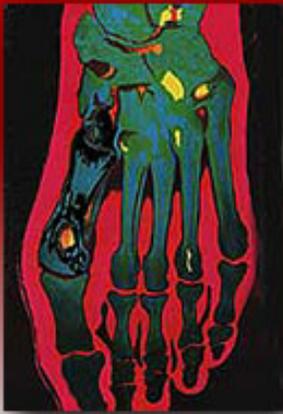


LA FÍSICA EN LA MEDICINA

Autor: MARÍA CRISTINA PIÑA BARBA

- [COMITÉ DE SELECCIÓN](#)
- [EDICIONES](#)
- [DEDICATORIA](#)
- [PREFACIO](#)
- [INTRODUCCIÓN](#)
- [I. SISTEMA ÓSEO](#)



© Fondo de Cultura Económica
Primera edición, 1987
Quinta reimpresión, 1996
Segunda edición, 1998
ISBN 968-16-5701-2
ISBN 968-16-2652-4
Impreso en México

- [II. SISTEMA MUSCULAR](#)
- [III. SISTEMA NERVIOSO](#)
- [IV. FÍSICA DEL SISTEMA CARDIOVASCULAR](#)
- [V. SONIDO EN MEDICINA](#)
- [VI. CALOR Y FRÍO EN MEDICINA](#)
- [VII. FLUIDOS](#)
- [VIII. LUZ EN MEDICINA](#)
- [IX. MEDICINA NUCLEAR.](#)
- [X. BIOMATERIALES](#)
- [BIBLIOGRAFÍA](#)
- [COLOFÓN](#)
- [CONTRAPORTADA](#)





COMITÉ DE SELECCIÓN

Dr. Antonio Alonso

Dr. Gerardo Cabañas

Dr. Juan Ramón de la Fuente

Dr. Jorge Flores Valdés

Dr. Leopoldo García-Colín Scherer

Dr. Tomás Garza

Dr. Gonzalo Halffter

Dr. Raúl Herrera

Dr. Jaime Martuscelli

Dr. Héctor Nava Jaimes

Dr. Manuel Peimbert

Dr. Juan José Rivaud

Dr. Julio Rubio Oca

Dr. José Sarukhán

Dr. Guillermo Soberón

Coordinadora

María del Carmen Farías

Indice

[Previo](#) [Siguiente](#)

la

ciencia /37

desde méxico

Primera edición, 1987

Quinta reimpresión, 1996

Segunda edición, 1998

La Ciencia desde México es proyecto y propiedad del Fondo de Cultura Económica, al que pertenecen también sus derechos. Se publica con los auspicios de la Subsecretaría de Educación Superior e Investigación Científica de la SEP y del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.

D.R. © 1987, FONDO DE CULTURA ECONÓMICA, S. A. DE C. V.

D.R. © 1998, FONDO DE CULTURA ECONÓMICA

Carretera Picacho-Ajusco 227; 14200 México, D.F.

ISBN 968-16-5701-2 (segunda edición)

ISBN 968-16-2652-4 (primera edición)

Impreso en México

Índice

[Anterior](#) [Previo](#) [Siguiente](#)

DEDICATORIA

A mi padre por su amor a la vida

A mi madre por su coraje y su valor

Indice

[Anterior](#) [Previo](#) [Siguiete](#)

PREFACIO

En septiembre de 1984 mi padre, el arqueólogo Román Piña Chan, sufrió un accidente cuando revisaba los trabajos de reconstrucción en la zona maya de Bekán en Campeche, a raíz de lo cual quedó parapléjico y vio su vida limitada a una silla de ruedas y a su cama. No obstante, siguió trabajando, dándonos día a día un ejemplo de amor a la vida.

En los meses que pasó en el hospital tuve la oportunidad de darme cuenta de las aplicaciones innumerables de la física en la medicina, tanto en instrumental como en equipo mecánico, electrónico, hidráulico, etcétera. Este pequeño libro está escrito con el fin de despertar el interés de los físicos por aplicar sus conocimientos al área médica, impulsando así la creación de una tecnología propia que tanta falta nos hace.

Indice |

[Anterior](#) | [Previo](#) | [Siguiete](#)

INTRODUCCIÓN

Por ser la física la ciencia encargada del estudio de los fenómenos que ocurren en la naturaleza, se puede aplicar a otras ramas del conocimiento humano, tales como la química, la ingeniería, la aeronáutica, etc.; en particular, la que ahora se conoce como física médica.

La física médica se divide en dos grandes ramas: la física de la fisiología, que es la que se ocupa de las funciones del cuerpo humano, y la instrumentación médica que es la física aplicada al desarrollo de instrumentos y aparatos médicos.

Al examinar a un paciente, curiosamente lo primero que el médico le aplica es un examen "físico", que consiste en medir el pulso, la temperatura, la presión, escuchar los sonidos del corazón y pulmones. Si recapacitamos un poco, nos podemos dar cuenta de que todas estas son medidas físicas.

La rama de la medicina conocida como "medicina física" se encarga de la diagnosis y el tratamiento de las enfermedades y lesiones por medio de agentes físicos, como son la manipulación, el masaje, el ejercicio, el calor, el frío, el agua, etcétera. La terapia física es el tratamiento por medios exclusivamente físicos.

A la física aplicada se le acostumbra dar el nombre de ingeniería, por lo que algunas veces, al aplicarse a la medicina se le llama ingeniería médica; este nombre es usado generalmente para la física aplicada a la instrumentación médica más que para la física de la fisiología.

Es importante entender cómo funciona el cuerpo humano, de esta forma podremos saber cuándo no está funcionando bien, por qué, y en el mejor de los casos podremos saber cómo corregir el daño.

Al tratar de entender un fenómeno físico, lo que hacemos es seleccionar los factores principales e ignorar aquellos que creemos menos importantes. La descripción será sólo parcialmente correcta pero esto es mejor que no tenerla.

Para entender los aspectos físicos del cuerpo humano frecuentemente recurrimos a las analogías, pero debemos tener en cuenta que las analogías nunca son perfectas, la situación real siempre es más compleja que la que podemos describir; por ejemplo, en muchas formas el ojo es análogo a una cámara fotográfica, sin embargo, la analogía es pobre cuando la película, que debe ser remplazada, se compara con la retina que es el detector de luz del ojo.

La mayor parte de las analogías usadas por los físicos emplean modelos, algunos de los cuales están relacionados con fenómenos no conectados con lo que se está estudiando, por ejemplo, un modelo del flujo eléctrico, el cual puede simular muchos fenómenos del sistema cardiovascular, pero no todos.

Los modelos también pueden ser matemáticos y ayudan en la descripción y predicción del comportamiento de algunos sistemas, por ejemplo, cuando escribimos:

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

donde **P** es la presión de un gas, **T** su temperatura, **V** su volumen y **nR** una constante, podemos deducir que al aumentar la temperatura del gas y manteniendo el volumen constante, su presión va a aumentar. Se dice entonces que la presión es función de la temperatura y el volumen, lo que puede expresarse como: **P=f(T, V)**.

En síntesis, para entender el funcionamiento del cuerpo humano, se recurre frecuentemente a las analogías y de ellas se obtienen modelos que ayudan a lograr nuestro objetivo.

En este libro se presenta a un nivel básico el funcionamiento de algunos órganos, sistemas y sentidos del cuerpo humano y la física relacionada con ellos; asimismo, se muestran algunas de las técnicas más usadas para el diagnóstico y el tratamiento de ciertas enfermedades. De ninguna manera se trata extensamente tema alguno, ya que sólo pretendemos motivar a quienes estudian física, medicina o ingeniería para que con su esfuerzo se pueda enriquecer esta rama fascinante del saber.

Indice |

[Anterior](#) [Previo](#) [Siguiete](#)

I. SISTEMA ÓSEO

ES COMÚN pensar en los huesos como una parte inerte del cuerpo y que una vez que alcanza su tamaño adulto, éstos ya no cambian. La realidad es otra: el hueso es un tejido vivo que, al igual que los otros tejidos del cuerpo, debe alimentarse para estar en buenas condiciones, de lo cual se encargan los osteocitos, que son células óseas distribuidas en el tejido óseo.

Por ser el hueso un tejido vivo, cambia en el tiempo. Al proceso continuo de destruir el tejido viejo y crear el nuevo se le llama remodelación. La *remodelación* ósea es llevada a cabo por los osteoclastos, que son las células encargadas de la destrucción del tejido viejo y los osteoblastos, que construyen el nuevo. La remodelación ósea es un trabajo muy lento, de forma tal que tenemos el equivalente de un nuevo esqueleto cada siete años aproximadamente.

Mientras el cuerpo es joven y crece, la principal actividad la tienen los osteoblastos, mientras que después de los cuarenta años los osteoclastos son los más activos; esto explica por qué las personas se achican a medida que envejecen. Estos procesos son graduales y lentos, excepto en los primeros años de vida en los que el crecimiento es muy rápido y después de los ochenta años en los que las personas decrecen rápidamente.

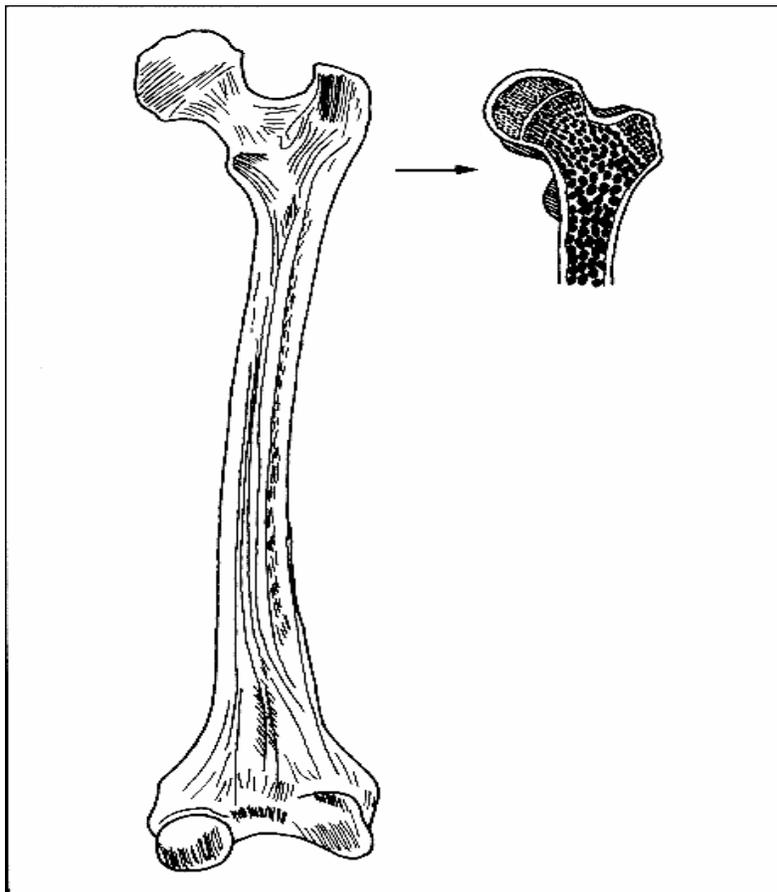


Figura 1. Se muestra el fémur y un corte transversal de la cabeza donde el tejido óseo es esponjoso, en el centro del fémur el tejido es compacto, así como en la superficie.

Los principales constituyentes del hueso son: **H(3.4%), C(15.5%), N(4.0%), O(44.0%), Mg(0.2%), P(10.2%), S(0.3%), Ca(22.2%)** y otros **(0.2%)**, que componen tanto el llamado colágeno óseo como el mineral óseo. El colágeno óseo es menos denso que el mineral óseo, desempeña el papel de pegamento del mineral óseo y es el que proporciona la elasticidad de los huesos. El mineral óseo parece estar formado de

hidroxiapatita de calcio: $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ en cristales cilíndricos con diámetros de 20 a 70 Å y longitudes de 50 a 100 Å ($1\text{Å} = 10^{-10}\text{m}$). Cuando el colágeno es removido del hueso, éste es tan frágil que se rompe con los dedos.

Si se corta por la mitad un hueso, puede verse que el tejido óseo se presenta en dos tipos diferentes: sólido o compacto y esponjoso o trabecular, como se ilustra en la figura 1.

El *tejido esponjoso* y el compacto no se diferencian en su constitución: químicamente son iguales; sólo se diferencian en su densidad volumétrica, es decir, una masa dada de tejido óseo esponjoso ocupa un mayor volumen que la misma masa formando tejido óseo compacto.

El *tejido compacto* se encuentra principalmente en la parte superficial de los huesos así como en la caña central de los huesos largos, mientras que el esponjoso se encuentra en los extremos de los huesos largos.

En el cuerpo humano, los huesos tienen seis funciones que cumplir y para las cuales están diseñados óptimamente; éstas son: soporte, locomoción, protección de órganos, almacén de componentes químicos, alimentación y transmisión del sonido.

La función de soporte es muy obvia en las piernas: los músculos se ligan a los huesos por tendones y ligamentos y el sistema de huesos y músculos soporta el cuerpo entero. La estructura de soporte puede verse afectada con la edad y la presencia de ciertas enfermedades.

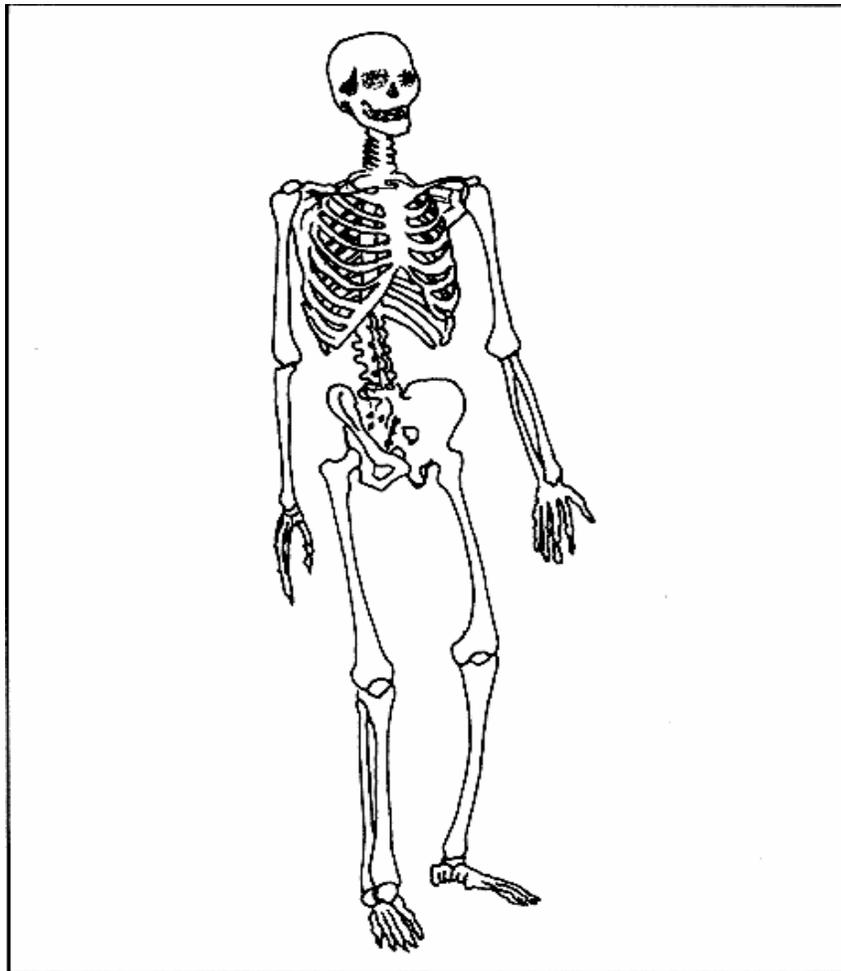


Figura 2. Esqueleto humano. Se puede ver que debido a las uniones de los huesos, éstos permiten además del soporte, la locomoción. El cráneo protege al cerebro, las costillas a los pulmones, la columna vertebral a la médula espinal.

Debido a que los huesos forman un soporte constituido por uniones de secciones rígidas, como se ve en la figura 2, puede llevarse a cabo la locomoción; si se tratara de una sola pieza rígida no habría posibilidad de movimiento. Es por esto que las articulaciones entre los huesos desempeñan un papel muy importante.

Las partes delicadas del cuerpo, como son el cerebro, la médula espinal, el corazón y los pulmones, deben ser protegidas de golpes que las puedan dañar; los huesos que constituyen el cráneo, la columna vertebral y las costillas cumplen esta función, como se observa en la figura 2.

Los huesos son el almacén para una gran cantidad de productos químicos necesarios en la alimentación del cuerpo humano.

Los dientes son huesos especializados que sirven para cortar (incisivos), rasgar (caninos) y moler (molares) los alimentos que ingerimos para suministrar al cuerpo los elementos necesarios.

Los huesos más pequeños del cuerpo humano son los que forman el oído medio, conocidos como martillo, yunque y estribo, y que transmiten el sonido convirtiendo las vibraciones del aire en vibraciones del líquido de la cóclea; estos son los únicos huesos del cuerpo que mantienen su tamaño desde el nacimiento.

Las vigas que forman la parte medular de un edificio son sometidas a pruebas mecánicas que determinan su resistencia ante las fuerzas a las que pueden estar sujetas, que se reducen a las de tensión, compresión y torsión. Estas mismas pruebas se utilizan para obtener la resistencia de los huesos, la cual no sólo depende del material con el que están constituidos sino de la forma que tienen. Para efectuar las pruebas de resistencia mecánica se usa una muestra de material en forma de I a la que se aplica la fuerza, como se muestra en la figura 3, durante un tiempo determinado, y luego se analiza la muestra para ver los efectos causados. Se ha encontrado que cuando la fuerza se aplica en una dirección arbitraria, con un cilindro hueco se obtiene el máximo esfuerzo ocupando una mínima cantidad de material y es casi tan fuerte como un cilindro sólido del mismo material. Si hablamos en particular del fémur, como las fuerzas que soporta pueden llegar en cualquier dirección, la forma de cilindro hueco en la cabeza y sólido en el centro del hueso es la más efectiva para soportarlas.

Para ilustrar lo dicho, haga una prueba: tome un popote y aplique una fuerza de compresión en los extremos, el popote se doblará cerca del centro y no en los extremos. Si ahora lo rellena en la parte central en forma compacta, la fuerza necesaria para doblarlo deberá ser mucho mayor.

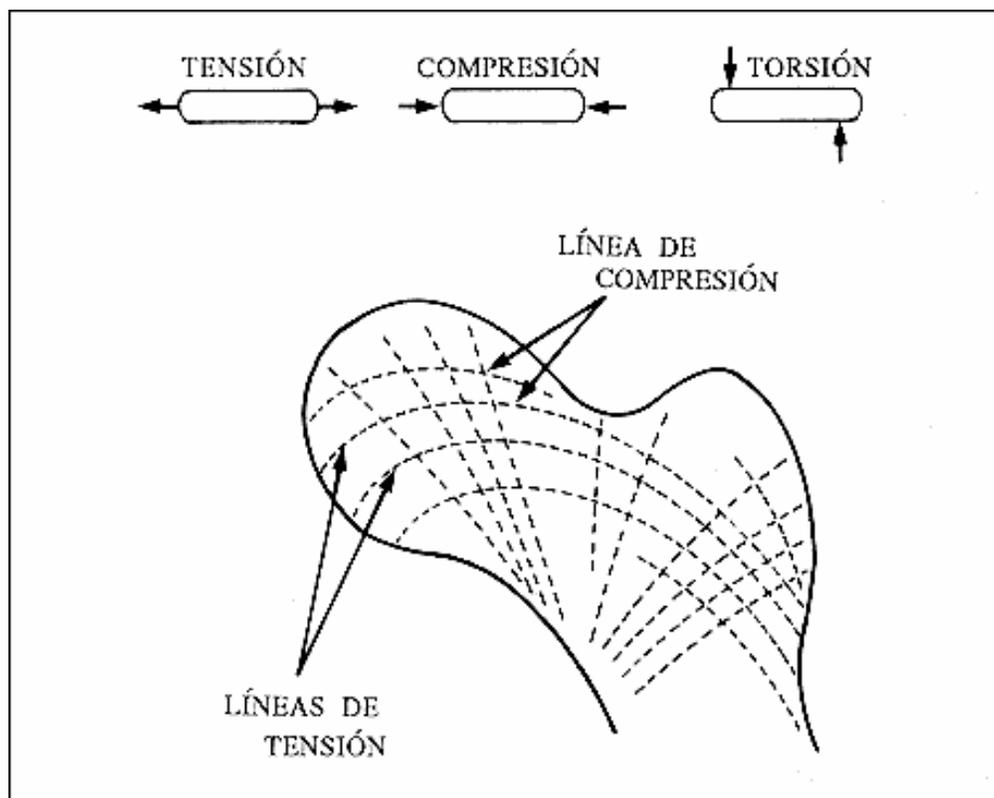


Figura 3. Las pruebas de resistencia mecánica a las que se someten los huesos son las de tensión, compresión y torsión que se ilustran aquí. En la cabeza del fémur se forman líneas de tensión y de compresión debido al peso que soporta.

Además, el diseño trabecular en los extremos del hueso no es azaroso: está optimizado para las fuerzas a las que se somete el hueso. En la figura 3 se muestran las líneas de fuerza de tensión y compresión en la cabeza y el cuello del fémur debidas al peso que soporta.

El hueso está compuesto de pequeños cristales minerales de hueso duro atados a una matriz de colágeno flexible. Estos componentes tienen propiedades mecánicas diferentes, sin embargo, la combinación produce un material fuerte como el granito en compresión y 25 veces más fuerte que el granito bajo tensión.

CUADRO 1. Fortaleza del hueso y otros materiales comunes

<i>Material</i>	<i>Esfuerzo de compresión para rompimiento</i>	<i>Esfuerzo de tensión para rompimiento</i>	<i>Módulo de Young de elasticidad</i>
	(N/mm ²)	(N/mm ²)	(x 10 ² N/mm ²)
Acero duro	552	827	2070
Granito	145	4.8	517
Concreto	21	2.1	165
Roble	59	117	110
Porcelana	552	55	–
Hueso compacto	170	120	179
Hueso trabecular	2.2	–	0.76

Como puede observarse del cuadro 1, es difícil que un hueso se rompa por una fuerza de compresión, en

general se rompe por una fuerza combinada de torsión y compresión, pero con el siguiente ejemplo es fácil ver que el diseño del cuerpo humano con dificultad puede ser superado:

Si una persona brinca o cae de una altura y aterriza sobre sus pies, hace un gran esfuerzo sobre los huesos largos de sus piernas. El hueso más vulnerable es la tibia y el esfuerzo sobre este hueso es mayor en el punto donde el área transversal es mínima: precisamente sobre el tobillo. La tibia se fractura si una fuerza de compresión de más de 50 000 N se aplica. Si la persona aterriza sobre ambos pies la fuerza máxima que puede tolerar es 2 veces este valor, es decir, 100 000 N, que corresponde a 130 veces el peso de una persona de 75 kg de peso.

La fuerza ejercida sobre los huesos de las piernas es igual a la masa del sujeto multiplicada por la aceleración: $F = ma$

Si la persona cae de una altura H , partiendo del reposo, alcanza al tocar el suelo una velocidad de:

$$v = \sqrt{2gH}$$

De la mecánica, sabemos que la aceleración promedio a necesaria para parar un objeto que se mueve con una velocidad v en una distancia h es:

$$a = \frac{v^2}{2h}$$

sustituyendo el valor de v^2 se obtiene:

$$a = \frac{2gH}{2h} = g \frac{H}{h}$$

de modo que la fuerza que se ejerce para que la persona se detenga en el suelo es:

$$F = Ma = Mg \frac{H}{h} = w \frac{H}{h}$$

w es el peso de la persona

$\frac{H}{h}$

es la razón de la altura desde la cual cae la persona y la distancia en la que se detiene.

Si la persona que cae no dobla sus tobillos ni sus rodillas, h será del orden de 1 cm. Si F no es mayor que $130w$ (130 veces su peso), la altura máxima de caída será:

$$H = \frac{Fh}{w} = \frac{(130w)h}{w} = 130(0.01) = 1.3\text{m}$$

de modo que si cae de una altura de 1.3 m sin doblarse puede resultar fractura de la tibia.

Si se doblan las rodillas durante el aterrizaje, la distancia h en la que se desacelera el cuerpo alcanzando una aceleración cero puede aumentar 60 veces, de manera que la altura desde la que se puede efectuar el salto es $H = 60 \times 1.3 \text{ m} = 78 \text{ m}$; en este caso la fuerza de desaceleración se ejerce casi enteramente por los tendones y ligamentos en vez de los huesos largos, estos músculos son capaces de resistir sólo aproximadamente $1/20$ de la fuerza necesaria para la fractura de los huesos, de modo que la altura de $H = 4 \text{ m}$ es la máxima segura, siempre y cuando se doblen las rodillas y tobillos.

Los huesos son menos fuertes bajo tensión que bajo compresión: una fuerza de tensión de 120 N/mm^2 puede causar la rotura de un hueso, así como puede causarla una fuerza de torsión, y estas roturas son diferentes.

Cuando un cuerpo se fractura, puede repararse rápidamente si la región fracturada se inmoviliza. Un largo periodo de confinamiento en cama en general es debilitador para el paciente, por lo que es importante que éste se ponga en movimiento tan pronto como sea posible.

No se conoce con detalle el proceso de crecimiento y reparación de huesos, sin embargo, existe evidencia de que campos eléctricos locales desempeñan un papel importante. Cuando el hueso es esforzado se genera una carga eléctrica en su superficie. Experimentos con fracturas óseas de animales muestran que se reparan más rápido si se aplica un potencial eléctrico a través de la fractura, este proceso usado en humanos ha tenido éxito.

En algunos casos, es necesario usar clavos, alambres y prótesis metálicas más complicadas ya sea para unir huesos o para sustituirlos.

[Indice](#)

[Anterior](#) [Previo](#)



II. SISTEMA MUSCULAR

UNA propiedad muy general de la materia viviente es la habilidad para alterar su tamaño o medida por contracción o expansión de una zona determinada del organismo. En el cuerpo humano existen grupos de células especializadas en contraerse o relajarse sin que tenga que cambiar su posición ni su forma; ciertos grupos celulares se contraen y se relajan bombeando líquidos, como es el caso del corazón; otros fuerzan la comida a través del tracto digestivo; etc.; los agregados de estas células especializadas se llaman *tejidos musculares* o simplemente *músculos*. Un grupo de ellos tiene asignado como trabajo el llevar a cabo la locomoción.

Los músculos son transductores (es decir, traductores) que convierten la energía química en energía eléctrica, energía térmica y/o energía mecánica útil. Aparecen en diferentes formas y tamaños, difieren en las fuerzas que pueden ejercer y en la velocidad de su acción; además, sus propiedades cambian con la edad de la persona, su medio ambiente y la actividad que desarrolla. Desde el punto de vista anatómico se pueden clasificar de muchas maneras, dependiendo de su función, innervación, localización en el cuerpo, etc. Quizá la clasificación histológica es la más sencilla y clara, y distingue dos clases de músculos: lisos y estriados. Los estriados, vistos al microscopio, parecen alternar bandas oscuras y claras distribuidas en forma regular; las fibras son largas. Los lisos consisten de fibras cortas que no presentan estrías.

El estudio de los músculos desde el punto de vista físico abarca muchos campos. Aquí trataremos el problema de la locomoción, que corresponde a los músculos estriados, los cuales tienen, en los extremos, sus fibras atadas por tendones que los unen a los huesos, por lo que se conocen como *músculos del esqueleto*.

Hablar de locomoción es hablar de movimiento, es decir, de mecánica. Lo primero que haremos será distinguir entre un cuerpo en movimiento y otro inmóvil. Un cuerpo inmóvil no cambia de lugar al transcurrir el tiempo, mientras que uno en movimiento sí lo hace. Podemos pensar que un cuerpo inmóvil está en equilibrio, pero ¿qué es el equilibrio? Cuando hablamos de equilibrio en física, lo que estamos diciendo es que no hay fuerza neta actuando sobre el cuerpo, lo que implica que puede estar en movimiento y su velocidad ser constante; si la velocidad es cero, el cuerpo estará inmóvil.

La fuerza neta es cero cuando la suma de las fuerzas que actúan sobre el cuerpo es cero, lo que se representa como: $\sum \mathbf{F} = \mathbf{0}$. \mathbf{F} representa a cada una de las fuerzas que actúan sobre el cuerpo y tiene carácter vectorial, es decir, posee magnitud, dirección y sentido; en estas tres particularidades deben sumarse las fuerzas.

