reflejadas, mediante técnicas de tomografía asistida por computadora, que se hace normalmente con los rayos X. otras técnica desarrollada utiliza el efecto Doppler de los ecos ultrasónicos para medir velocidades dentro del organismo humano, como la del flujo de la sangre o la de las palpitations de un feto.

## CONCLUSIÓN

El uso del ultrasonido en medicina ha sido uno de los avances tecnológicos más grandes realizados en el diagnóstico por imagen. Estas técnicas permiten indagar en el interior del cuerpo humano para encontrar y estudiar posibles causas de enfermedades o patologías, sin necesitar de métodos invasivos o que sean dañinos para los tejidos de los órganos. El ultrasonido ha permitido conocer el desarrollo de fetos en el embarazo de numerosas especies de mamíferos y de esta manera

observar distintas características evolutivas compartidas por especies emparentadas. Las técnicas que utilizan esta tecnología son fundamentales para la investigación de los organismos vivos, ya que permite estudiar el funcionamiento de los órganos sin dañarlos ni agredirlos. Conocer los principios físicos que rigen el uso de estas técnicas nos permite entender cómo y por qué el ultrasonido es una herramienta fundamental en la investigación biológica y en el diagnóstico médico.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- Sears-Semansky 12° edición.
- Física. Principios con aplicaciones. Douglas C. Giancoli 4° edición.
- Serway 2° y 3° edición.
- Resnick, Halliday y Krane 5° edición.
- [www.wikipedia.org/](http://www.wikipedia.org/)
- Física para las ciencias de la vida. J.W. Kane y M.M. Sternheim 2° edición.
- [www.ojocientifico.com/](http://www.ojocientifico.com/)
- <http://www.image-learning.com.ar/>
- Física Biológica. Vicente H. Cicardo 2° edición.