Para saber si un cuerpo está o no en equilibrio, podemos hacer una representación gráfica de las fuerzas que actúan sobre él; por ejemplo, consideremos que las fuerzas que están actuando sobre el cuerpo están dadas por: F_1 , F_2 , F_3 y F_4 como se muestra en la figura 4, donde el tamaño de cada una es proporcional a su longitud, la dirección y el sentido están representados por la punta de la flecha. Para sumarlas gráficamente las dibujamos de manera consecutiva, de modo que se forma un polígono; si éste es cerrado, entonces la suma de las fuerzas es cero y el cuerpo está en equilibrio; si el polígono no es una figura cerrada, habrá una fuerza neta actuando sobre el cuerpo.

Hay un caso que debe ser considerado: si las fuerzas que actúan sobre el cuerpo tienen la misma magnitud y dirección pero sentidos contrarios, la suma vectorial es cero; sin embargo, el cuerpo estará en equilibrio sólo si están aplicadas sobre la misma línea, de otra forma se produce un giro en el cuerpo. Si esto ocurre, decimos que la fuerza (cada una) produce una torca τ en el cuerpo dada por: $\tau = F \cdot r \cdot \sin \theta$, donde F es la magnitud de la fuerza, r la distancia del centro de giro del cuerpo al punto de aplicación de la fuerza y θ es el ángulo que forman r y F .

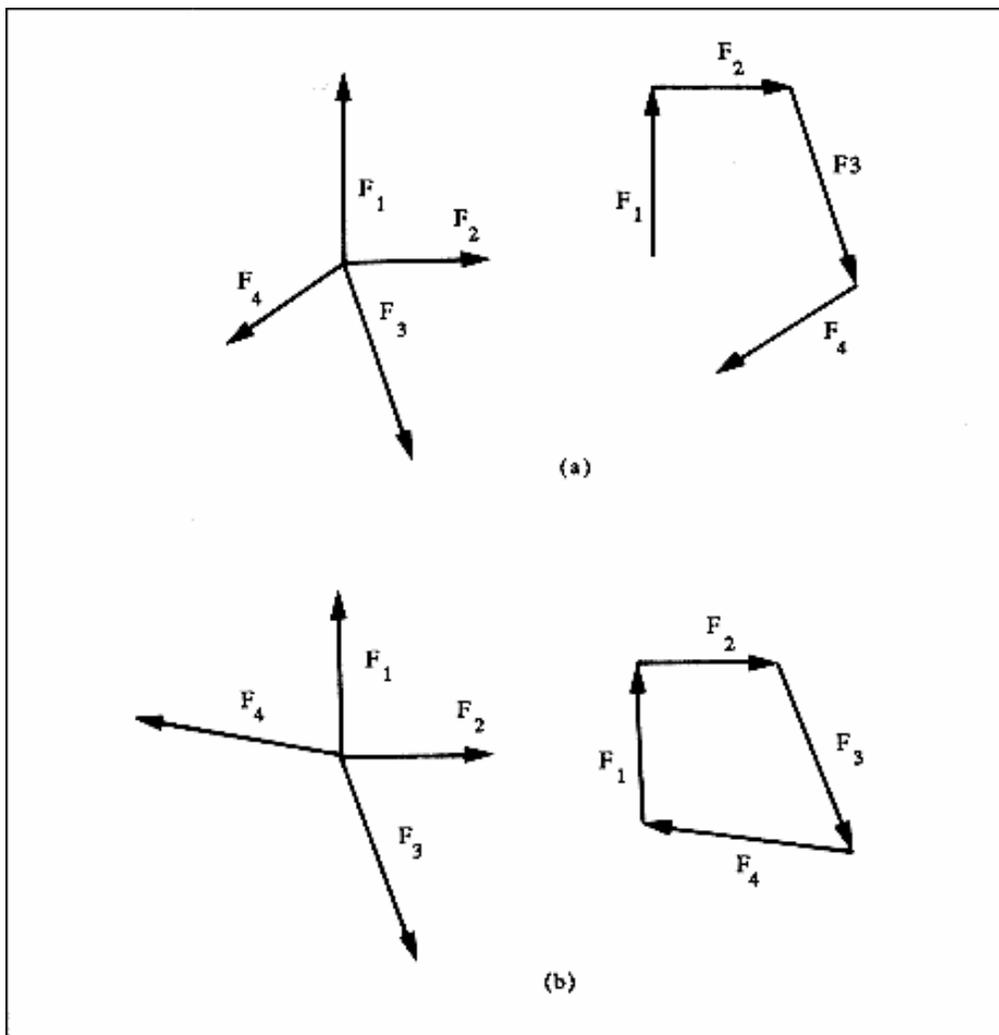


Figura 4. (a) Cuatro vectores de fuerza actuando sobre un objeto, cuya suma por el método gráfico resulta ser diferente del cero, provocan que el cuerpo no esté en equilibrio. (b) Cuatro vectores actuando sobre un cuerpo, cuya suma es cero, provocan que el cuerpo esté en equilibrio.

Por lo anterior, para garantizar que el cuerpo esté en equilibrio, se deben cumplir simultáneamente dos condiciones: que la suma de las fuerzas actuando sobre él sea cero y que la suma de las torcas sea cero, es decir: $\sum F = 0$ y $\sum \tau = 0$. Lo primero garantiza que no hay movimiento de translación, y lo segundo que no hay giro o rotación.

Una aplicación de lo anterior, en medicina, es la inmovilización de huesos rotos, o en sistemas de tracción como el de Russell, que se aplica en caso de fractura de fémur.

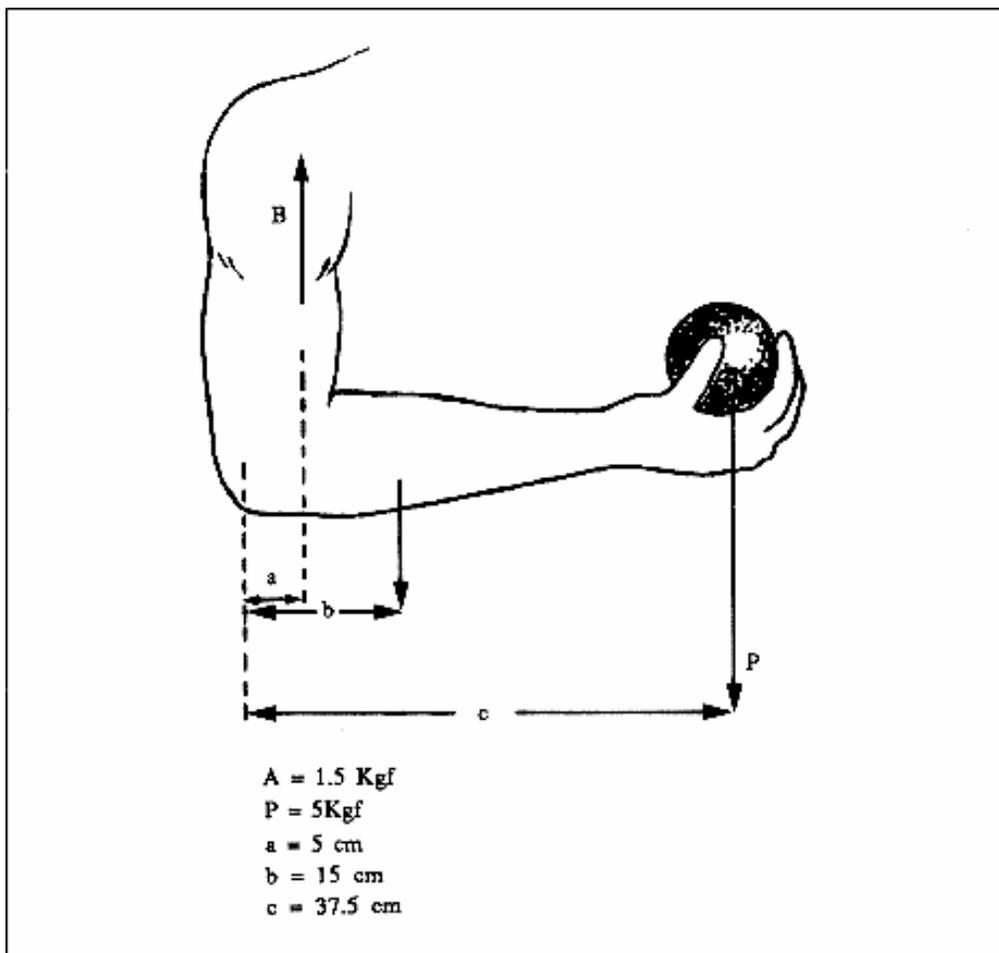


Figura 5. Fuerzas producidas en el antebrazo al sostener un peso P.

Otra aplicación de las condiciones de equilibrio se da en cálculo de la fuerza ejercida por los músculos, como el bíceps mostrado en la figura 5, donde se conoce el peso del antebrazo $A=1.5 \text{ kgf}$ y el peso que sostiene $W=5 \text{ kgf}$. Aplicando la condición de equilibrio: $\sum \tau = 0$ y considerando que el centro de giro sería la articulación del codo, se tiene:

$$W (37.5) + A (15) - B (5) = 0$$

$$187.5 + 22.5 = 5B$$

$$B = 42 \text{ Kgf}$$

por lo que: $B = 42 \text{ Kgf}$

que es la fuerza ejercida por el bíceps. Es frecuente que los músculos ejerzan fuerzas mucho mayores que las cargas que sostienen.

Otro concepto importante, si queremos describir el movimiento del cuerpo, es el de centro de gravedad. Éste coincide con el centro geométrico si el cuerpo es perfectamente simétrico y su masa está uniformemente distribuida; en estos casos es fácil calcularlo. De otra forma, lo más fácil es localizarlo experimentalmente, para lo cual basta suspender el cuerpo de tantos puntos como dimensiones tenga, y trazar una línea vertical cada vez; en el punto donde se intersectan estas líneas se encuentra el centro de gravedad.

El concepto de centro de gravedad es útil en terapia física ya que un cuerpo apoyado sobre su centro de gravedad se encuentra en equilibrio y no cambia su posición a menos que actúe una fuerza sobre él. Una persona que está de pie tiene su centro de gravedad en la región pélvica, pero si se dobla hacia delante la

localización del centro de gravedad variará, haciendo que la persona gire.

Cuando una persona carga un cuerpo pesado, tiende a moverse en el sentido opuesto al que se encuentra el objeto, para equilibrar el centro de gravedad de los dos juntos: así evita caer.

Cuando varias fuerzas actúan sobre el cuerpo, una forma de simplificar el problema de su movimiento es considerar que todas se aplican en un solo punto, el centro de masa del cuerpo, que puede estar localizado dentro o fuera de éste. El centro de masa es un punto donde teóricamente se concentra toda la masa del cuerpo y está localizado en un punto espacial que nos permite describir el movimiento del cuerpo; por ejemplo, una llanta de coche que rodamos sobre una línea recta: su centro de masa estaría ubicado en el centro, a pesar de no haber masa ahí; dicho punto se mueve en línea recta permitiéndonos describir el movimiento de la llanta del modo más simple posible.

En física consideramos tres casos de equilibrio: estable, inestable e indiferente. El estable es aquél que tiene un cuerpo que al moverse tiende siempre a regresar a su posición original, como sería el caso del péndulo de un reloj: siempre tiende a volver a la posición vertical. El inestable corresponde a aquellos cuerpos que al moverse fuera de su posición de equilibrio no regresan a ella; un ejemplo sería el de un plato sobre un lápiz (malabarismo). El equilibrio indiferente es el de aquellos cuerpos que se mueven de su posición de equilibrio y regresan a la condición de equilibrio en cualquier otra posición, por ejemplo, un hombre que camina, cada vez que se detiene está en equilibrio. El equilibrio es importante para todos los seres vivos, está relacionado con la estabilidad y, en el caso del ser humano, el problema se complica más de lo que puede suponerse porque no se refiere únicamente a la estabilidad física sino también a la estabilidad emocional, acarreando graves consecuencias que generalmente abarcan todo el medio ambiente de la persona, con las consecuencias que esto acarrea.

Cuando un músculo es estimulado, se contrae. Si el músculo se mantiene con longitud constante desarrolla una fuerza, mientras que si mueve un peso se contrae y hace trabajo. Las dos situaciones más simples para estudiar son a) longitud constante (isométrica) y b) fuerza constante (isotónica).

Si el músculo es estimulado por medio de corrientes eléctricas, impulsos mecánicos, calor, frío, etc., ocurre una serie de contracciones, separadas por relajamientos entre cada estímulo. Si los estímulos se repiten antes de que ocurra la relajación, la contracción se mantiene estacionaria; esto se conoce como tétano. Eventualmente todos los músculos sufren de fatiga y su contracción falla cuando haya un estímulo presente.

Es necesario decir que sólo las contracciones isotónicas realizan trabajo. Los músculos estriados en general pueden desarrollar grandes fuerzas para una carga dada, como lo vimos anteriormente, en particular los músculos esqueléticos desarrollan fuerzas mayores que las cargas que soportan; sin embargo, las cargas pueden moverse mucho más de lo que se contrae el músculo.

Cuando un músculo está trabajando produce cierta cantidad de calor debida a la conversión de energía química en trabajo mecánico. Experimentalmente esto se mide a través del aumento en la temperatura del cuerpo. Por lo anterior, una persona que tiene una gran energía puede desarrollar una gran cantidad de trabajo; para tener una gran energía se debe comer bien, ya que la energía química almacenada en los alimentos puede ser completamente transferida al organismo.

La energía de un cuerpo es la capacidad que tiene para desarrollar un trabajo. Desde el punto de vista de la física, existen varias formas de energía: mecánica, química, eléctrica, magnética, etc.; sin embargo, pueden transformarse de una a otra en un sistema como el del organismo humano, por ejemplo. En un sistema aislado (aquél que no tiene interacción con sus alrededores), la energía se transforma sin que exista ninguna pérdida o ganancia en la cantidad total inicial; es por ello que se dice que la energía se conserva. Éste es, quizá, el principio más importante de la física.

Cuando se aplica una fuerza \mathbf{F} a un cuerpo de modo que lo desplace una distancia \mathbf{S} , se dice que la fuerza ha desarrollado un trabajo dado por: $W = \mathbf{F} \cdot \mathbf{S} \cdot \cos \theta$ donde θ es el ángulo que hace la fuerza \mathbf{F} con la

línea de desplazamiento del cuerpo. Si el cuerpo se mueve en la misma línea en la que se aplica la fuerza, se tiene que el trabajo total realizado es: $W = F \cdot S$, medido en **N.m** (Newtons por metro) o **J** (Joules).

Si a un cuerpo, inicialmente en reposo, se le aplica una fuerza constante, es decir una aceleración constante, ya que la fuerza está dada por el producto de la masa del cuerpo por la aceleración que se le imprime: $F = m \cdot a$; al transcurrir un tiempo t habrá recorrido una distancia

dada por $a \cdot \frac{t^2}{2}$ de modo que el trabajo estará dado por:

$$W = F \cdot S = (m \cdot a) \cdot \left(a \cdot \frac{t^2}{2} \right) = \left(\frac{1}{2} \right) m \cdot (a \cdot t)^2 = \left(\frac{1}{2} \right) m \cdot v^2$$

ya que la velocidad se encuentra como $v = a \cdot t$. A esta cantidad se le conoce como *energía cinética* del cuerpo, la cual claramente es igual al trabajo desarrollado por él.

La cantidad de trabajo desarrollado por los músculos y las piernas de un corredor está dado por:

$$W = F \cdot S = \left(\frac{1}{2} \right) m \cdot v^2$$

donde **F** es la fuerza muscular, **S** la distancia recorrida en cada zancada del corredor y **m** la masa de la pierna. De medidas hechas se sabe que la fuerza es proporcional al cuadrado de la longitud de la pierna, L^2 , la distancia es proporcional a **L** y la masa es proporcional a L^3 de modo que:

$$v^2 = 2 \cdot F \cdot \frac{S}{m} = \text{cte.} \cdot L^2 \cdot \frac{L}{L^3} = \text{cte.}$$

este es un resultado interesante ya que nos dice que la velocidad que puede desarrollar un corredor es independiente de su tamaño.

Al caer de una altura h , un cuerpo está sujeto a la acción de la gravedad y adquiere una velocidad que depende de la constante gravitacional g : $v = \sqrt{2gh}$, al sustituirla en la ecuación para la energía cinética se tiene:

$$E_c = 2 \cdot \frac{mgh}{2} = mgh$$

que es la energía que tenía almacenada el cuerpo a la altura h , antes de iniciar su caída, y se la conoce como **energía potencial** del cuerpo.

Muchos de los músculos y huesos del cuerpo actúan como palancas, las cuales se clasifican en tres clases. Las palancas de la primera clase son aquellas en las que el punto de apoyo se encuentra entre el punto de aplicación de la fuerza (en este caso de la fuerza muscular) y el punto de aplicación del peso que se quiere mover; esta clase de palancas son las que menos se presentan en la realidad. Las de segunda clase son aquellas en las que el peso se encuentra entre el punto de apoyo y la fuerza muscular; mientras que en las de tercera clase, que son las más frecuentes, el punto de aplicación de la fuerza muscular se encuentra entre los puntos de aplicación del peso y del apoyo (esto se ilustra en la Figura 6).

Es frecuente que después de cargar un objeto pesado, se sufra de dolor en la parte baja de la espalda, en la región lumbar, lo que se debe a la mala posición que se adopta para levantar el peso. Se han hecho medidas de la presión en los discos que separan las vértebras usando un transductor calibrado conectado a una aguja hueca que se inserta en el centro gelatinoso de un disco intervertebral para un adulto que carga un peso adoptando diferentes posiciones: la posición erecta que adopta la persona sin carga extra provoca

una presión en el disco lumbar de aproximadamente 5 atmósferas; si la carga es de aproximadamente 20 kg, distribuida en igual forma en cada mano a los lados del cuerpo, la presión alcanza las 7 atmósferas una vez que la persona está erecta. Al momento de levantar la carga, si la persona *dobla* las rodillas, la presión alcanzará 12 atmósferas, mientras que si no las dobla puede llegar hasta 35 atmósferas (1 atm es la presión ejercida por la atmósfera terrestre al nivel del mar), por lo que es conveniente doblar las rodillas cada vez que se cargue un peso.

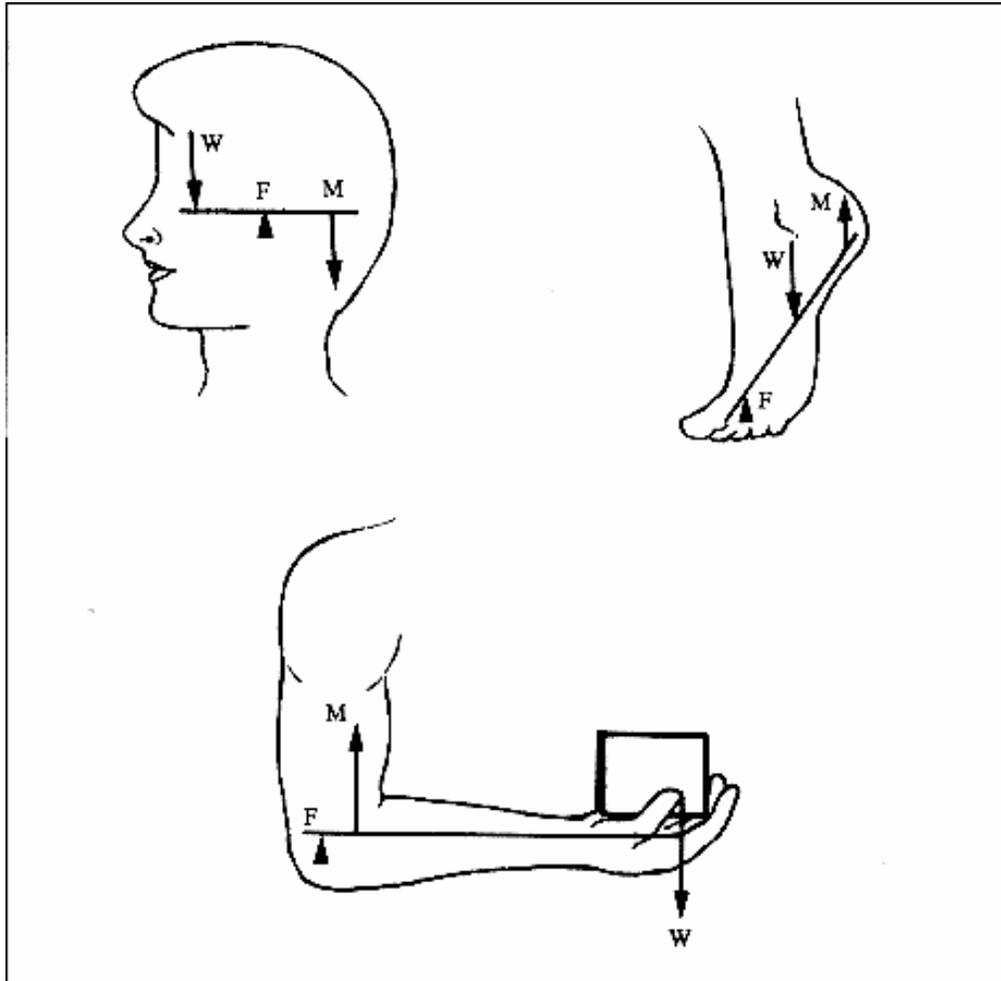


Figura 6. Las tres clases de palancas que se producen en el cuerpo humano. W es una fuerza que puede ser el peso, M es la fuerza muscular y F la fuerza de reacción.

[Indice](#)

[Anterior](#) [Previo](#) [Siguiete](#)

III. SISTEMA NERVIOSO

PARA poder entender parte del funcionamiento del sistema nervioso es necesario tener claros algunos conceptos de electricidad, ya que la información que recibimos del exterior por medio de los órganos de los sentidos se transmiten al cerebro por pulsos eléctricos que ahí son procesados y luego la respuesta del cerebro, que puede ser inmediata, mediata o de largo plazo (en cuyo caso la información es almacenada en la memoria para ser usada cuando así se requiera), es mandada también por pulsos eléctricos que se transmiten a través de las neuronas o células constitutivas del sistema nervioso.

Comenzaremos por recordar que en la naturaleza existen dos tipos de cargas eléctricas, la positiva (+) y la negativa (-). Los átomos que conforman la materia están formados por un núcleo constituido por protones que tienen carga positiva y neutrones que son partículas sin carga; el núcleo está rodeado de electrones que son partículas elementales con carga negativa. De manera que si sumamos las cargas negativas más las positivas el resultado nos dirá si es un átomo estable, cuando la suma de las cargas es cero; un ion positivo si la suma es mayor que cero, o un ion negativo si la suma es menor que cero.

Las cargas eléctricas, por el simple hecho de existir, ejercen entre sí una fuerza, la cual está dada por la ley de Coulomb:

$$F_E = \frac{kqQ}{r^2}$$

F_E es la magnitud de la fuerza eléctrica que se mide en newtons (N), k es una constante de proporcionalidad, q y Q son las cargas consideradas medidas en Coulomb (C) y r es la distancia que las separa medida en metros (m), de modo que si consideramos dos cargas del 1 C cada una, separadas 1 m, la fuerza que siente cada una por la presencia de la otra es de 1N. Si las cargas son del mismo signo, la F_E será positiva, ya que $(-)(-) = (+)(+) = +$, y las cargas se repelerán, mientras que si son de signos contrarios F_E resultará negativa, $(+)(-) = (-)(+) = -$, y las cargas se verán atraídas entre sí.

Como puede observarse en la expresión para F_E , ésta se encuentra presente sin importar la distancia que separa a las cargas q y Q y sin importar el medio que las rodee; es la misma en el vacío que en el aire o en cualquier otro medio, y está aplicada a lo largo de la línea que une las cargas q y Q .

Si la distancia que separa a q de Q es muy grande, F_E será pequeña; a medida que la distancia decrece F_E será mayor.

Puede decirse que la carga q siente una fuerza F_E que la acerca o la aleja de Q (dependiendo de si son de signos contrarios o iguales), debido al campo eléctrico E generado por Q , el cual se encuentra presente en todo el espacio siempre que Q exista. El campo eléctrico generado por Q se expresa como:

$$E = \frac{F_E}{q} = \frac{kQ}{r^2}$$

La magnitud de E depende únicamente de la magnitud de Q y de la distancia r a la que se encuentra q, sus unidades son N/C

Una cantidad importante, que también depende del valor de Q , es el potencial eléctrico:

$$\phi = rE = \frac{kQ}{r}$$

sus unidades son $\text{N}\cdot\text{m}/\text{C}$ llamadas volts = V. Si se considera una carga Q a cada punto del espacio se le puede asociar un valor para ϕ que nos dice la cantidad de trabajo que se requiere para mover una carga positiva unitaria ($1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$) desde el infinito (una distancia muy grande) hasta el punto que está a la distancia r de Q .

Si conocemos el potencial eléctrico de Q en dos puntos del espacio separados r_1 y r_2 respectivamente ϕ_1 y ϕ_2 entonces la diferencia entre ellos se conoce como diferencia de potencial o voltaje entre esos puntos:

$$\phi_1 - \phi_2 = \Delta\phi = V$$

sus unidades también son volts.

Si en un lugar del espacio hay una carga positiva y en otro hay una carga negativa separadas por una distancia d , se genera una diferencia de potencial o voltaje V . Si las cargas se acumulan en placas metálicas, por ejemplo, a la placa donde se acumula la carga se le conoce como electrodo. Al electrodo positivo se le llama ánodo mientras al negativo se le llama cátodo.

El sistema nervioso es la parte más complicada del cuerpo humano, su funcionamiento aún no se conoce completamente, sin embargo, ya se sabe que de él depende la mayor parte del trabajo del cuerpo. *El sistema nervioso* puede ser dividido en dos partes: el *central* (SNC) Y el *periférico* (SNP), por sus características anatómicas.

El sistema nervioso central está compuesto por el cerebro, cerebelo, diencéfalo y el tallo cerebral; comúnmente se dice que lo forman el cerebro y la médula espinal; está protegido por los huesos que forman el cráneo y la columna vertebral, y su función es interpretar y procesar la información que recibe por estímulos eléctricos, principalmente del exterior, para luego enviar la información requerida, también por estímulos eléctricos, al lugar adecuado del cuerpo. Por ejemplo, si se recibe un chispazo muy luminoso, la información llega al cerebro por medio del nervio óptico y el cerebro manda la orden de cerrar los ojos; si se aspira polvo en una cantidad que provoca irritación en las mucosas, la orden del cerebro es que se estornude o se tosa, etc. La información que llega a él también puede provenir del interior del cuerpo. Por ejemplo, cuando nos duele el estómago por exceso de comida, el cerebro nos puede ordenar el deseo de ya no ingerir más alimento; si hay una infección presente, puede ordenar que se eleve la temperatura del cuerpo para ayudar a combatirla, etc. Pero aún es más complejo pues puede evocar recuerdos que nos hacen sonreír o llorar, recordar un dato que necesitamos, etc. Con cierto adiestramiento podemos controlar nuestras funciones vitales como la respiración con sólo desearlo.

El sistema nervioso periférico está compuesto por los nervios que se encuentran fuera del SNC, se divide en dos partes: el *sistema nervioso somático*, que controla las funciones voluntarias, como por ejemplo el caminar hacia un lugar específico, escribir, etc., y el *sistema nervioso autónomo* que es el que controla las funciones involuntarias como son la digestión, respiración, deglución etcétera.

Las células que constituyen al sistema nervioso, llamadas fibras nerviosas o simplemente neuronas están formadas por un cuerpo celular o soma que rodea a una región conocida como núcleo, el cuerpo celular tiene varias ramificaciones o dendritas que adquieren información de las neuronas adjuntas a través de las uniones sinápticas. Al proceso del paso de la información de una neurona a otra se le conoce como *sinapsis*. Esta información se transmite por la neurona a través del soma hasta llegar a una extensión llamada axón, la cual se ramifica a su vez en varias terminales que conforman otras uniones sinápticas transmitiendo la información a una o varias neuronas o bien a fibras musculares, como se muestra en la figura 7, formando así una red enormemente compleja.

El cerebro humano adulto pesa aproximadamente 1350 g y contiene unos diez mil millones de neuronas y cientos de miles de otras células. Las neuronas del cuerpo humano son de dos tipos diferentes: unas llamadas mielinadas están cubiertas por una sustancia grasa, la mielina, que se encuentra distribuida en el axón por tramos separados por pequeñas distancias no cubiertas llamadas nodos de Ranvier; otras, no

cubiertas por mielina, se llaman no mielinadas.

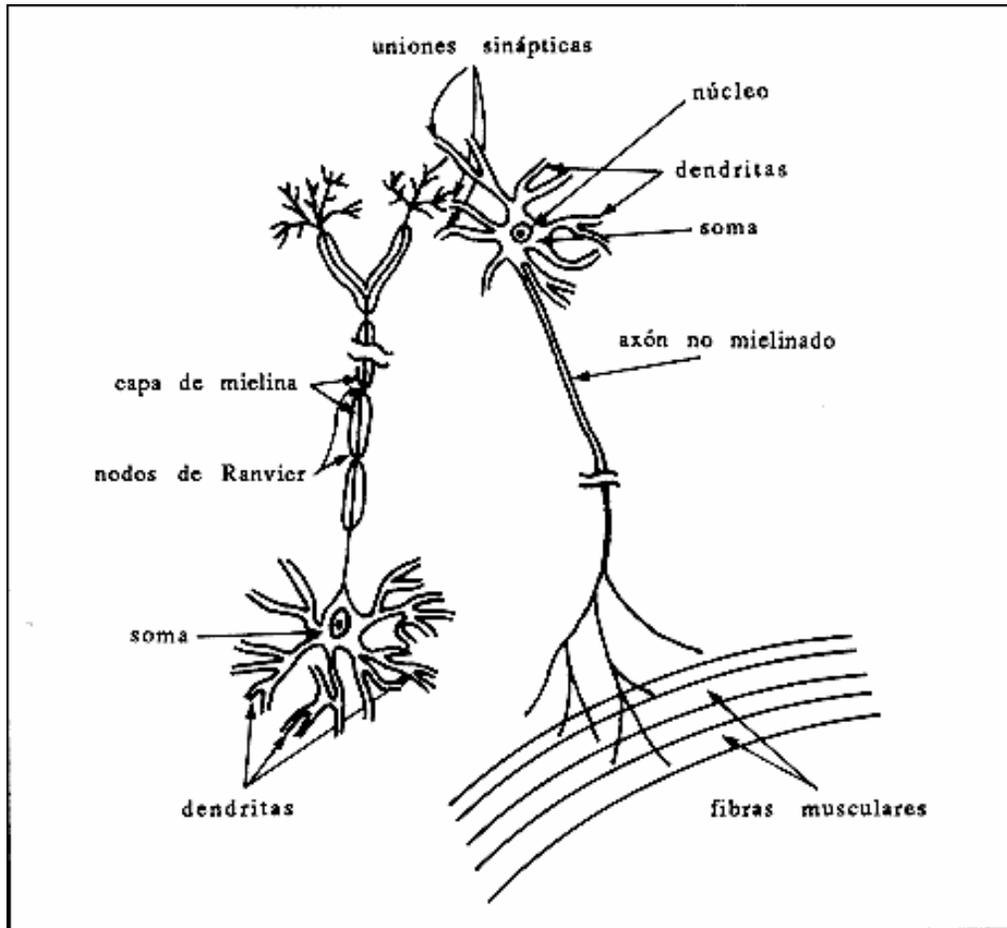


Figura 7. Las neuronas son las células que forman el sistema nervioso, las hay mielinadas y no mielinadas.

La velocidad de transmisión de la información depende del tipo de neurona y del grueso de ésta. Las neuronas mielinadas transmiten a mayor velocidad que las no mielinadas, además, mientras mayor sea el diámetro del axón, mayor será la velocidad de la transmisión. Un axón no mielinado de aproximadamente 1 mm de diámetro transmite la información con velocidades entre 20 y 50 m/s, mientras que uno mielinado de aproximadamente 1 u (milésima parte de milímetro) la transmite con una velocidad cercana a los 100 m/s. La mayor parte de las neuronas en el cuerpo humano son mielinadas y algunas tienen axones que llegan a medir más de un metro, por ejemplo aquellas que producen el movimiento de los dedos del pie, pues sus cuerpos celulares se encuentran en la médula espinal.

Cuando la información se transmite a un músculo, la neurona que la lleva se llama motoneurona o neurona motora. Al conjunto de neuronas que se unen para activar un músculo se le llama nervio motor y puede activar de 25 a 2 000 fibras musculares causando que éstas se tensen o se relajen, lo que da como resultado un movimiento muscular suave, firme y preciso.

Las neuronas que captan información y la transmiten al cerebro se llaman sensoriales. Sin embargo, hay algunas que pueden activar directamente nervios motores provocando una acción muscular rápida sin esperar a que llegue la información al cerebro y luego éste transmita la orden para activar el músculo. Este tipo de acción se llama *reflejo* y previene al cuerpo de daños serios; por ejemplo, si tocamos un cuerpo muy caliente primero retiramos la mano (acto reflejo) y luego sentimos el dolor (la señal la recibió el cerebro y nos manda una sensación de dolor para retirar la mano).

El mecanismo por el cual se transmite la información es excesivamente complejo, aquí nos limitaremos exclusivamente a los fenómenos eléctricos, pero es preciso señalar que la forma fundamental de la actividad nerviosa es de carácter bioquímico.

Para entender el fenómeno eléctrico en la transmisión de la información comenzaremos por decir que a través de la superficie del axón existe una diferencia de potencial debido a que en la parte externa hay más iones positivos que en la parte interna; se dice que la neurona está polarizada. Esta diferencia de potencial es de 60 a 90 mV y se conoce como *potencial de restauración o restitución* véase la Figura 8.

Para estimularla neurona es necesario producir un cambio momentáneo en el potencial de restitución, hay un límite inferior capaz de producir este cambio al que se conoce como umbral de la neurona y puede ser diferente dependiendo del lugar donde se encuentre y de la persona, por eso es que sentimos más fuerte un mismo golpe en la mejilla que en la palma de la mano y que una persona sea más sensible que otra.

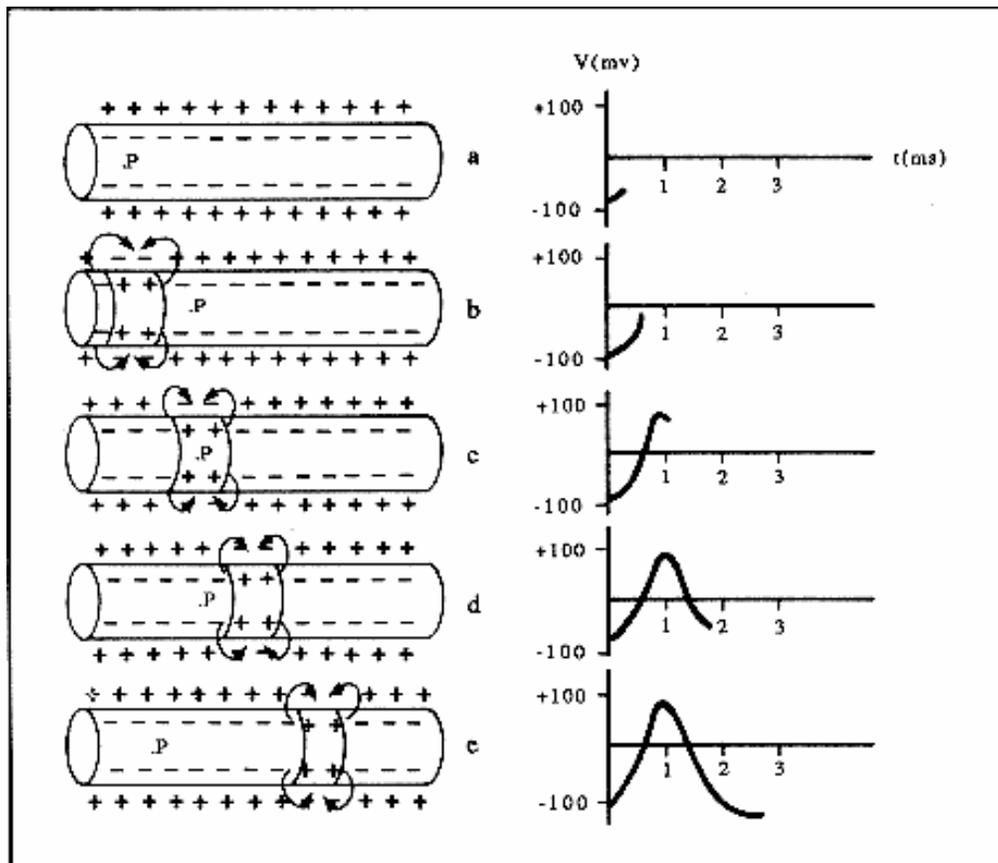


Figura 8. Trasmisión de un pulso eléctrico a lo largo del axón. a) Potencial de restauración del axón, aproximadamente -88mv. b) Un estímulo a la izquierda del punto de observación P provoca que los iones sodio de carga positiva se muevan despolarizando la membrana. c), d), e) muestran como se va propagando el pulso, restableciéndose el voltaje inicial una vez que terminó de pasar el estímulo.

Cuando el estímulo sobrepasa el umbral, se genera un potencial de acción que se propaga por el axón en ambas direcciones, sólo que cuando llega al cuerpo celular se pierde la información, mientras que al llegar a los puntos terminales del axón se sigue propagando por medio de las uniones sinápticas.

El potencial de acción se debe a que la membrana que cubre al axón permite que los iones positivos Na^+ (sodio +) pasen a través de ella provocando la despolarización de la membrana. El interior se hace positivo hasta alcanzar aproximadamente 50 mV, provocando que el potencial se invierta en la región de estimulación y haya movimiento de iones, lo que a su vez despolariza la región contigua, como se muestra en la figura 8.

El punto de estimulación original se recupera un tiempo después, ya que la membrana no permite el paso de los iones negativos grandes A^- (proteínas), pero sí el de los iones sodio +: Na^+ , potasio +: K^+ y cloro -: Cl^- . Mientras no se haya restablecido la membrana no registra ningún otro estímulo. La recuperación del potencial de acción se debe principalmente a las bombas de iones, así como los cambios en la

permeabilidad de la membrana.

Cuando la fibra nerviosa es mielinada, el potencial de acción decrece en tamaño en la región donde hay mielina hasta llegar al siguiente nodo de Ranvier, donde actúa como un estímulo restaurando el potencial de acción a su forma y medida original, por lo que parece como si brincara de nodo a nodo.

De manera que podemos comparar la red nerviosa del cuerpo humano con las conexiones internas de una computadora: la información se transmite por pulsos eléctricos de un punto a otro hasta llegar al cerebro, el cual manda a su vez información por pulsos eléctricos al lugar donde se requiera.

El estudio del cerebro es mucho más complicado de entender que la transmisión de señales eléctricas a través del axón, pues se trata de una compleja maraña de neuronas interconectadas de tal forma que el cerebro maneja toda la información que recibe desde antes de que ocurra el nacimiento, hasta la muerte de la persona. Sin embargo, la parte del cerebro más desarrollada en el hombre es la corteza o estructura externa, que le ha permitido dominar a todas las demás especies.

La *corteza cerebral* puede dividirse en diferentes áreas dependiendo de la parte específica del cuerpo que controlan; por ejemplo, la visión es manejada por la parte posterior de la corteza, conocida como corteza visual, las sensaciones son manejadas por otra área diferente, etc. Es más difícil definir las áreas que controlan las funciones intelectuales, aunque se sabe que por lo menos en parte son responsables las áreas frontales.

Para el estudio del comportamiento de las señales eléctricas del cerebro se usa un aparato llamado electroencefalógrafo, que registra las señales y nos las puede presentar ya sea en una pantalla o en una gráfica a la que se le llama electroencefalograma (EEG). Para hacer el registro de las señales se usan unos discos pequeños de plata con una cubierta de cloruro de plata, llamados electrodos, que son colocados en los lugares del cerebro que se desea estudiar usando una pasta adhesiva conductora que ayuda al paso de la señal hacia el electrodo, el cual la lleva a un amplificador.

Para el registro de una señal se necesitan al menos dos electrodos; cada uno mide un potencial. Frecuentemente el potencial de referencia es el de un electrodo colocado en el lóbulo de la oreja, debido a que es un punto con poca actividad eléctrica, entonces se dice que se trabajó en el modo unipolar. El EEG resulta de la diferencia entre estos dos potenciales, realmente no es otra cosa que la gráfica de cómo varía el voltaje con respecto al tiempo.

El EEG obtenido de electrodos en la superficie de la cabeza, se compone por ondas rítmicas lentas cuyo tamaño puede variar entre 10 y 100 microvolts (esto se conoce como amplitud del pulso); estas ondas varían en forma, amplitud y frecuencia (número de pulsos emitidos por segundo, su unidad es el Hertz: **Hz**). Cuando la frecuencia está entre 8 y 13 **Hz** se conoce como ritmo alfa y se dice que 1 persona se encuentra en un estado alfa que corresponde a estar calmado, relajado. Cuando la persona está más alerta, el valor de la frecuencia aumenta, es mayor que 13 **Hz** y se conoce como estado beta; en cambio, si se encuentra sumida en un sueño ligero la frecuencia baja, su valor está entre 4 y 7 **Hz** y se conoce como estado teta; si el sueño es profundo, la frecuencia estará entre 0.5 y 3.5 **Hz** y se la conoce como estado delta.

Otra forma de obtener EEG es determinar la señal de voltaje entre dos electrodos cualesquiera. Ésta se conoce como modo bipolar y puede ser muy útil en el diagnóstico de diferentes enfermedades tales como la epilepsia (en sus diferentes variedades), tumores cerebrales o diversas enfermedades infecciosas que pueden afectar seriamente al cerebro.

El EEG tiene muchas aplicaciones, una de ellas es en cirugía, ya que puede indicar el nivel de anestesia del paciente; en el estudio de estados de sueño y de vigilia es una herramienta invaluable.

Estudios más complicados del cerebro se llevan a cabo haciendo pequeñas perforaciones en el cráneo e introduciendo unas agujas muy finas, aislantes, que llevan en su interior el electrodo y la cabeza de éste en

la punta. Estos electrodos se mandan hasta el sitio específico que se estudia; por su tamaño se les llama microelectrodos. Haciendo uso de estos microelectrodos se sabe que el control de la temperatura del cuerpo se lleva a cabo en el hipotálamo.

Indice

[Anterior](#) | [Previo](#) | [Siguiete](#)

IV. FÍSICA DEL SISTEMA CARDIOVASCULAR

EL SISTEMA cardiovascular está formado por el corazón, la sangre y los vasos sanguíneos; cada uno desarrolla una función vital en el cuerpo humano. Aquí hablaremos sólo de una parte de la física involucrada en su funcionamiento.

La función principal del sistema circulatorio es transportar materiales en el cuerpo: la *sangre* recoge el oxígeno en los pulmones, y en el intestino recoge nutrientes, agua, minerales, vitaminas y los transporta a todas las células del cuerpo. Los productos de desecho, como el bióxido de carbono, son recogidos por la sangre y llevados a diferentes órganos para ser eliminados, como pulmones, riñones, intestinos, etcétera.

Casi el 7% de la masa del cuerpo se debe a la sangre. Entre sus componentes hay células muy especializadas: los *leucocitos* o células blancas están encargadas de atacar bacterias, virus y en general a todo cuerpo extraño que pueda dañar nuestro organismo; las *plaquetas* son las encargadas de acelerar el proceso de coagulación, defensa del cuerpo cuando se encuentra una parte expuesta; los *eritrocitos* o células rojas llevan el oxígeno y el alimento a todas las células del cuerpo.

El *corazón* es prácticamente una doble bomba que suministra la fuerza necesaria para que la sangre circule a través de los dos sistemas circulatorios más importantes: la circulación pulmonar en los pulmones y la circulación sistemática en el resto del cuerpo. La sangre primero circula por los pulmones y posteriormente por el resto del cuerpo.

Comenzaremos la descripción del funcionamiento del corazón considerando la sangre que sale al resto del cuerpo, por el lado izquierdo del mismo. La sangre es bombeada por la contracción de los músculos cardíacos del ventrículo izquierdo a una presión de casi 125 mm de Hg en un sistema de *arterias* que son cada vez más pequeñas (arteriolas) y que finalmente se convierten en una malla muy fina de vasos capilares. Es en ellos donde la sangre suministra el O_2 a las células y recoge el CO_2 de ellas.

Después de pasar por toda la malla de vasos capilares, la sangre se colecta en pequeñas venas (vénulas) que gradualmente se combinan en *venas* cada vez más grandes hasta entrar al corazón por dos vías principales, que son la vena cava superior y la vena cava inferior. La sangre que llega al corazón pasa primeramente a un reservorio conocido como aurícula derecha donde se almacena; una vez que se llena se lleva a cabo una contracción leve (de 5 a 6 mm de Hg) y la sangre pasa al ventrículo derecho a través de la válvula tricúspide que se ilustra en la figura 9.

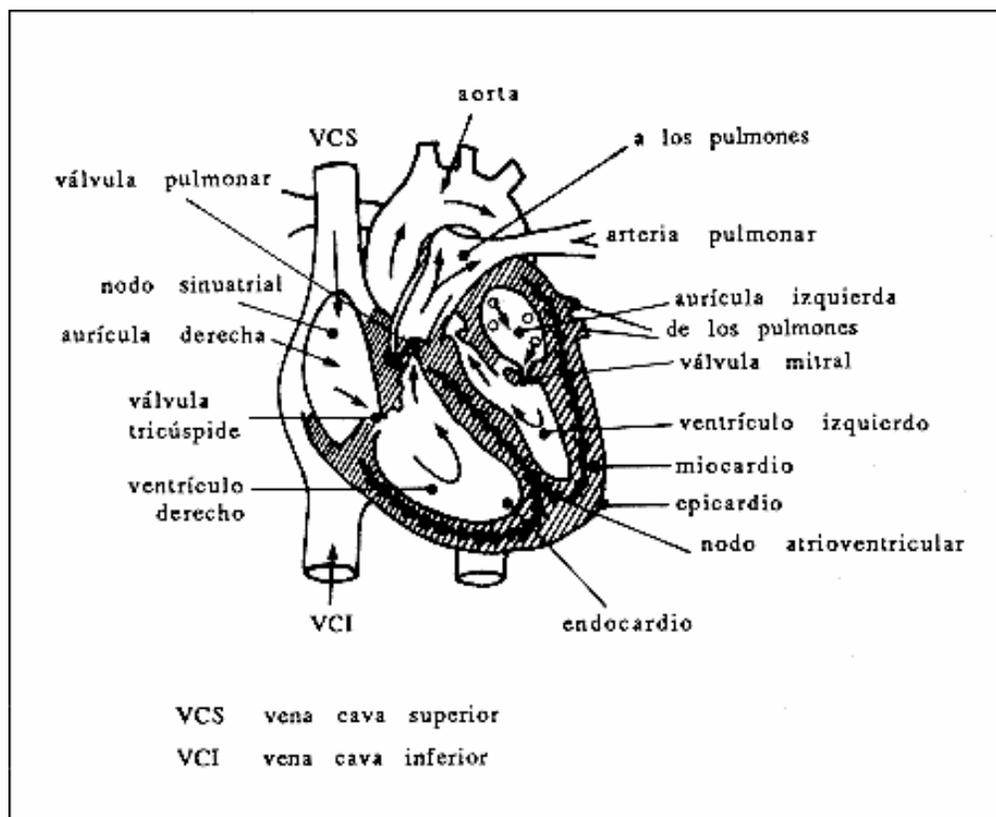


Figura 9. El corazón y sus partes principales

En la siguiente contracción ventricular, la sangre se bombea a una presión de 25 mm de **Hg** pasando por la válvula pulmonar a las arterias pulmonares y hacia los vasos capilares de los pulmones, ahí recibe **O₂** y se desprende del **CO₂** que pasa al aire de los pulmones para ser exhalado. La sangre recién oxigenada regresa al corazón por las venas de los pulmones, llegando ahora al reservorio izquierdo o aurícula izquierda. Después de una leve contracción de la aurícula (7 a 8 mm de Hg) la sangre llega al ventrículo izquierdo pasando por la válvula mitral. En la siguiente contracción ventricular, la sangre se bombea hacia el resto del cuerpo, y sale por la válvula aórtica. En un adulto el corazón bombea cerca de 80 ml por cada contracción.

Es claro que las válvulas del corazón deben funcionar en forma rítmica y acoplada, ya que de no ser así el cuerpo puede sufrir un paro cardíaco. Actualmente, las válvulas pueden sustituirse si su trabajo es deficiente.

De lo anterior, es obvio que el corazón realiza un trabajo. Las presiones de las dos bombas del corazón no son iguales: la presión máxima del ventrículo derecho llamada *sístole* es del orden de 25 mm de **Hg**, los vasos sanguíneos de los pulmones presentan poca resistencia al paso de la sangre. La presión que genera el ventrículo izquierdo es del orden de 120 mm de **Hg**, mucho mayor que la anterior, ya que la sangre debe viajar a todo el cuerpo. Durante la fase de recuperación del ciclo cardíaco o *diástole*, la presión típica es del orden de 80 mm de **Hg**. La gráfica de presión se muestra en la figura 10.

Durante una cirugía o en terapia intensiva, es frecuente que la presión venosa central de la sangre se mida en forma directa, para lo cual se introduce un catéter (tubo flexible delgado) por una de las venas del brazo hasta llegar a la aurícula, este catéter está además conectado a una botella de suero y a un tubo capilar graduado en centímetros, que colocado verticalmente a la altura del corazón mide la presión venosa. El suero sube por el capilar hasta alcanzar una altura entre 20 y 25 cm. en caso de un adulto.

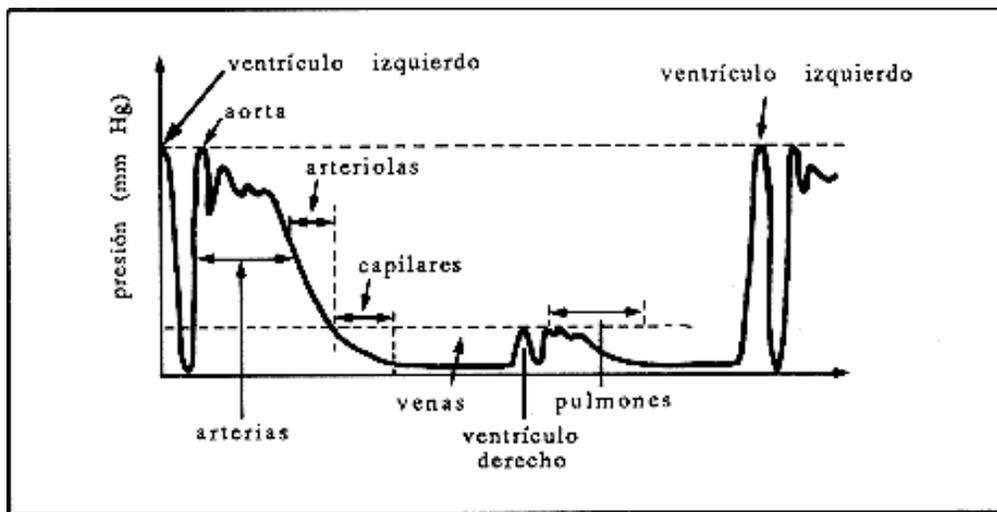


Figura 10. Gráfica que muestra cómo varía la presión en el sistema circulatorio. Nótese que la presión venosa es muy pequeña.

Un método para medir la presión arterial sistólica y diastólica es usar el esfigmomanómetro, que consiste en un manguito inflable de aproximadamente 13 cm. de ancho, que se coloca alrededor del brazo, conectado a un manómetro (medidor de presión) de mercurio, tubo que tiene un depósito de mercurio en su parte inferior y está graduado en milímetros. La presión de aire en el manguito se eleva hasta sobrepasar la presión sistólica, logrando así colapsar la arteria humeral e impidiendo el flujo de sangre por ella. Si se deja salir lentamente el aire del manguito, cuando la presión sobre la arteria alcance el valor de la presión sistólica la sangre comenzará a fluir a través de la arteria, lo cual se puede detectar por medio del sonido que produce. La sangre fluirá en forma intermitente hasta alcanzar la presión diastólica, lo cual se detecta porque el sonido desaparece.

La sangre tiene una densidad de 1.04 g/cm^3 , muy cercana a la del agua que es de 1.00 g/cm^3 , por lo que podemos hablar del sistema circulatorio como un sistema hidráulico donde las venas y las arterias son similares a mangueras. Como sucede con cualquier circuito hidráulico, la presión en el sistema circulatorio varía a través del cuerpo, la acción de la gravedad es muy notoria en las arterias donde la presión varía de un punto a otro.

Sabemos de la física, que los líquidos en reposo transmiten íntegramente y en todas direcciones las presiones que se les aplican, lo que no sucede así cuando éstos se hallan en movimiento a través de un tubo. Este último es el caso cuando consideramos el sistema circulatorio: el fluido es la sangre y las arterias y venas los tubos del circuito. Si el líquido fluye por un tubo recto en forma rítmica, el flujo es laminar, es decir que puede imaginarse como un conjunto de láminas concéntricas que se deslizan una sobre otra, la central será la de mayor velocidad mientras que la que está tocando al tubo tendrá la mínima velocidad. Si consideramos las velocidades de las diferentes capas de líquidos en un tubo tendremos que el fluido que está en contacto con la pared del tubo que lo contiene prácticamente no se mueve, las moléculas del fluido que se mueven a mayor velocidad son las que se encuentran en el centro del tubo.

La energía necesaria para que el líquido viaje por el tubo debe vencer la fricción interna de una capa sobre otra. Si el líquido tiene una viscosidad η el flujo sigue siendo laminar, siempre y cuando el valor de la velocidad del fluido V por el diámetro del tubo d dividido entre el valor η no exceda de un valor crítico

conocido como número de Reynold $\left(Re = \frac{Vd}{\eta} \right)$ si Re es mayor que 2 000, la corriente laminar se rompe y se convierte en turbulenta, es decir, forma remolinos, chorros y vórtices.

La energía requerida para mantener una corriente turbulenta es mucho mayor que la necesaria para mantener una corriente laminar. La presión lateral ejercida sobre el tubo aumenta. Aparecen vibraciones que pueden ser detectadas como sonido. En la circulación humana normal el flujo es laminar, rara vez es

turbulento, con excepción de la aorta y bajo condiciones de ejercicio intenso.

Los glóbulos rojos de la sangre en una arteria no están uniformemente distribuidos, hay más en el centro que en los lados, lo cual produce dos efectos: uno, cuando la sangre entra a un conducto pequeño a un lado del conducto principal, el porcentaje de glóbulos rojos que pasan será ligeramente menor que en la sangre que se encuentra en el conducto principal; el segundo efecto es más importante, debido a que el plasma sanguíneo se mueve más lentamente a lo largo de las paredes de los vasos que los glóbulos rojos, la sangre en las extremidades tiene un porcentaje mayor de glóbulos rojos que cuando deja el corazón, el cual es aproximadamente del orden de un 10%.

En el estudio del movimiento de los líquidos, el gasto o caudal es una cantidad importante. El gasto Q es el volumen de líquido V que fluye por el conducto estudiado dividido entre el tiempo t que tarda en fluir:

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

Para un tubo rígido dado, de radio r y longitud l , el volumen del líquido de viscosidad η está relacionado con el gradiente de presión de un extremo a otro del tubo ($P_1 - P_2$). El matemático francés Poiseville encontró que el gasto está relacionado con estos parámetros así:

$$Q = \frac{\pi r^4 (P_1 - P_2)}{8\eta l}$$

como la resistencia R al paso del líquido es el gradiente de presión entre el gasto, la ecuación puede expresarse como:

$$R = \frac{8\eta l}{\pi r^4}$$

donde $P_1 - P_2$ está en N/m^2 , en η , en $\frac{NS}{m^2}$ y R están en m .

Esta ecuación nos dice que si duplicamos el radio del tubo dejando iguales los otros parámetros, el gasto aumenta 16 veces; esto es muy importante aun cuando es sólo una aproximación en el caso del flujo sanguíneo, ya que la ecuación es válida para el caso de tubos rígidos y las arterias tienen paredes elásticas las cuales se expanden ligeramente con cada pulso cardiaco, además, la viscosidad de la sangre cambia ligeramente con la velocidad del flujo.

Como se indica en la figura 10, la caída de presión más alta en el sistema cardiovascular ocurre en la región de las arteriolas y capilares. Los capilares tienen paredes muy delgadas ($\sim 1\mu m$) que permiten la difusión del oxígeno y del dióxido de carbono de manera fácil. Para entender por qué no revientan, debemos ver cómo se relaciona la presión dentro del tubo P , con el radio del tubo R y la tensión que siente debido al fluido T en sus paredes. La presión es la misma en las paredes, de modo que la fuerza por unidad de longitud que empuja hacia fuera es RP . Por otro lado, existe una fuerza de tensión T por unidad de longitud que mantiene unido al tubo. Debido a que el sistema (pared-fluido) está en equilibrio se debe cumplir: $T = RP$ así si el radio del tubo es muy pequeño, la tensión también lo es.

Las enfermedades del corazón son una de las mayores causas de mortandad en el mundo. Muchas de ellas incrementan la carga de trabajo del corazón o reducen su habilidad para trabajar a la velocidad normal.

El trabajo hecho por el corazón es aproximadamente la presión promedio por el volumen de sangre bombeado. Aquello que incrementa la presión o el volumen de sangre bombeado incrementará el trabajo hecho por el corazón; por ejemplo, una alta presión sanguínea (hipertensión) causa que la tensión muscular se incremente en proporción a la presión, o bien una rápida actuación del corazón (taquicardia) también incrementa la carga de trabajo.

Un ataque cardiaco se produce por el bloqueo de una o más arterias al músculo cardiaco causando que una

porción del corazón quede sin irrigación y muera (infarto).

Otra enfermedad del corazón es la falla por congestión, caracterizada por agrandamiento del corazón y reducción de su capacidad para proporcionar una circulación adecuada cosa que puede explicarse por lo visto anteriormente, ya que si el radio del músculo cardíaco aumenta al doble, la tensión en el músculo debe aumentar al doble para mantener constante la presión, sin embargo, debido a que el músculo cardíaco está distendido, no se produce la fuerza suficiente para una circulación normal. El tratamiento médico consiste en reducir la carga de trabajo del corazón, o bien remplazarlo ya sea por otro o por uno artificial.

Cuando las señales eléctricas que activan el músculo cardíaco son inadecuadas, se puede ayudar al enfermo con un marcapasos que sirve para regular el ritmo cardíaco.

Otro problema frecuente es el mal funcionamiento de las válvulas cardíacas. Hay dos tipos de defectos: cuando la válvula no abre lo suficiente (estenosis) o cuando no cierra bien (insuficiencia). En el caso de la estenosis el trabajo se incrementa ya que gran parte de él se hace contra la obstrucción de la abertura estrecha y se reduce el suministro de sangre a la circulación general; en el caso de insuficiencia, parte de la sangre bombeada fluye hacia atrás reduciendo la sangre en la circulación. Estos problemas son ahora corregidos por medio de válvulas artificiales o bien remplazándolas por válvulas humanas que previamente han sido esterilizadas por radiación.

Es importante aclarar que en caso de tener que introducir cualquier dispositivo al cuerpo humano, éste tiene que ser compatible, es decir, debe estar hecho con un material que no cause rechazo del organismo, lo cual ha dado lugar a numerosas investigaciones sobre nuevos materiales que cumplan con los requisitos necesarios.

Otro tipo de enfermedades del sistema cardiovascular tiene que ver con los vasos sanguíneos; quizá el más problemático es la formación de un aneurisma, sobre todo si éste se presenta en el cerebro. Un aneurisma es un pequeño globo que se forma al incrementarse el diámetro de una arteria en alguna sección, como resultado de un debilitamiento de las paredes de la arteria. El incremento en el diámetro aumenta la tensión en la pared. El rompimiento del aneurisma frecuentemente es mortal, especialmente si esto ocurre en el cerebro.

La formación de placas escleróticas sobre las paredes de la arteria causa que el flujo sea turbulento, ya que angosta el interior del tubo provocando que aumente la velocidad de la sangre. Algunas veces, una placa puede desprenderse de la pared y viajar con la sangre hasta quedar atrapada en alguna arteria pequeña impidiendo así el paso del flujo para la irrigación de alguna parte del organismo. Cuando sucede en el cerebro, causa la muerte.

Otra enfermedad frecuente son las venas varicosas o várices que no sólo constituyen un problema de estética, sino que pueden causar complicaciones serias. Se deben a que las válvulas venosas, que deberían permitir el flujo de sangre sólo en un sentido (hacia el corazón), no funcionan bien y dejan que la sangre circule en ambos sentidos. Generalmente se presenta este problema en las venas largas de las piernas y se resuelve quitando estas venas: la sangre regresa al corazón por otras vías.

Actualmente, la ciencia y la técnica han alcanzado un desarrollo que permite no sólo detectar sino tratar las enfermedades del sistema cardiovascular. Tan sólo hace 25 años un ataque cardíaco no tenía remedio y una gran parte de la gente que lo sufría moría como consecuencia, ahora se cuenta con equipo que detecta el tipo de problema y equipo que lo resuelve.

El electrocardiograma es una de las herramientas más útiles en el diagnóstico de las enfermedades del corazón, es el registro sobre la piel de los potenciales eléctricos del corazón. Los nervios y los músculos, como ya vimos antes, trabajan por medio de corrientes eléctricas; los correspondientes al corazón están además encerrados en un conductor eléctrico que es el torso, de modo que a través de la piel podemos registrar en diferentes partes del cuerpo los potenciales eléctricos generados por el corazón.

Cada contracción del músculo cardiaco se lleva a cabo por un flujo de corriente el cual provoca una diferencia de potencial en la parte externa de las fibras del músculo y la superficie del cuerpo. La corriente se establece mientras el potencial de acción se propaga o durante el periodo de recuperación.

Las diferencias de potencial son registradas por medio de electrodos colocados sobre la piel y amplificadas para poder graficarse dando como resultado el electrocardiograma (ECG). Si los electrodos se colocan en diferentes posiciones sobre el cuerpo, la señal registrada sufrirá cambios, es por ello que el registro del ECG se lleva a cabo en lugares anatómicos bien definidos.

Resulta muy interesante el desarrollo de los electrodos adecuados para el registro del ECG. No puede usarse cualquier metal. Actualmente se usan electrodos de plata con una capa de cloruro de plata depositada en la cara que está en contacto con la piel; presentan una baja resistencia y no producen señales de ruido indeseable para un buen registro.

En pacientes que han sufrido un ataque cardiaco puede presentarse un cambio repentino en el ritmo: el orden de las contracciones asociadas con el bombeo normal del corazón cambian produciendo una fibrilación (contracción no coordinada) ventricular que daña la acción de bombeo; el paciente puede morir en minutos a menos que sea desfibrilado.

La desfibrilación consiste en hacer pasar una corriente de 20 amperes a través del corazón durante 5 seg, como se muestra en la figura 11, para lograr que todas las fibras del músculo cardiaco se contraigan simultáneamente, después de lo cual el corazón puede iniciar de nuevo su ritmo normal.

La aurícula y el ventrículo están separados por una capa gruesa que no conduce electricidad ni propaga los pulsos nerviosos, es el nódulo atrioventricular el que tiene a su cargo la función de conducir los impulsos de la aurícula a los ventrículos, lo cual conforma la acción de bombeo del corazón. Si este nódulo es dañado, los ventrículos no reciben ninguna señal de la aurícula y como consecuencia no paran de bombear; sin embargo, hay centros de paso naturales en los ventrículos que proveen un pulso si no se ha recibido ninguno de la aurícula por un lapso de 2 segundos, el resultado es que el corazón trabaja a un ritmo de 30 pulsos-minuto. El paciente no se muere, pero lleva una vida de semiinválido.

Este problema ya tiene solución: actualmente se implanta a estos pacientes un marcapasos que consiste en un generador que proporciona 72 pulsos/minuto, colocándose como se muestra en la figura 12.

Como ya hemos dicho, todos los dispositivos que se introducen en el cuerpo humano deben estar cubiertos por un material que no sea rechazado por éste, ni provoque infección; esto abre un campo de investigación para la búsqueda de materiales adecuados. Los marcapasos cardiacos están hechos de elementos electrónicos de la más alta calidad, ya que de ellos depende la vida del paciente, cubiertos por un armazón de acero con superficie de titanio. Las partes flexibles se recubren con silastic. Se ha encontrado que estos materiales no causan problemas y pueden permanecer en el interior del cuerpo por años, ya que tampoco los dañan los líquidos internos.

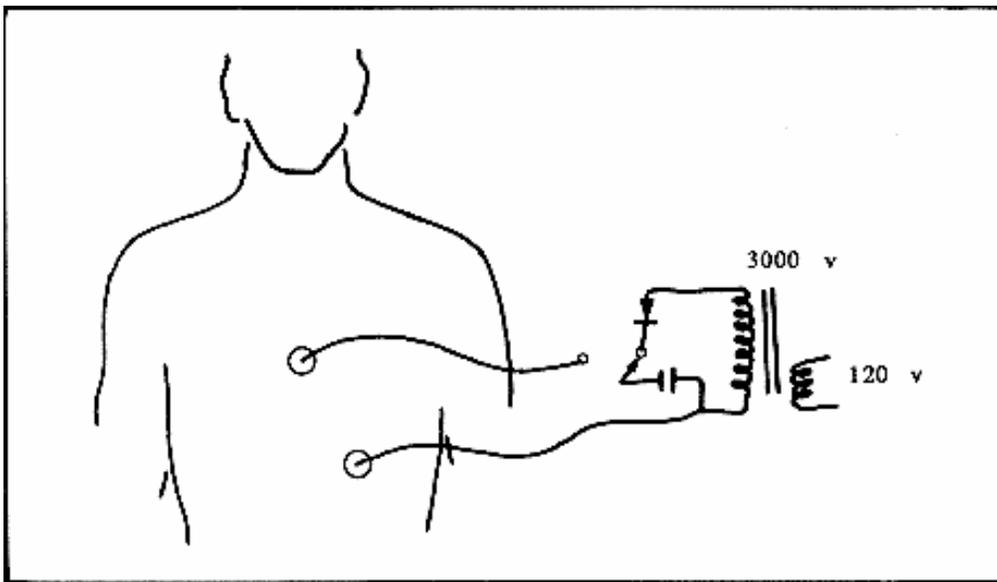


Figura 11. Aplicación de un desfibrilador.

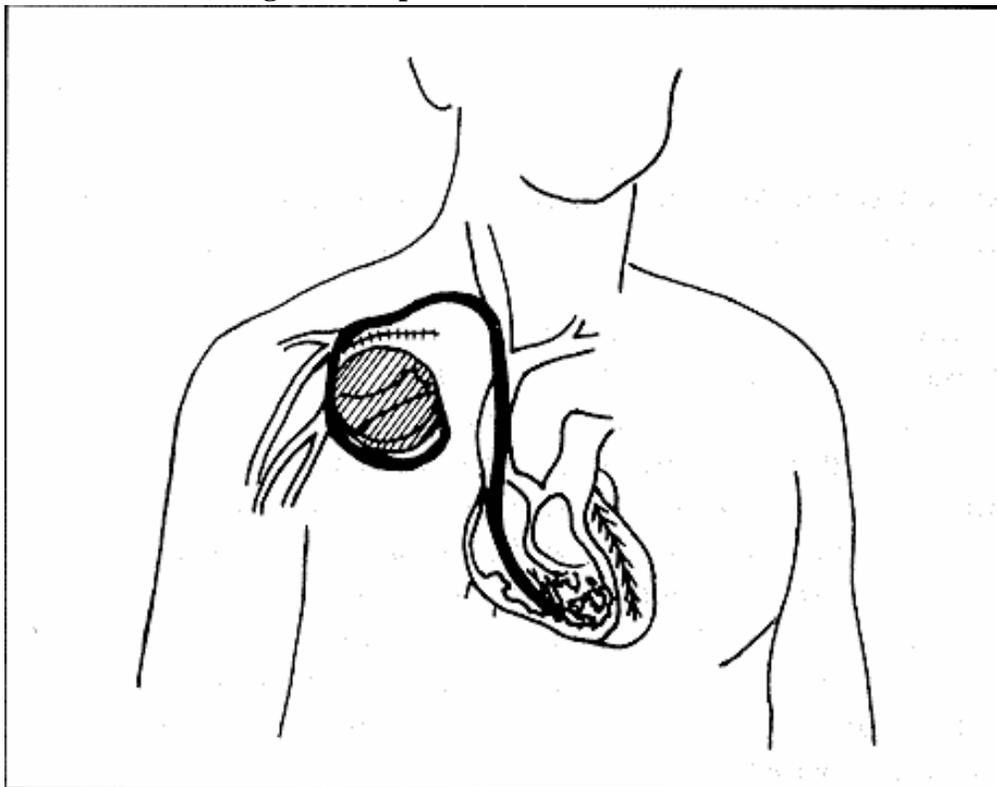


Figura 12. Colocación de un marcapasos cardiaco.

Indice

[Anterior](#) [Previo](#) [Siguiete](#)

V. SONIDO EN MEDICINA

SI CONSIDERAMOS un conjunto de partículas, el movimiento de una está influido por el movimiento de las demás. Un caso importante de este tipo de fenómenos es el movimiento ondulatorio que se da por ejemplo en el agua generando las olas, en el aire generando los sonidos que percibimos, en la luz, etcétera.

En general, las ondas se clasifican en dos tipos: ondas mecánicas que son movimientos oscilatorios de partículas materiales como las ondas de agua, el sonido, etc., y ondas electromagnéticas que son movimientos oscilatorios del campo electromagnético como las ondas de radio, de TV, de luz, calor, rayos X, etcétera.

Una onda se caracteriza por su periodo y su longitud. El periodo τ es el tiempo que tarda en realizar una oscilación completa, mientras que la longitud de onda λ es la distancia que recorre en un periodo, y tiene unidades de distancia; esto se ilustra en la figura 13.

La frecuencia ν está relacionada con el periodo por medio de la ecuación:

$$\nu = \frac{1}{\tau}$$

la frecuencia es el número de oscilaciones que ocurren en la unidad de tiempo. Como el periodo se mide en segundos, la frecuencia se mide en $\frac{1}{\text{segundos}}$ o $(\text{segundos})^{-1}$, esta unidad se llama Hertz (Hz).

La velocidad de una onda viajando está dada por:

$$v = \frac{\lambda}{\tau} = \lambda \nu$$

Las ondas se llaman transversales cuando el movimiento oscilatorio se lleva a cabo en el plano perpendicular a la dirección de propagación de la onda, mientras que se llaman ondas longitudinales si la oscilación se realiza en la dirección de propagación. Un ejemplo de ondas transversales son las olas de agua, la oscilación de un corcho en la superficie del agua es de arriba a abajo mientras la onda pasa de atrás hacia adelante; un ejemplo de onda longitudinal son las ondas de compresión que pueden propagarse a lo largo de un resorte y las ondas sonoras que pueden propagarse a lo largo de un tubo de aire.

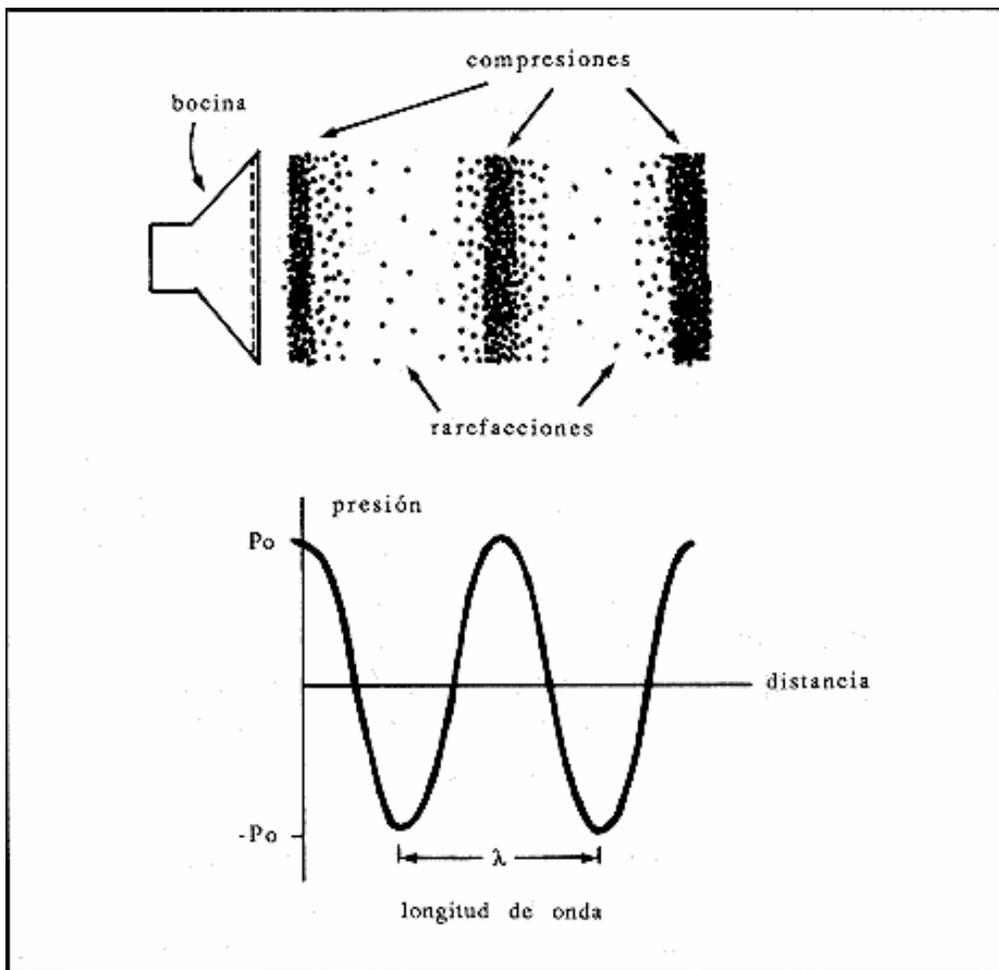


Figura 13. Una onda de sonido se produce en un medio donde se pueden crear zonas de compresión y de rarefacción, en el vacío no se propaga el sonido. Las ondas se caracterizan por su longitud de onda y su periodo.

Una onda sonora es una perturbación que se lleva a cabo en un gas, líquido o sólido (en el vacío no existe el sonido) y que viaja alejándose de la fuente que la genera con una velocidad definida que depende del medio en el que está viajando. Las vibraciones provocan incrementos locales de presión respecto a la presión atmosférica llamados compresiones, y decrementos locales llamados rarefacciones; los cambios de presión ocurren en la misma dirección en la que viaja la onda, pueden verse como cambios de densidad y como el desplazamiento de los átomos y moléculas de sus posiciones de equilibrio.

El rango de frecuencias del sonido audible es de 20 **Hz** a 25 000 **Hz**, cuando la frecuencia es mayor que los 25 000 **Hz**, se le define como ultrasonido.

La energía es transportada por la onda como energía potencial y cinética. La intensidad I de una onda sonora es la energía que pasa en un segundo en una área de 1 m², en otras palabras, es la cantidad de watts que pasan por metro cuadrado.

El oído humano tiene una tolerancia limitada para la intensidad del sonido, la cual depende de la frecuencia de la onda. La unidad de intensidad es el bel, pero ésta resulta ser muy grande, así, comúnmente se usa el decibel (dB) que es la décima parte del bel. La máxima intensidad que el oído puede tolerar sin dolor es de aproximadamente 120 dB.

Cuando una onda sonora golpea el cuerpo, una parte de ella se refleja y otra se transmite en el cuerpo. La razón de la presión reflejada R respecto a la incidente A_0 depende de las impedancias acústicas de los dos medios Z_1 y Z_2 la impedancia acústica podemos entenderla como la capacidad que tiene el cuerpo para

impedir el paso de energía a través de él. La razón de R a A_0 es:

$$\frac{R}{A_0} = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1}$$

mientras que la razón de la amplitud de la presión transmitida T a la incidente A_0 es:

$$\frac{T}{A_0} = \frac{2Z_2}{Z_1 + Z_2}$$

Estas ecuaciones son válidas si la onda incide en forma normal a la superficie. Considerando que la onda pasa del aire al músculo:

$$\frac{R}{A_0} = \frac{1.64 \times 10^6 - 430}{1.64 \times 10^6 + 430} = 0.9995$$

$$\frac{T}{A_0} = \frac{2(1.64 \times 10^6)}{1.64 \times 10^6 + 430} \sim 1.9995$$

y las razones de las intensidades reflejada y transmitida son:

$$\frac{R^2}{2Z_1} \bigg/ \frac{A_0^2}{2Z_1} = \left(\frac{R}{A_0} \right)^2 = 0.9990$$

$$\frac{T^2}{2Z_2} \bigg/ \frac{A_0^2}{2Z_1} = \frac{Z_1}{Z_2} \left(\frac{T}{A_0} \right)^2 =$$

$$\frac{430}{1.64 \times 10^6} (1.9995)^2 = 0.0010$$

lo que nos indica que una parte muy pequeña del sonido es transmitida al cuerpo.

No sucede así cuando las impedancias de los dos medios son muy parecidas, por ejemplo si el medio 1 es agua y el 2 es un músculo

$$\frac{R}{A_0} = \frac{(1.64 - 1.48) \times 10^6}{(1.64 + 1.48) \times 10^6} = 0.0513$$

$$\frac{T}{A_0} = 1.0513$$

Cuando una onda sonora pasa a través de la piel, hay pérdida de energía debido a los efectos de fricción. La absorción de energía en la piel causa una reducción en la amplitud de la onda sonora. La amplitud A decrece con la profundidad por cm en el medio, respecto a la amplitud inicial A_0 ($X = 0$) y está dada por:

$$A = A_0 e^{-ax}$$

a es el coeficiente de absorción del medio, se mide en cm^{-1} y es función de la frecuencia de la orden para el caso de hueso, en particular del cráneo. Se tiene:

<i>Frecuencia (MHz)</i>	<i>a(cm⁻¹)</i>
0.6	0.4
0.8	0.9
1.2	1.7
1.6	3.2
1.8	4.2
2.25	5.3
3.5	7.8

Como la intensidad es proporcional a la amplitud elevada al cuadrado, se tiene:

$$I = I_0 e^{-2ax}$$

Si reflexionamos un poco, podremos darnos cuenta de la importancia de lo anterior: muchos médicos pueden diagnosticar la enfermedad del paciente oyendo cómo se propaga el sonido en diferentes partes del cuerpo, ya que éste se comporta como un instrumento de percusión, como un tambor. El sonido cambia al cambiar las condiciones del cuerpo.

Los diferentes órganos del cuerpo producen, al trabajar, sonidos característicos, de manera que si el trabajo se ve alterado por alguna causa, el sonido que produce obviamente es diferente al normal. El médico se ayuda con el estetoscopio para detectar estos sonidos, lo que se conoce como auscultación.

El estetoscopio consta de una campana que está abierta o cerrada por un diafragma delgado, un tubo y las salidas para los oídos del médico. La campana abierta acumula los sonidos del área de contacto, la piel que abarca hace las veces del diafragma. La frecuencia de resonancia es aquella que permite la mejor transmisión de los sonidos y depende, en este caso, del tipo de piel, del material de la campana y de la forma y medidas de ella. Una campana cerrada tiene una frecuencia de resonancia determinada, conocida, generalmente alta, que entona sonidos de baja frecuencia. La frecuencia de resonancia se controla presionando el estetoscopio sobre la piel.

Podría creerse que un estetoscopio es fácil de hacer; sin embargo, uno de buena calidad tiene su secreto: la campana debe ser de un material tal que permita oír nítidamente los sonidos captados; la longitud de los tubos es importante ya que su actividad dependerá de la frecuencia del sonido; el diámetro del tubo también es importante, en general se usan de 25 cm de longitud y 0.3 cm de diámetro; las piezas que se introducen en los oídos deben sellar perfectamente ya que de otra forma penetra el aire en el oído provocando mucho ruido del fondo, por último, la membrana es de un material especial que amplifica los sonidos provenientes del cuerpo.

Actualmente, el ultrasonido es una técnica que ha sido desarrollada para el diagnóstico. Esta técnica es muy simple: se produce un sonido con una frecuencia entre 1 y 5 **MHz** que se dirige al interior del cuerpo, esta onda, al encontrar un obstáculo, va a reflejarse en parte y la parte que penetra lo hará hasta el siguiente obstáculo. El tiempo que requieren los pulsos de sonido para ser reflejados nos da información sobre la distancia a la que se encuentran los obstáculos que producen la reflexión, que en este caso serán los órganos u otro tipo de estructuras que se encuentren en el interior del cuerpo. Es claro que cada tipo de tejido tiene propiedades acústicas diferentes, por lo que la cantidad de reflexión depende de la diferencia entre las impedancias acústicas de los dos materiales y de la orientación de la superficie con respecto al haz.

El ultrasonido puede generarse de diversas formas, sin embargo, la más usual es por medio de un cristal piezoeléctrico, es decir, un cristal que tiene la propiedad de convertir un voltaje eléctrico que se le aplica en un movimiento que produce zonas de compresión y de rarefacción, la frecuencia del sonido producido dependerá de las dimensiones y la naturaleza del cristal (véase Figura 14).

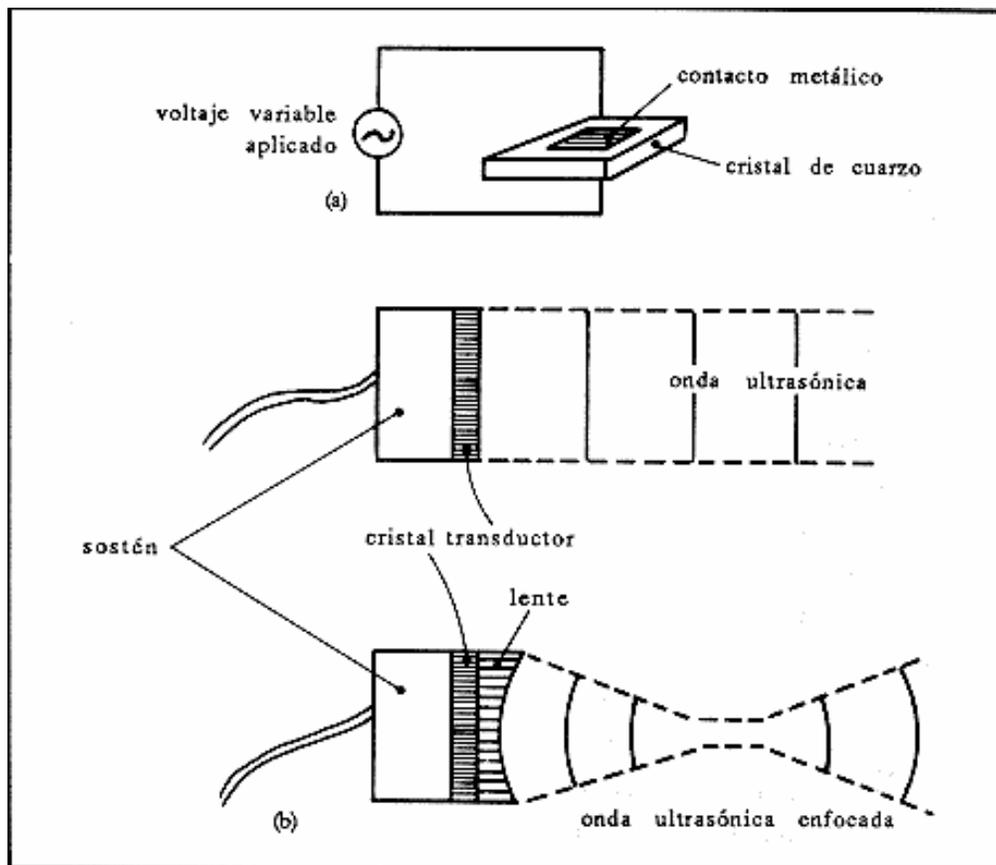


Figura 14. Producción de ondas sonoras, (a) usando un cristal de cuarzo alimentado con corriente alterna; (b) el cristal montado en un sostén produce un haz ultrasónico, se puede producir un haz enfocado usando lentes acústicas.

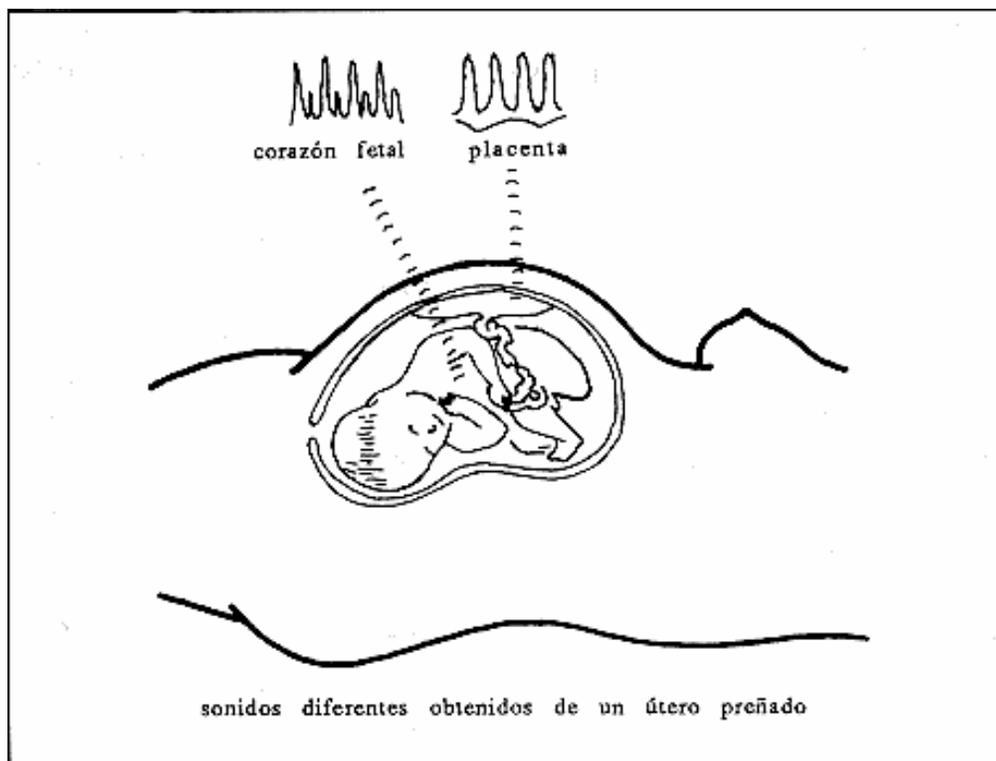


Figura 15. Uso del ultrasonido. Las ondas sonoras reflejadas por las diferentes partes del útero de una mujer preñada son distintas dependiendo del tejido con el que se encuentran.

Un dispositivo que convierte energía eléctrica en energía mecánica o viceversa se llama transductor, de modo que un generador de ultrasonido es simplemente un transductor.

El mismo transductor que produce los pulsos sirve como detector. Ahora el cristal recibe un sonido y lo que hace es generar un voltaje (lo inverso de lo que ocurre en la producción de ultrasonido), las señales se amplifican y se muestran en un osciloscopio (instrumento que nos sirve para mostrarnos la variación del voltaje en el tiempo).

El ultrasonido es una herramienta útil para diagnosticar diversas enfermedades de los ojos, para observar el estado de los fetos, en la detección de tumores cerebrales (ecoencefalografía) y en otras partes del cuerpo, etcétera (véase Figura 15).

Cuando pasan ondas ultrasónicas a través del cuerpo, se producen varios efectos tanto físicos como químicos que pueden tener consecuencias fisiológicas, la magnitud de estas consecuencias depende de la frecuencia y amplitud de la onda. A niveles de intensidad muy bajos usados para el diagnóstico (0.01 W/cm^2 potencia promedio y 20 W/cm^2 potencia pico), estas consecuencias no son observables. Cuando aumentamos la potencia, el ultrasonido se convierte en una herramienta útil en la terapia: se usa para calentamientos profundos con una potencia del orden de 1 W/cm^2 y como un agente destructor de la piel cuando la intensidad es del orden de 10^3 W/cm^2 .

El aumento en la temperatura es muy importante en terapia. Cuando se produce en los músculos profundos causando apenas un leve incremento a nivel superficial, esta técnica es conocida como diatermia y también se puede lograr usando microondas. Se usa principalmente en enfermedades óseas para remover depósitos de calcio o ayudar en dolores reumáticos, o bien en la rigidez de coyunturas.

El estudio especializado de las ondas sonoras se llama acústica, abarca frecuencias que van desde pocos Hz hasta 10^{12} ($1\ 000\ 000\ 000\ 000$) Hz; audiología es el estudio del funcionamiento del oído y todo lo referente al mecanismo de la audición.

El oído es el órgano que convierte a las ondas sonoras en pulsos nerviosos. Para su estudio se divide en tres partes: oído externo, oído medio y oído interno, que se muestran en la figura 16.

El oído externo está constituido por el pabellón y el canal auditivo. La forma del pabellón sirve para recibir las ondas sonoras y ayuda en la localización de la fuente sonora. Desde el pabellón, el sonido viaja por el canal auditivo, que es un pasaje cilíndrico que actúa como resonador acústico con una frecuencia de resonancia entre los $3\ 200$ y $4\ 000$ Hz, este canal ayuda a conservar la temperatura y la humedad del tímpano.

El oído medio consta del tímpano, que es una membrana con forma cónica, y de una cadena de huesecillos, la cual consiste en tres huesos pequeñitos: martillo, yunque y estribo, que conectan el tímpano con el oído interno. La trompa de Eustaquio conecta la cavidad del oído medio a la atmósfera por la parte alta de la garganta, esto iguala la presión del oído medio con la presión externa. La función primordial del oído medio es acoplar eficientemente las ondas de presión en el aire con el líquido que llena el oído interno, llamado perilinfa. La onda de sonido llega al tímpano y éste comienza a vibrar, pasando la vibración al martillo, de éste al yunque y finalmente al estribo que la comunica a la perilinfa a través de la ventana oval.

Los receptores biológicos de la audición y del equilibrio se encuentran en el oído interno, en una cavidad llamada laberinto. El oído interno se compone de tres canales semicirculares, el vestíbulo, la cóclea y aproximadamente $30\ 000$ fibras nerviosas que conforman el nervio auditivo. Dentro de la cóclea se encuentra el órgano de Corti. Células en forma de fibras convierten las vibraciones de las ondas sonoras que golpean el tímpano en pulsos nerviosos que viajan al cerebro llevando la información de estas ondas sonoras.

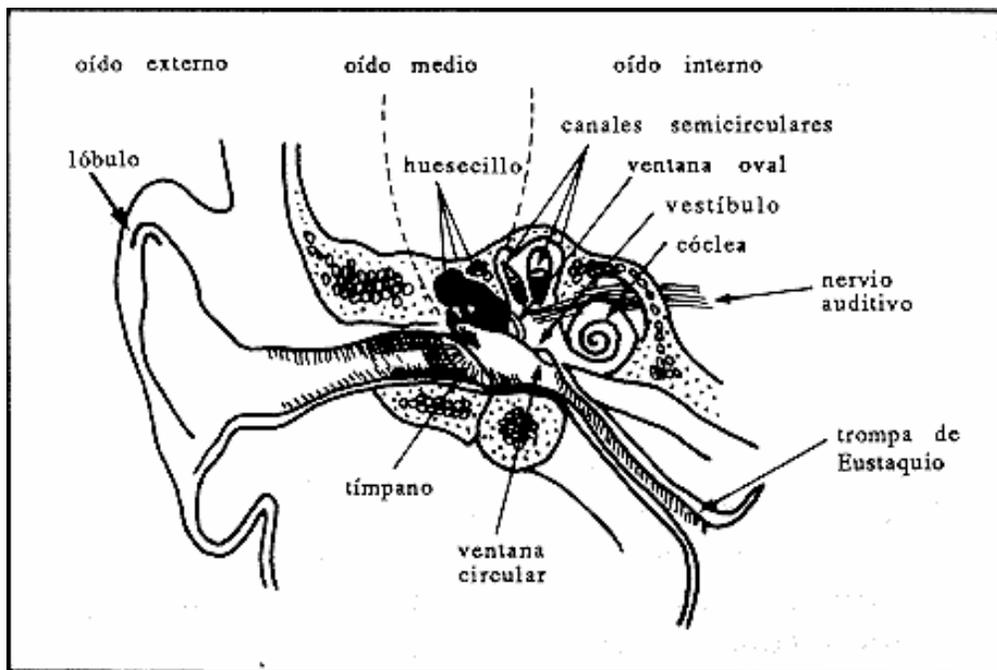


Figura 16. Diagrama que muestra los diferentes componentes del oído humano.

El oído no es sensible de igual manera a todos los sonidos, su mayor sensibilidad está en la región de 2 a 5 KHz, además, la sensibilidad cambia con la edad: a medida que se envejece decrece la frecuencia más alta que puede oírse y para escuchar un sonido la intensidad debe aumentar. Esta pérdida de la audición en general no es impedimento para la mayor parte de las actividades que desempeña un individuo, sin embargo, puede llegar a ser un problema muy fuerte si la pérdida del oído es grande. Afortunadamente en la actualidad existen innumerables aparatos electrónicos que ayudan a recuperar, al menos en parte, la audición.

Indice

[Anterior](#) [Previo](#) [Siguiete](#)

VI. CALOR Y FRÍO EN MEDICINA

EL CALOR y el frío han sido usados para propósitos médicos durante siglos. Desde la antigüedad se recomendaba el uso del calor para algunas enfermedades (baños de aceite caliente o en aguas termales), mientras que para otras enfermedades se recomendaba la aplicación de sustancias frías. La controversia sobre estos tratamientos subsiste hasta nuestros días; sin embargo, ha habido progresos debidos a la colaboración entre médicos, físicos y pacientes.

La *termometría* es la parte de la física que se encarga de la medida de la temperatura, mientras que la *termografía* es la parte de la medicina que se encarga de hacer un registro gráfico de la temperatura del cuerpo humano que puede usarse en el diagnóstico y la terapia del calor; mientras que la *criogenia* y la *criocirugía* son términos que se refieren a los usos del frío.

Para entender lo que es la temperatura físicamente, recurriremos a un modelo molecular: las moléculas que componen la materia están en movimiento incesante, caracterizadas por una cierta cantidad de energía cinética o energía de movimiento que pueden transmitir a otras moléculas a través de choques; esta energía está relacionada directamente con la temperatura, ya que ésta será mayor cuando los choques de las moléculas entre sí aumenten.

De hecho, se conocen cuatro estados de la materia: sólido, líquido gaseoso y plasma. El sólido está caracterizado por tener forma propia, mientras que el líquido y el gaseoso toman la forma del recipiente que los contiene. El plasma es un estado en el que las partículas se encuentran altamente ionizadas; ejemplos de esto serían el interior del Sol, las estrellas o el gas interestelar.

Para poder elevar la temperatura de un cuerpo, es necesario imprimirle energía cinética a sus moléculas. Por ejemplo, cuando se añade suficiente calor a un sólido, éste se funde, pasando al estado líquido, y llega a gas al aumentar su temperatura. Si se continúa añadiendo temperatura el gas se comienza a ionizar.

Mientras añadimos energía, y ésta es en forma de energía cinética de modo que el movimiento de las moléculas aumenta, hablamos de aumentar el calor, pero también es posible lo contrario: restar energía, en cuyo caso hablamos de enfriar el cuerpo.

Cuando nos referimos a bajas temperaturas entramos a la criogenia. El límite de esta región es el "cero absoluto" o cero grados en la escala de Kelvin, temperatura a la cual las partículas no tienen energía cinética, por lo que, en principio, no existe el movimiento.

La temperatura del cuerpo humano, en general, es medida utilizando termómetros ya sea orales, anales o de contacto con la piel. También pueden ser electrónicos, de mercurio, de alcohol, etcétera. Una forma muy común de comparar la temperatura del cuerpo es simplemente colocar la mano sobre la frente de otra persona y comparar su temperatura con la nuestra. Éste es un método muy primitivo para poder comparar la temperatura, pero es efectivo.

La temperatura del cuerpo humano varía entre los 34° y los 42°C, por lo que un termómetro para medir la temperatura ambiente no es lo adecuado para el cuerpo humano. Cuando se usa un termómetro electrónico, la lectura es muy rápida, mientras que si el termómetro es de mercurio (el más común), hay que esperar el tiempo suficiente para que la lectura sea la correcta, aproximadamente 3 o 4 minutos, de otra manera no es confiable. Otros dos dispositivos muy usados para medir la temperatura o cambios en la temperatura del cuerpo humano son el termistor y el termopar.

Un *termistor* es, una resistencia cuyo valor varía de acuerdo con la temperatura; es tan sensible que con él pueden medirse cambios de temperatura de hasta 0.01°C. En general, en la práctica médica los termistores son colocados en la nariz de los pacientes para registrar la temperatura del aire que entra y compararla con

la del que sale; al aparato completo se le conoce como neumógrafo. En los niños de pocos días de nacidos que presentan problemas respiratorios es necesario tener el registro permanente de esta función, ya que se puede presentar un problema de apnea y causar la muerte.

Un *termopar* consiste de la unión de dos metales diferentes entre los cuales existe un voltaje que cambia directamente con la temperatura; es decir, al aumentar la temperatura aumenta el voltaje en forma proporcional. Dependiendo del tipo de metales que se usen, pueden medirse diferentes intervalos de temperatura, en particular cuando se usan cobre y constantán (aleación de cobre y níquel), se pueden medir temperaturas entre -190 y 300°C . Los termopares pueden construirse tan pequeños que es posible medir la temperatura de células individuales; la precisión dependerá del aparato con el que se mida.

Es conveniente usar dos uniones metálicas, una de ellas a 0°C (para mantenerla a esta temperatura basta con sumergirla en hielo con agua), respecto a la cual se hace la lectura.

Las medidas de la temperatura de las diferentes partes del cuerpo humano indican que ésta varía prácticamente de punto a punto, dependiendo de múltiples factores tanto externos al cuerpo como internos; el flujo sanguíneo cerca de la piel es el factor dominante.

El mapa de la temperatura corporal se conoce como *termograma*. Y se usa en diagnósticos de cáncer principalmente, ya que éste se caracteriza porque sus células se encuentran a temperaturas relativamente altas respecto a las restantes; la temperatura en la piel, sobre un tumor (que puede ser interno), es 1°C arriba del promedio.

La termografía también se usa frecuentemente en el estudio de la circulación de la sangre, principalmente en la cabeza, ya que diferencias en la temperatura entre los lados derecho e izquierdo son indicativas de problemas circulatorios.

Los beneficios terapéuticos del calor son conocidos hace siglos: los baños de agua caliente son muy relajantes, el calentar una cierta área del cuerpo provoca una aceleración en el metabolismo, produciendo vasodilatación e incremento en el flujo sanguíneo, lo que resulta benéfico para piel dañada.

Físicamente, el calor es transferido por conducción, radiación y convección. En los cuerpos sólidos la transmisión se lleva a cabo por *conducción*. Los buenos conductores de calor suelen serlo también de electricidad. En la transmisión por conducción dos objetos que se encuentran a diferentes temperaturas deben estar en contacto, el calor pasa del cuerpo caliente al cuerpo frío, y el calor total transferido depende del área de contacto, tiempo de contacto, diferencia de temperatura, y conductividad térmica de los materiales; por ejemplo, una cuchara metálica que se expone a una flama se calienta rápidamente hasta el extremo opuesto, a tal grado que es imposible sostenerla sin quemarse, mientras que una de madera se quema antes de que se caliente el extremo opuesto. A los malos conductores se les conoce como *aislantes*. Los aislantes térmicos también son aislantes eléctricos.

La transferencia de calor por conducción es aplicada en medicina a superficies en forma local; por ejemplo, la aplicación de plasmas de parafina caliente: la circulación sanguínea distribuye el calor que penetra en la piel en esta zona, y se usa en el tratamiento de neuritis, artritis, contusiones, sinusitis y otras enfermedades.

Un líquido o un gas en contacto con una fuente de calor, transportan el calor por *convección* ya que las capas calientes del fluido tienden a subir provocando que las capas frías bajen y tengan contacto con la fuente de calor. Para que la convección se lleve a cabo es necesaria la presencia de materia, a diferencia de la radiación, que se realiza aun en ausencia de materia.

La *radiación* es la transferencia de calor de un cuerpo caliente a sus alrededores, el ejemplo clásico es el Sol, o una llama de gas. El calor de radiación se usa para calentamiento superficial del cuerpo, por ejemplo con lámparas incandescentes. La radiación infrarroja (radiación con longitudes de onda entre 800 y 4000mm) tiene una penetración en la piel de aproximadamente 3 mm , e incrementa la temperatura de la

superficie; generalmente se usa para los mismos problemas que el calentamiento conductivo, pero exposiciones prolongadas pueden causar lesiones a la piel.

Cuando el problema es de inflamación de un hueso, una neuralgia o bursitis, por ejemplo, se usa la *diatermia*, que consiste en pasar corriente eléctrica de determinada frecuencia a través del cuerpo, el calor producido de esta manera aumenta al incrementarse la frecuencia de la radiación, la cual puede ser de onda corta (longitud de onda del orden de 10 m) o bien encontrarse en el intervalo de las microondas (longitud de onda del orden de 10 cm). Hay dos métodos diferentes para transferir esta energía al cuerpo; en uno, la parte del cuerpo que va a ser tratada se coloca entre dos placas metálicas que actúan como electrodos, como se ilustra en la figura 17 (a). Los diferentes tejidos del cuerpo reaccionan de diversas maneras a las ondas, de modo que debe tratarse de manera diferente cada problema.

El segundo método de transferencia de energía al cuerpo es por *inducción magnética*, lo que se logra colocando una bobina que rodee la parte del cuerpo que se va a tratar (una bobina no es otra cosa que un alambre enrollado por el cual pasa corriente), como se muestra en la figura 17 (b).

También puede usarse **ultrasonido** para calentamiento de partes internas. Este produce un efecto de micromasaje ya que se trata de ondas mecánicas y no electromagnéticas.

Desde la década de los setentas se comenzó a usar la radiación combinada con el calor en el tratamiento de algunos tumores cancerosos con muy buenos resultados.

Criogenia es la ciencia y la técnica de producir muy bajas temperaturas. La historia de la criogenia data de 1840 en que se usó el frío (hielo) para el tratamiento de la malaria; en 1877 se logró licuar aire (-196°C) y en 1908 se licuó helio (-269°C). Uno de los problemas más difíciles de resolver fue el de guardar los líquidos a estas temperaturas, ya que por convección o por radiación aumentaban fácilmente su temperatura. Este problema fue resuelto por James Dewar en 1892 y el dispositivo inventado por él ahora lleva su nombre: dewar. Un *dewar* está hecho de vidrio plateado o de acero delgado para minimizar las pérdidas por conducción y por radiación, con vacío entre sus paredes para evitar las pérdidas de energía por convección.

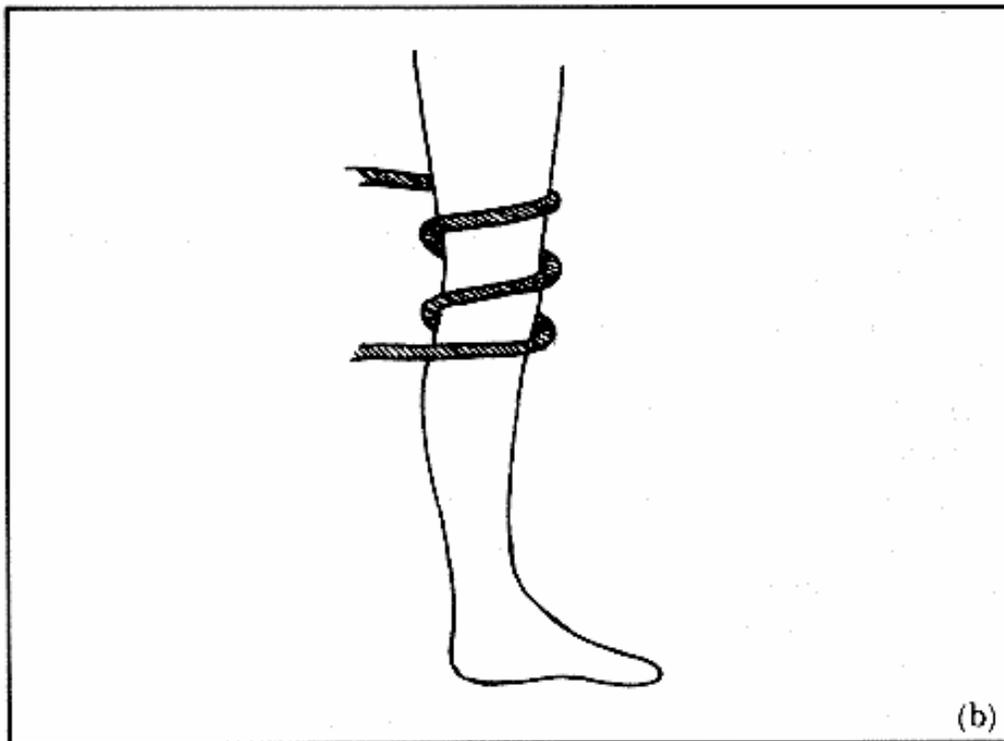
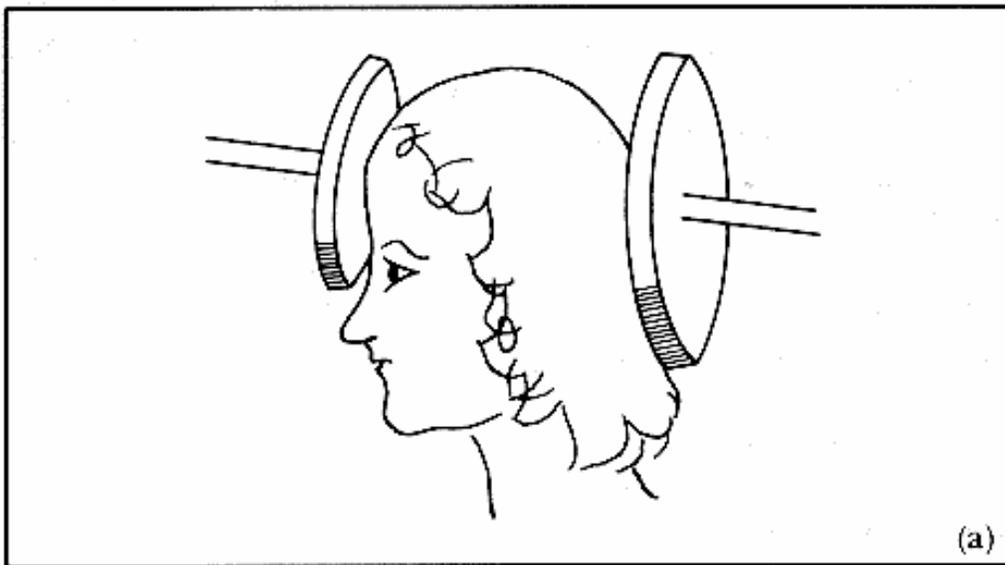


Figura 17. (a) Colocación de las placas del conductor para diatermia de onda corta. (b) Colocación de una bobina de inducción (alambre enrollado por el que pasa una corriente) para diatermia de microondas en la rodilla.

Los problemas que involucra la transferencia de fluidos criogénicos son similares a los de su almacenamiento. Las líneas de transferencia de estos fluidos están construidas similarmente a los dewars. En medicina se usan las bajas temperaturas para la preservación de sangre, esperma, tejidos, etcétera. De hecho, el frío retarda todos los procesos; puede decirse que provoca un estado de animación retardada o suspendida si la temperatura es muy baja.

Cuando los métodos criogénicos se usan para destruir células, se habla de la *criocirugía*; ésta tiene varias ventajas: hay poco sangrado en el área destruida, el volumen del tejido destruido se puede controlar por la temperatura de la cánula crioquirúrgica, hay poca sensación de dolor porque las bajas temperaturas insensibilizan las terminales nerviosas. Una de las primeras aplicaciones de la criocirugía fue en el

tratamiento del mal de Parkinson, el cual provoca temblores incontrolables en brazos y piernas. Es posible detener los temblores destruyendo quirúrgicamente la parte del tálamo cerebral que controla estos impulsos, para lo cual se diseñó un dispositivo especial que permite llegar a esta parte del cerebro y mantenerla por unos minutos a -85°C , destruyéndola sin afectar otras partes del cerebro; todo esto se lleva a cabo con el paciente consciente, de modo que los beneficios son detectados de inmediato y su recuperación es sumamente rápida comparada con la que tendría si se somete a una intervención quirúrgica tradicional.

En la cirugía de cataratas y la reparación de retinas dañadas, se empieza a usar mucho la criogenia. Sin lugar a dudas tiene gran cantidad de aplicaciones, que están siendo desarrolladas actualmente.

Indice

[Anterior](#) | [Previo](#) | [Siguiete](#)

VII. FLUIDOS

LA MATERIA puede clasificarse, desde el punto de vista macroscópico, en sólidos, líquidos y gases. Mientras que los primeros tienen forma propia, los líquidos y los gases adoptan la forma del recipiente que los contiene.

Si consideramos una fuerza actuando sobre la superficie de un sólido, la dirección en la que actúa la fuerza no importa para la forma del sólido, ya que ésta no cambia; la acción de la fuerza se traduce en movimiento del cuerpo, desplazándose éste como un todo. Si la fuerza se aplica a un líquido o a un gas, el comportamiento del sistema es diferente: éstos tienden a fluir, es decir, a deslizarse por capas. Si consideramos un líquido contenido en un recipiente, al actuar una fuerza sobre él, la componente perpendicular a la superficie del recipiente no contribuye al movimiento del líquido, pero la componente paralela a la superficie de dicho recipiente provocaría que las diversas capas del líquido se deslizaran unas sobre otras, haciendo que éste pierda su estado de reposo. La propiedad de deslizamiento por capas ante la presencia de cualquier fuerza paralela a la superficie, sin importar su magnitud, se conoce como *fluir* e identifica tanto a los líquidos como a los gases; es por ello que se les conoce como *fluidos*.

Dicha propiedad es la responsable de que los fluidos cambien su forma. Para entender su comportamiento, es necesario desarrollar algunos conceptos previos, de modo que empezaremos por decir que para que un fluido esté en reposo, la fuerza que ejerce sobre las paredes del contenedor que lo limita siempre es perpendicular a la superficie del contenedor, de otra forma existiría un flujo, es decir, el fluido estaría fuera de equilibrio.

Debido a que gases y líquidos fluyen y/adquieren la forma del contenedor, existe contacto entre el fluido y la superficie completa del recipiente. La fuerza ejercida por el fluido sobre el contenedor está distribuida sobre toda la superficie de contacto, y la forma más conveniente para describir esta situación es en términos de la fuerza normal a la superficie, por unidad de área, esto se conoce como *presión* y se

simboliza por:
$$P = \frac{F}{A}$$
 (presión = fuerza / área).

La presión es una cantidad escalar, es decir, no tiene dirección, sólo magnitud, y se mide en Pa (Pascal), 1 Pa = 1 N/m², en mm de Hg, en atmósferas (atm), 1 atm = 760 mm de Hg, o en las unidades que se requieran dependiendo del sistema que se esté utilizando.

Una atmósfera (1 atm) es la presión que sentimos debido a la existencia de la atmósfera terrestre al nivel del mar, es decir, es el peso de la atmósfera que rodea la Tierra por m² de superficie, lo que equivale a 1.013 X 10⁵ N/m². Es curioso saber que soportamos tanto peso y nuestro organismo funciona tan bien. Si consideramos además el caso de un buzo, a medida que desciende del nivel del mar, el peso sobre su cuerpo aumenta por la cantidad de agua que queda sobre él; esto implica que la presión sobre él crece a medida que desciende. La pregunta que surge es: ¿por qué no muere aplastado?. La respuesta está en que para poder mantener su forma, el cuerpo ejerce una presión similar sobre el agua que lo rodea, de modo que la suma de las dos presiones se anula, impidiendo que el buzo muera. En esto el sistema respiratorio y el circulatorio desempeñan un papel muy importante.

Una presión ejercida sobre un fluido desde el exterior, es transmitida uniformemente a través de todo el volumen del fluido; de otra forma, éste podría fluir de una región de alta presión a una de baja presión igualándose las presiones; de este modo, el fluido que se encuentra en el fondo del contenedor está siempre a mayor presión que el de la superficie, debido al peso del propio fluido. Esto lo podemos aplicar también al cuerpo humano, ya que si en un momento dado medimos la presión de diferentes partes del cuerpo en una persona que se encuentra de pie, dicha presión será mayor en los pies que en la cabeza.

El postulado anterior también puede expresarse como: cualquier presión que se aplica a la superficie de un

fluido confinado se transmite completamente a todos los puntos del fluido; esto en física se conoce como principio de Pascal y tiene muchas aplicaciones. Quizá la más conocida en medicina es la jeringa: la presión que se aplica en el pivote se transmite íntegramente al fluido haciendo que salga a través de un área mucho menor, por lo que sale con gran velocidad. Si el área de salida es igual al área de aplicación de la fuerza, el fluido escaparía con la misma velocidad con la que se empuja; si el área de salida fuera mayor, la velocidad con la que saldría el fluido sería menor que la de empuje.

Otro hecho importante es que la presión sobre una superficie pequeña en un fluido es la misma, sin importar la orientación de dicha superficie. Dicho en otras palabras: la presión en un área pequeña dentro de un fluido depende únicamente de la profundidad a la que se encuentre dicha área; si no fuera así, la sustancia fluiría de tal forma que se igualaran las presiones.

La fuerza ejercida por la presión en un fluido es la misma en todas direcciones a cualquier profundidad, y su magnitud depende de la profundidad, de la siguiente manera:

$$P = \frac{F}{A} = \rho \cdot g \cdot h$$

donde ρ es la densidad del fluido.

La densidad de un objeto es la razón de su masa con su volumen. Podemos escribir que: $\rho =$

$\frac{m}{V}$ masa/volumen. Para los diferentes elementos, la densidad es una medida que los caracteriza. En el sistema MKSC sus unidades son kg/m^3 y se miden con respecto al agua, cuya densidad es de 1 g/cm^3 .

Para medir la densidad de un fluido, como la sangre, basta con conocer el peso (que dividido entre el valor de la constante gravitacional $g = 9.81 \text{ m/s}^2$ nos da el valor de la masa) y el volumen de una muestra, lo cual es fácilmente obtenible en el laboratorio con ayuda de una balanza y de una probeta. Si se trata de un sólido, el problema se complica en caso de que no tenga una forma regular para poder calcular el volumen, pero experimentalmente puede medirse introduciendo el sólido en una probeta con agua (por ejemplo) y midiendo el volumen de agua desplazado, que será igual al del sólido. Si el cuerpo es muy grande, podemos aplicar el Principio de Arquímedes, que nos dice que el peso del fluido desplazado es igual a la diferencia entre el peso del cuerpo en el aire W_a y el peso del cuerpo en el fluido W_f .

$$\rho \cdot g \cdot V = W_a - W_f$$

En un líquido las fuerzas de atracción entre las moléculas, aunque no son tan grandes como en los sólidos, sí son lo suficientemente fuertes para mantener a la sustancia en un estado condensado, de modo que podemos hablar de una superficie del líquido, de la cual puede medirse el área. Si deseamos incrementar el área superficial de una cantidad de líquido, es necesario llevar a cabo un trabajo sobre la superficie, es decir, se debe hacer un trabajo sobre las fuerzas de cohesión que son las que mantienen cercanas las moléculas de la superficie. El trabajo W requerido por unidad de área para incrementar el área de un líquido es llamado *tensión superficial* del líquido σ .

$$\sigma = \frac{W}{A}$$

sus unidades son J/m^2 (J son Joules, unidad de trabajo o energía) o bien en N/m .

Con el objeto de aclarar este concepto, considérese agua jabonosa: en un momento dado tendrá una área superficial determinada; si queremos aumentarla bastará con agitar el agua y producir espuma sobre la superficie: agitarla implica hacer trabajo sobre ella. De esta manera hemos aumentado su superficie.

Se usa la palabra tensión para describir el trabajo por unidad de área, por el efecto que tiene que aplicar una tensión, es decir una fuerza a lo largo de uno de los lados de la superficie, para estirarla: se logra aumentar el área. Esto es fácil de imaginar si se piensa en un gancho en forma de U que ha sido sumergido a una solución jabonosa, y en el cual se cierra la U por medio de un alambre que puede desplazarse bajo la aplicación de una fuerza, tensando así la superficie.

Otro fenómeno importante en el estudio de los fluidos es el de *capilaridad*, que es la habilidad que tiene un fluido de subir dentro de un tubo de diámetro interior pequeño, violando aparentemente la ley de gravedad. Considerése que un tubo de vidrio con un diámetro interior pequeño se introduce en agua: el agua subirá a una cierta altura en el tubo y presentará una forma cóncava; el líquido en contacto con las paredes del tubo estará a mayor altura que el líquido del centro del tubo. El agua realmente trepa por el tubo hasta que el empuje dado por la tensión superficial se balancee con el peso de la columna de agua.

La altura a la cual sube el líquido dentro de un tubo, depende de las magnitudes relativas de las fuerzas de cohesión y de las fuerzas de adhesión (fuerzas existentes entre las moléculas del líquido y las moléculas del tubo). Si las fuerzas de adhesión son grandes, se dice que el líquido moja al tubo y entonces trepa por él; si las fuerzas de cohesión son mayores que las de adhesión, entonces el líquido no moja al tubo y no sube por su interior; esto último ocurre en el caso del mercurio.

Este efecto es muy importante en biología en general, ya que el agua sube por capilaridad, desde las raíces de un árbol hasta las hojas más altas de su follaje; también por capilaridad se lleva a cabo la irrigación de parte del organismo de los animales de sangre caliente; en el cuerpo humano se llevan a cabo multitud de fenómenos por capilaridad, sobre todo a nivel celular.

Hasta ahora sólo han sido consideradas situaciones estáticas para los fluidos, pero el comportamiento de ellos cambia ante situaciones dinámicas.

El comportamiento de muchos de los fluidos en movimiento está muy cercanamente descrito por la ecuación de Bernoulli, la cual establece que la cantidad dada por:

$$P + \rho \cdot g \cdot h + \left(\frac{1}{2}\right) 2\rho \cdot v^2$$

donde P es la presión a la que se encuentra el fluido, ρ es su densidad, g es la constante de gravedad y v es la velocidad del fluido, se mantiene constante en, cualquier punto de la trayectoria del fluido, el cual debe cumplir con ciertas características para que la ecuación dada arriba sea válida: no debe haber viscosidad o ésta debe ser muy pequeña, y debe fluir en forma perfectamente lisa, es decir que el flujo debe ser laminar; no debe haber turbulencias; si se trata de un gas, no debe haber compresión apreciable, es decir, entre dos puntos arbitrarios de la trayectoria del gas, la diferencia en las presiones debe ser pequeña.

Escrita de otra forma, la ecuación de Bernoulli queda como:

$$P + \rho \cdot g \cdot h_1 + \frac{\rho v_1^2}{2} = P_2 + \rho \cdot g \cdot h_2 + \frac{\rho \cdot v_2^2}{2}$$

Esta ecuación se aplica a muchas situaciones en medicina, como son la medida de la presión arterial, la aplicación de presión de aire en los pulmones para respiración artificial, el drenado de líquidos humanos a través de sondas, etcétera.

Cuando se presenta, por ejemplo, hidrocefalia, el cerebro no está drenando el líquido cefalorraquídeo de su interior, lo que provoca que este líquido llene la cavidad cerebral y siga aumentando su volumen, provocando una presión tremenda sobre las paredes del cerebro, contra el cráneo, y dando lugar a fuertes dolores de cabeza; lo que procede entonces es colocar una sonda hecha de un material especial, que no

provoca reacción de rechazo por el organismo, en la cavidad cerebral que está bloqueada y sacar el líquido. Para evitar infecciones por el medio ambiente, la sonda va a desaguar a algún sitio dentro del cuerpo. El principio en el que se basa este método es muy simple: es el principio de Bernoulli; la técnica es complicada, se trata de una operación que involucra al cerebro, por lo que además representa riesgo para el paciente, pues implica entre otras cosas muchas horas en el quirófano; la tecnología es fundamentalmente de materiales especiales, pues la sonda quedará colocada en el cerebro para siempre, y de las herramientas adecuadas para el cirujano. Este tipo de sondas son hechas aprovechando los conocimientos que sobre fluidos se tienen, ya que debido a la pequeñez de su diámetro, el líquido cefalorraquídeo no entra en cualquier tipo de sonda; las usadas en estos casos están hechas de forma tal que parecen cepillos redondos para el pelo, y por sus puntas escurre el fluido al interior de la sonda.

Indice

[Anterior](#) [Previo](#) [Siguiete](#)

VIII. LUZ EN MEDICINA

LA LUZ es parte de nuestra vida, sin ella no existiría el mundo como lo conocemos, sin embargo entender qué es resulta muy complicado, pues a veces presenta el comportamiento de una onda y a veces el de una partícula.

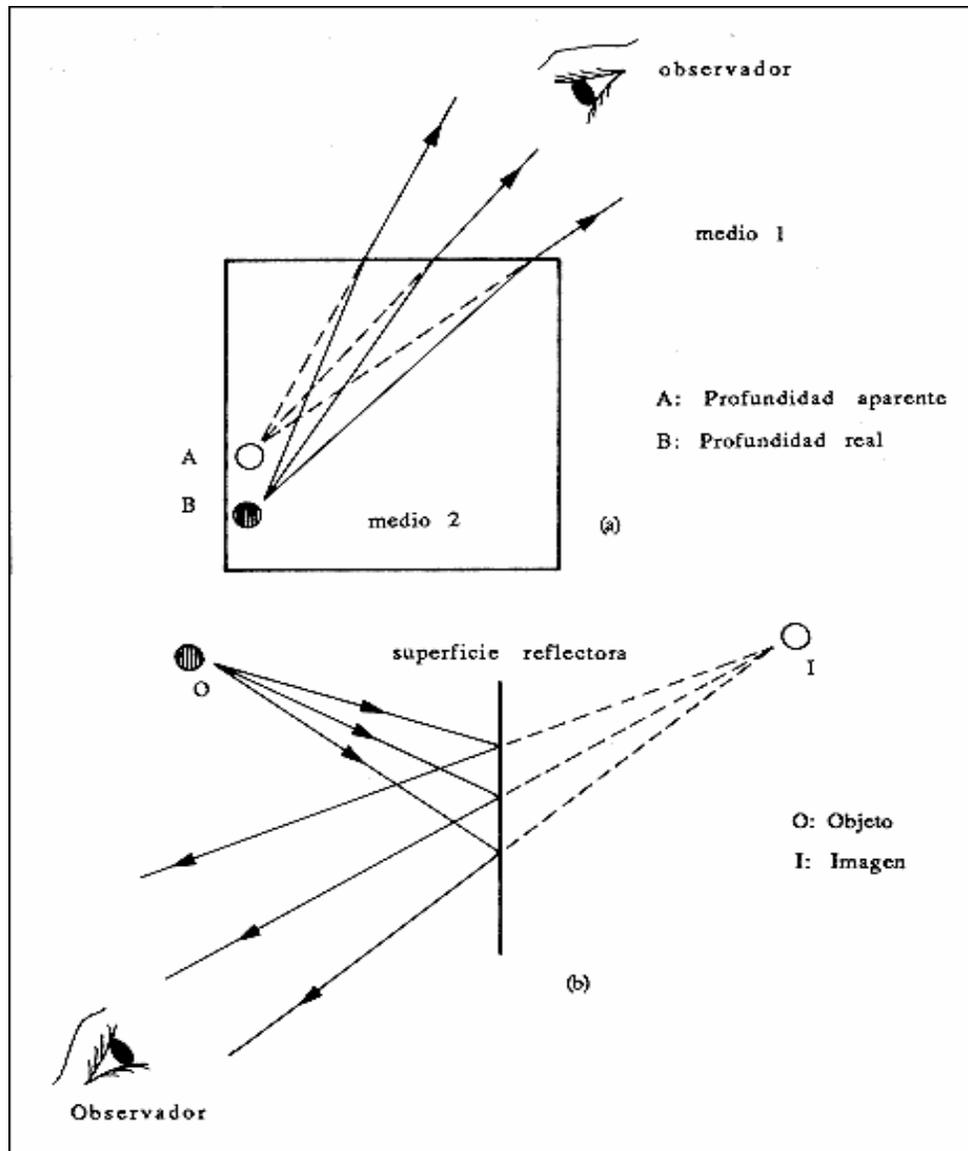


Figura 18. Fenómenos (a) de refracción y (b) de reflexión de la luz. La imagen que tenemos de un objeto nos engaña respecto a la posición real del objeto.

Algunas de las propiedades de la luz tiene aplicaciones en medicina, por ello es que aquí mencionaremos las más comunes. Las aplicaciones médicas de la luz abarcan el intervalo de frecuencias del infrarrojo (IR), del visible y del ultravioleta (uv).

Cuando la luz incide sobre una superficie plana, pulida, el rayo se *refleja* en tal forma que el ángulo de reflexión θ_r es igual al ángulo de incidencia θ_i medidos respecto a la perpendicular a la superficie, de modo que para un observador al cual llega el rayo reflejado, la imagen parece provenir de detrás de la superficie reflectora.

Cuando la luz incide sobre un material transparente, se divide en la superficie en dos partes, una de ellas se

refleja y la otra se trasmite a través del material. El rayo no tiene la misma dirección que el rayo incidente. Este fenómeno se conoce como *refracción*. La razón de la velocidad de la luz en el vacío c a la velocidad de la luz en el medio v se conoce como índice de refracción n :

$$n = \frac{c}{v}$$

La ley que rige el comportamiento de la luz al refractarse cuando pasa de un medio con índice de refracción n_1 , a otro cuyo índice de refracción es n_2 , incidiendo de tal forma que hace un ángulo θ_1 con la vertical, es la Ley de Snell: $n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$ siendo θ_2 el ángulo que forma el haz transmitido con la vertical en el medio 2.

Cuando la luz pasa del medio 1 al medio 2, caracterizados por n_1 y n_2 respectivamente, y $n_1 < n_2$ la luz siempre se trasmite al medio 2. Sin embargo, no sucede así cuando $n_1 > n_2$ en este caso la luz se trasmite cuando el ángulo de incidencia θ_1 es menor que un cierto valor θ_c ; si el ángulo de incidencia es igual a θ_c , la luz viaja paralela a la superficie, y si es mayor que θ_c ; sólo se refleja en la superficie que separa los dos medios sin transmitirse, como se puede ver en la figura 19. Al ángulo θ_c se le conoce como ángulo crítico y al hecho de que la luz se refleje completamente cuando $\theta_1 > \theta_c$ se le conoce como reflexión interna o reflexión total.

El ángulo crítico para la interfase entre el aire y un material con índice de refracción $n = \sqrt{2} = 1.4142$, es 45° . Prácticamente todos los vidrios tienen índices de refracción mayores que $\sqrt{2}$ y por lo tanto tienen ángulos críticos que son menores que 45° . Una pieza de vidrio cortada en ángulos de 45° (prisma) puede usarse como un espejo.

Combinaciones de prismas se usan en los binoculares para incrementar el camino de la luz sin aumentar la longitud del instrumento.

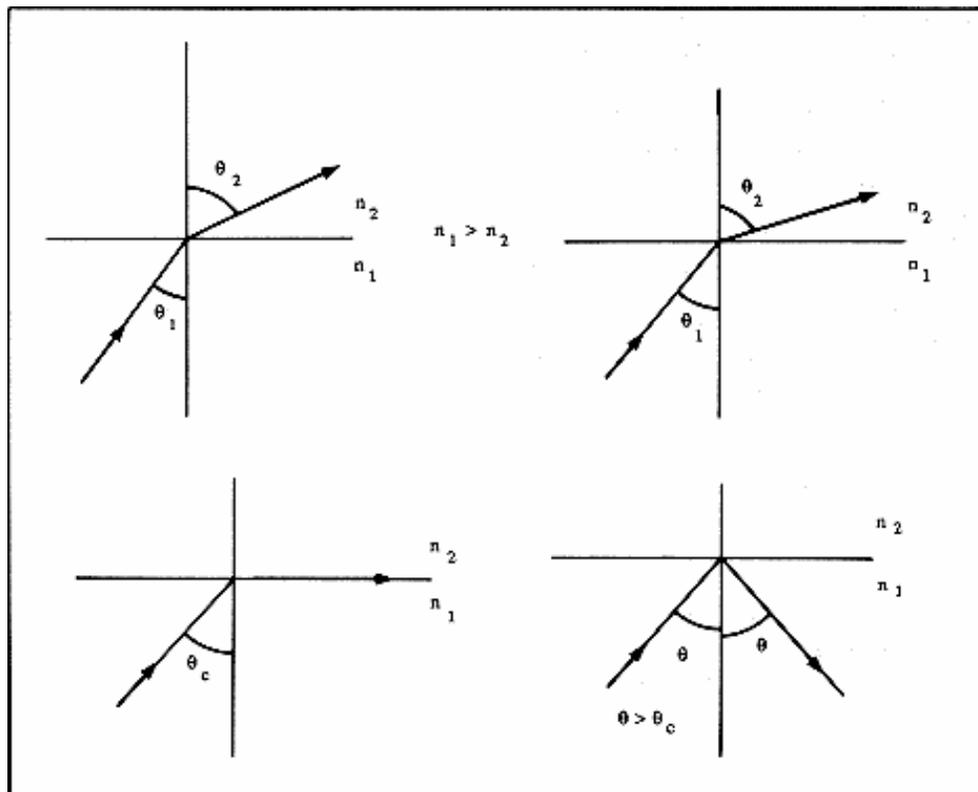


Figura 19. Si $n_1 > n_2$, existe un ángulo crítico θ_c , para el cual el rayo de luz ya no pasa del medio 1 al

medio 2, sólo reflejándose en la superficie. Este fenómeno se conoce como reflexión interna.

Cuando pasa luz a una barra de vidrio o de plástico de diámetro pequeño, los ángulos con los que inciden los rayos de luz sobre las paredes de la barra son mayores que el ángulo crítico, produciéndose así una reflexión interna si la barra se dobla o se curva. Estas barras se conocen como pipas de luz o fibras ópticas y tienen infinitas aplicaciones; por ejemplo, se puede ver el interior del estómago de un paciente sin tener que abrirlo.

La luz como onda produce *interferencia* y *difracción* que son fenómenos de menor importancia en medicina. Como partícula, la luz puede ser absorbida por una molécula simple. Podemos decir que la "partícula" de luz, conocida como fotón, puede ser absorbida y la energía que transporta usarse de varias maneras; puede causar un cambio químico en la molécula que lo absorbe, el cual a su vez puede causar un cambio eléctrico: esto es lo que sucede en las células sensibles de la retina.

Generalmente, la energía de la luz absorbida se manifiesta como calor, ésta es la base del uso de la luz infrarroja en medicina para calentar tejidos. A veces, cuando se absorbe un fotón, es emitido otro fotón pero de menor energía, esta propiedad se conoce como *fluorescencia* y es la base para los tubos de luz fluorescentes. Algunos materiales presentan fluorescencia en presencia de luz ultravioleta (uv), llamada a veces "luz negra"; la cantidad de fluorescencia y el calor de la luz emitida depende de la longitud de onda de la luz uv y de la composición química del material fluorescente. Una de las aplicaciones de la fluorescencia en medicina es en la detección de la porfiria: ésta se presenta como una fluorescencia roja cuando se irradian los dientes con luz uv.

La luz puede dividirse en tres categorías según su longitud de onda, la cual puede darse en angstroms ($1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ m}$) en nanómetros ($1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$) o en micras ($1 \mu = 10^{-6} \text{ m}$). La luz ultravioleta o uv tiene longitudes de onda entre 100 y 400 nm, la luz visible abarca de 400 a 700 nm y la infrarroja o IR va de 700 a 10000 nm.

Cuando hablamos de luz visible, hablamos de fotometría. La cantidad de luz que llega a una superficie se conoce como *iluminación* y se mide en lumen/m², mientras que la cantidad de luz que sale de la fuente se denomina *luminancia*.

Si se trata de luz no visible, generalmente se habla de radiación IR o radiación uv, y sus unidades son radiométricas. En radiometría la cantidad de luz que llega a una superficie se llama irradiancia y se mide en watts/m², la intensidad de la fuerza de luz es la radiancia.

La luz es una onda electromagnética, es decir, está compuesta por un campo eléctrico oscilante y uno magnético, también oscilante, mutuamente perpendiculares. En lo que se refiere al espectro de radiación electromagnética, la luz visible abarca un intervalo muy bien definido considerando la longitud de la onda, como puede apreciarse en la figura 20.

Un uso común de la luz visible es permitirle al médico obtener una información visual del paciente: el color de su piel, su estado de ánimo, anormalidades en su cuerpo. A veces la luz es insuficiente y entonces recurre a fuentes de luz más intensas, a espejos, a superficies cóncavas que concentran la luz en la región de interés o a instrumentos más complejos como el oftalmoscopio para ver dentro del ojo, el otoscopio que le permite ver dentro del oído o al endoscopio para observar cavidades internas.

Los endoscopios tienen diferentes nombres según su uso, pero todos ellos utilizan el mismo principio: iluminar con luz visible que le permita al médico ver. Así el citoscopio se usa para ver la vejiga, el proctoscopio para el recto, el broncoscopio los pulmones, etc. Algunos son tubos rígidos, que iluminan y permiten ver el área de interés, otros están equipados con dispositivos ópticos para amplificar el tejido en un estudio.

Con la aparición de las fibras ópticas flexibles, se desarrolló la técnica de endoscopios que podían penetrar

en áreas antes inaccesibles con los tubos rígidos. Los endoscopios flexibles en general tienen un canal abierto que permite al médico tomar muestras de tejido (biopsia) para un análisis microscópico posterior.

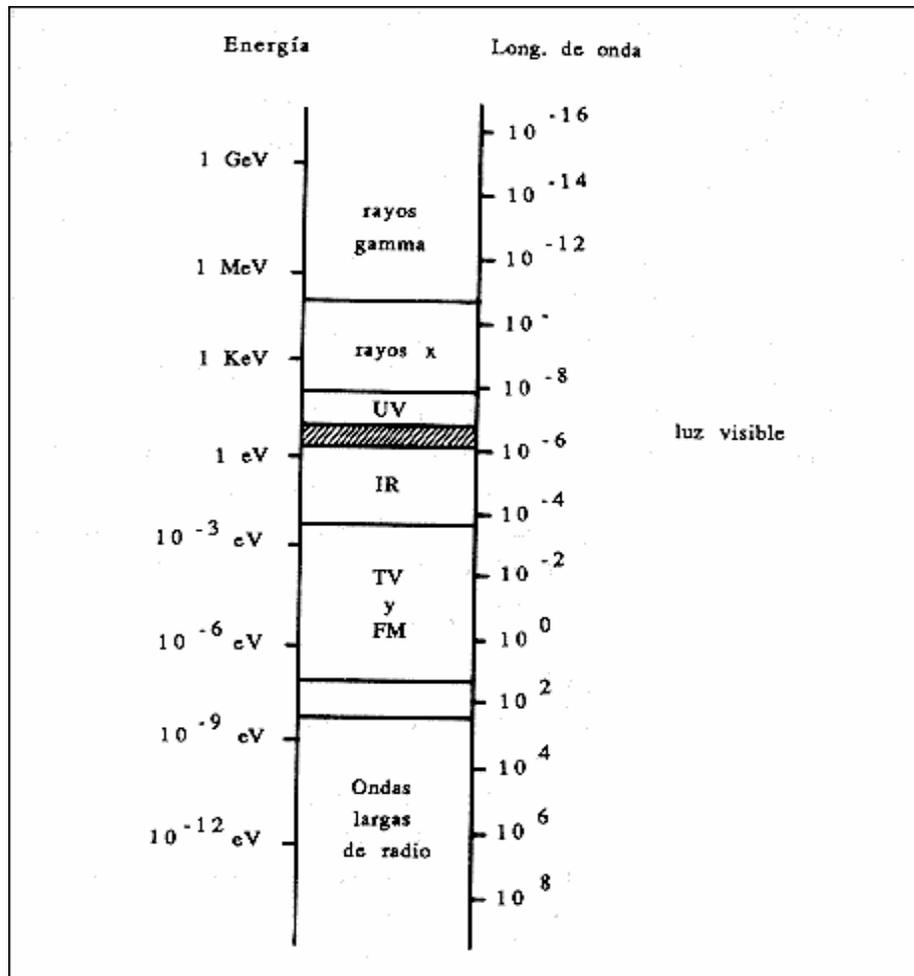


Figura 20. Espectro de radiación electromagnética.

Debido a que la luz contiene energía que se transmite en forma de calor al ser absorbida, hay un límite para la cantidad de luz que puede ser usada en endoscopia. Generalmente en esta técnica se usa luz fría, luz que contiene muy poca radiación IR para minimizar el calentamiento de los tejidos y se logra por medio de filtros de vidrio que absorben la radiación IR de la fuente luminosa.

La *transiluminación* es la transmisión de luz a través de los tejidos del cuerpo. Podemos apreciarla fácilmente colocando los dedos de nuestra mano juntos frente a un foco: observaremos los límites de ellos de color rojo, ya que los demás colores de la luz son absorbidos por las células rojas de la sangre; de hecho, la luz roja es la única componente que se transmite.

Clínicamente, la transiluminación se usa en la detección de hidrocefalia de niños. Como el cráneo de los niños pequeños no está completamente calcificado, la luz penetra en su interior; si existe un exceso de líquido cefalorraquídeo (fluido cerebrospinal), el cual es relativamente claro, la luz se dispersa produciendo patrones característicos de hidrocefalia. También puede usarse en la detección del colapso pulmonar en infantes, y actualmente se investiga su uso en el estudio de otras anomalías. Algunos niños prematuros presentan ictericia (coloración amarilla de la piel), debida a que el hígado libera un exceso de bilirrubina en la sangre, y la exposición de los niños a la luz visible los ayuda a superar este problema. Se ha detectado que la componente azul de la luz visible es la más importante en este caso, aunque aún no se comprende cómo funciona. La aplicación de la luz visible en terapia se conoce como fototerapia.

La radiación UV es de mayor energía que la luz visible, la luz UV con longitudes de onda menores que 290 nm es germicida, por lo que se puede usar para esterilizar instrumentos. También produce muchas

reacciones en la piel, algunas benéficas, otras mortales; una de ellas es la transformación de algunas moléculas en vitamina D.

La radiación UV proveniente del Sol reacciona con la melanina (pigmento) de la piel provocando que se oscurezca. Una exposición prolongada al Sol puede tener como consecuencia la aparición del cáncer de la piel, debido a las reacciones de la piel con la luz UV. Las áreas afectadas más comúnmente son aquellas que se exponen más tiempo al Sol, como los lóbulos de las orejas, la nariz y la parte posterior del cuello. Afortunadamente es un tipo de cáncer curable si se detecta en sus inicios. El vidrio común permite el paso de una pequeña parte de radiación UV pero detiene mucha de la radiación dañina.

La luz UV no puede ser vista por el ojo humano, ya que antes de llegar a la retina es absorbida en las diferentes estructuras del ojo. Las cataratas u opacidades son el producto de la gran absorción de luz UV.

Si vemos directamente al Sol, la radiación IR que llega a la retina del ojo puede quemarla, para evitarlo debemos abstenernos de mirarlo directamente o bien hacerlo a través de vidrios oscuros que filtran las radiaciones IR y UV.

Otra de las aplicaciones de la luz es la de calentamiento: podemos calentar tejidos internos con lámparas de luz IR con longitudes de onda entre 1 000 y 2 000 nm.

Una aplicación muy común de luz IR en medicina es la fotografía IR reflectiva y emisiva, esta última se conoce como termografía y se usa para detectar las diferentes temperaturas del cuerpo humano. Una región caliente indica la posibilidad de una alteración. En el estudio de la circulación sanguínea, las diferencias de temperatura entre los lados izquierdo y derecho indican problemas circulatorios.

El microscopio es uno de los instrumentos de mayor utilidad en medicina, y es fundamental en la patología. Una amplificación mayor de mil veces, permite el estudio de células (citología) y de tejidos (histología). La amplificación del microscopio de luz se puede variar, cambiando las lentes que lo conforman, sin embargo, la amplificación está limitada por la longitud de onda de la luz utilizada, en este caso, la luz visible que abarca de los 400 a los 700 nm limita al microscopio a resolver objetos de hasta 1 μm . Objetos menores de 1 μm no podemos distinguirlos, pero la mayor parte de las células tienen dimensiones entre 5 y 50 μm .

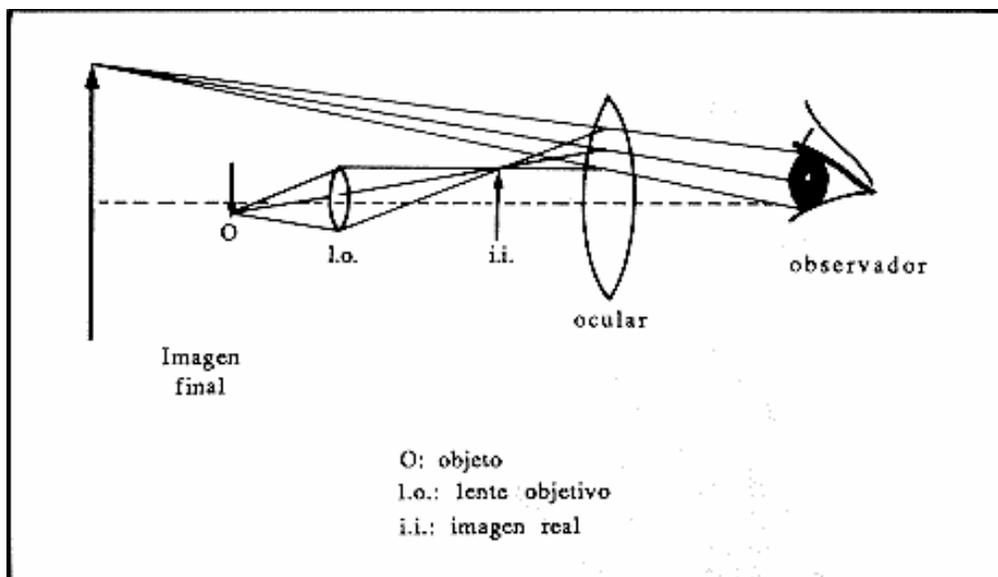


Figura 21. (a) Microscopio óptico. (b) Diagrama esquemático de un microscopio simple de dos lentes.

Si colocamos un conjunto de células en un microscopio para observarlas, lo más seguro es que no podamos ver nada a menos que las pintemos con una tinta especial que las hace visibles, de otra manera, son incoloras en su mayoría, como se ve (en la Figura 21).

El microscopio de contraste hace uso del hecho de que la luz se refracta de manera diferente al pasar por las distintas partes que componen la muestra en estudio. Este haz que pasa a través de la muestra se combina con otro haz (de referencia) que no pasa a través de ella, produciendo zonas claras y oscuras debido a la interferencia de la luz, y tiene la ventaja de que no requiere que la muestra se tiña.

La luz UV se usa en microscopía fluorescente. Los rayos X de baja energía se usan como fuente de irradiación en la técnica microscópica llamada historradiografía.

Cuando el haz utilizado es un haz de electrones se trata de un microscopio electrónico. Las lentes de este tipo de microscopio son campos eléctricos y magnéticos que pueden dirigir, afocar o abrir, el haz de electrones. La longitud de onda de los electrones depende de su energía, pero alcanza amplificaciones de hasta 250 000 veces, mientras el microscopio convencional alcanza unas 1000 veces de amplificación (véase la Figura 22).

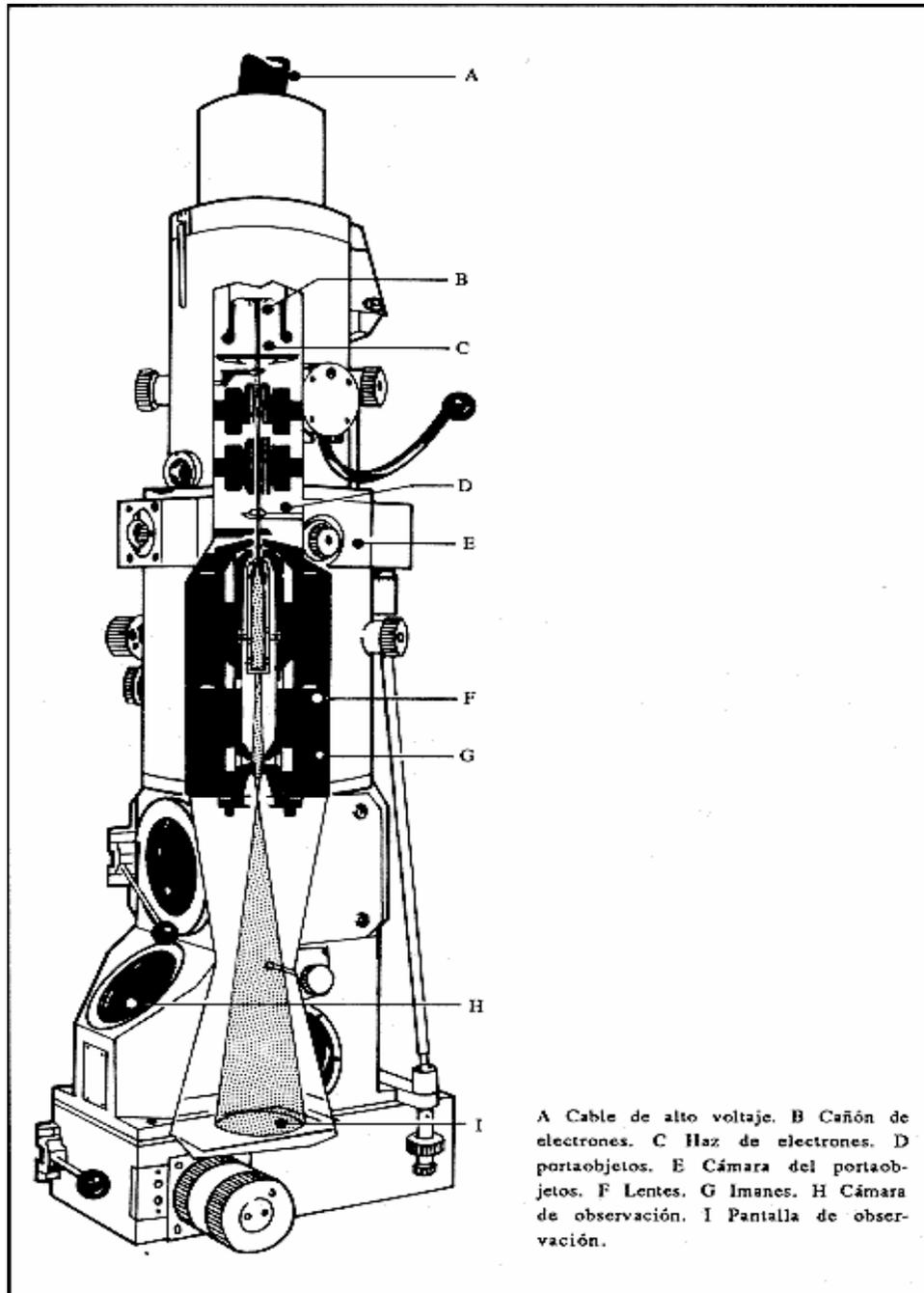


Figura 22. (a) Diagrama de un microscopio electrónico.

En el microscopio electrónico de transmisión (TEM), las muestras observadas deben ser lo

suficientemente delgadas para que el haz de electrones pase a través de ellas. Una capa de metal pesado depositado sobre la muestra hace las veces de tinte.

Podemos decir, sin equivocarnos, que la vista es el sentido que más información nos proporciona sobre el mundo que nos rodea. El sentido de la vista lo podemos dividir en tres partes para su mejor comprensión: los ojos, que captan la imagen enfocándola sobre la retina; el nervio óptico, que lleva la información al cerebro, y la corteza visual, que es la parte del cerebro donde se interpreta la información. Cuando una de estas partes falla el resultado es la ceguera.

La física está involucrada en cada una de las partes del sistema visual, sin embargo, sólo hablaremos del ojo, cuyas partes se muestran en la figura 23. El ojo es el sistema óptico más perfecto que conocemos, comenzando por el ángulo visual ya que podemos captar información de lo que ocurre alrededor en un ángulo de aproximadamente 155° en la horizontal y 130° en la vertical.

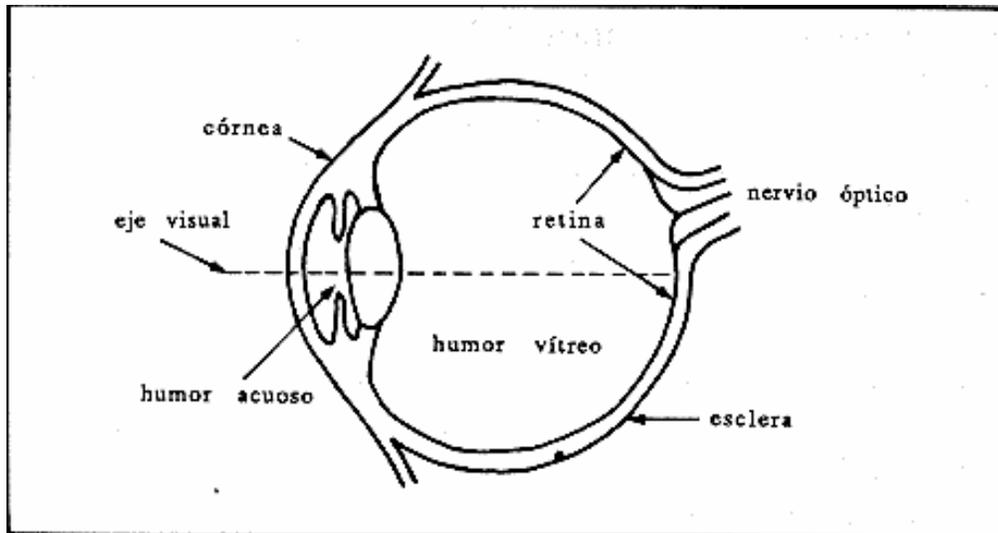


Figura 23. Diagrama del ojo humano.

El ojo puede captar información del exterior en un intervalo muy grande de intensidad luminosa, en un día muy soleado o en una noche oscura, para lo cual cuenta con el iris que no es otra cosa que un ajuste de apertura automático.

El enfoque del ojo nos permite ver un objeto a unos cuantos centímetros de distancia e inmediatamente otro a varios metros o cientos de metros, sin verlo borroso.

El ojo cuenta con un sistema de lubricación y limpieza muy efectivo: el párpado, que se abre y cierra cientos de veces al día, manteniendo al ojo siempre limpio.

Debido a que tenemos dos ojos, el número de imágenes que procesa nuestro cerebro nos permite tener una clara idea de la distancia a la que se encuentra un objeto. La imagen visual pasa de ser una imagen en dos dimensiones a ser una en tres dimensiones.

Si por alguna razón la forma del ojo llega a cambiar, ésta regresa a su estado original debido a que cuenta con un sistema de presión automático.

La córnea es la parte transparente, colocada frente al ojo, por donde pasa la luz formando la imagen invertida del objeto que observemos en la retina, desde donde viaja al cerebro para ser procesada, corrigiéndose su posición. La córnea, un conjunto de células vivas, cuenta con un sistema de reparación de daños locales.

Cada ojo tiene seis músculos que le permiten moverse en todas direcciones, incluso circularmente, de manera que podemos captar todo lo que ocurre en nuestro mundo.

El médico especialista en el diagnóstico y enfermedades de los ojos es el oftalmólogo, incluso puede llevar a cabo cirugías de ojos. El optometrista está capacitado para medir la agudeza visual y corregir, por medio de lentes, algunas imperfecciones de la visión, pero no puede tratar enfermedades de los ojos.

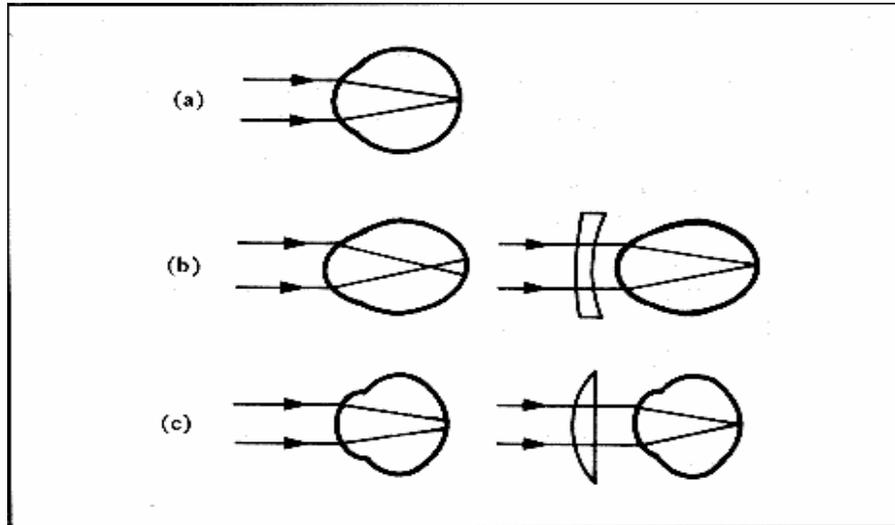


Figura 24. (a) Cuando la visión es correcta, la imagen se enfoca en la retina y se dice que el individuo es emétrope. (b) Si el enfoque del objeto ocurre antes de la retina, se dice que el ojo es miope, su corrección es usar un lente cóncavo. (c) Hipermetropía se dice del ojo que enfoca la imagen detrás de la retina, este problema se corrige con una lente convexa.

Los lentes, de vidrio o de plástico, ayudan a corregir algunos de los defectos de la visión. En la figura 24 se ilustran los casos de enfocamiento para el ojo normal (a), la miopía (b) que se presenta cuando el enfoque de la imagen es antes de la retina y la hipermetropía (c) que se presenta cuando la imagen enfocada se forma detrás de la retina; frente a cada paso se ilustra su corrección por medio de lentes de vidrio.

Tanto para huesos como para órganos internos, la fotografía con rayos X es una herramienta invaluable para la diagnosis.

Un electrón puede convertir parte o toda su energía en un fotón de rayos X (onda electromagnética con una frecuencia en el intervalo de 10^8 a 10^{10} Hz), así, para producir rayos X necesitamos acelerar electrones técnicamente requerimos hacer vacío en el trayecto en que se mueven los electrones, para lo cual se usa un tubo de vidrio o bulbo, una fuente de electrones que en un filamento o cátodo, un potencial positivo alto para acelerar los electrones y un blanco o ánodo en donde golpean los electrones produciendo rayos X.

La intensidad de los rayos X producidos depende del material del que esté compuesto el ánodo: mientras mayor sea el número atómico de dicho material, más alta será la eficiencia de la radiación. La mayor parte de los tubos de rayos X comerciales usan tungsteno como material blanco, su número atómico es 74 y su punto de fusión es $3\ 400^{\circ}\text{C}$, lo cual lo hace muy duradero.

Los diferentes materiales no absorben de la misma forma a los rayos X. Los elementos pesados como el calcio (componente de los huesos) son mucho mejor absorbedores que los elementos más ligeros como carbón, oxígeno e hidrógeno; esa es la razón de que en una radiografía salgan muy bien los huesos mientras que los tejidos suaves, grasos, tumores, aire, etc. no se distinguen.

Cuando es necesario observar venas, aparato digestivo o algo diferente a huesos, se puede usar un material de contraste que absorba la radiación X, como puede ser el yodo.

Finalmente, hablaremos del láser, acrónimo de *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*

que en español es Luz Amplificada por Emisión Estimulada de Radiación. Aunque la teoría de los láseres fue propuesta por Albert Einstein en 1917, no fue sino hasta 1960 cuando T. H. Mairnan produjo un láser de cristal de rubí. Ahora se cuenta con láseres de gas argón, bióxido de carbono, helio-cadmio, helio-neón y criptón o láseres de estado sólido: rubí, arseniuro de galio-aluminio, arseniuro de galio, neodimio vidrio, neodimio-itrio-aluminio-granate (Nd:YAG), que son los más importantes.

En un láser, la energía que está siendo almacenada en el material láser (por ejemplo: rubí) es lanzada como un haz estrecho de luz, ya sea en forma pulsada o continuamente. El haz de luz permanece estrecho a través de grandes distancias, y puede enfocarse hasta quedar reducido a sólo unas micras de diámetro, de modo que la densidad de potencia se hace muy grande ya que toda la energía del haz está concentrada en una zona muy pequeña.

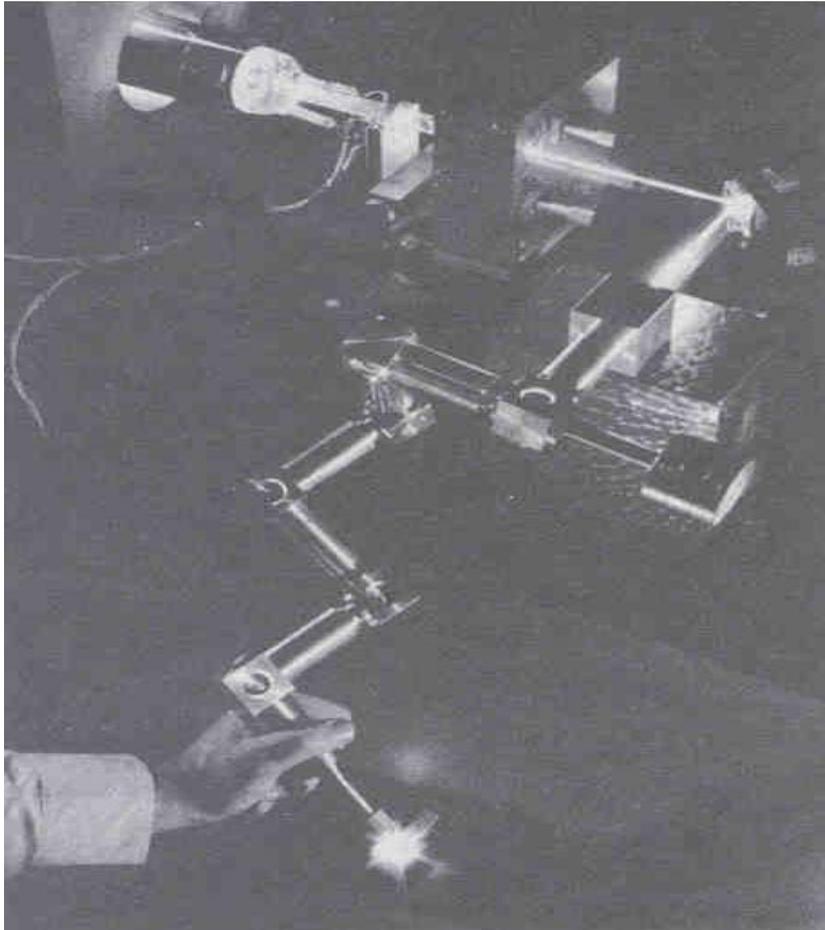


Figura 25. Aplicación del láser en cirugía, por medio de un brazo mecánico que lo transporta.

La energía total de un láser pulsado, de los que se usan en medicina, se mide en milijoules (mJ); puede ser liberada en menos de un microsegundo y la potencia instantánea resultante pueden ser megawatts. La salida de un láser pulsado generalmente se mide por el calor producido en el detector.

La energía de un láser, cuando incide en tejido humano, causa una rápida elevación de la temperatura y destruye, de esta manera, el tejido. El daño causado al tejido viviente depende de qué tanto se eleve la temperatura y del tiempo que permanezca elevada; por ejemplo, el tejido puede permanecer a 70°C durante un segundo sin ser destruido, pero a temperaturas por arriba de 100°C por breve que sea la exposición siempre hay destrucción.

El láser se usa comúnmente en medicina clínica sólo en oftalmología, principalmente para fotocoagulación de la retina (cauterización de un vaso sanguíneo), para lo que se utiliza un láser de xenón. También se usa para casos de retinopatía, retina desprendida y como bisturí en algunos casos. En la figura 25 se muestra un aparato útil en cirugía.

Es necesario que tanto el paciente como el médico, protejan sus ojos del rayo láser, ya que debido a que viaja como un haz concentrado de energía, aunque sufra varias reflexiones puede causar daños irreparables en caso de penetrar al ojo. El área donde se usa el rayo láser debe estar controlada y se debe prevenir al público.

Indice

[Anterior](#) [Previo](#) [Siguiete](#)

IX. MEDICINA NUCLEAR.

LA RADIATIVIDAD es uno de los fenómenos físicos que presenta más aplicaciones en la medicina moderna; esto se conoce como medicina nuclear.

Debemos comenzar por entender que la estructura de los átomos, sobre todo de los más complejos, generados probablemente en el interior de formaciones estelares y por reacciones nucleares sucesivas, no es una estructura estable; su composición puede alterarse por medio de la emisión espontánea de una partícula α (alfa), una β^+ (beta positiva), una β^- (beta negativa) o una γ (gamma), liberándose de esta manera una cantidad de energía que le permite lograr una configuración de mayor estabilidad.

Una partícula α es un átomo de helio doblemente ionizado, es decir, es un núcleo de helio, su carga es $2+$. Una partícula β^+ es un positrón, una partícula igual al electrón pero de carga positiva, mientras que la β^- es un electrón, cuya carga eléctrica es $1-$. Finalmente, una partícula γ es un fotón, esto es, energía electromagnética.

La actividad de una muestra de material radiactivo es la proporción en la que los núcleos de sus átomos constituyentes se desintegran. Si N es el número total de núcleos de la muestra radiactiva en un determinado instante, la actividad R de la muestra está dada por:

$$R = dN/dt$$

R se mide en Curies (Ci), un Ci equivale a 3.70×10^{10} desintegraciones por segundo. Frecuentemente se prefiere usar submúltiplos: mCi o μ Ci

Otra unidad muy usada es el Becquerel (Bq), que corresponde a una desintegración por segundo, o sus múltiplos KBq (10^3 Bq), MBq (10^6 Bq) y el GBq (10^9 Bq).

La actividad disminuye exponencialmente con el tiempo. Cuando la actividad se reduce a la mitad de la que tenía en un cierto instante de tiempo, hablamos de la vida media del material, que para el ejemplo ilustrado es de 6 horas. Los isótopos radiactivos o radioisótopos (núcleos de un elemento con igual número de protones y diferente número de neutrones) tienen vidas medias que van desde millonésimas de segundo hasta miles de millones de años; la vida media es una característica que los distingue.

Si la actividad al tiempo cero (tiempo inicial) es R_0 , la variación de ella respecto al tiempo queda expresada por:

$$R = R_0 \exp(-\lambda t)$$

donde λ es la constante de desintegración característica para cada radioisótopo.

Considerando que para $t = T_{1/2}$ (vida media) se cumple que $R = R_0/2$ llegamos a:

$$\lambda = \ln 2 / T_{1/2} = 0.693 / T_{1/2}$$

El tiempo de vida media \bar{T} , está definido como el recíproco de la probabilidad de desintegración por unidad de tiempo, es decir:

$$\bar{T} = \frac{1}{\lambda} = \frac{T_{1/2}}{0.693}$$

Si la vida media era de 6 horas, el tiempo de vida media es de 8.65 horas.

Es importante comprender que si tenemos N átomos radiactivos, cada núcleo tiene cierta probabilidad de desintegrarse, pero no hay forma de conocer por adelantado cuáles se desintegrarán en un cierto intervalo de tiempo: algunos permanecerán sin desintegrarse por largo tiempo mientras que otros lo harán, en segundos, de manera que la vida media es un promedio.

La mayor parte de los elementos radiactivos encontrados en la naturaleza son miembros de cuatro series radiactivas, cada una formada por una sucesión de productos o hijos que proceden de un solo elemento al cual se conoce como padre. Así los núcleos radiactivos cuyos números de masa son múltiplos enteros de 4 forman la serie del torio al desintegrarse y disminuir su número de masa.

En el cuadro II se muestran las cuatro series radiactivas.

CUADRO II. Series radiactivas

<i>Núm. de masa</i>	<i>Serie</i>	<i>Padre</i>	<i>Vida media en años</i>
4n	Torio	${}_{90}^{232}$ Th	1.39×10^{10}
4n + 1	Neptunio	${}_{93}^{237}$ Np	2.25×10^6
4n + 2	Uranio	${}_{92}^{238}$ U	4.51×10^9
4n + 3	Actinio	${}_{92}^{235}$ U	7.07×10^8

La vida media el Neptunio es tan corta comparada con la edad del Universo, que actualmente los miembros de esta serie no se encuentran en la naturaleza, se conocen porque se ha logrado producirlos en el laboratorio bombardeando con neutrones de núcleos más pesados.

Los núcleos radiactivos más usados en medicina nuclear, así como sus características, se muestran en el cuadro III, los elementos de este cuadro se usan tanto en investigación como en diagnóstico y terapia.

Existen aproximadamente mil radionúclidos, la mayor parte hechos por el hombre. Los elementos pesados tienen más radioisótopos que los ligeros; por ejemplo, el yodo tiene 15 radioisótopos conocidos mientras, que el hidrógeno tiene sólo uno (${}^3\text{H}$). Un radionúclido puede identificarse por su radiactividad, por el tipo y por la cantidad de energía de sus partículas o rayos emitidos.

CUADRO III. Características de los núcleos radiactivos más usados en medicina

Elemento	Radionúcleo	Emisión o modo de decaimiento	Energía de fotón (MeV)	Vida media
Carbón	^{11}C	β^+	0.511	20 min.
Nitrógeno	^{13}N	β^+	0.511	10 min.
Oxígeno	^{14}O	β^+, γ	0.511	71 seg.
			2.312	
	^{15}O	β^+	0.511	2 min.
	^{19}O	β^-, γ	0.197	29 seg.
Flúor	^{18}F	β^+	0.511	110 min.
Fósforo	^{32}P	β^-	ninguna	14.5 días
Cromo	^{51}Cr	γ	0.320	28 días
Hierro	^{52}Fe	β^+, γ	0.165	8 horas
Cobalto	^{57}Co	γ	0.122 0.136	270 días
Galio	^{67}Ga	γ, β^+	0.098 0.296	78 horas
			0.511	
Kriptón	^{81}Kr	γ	0.190	13 seg.
Rubidio	^{81}Rb	β^+, γ	0.253 0.450	4.7 horas
			0.511	
Tecnesio	^{99m}Tc	γ	0.140	6 horas
Indio	^{113}In	γ	0.393	102 min.
Yodo	^{123}I	γ	0.159	13 horas
			0.028 0.035	
			0.364	
			β^-, γ	
Xenón	^{133}Xe	β^-, γ	0.081	5.3 días
Yterbio	^{169}Yb	γ	0.057 0.110	31 días
			0.131 0.308	
			0.177 0.198	
			β^-, γ	
Oro	^{198}Au	β^-, γ	0.412	2.7 días
Mercurio	^{203}Hg	γ	0.279	47 días
Talio	^{201}Tl	γ	0.081 0.135	73 horas
			0.167	

Los símbolos para los radionúclidos han variado en el tiempo, ahora la convención es que el índice superior izquierdo es el peso atómico, mientras que el inferior es el número atómico, por ejemplo, $^{131}_{53}\text{I}$ es un átomo de yodo radiactivo con 131 protones y neutrones, mientras que el $^{127}_{53}\text{I}$ es el yodo estable, con 4 neutrones menos.

La m en ^{99m}Tc significa "metaestable", es decir "medio estable". Un radionúclido metaestable decae emitiendo sólo radiación gamma, y sus hijos difieren de los padres sólo por la energía de radiación emitida. Por ejemplo, el ^{99m}Tc decae para formar el ^{99}Tc emitiendo un rayo gamma de 140 KeV, energía muy usada en la medicina nuclear.

En medicina, las sustancias radiactivas se utilizan en cantidades muy pequeñas (del orden de microgramos), para no afectar el funcionamiento fisiológico normal del cuerpo. Se introducen en el organismo ya sea en forma oral o por medio de inyecciones. Se prefieren los radionúclidos emisores de

radiación gamma ya que debido a su penetrabilidad pueden detectarse desde fuera del cuerpo.

La mayor parte de las emisiones de elementos radiactivos son partículas beta y rayos gamma. Como las partículas beta no son muy penetrantes, el cuerpo las absorbe fácilmente y en general su uso en diagnóstico es reducido. Sin embargo, algunos radionúclidos emisores de partículas, tales como ^3H y ^{14}C son importantes en la investigación médica.

^{32}P se usa en el diagnóstico de tumores en el ojo, porque algunas de sus partículas beta tienen suficiente energía para salir de este órgano. La mayoría de los procedimientos de diagnóstico clínico usa fotones de alguna clase, generalmente conocidos como rayos gamma.

Un tipo de desintegración que ocurre sólo en los radionúclidos hechos por el hombre es la emisión de un positrón o partícula+. Asociada a esta emisión existe la radiación de aniquilación: después de que el electrón se ha detenido, se aniquila con un positrón. La energía equivalente de sus masas (511 KeV de cada uno) en general se emite como dos fotones de 511 KeV. La radiación de aniquilación viaja en direcciones opuestas.

Para determinar la cantidad de radiación en el cuerpo se usan diferentes tipos de detectores de acuerdo con el tipo de radiación emitida.

Un tubo fotomultiplicador (PMT por sus siglas en inglés) es el detector adecuado para medir radiación gamma, que es la más usada en medicina nuclear. El principio de la operación del PMT se muestra en la figura 26. Al incidir un fotón en el fotocátodo, que es un cristal de yoduro de sodio dopado con talio, por ejemplo, desprende un electrón que es acelerado a una placa llamada dinodo, provocando el desprendimiento de más electrones, los cuales son acelerados a un segundo dinodo que se encuentra a un potencial eléctrico más positivo que el primero. Para lo anterior se requiere una fuente de poder. Este proceso se repite varias veces, de modo que ocurre una multiplicación de electrones de 10^6 veces desde el fotocátodo hasta el ánodo. Casi toda la radiación gamma emitida por el $^{99\text{m}}\text{Tc}$ es absorbida por un cristal de NaI:Tl con un espesor del orden de 1 cm.

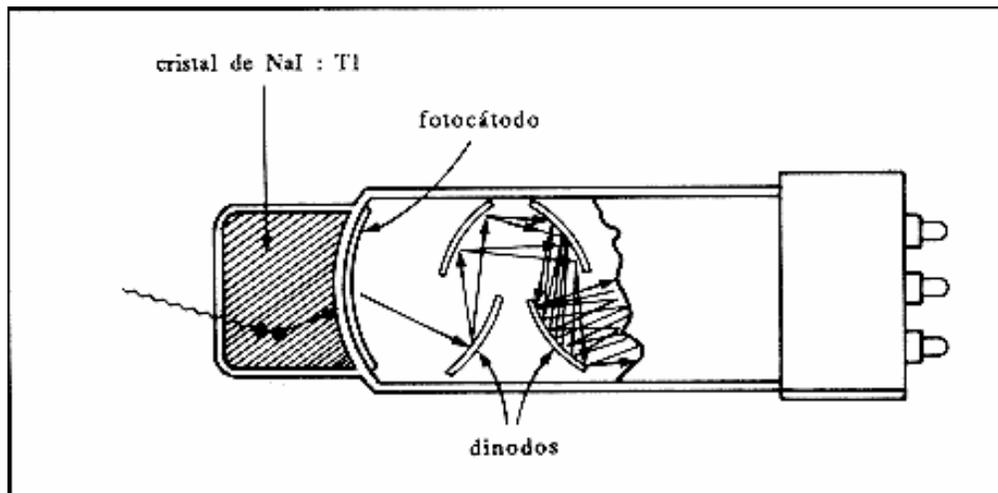


Figura 26. Sección transversal de un tubo fotomultiplicador.

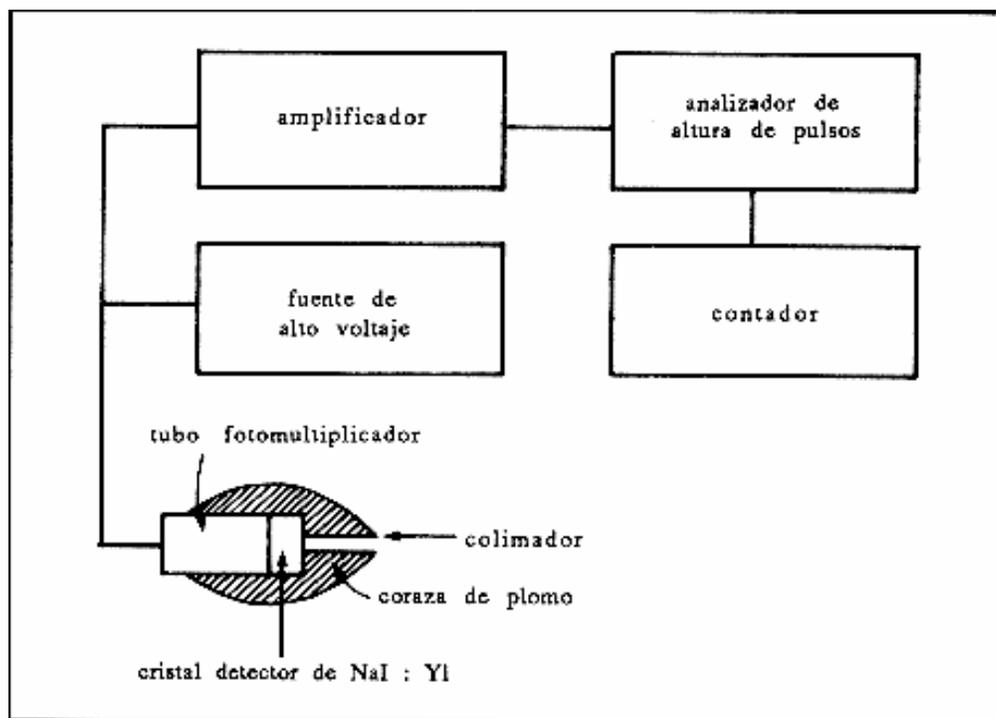


Figura 27. Sistema detector de centelleo.

El detector de centelleo, que se muestra diagramáticamente en la figura 27, es usado con frecuencia en medicina nuclear. Como el detector de NaI:Tl es muy sensible, debe ser protegido de la radiación ambiental o radiación de fondo, por lo que está cubierto por una armadura de plomo de 5 cm o más de espesor por todos lados, excepto por una abertura que es la colimadora por donde recolecta información. La intensidad de centelleo producida en el cristal es proporcional a la energía de la radiación gamma detectada. Los electrones emitidos en el fotocátodo del PMT producen un pulso eléctrico a la salida, que es amplificado y medido en un analizador de altura de pulsos (PHA) donde se determina la energía del rayo gamma que lo causó. El analizador de altura de pulsos consta de dos discriminadores, uno para pulsos más altos que un cierto límite y otro para aquellos más pequeños que una cierta medida dada. La diferencia de energía entre el límite superior y el inferior es llamada la "ventana" del analizador. Todos los pulsos en la ventana son pasados a un contador; esto se ilustra en la figura 28.

Algunas veces resulta de interés conocer la distribución de la altura de los pulsos, lo cual puede hacerse con un analizador multicanal (MCA) el cual separa los pulsos de acuerdo con su altura en 256 o 512 grupos. La figura 29 es un espectro típico de un detector de centelleo obtenido con un analizador multicanal, y corresponde a una fuente de radiación gamma ^{99m}Tc que emite principalmente a 140 KeV.

Otro detector de radiación gamma muy usado, es el detector de estado sólido. Su principio es muy simple: el semiconductor actúa como un aislante, no permite que fluya la corriente hasta que la ionización se lleva a cabo en todo su volumen, y en general se mantiene a baja temperatura para minimizar la corriente producida por la activación térmica de los electrones. Cuando un rayo gamma se absorbe produce un gran número de pares iónicos, haciendo la resolución de este detector mucho mayor que la del tubo fotomultiplicador.

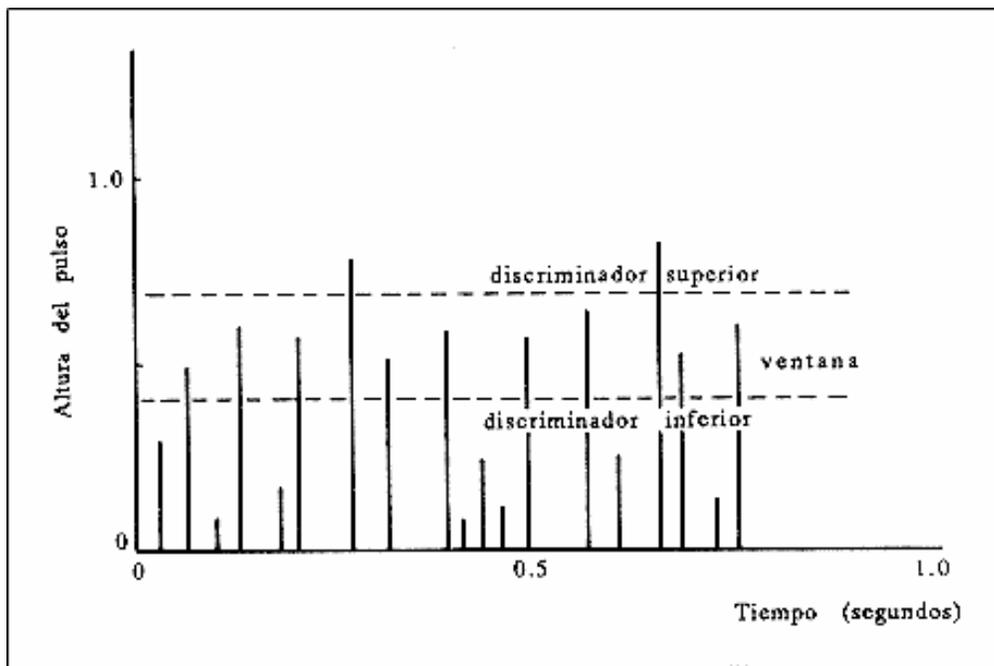


Figura 28. Pulsos de un sistema detector de centelleo. La "ventana" está definida por los discriminadores superior e inferior, sólo los pulsos que caen dentro de ella son tomados en cuenta.

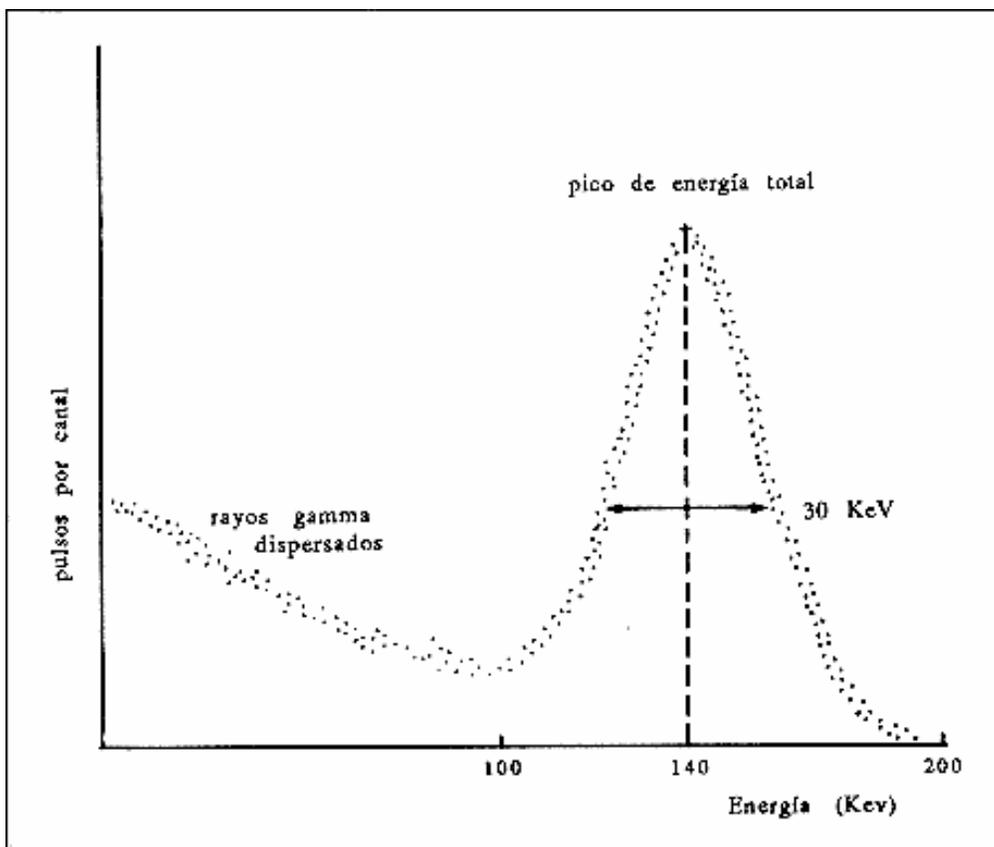


Figura 29. Espectro de altura de pulsos obtenido con un analizador multicanal a partir de un detector de centelleo. La fuente es ^{99m}Tc que emite rayos gamma de 140 KeV. El ancho del pico de energía total es del orden de 30 KeV.

En la mayoría de los estudios clínicos es importante detectar la radiación de una parte limitada del cuerpo, para esto se usan protectores de plomo que cubren aquellas partes que no se desea registrar; en algunos casos se cubre todo el cuerpo, excepto por algún agujero o rendija, aquello que presenta interés para el

médico.

Han sido desarrolladas varias pruebas con material radiactivo, *in vitro* e *in vivo*. Las pruebas *in vitro* no ocasionan ningún riesgo para el paciente, mientras que las *in vivo* sí. Por ejemplo, una de las medidas más simples en clínica es la medida del volumen de sangre que tiene el paciente, sobre todo si éste ha sufrido una pérdida debido a un accidente o una intervención quirúrgica; para esto se inyecta en una vena un volumen V de albúmina marcada con ^{131}I y se toma el número de cuentas por segundo que emite el material, transcurridos unos 15 minutos se mide la radiactividad existente en un volumen V igual de sangre extraída; el volumen total de sangre está dado por el volumen V multiplicado por la diferencia del número de cuentas por segundo. Si a un paciente se le administran 5 ml de albúmina marcada con ^{131}I con una actividad de 10^5 cuentas por segundo y 15 min después en 5 ml de sangre se leen 10^2 cuentas por segundo, el volumen total de sangre es de 5 ml (10^3), es decir 5 000 ml.

La mayor parte de los estudios hechos *in vivo* involucran imágenes. Los dispositivos más usados para producirlas son el *scanner* (dispositivo de barrido) y la cámara gamma. El *scanner* cuenta con un detector de radiactividad que es un cristal de NaI:Tl , el cual se mueve en línea recta sobre el área de interés, haciendo un registro constante de la cantidad de radiactividad, con esto se va formando un mapa de la distribución de la radiación en el cuerpo que se lleva a una placa fotográfica o se imprime en papel con ayuda de un dispositivo electrónico diseñado para ello (el diagrama se muestra en la figura 30). La intensidad de radiación detectada se traduce ya sea en color o en intensidad de las marcas producidas; los datos producidos también pueden ser registrados en una cinta magnética disco y ser analizados por una computadora; el tiempo de barrido para producir la imagen es del orden de 30 minutos, lo cual en algunos casos representa una ventaja para el paciente.

El diagrama de la cámara gamma se muestra en la figura 31; al igual que el *scanner*, consta de un cristal detector de NaI:Tl , pero de un diámetro muy grande, entre 30 y 45 cm. Los centelleos registrados pasan por cables de luz y son electrónicamente procesados para determinar las coordenadas (x, y) del centelleo. Los circuitos electrónicos deflectan un haz de electrones en un tubo de rayos catódicos para provocar que una luz brillante aparezca en el tubo en una localización correspondiente a (x, y) . Esta información puede quedar grabada en una placa fotográfica o en una cinta de computadora y ser procesada por ella. El tiempo en el que una cámara gamma construye una imagen o gammagrama es del orden de 1 a 2 minutos, por lo que resulta ser de gran utilidad para obtener información sobre procesos dinámicos.

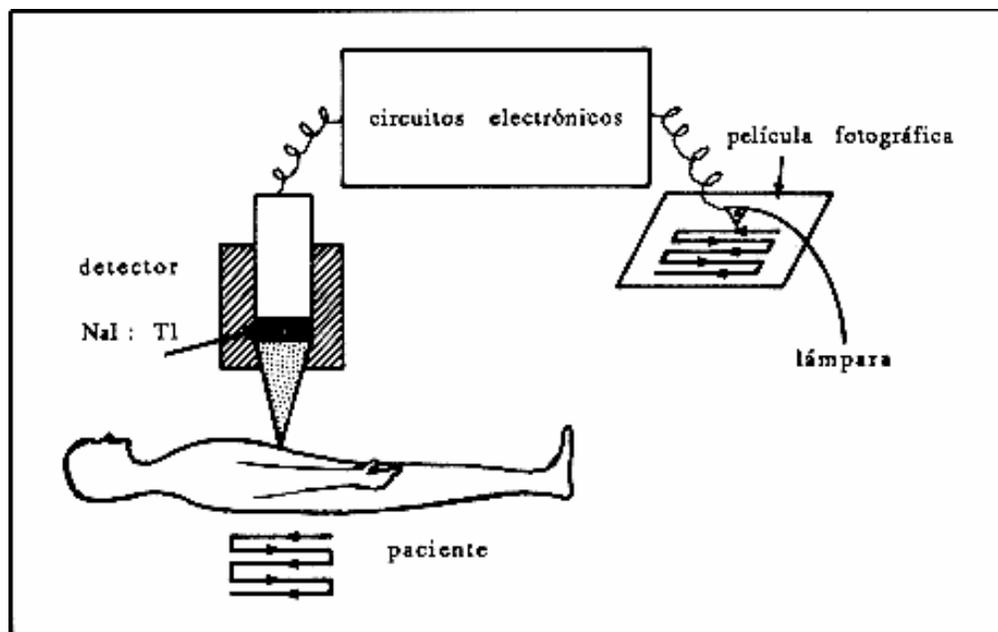


Figura 30. Principio del *scanner* rectilíneo, los circuitos electrónicos están configurados por las componentes usadas generalmente con el detector de centelleo además de los controles para el scanner mecánico y para ajustar la intensidad de la lámpara.

Lo que puede ser detectado, depende del tipo de material radiactivo que se use. Para huesos deben usarse iones que puedan introducirse y queden atrapados en ellos. Si el problema es en riñones o cerebro, deben utilizarse los iones radiactivos adecuados para cada caso.

También en terapéutica se usa la radiactividad. Para cáncer de tiroides o para tiroides hiperactiva se puede suministrar ^{131}I por vía oral, para cicatrices queloides la radiación con ^{60}Co evita el crecimiento de la cicatriz, en caso de sobreproducción de glóbulos rojos puede usarse ^{32}P etcétera.

Sin embargo, sabemos que el uso de la radiactividad también presenta riesgos para la salud, es un arma de dos filos, y mal administrada puede ocasionar problemas irreversibles como cáncer, esterilidad, mal funcionamiento, etcétera.

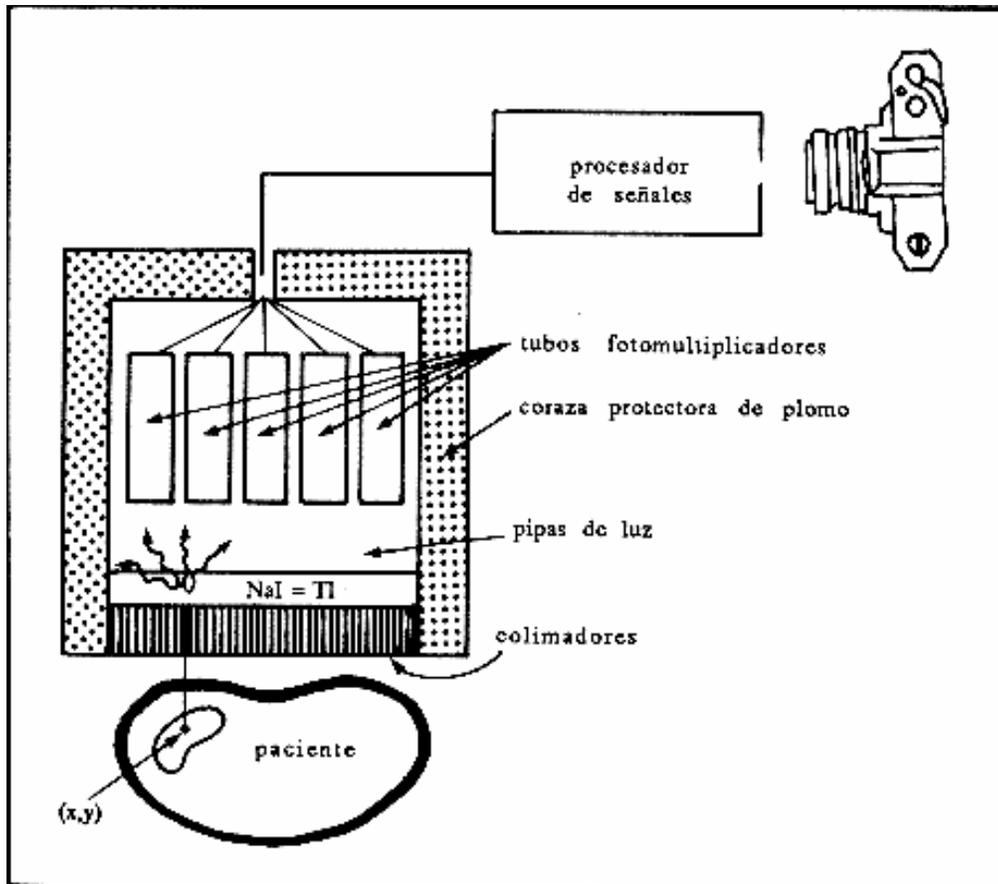


Figura 31. Componentes de una cámara gamma. El procesador de señales determina la localización (x, y) del centelleo y provoca que aparezca un haz de luz en la localización correspondiente (x, y) registrada sobre la placa fotográfica.

[Indice](#)

[Anterior](#) [Previo](#) [Siguiete](#)

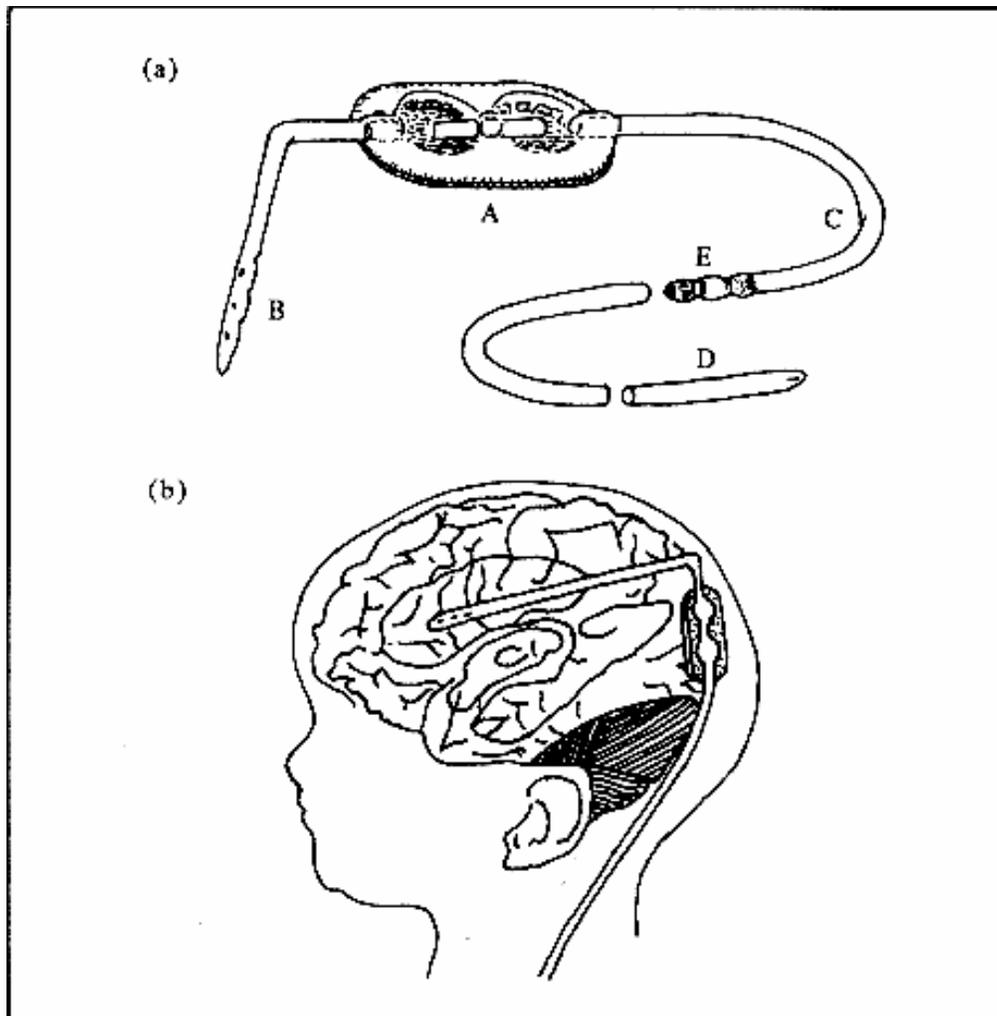
X. BIOMATERIALES

Los biomateriales se pueden definir como materiales biológicos comunes tales como piel, madera, o cualquier elemento que replaze la función de los tejidos o de los órganos vivos. En otros términos, un biomaterial es una sustancia farmacológicamente inerte diseñada para ser implantada o incorporada dentro del sistema vivo.

Los biomateriales se implantan con el objeto de reemplazar y/o restaurar tejidos vivientes y sus funciones, lo que implica que están expuestos de modo temporal o permanente a fluidos del cuerpo, aunque en realidad pueden estar localizados fuera del propio cuerpo, incluyéndose en esta categoría a la mayor parte de los materiales dentales que tradicionalmente han sido tratados por separado.

Debido a que los biomateriales restauran funciones de tejidos vivos y órganos en el cuerpo, es esencial entender las relaciones existentes entre las propiedades, funciones y estructuras de los materiales biológicos, por lo que son estudiados bajo tres aspectos fundamentales: materiales biológicos, materiales de implante y la interacción existente entre ellos dentro del cuerpo. Dispositivos como miembros artificiales, amplificadores de sonido para el oído y prótesis faciales externas, no son considerados como implantes.

La *biomecánica* se encarga de estudiar la mecánica y la dinámica de los tejidos y las relaciones que existen entre ellos; esto es muy importante en el diseño y el injerto de los implantes. Después de realizado un injerto, no se puede hablar del éxito de un implante, este se debe considerar en términos de la rehabilitación del paciente; por ejemplo, en el implante de cadera se presentan cuatro factores independientes: fractura, uso, infección y desprendimiento del mismo.



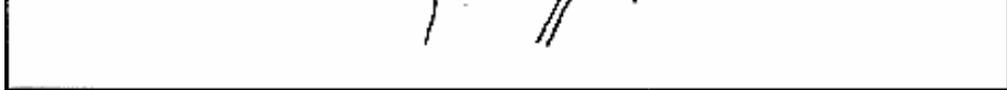


Figura 32. Dispositivo para el tratamiento de hidrocefalia y su colocación en cerebro. Está hecho de silicón.

Si la probabilidad de que un sistema falle es f , entonces la probabilidad que tiene el paciente de rehabilitación es: $r = 1 - f$. La probabilidad de rehabilitación total r_t puede expresarse en términos de las probabilidades reales de los factores que contribuyen a la falla del sistema $r_t = r_1 \cdot r_2 \dots r_n$ donde $r_1 = 1 - f_1$, $r_2 = 1 - f_2$, etcétera.

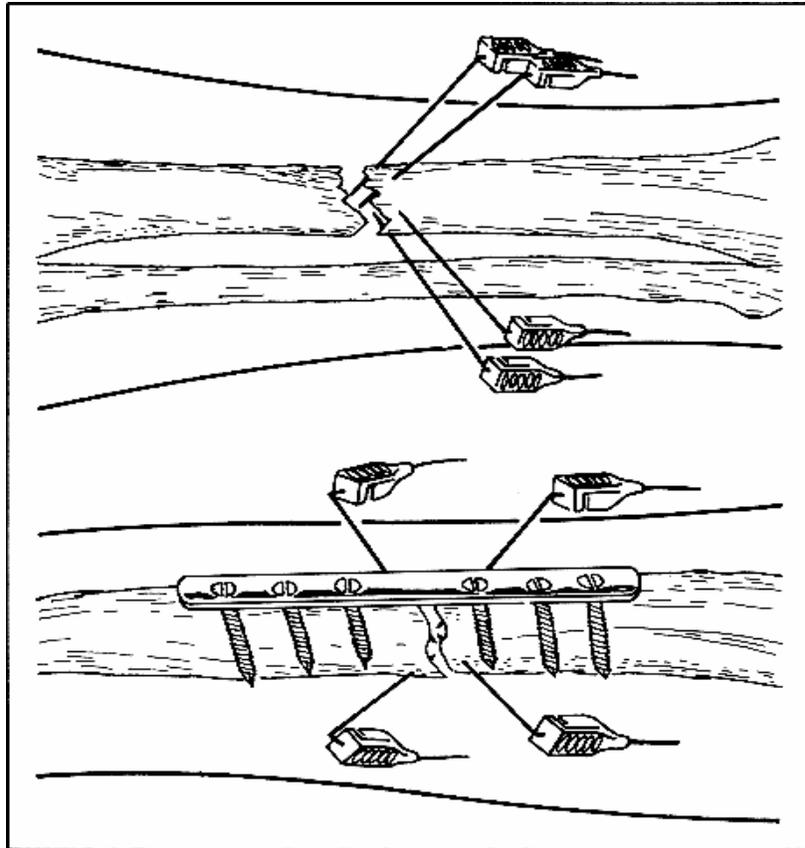


Figura 33. Uso del estimulador eléctrico para activar y acelerar el crecimiento del tejido óseo en fracturas, con y sin tornillos de fijación. Todos son biomateriales.

Por lo anterior, si $r = 1$, entonces el implante es perfecto, mientras que si, por ejemplo, ocurre siempre una infección tendremos $r = 0$, es decir, no hay probabilidades de rehabilitación del paciente.

En algunos casos la función de los tejidos u órganos es tan importante que no tiene sentido el remplazarlos por biomateriales; por ejemplo, la médula espinal o el cerebro.

El éxito de un biomaterial o de un implante depende de tres factores principales: propiedades y biocompatibilidad del implante, condiciones de salud del receptor, y habilidad del cirujano que realiza el implante; la física sólo se aplica al primero.

Los requisitos que debe cumplir un biomaterial son:

1. Ser biocompatible, es decir, debe ser aceptado por el organismo, no provocar que éste desarrolle sistemas de rechazo ante la presencia del biomaterial
2. No ser tóxico, ni carcinógeno.
3. Ser químicamente estable (no presentar degradación en el tiempo) e inerte.

4. Tener una resistencia mecánica adecuada.
5. Tener un tiempo de fatiga adecuado.
6. Tener densidad y peso adecuados.
7. Tener un diseño de ingeniería perfecto; esto es, el tamaño y la forma del implante deben ser los adecuados.
8. Ser relativamente barato, reproducible y fácil de fabricar y procesar para su producción en gran escala.

Hay, de hecho, cuatro grupos de materiales sintéticos usados para implantación: metálicos, cerámicos, poliméricos y compuestos de ellos; el cuadro IV enumera algunas de las ventajas, desventajas y aplicaciones para los cuatro grupos de materiales sintéticos.

Una alternativa para los implantes artificiales es el trasplante, por ejemplo de riñón o corazón, aunque este esfuerzo se ve obstaculizado por problemas sociales, morales, éticos e inmunológicos; sin embargo, en el caso del riñón, el paciente tiene muchas desventajas con uno artificial: su costo es elevado, no tiene movilidad y, además, el mantenimiento y el cuidado deben ser constantes.

Los usos quirúrgicos de los biomateriales son múltiples, por ejemplo, para implantes permanentes:

a) En el sistema esquelético muscular, para uniones en las extremidades superiores e inferiores (hombros, dedos, rodillas, caderas, etc.) o como miembros artificiales permanentes; *b)* en el sistema cardiovascular, corazón (válvula, pared, marcapasos, corazón entero), arterias y venas; *c)* en el sistema respiratorio, en laringe, tráquea y bronquios, diafragma, pulmones y caja torácica; *d)* en sistema digestivo: esófago, conductos biliares e hígado; *e)* en sistema genitourinario, en riñones, uréter, uretra, vejiga; *f)* en sistema nervioso, en marcapasos; *g)* en los sentidos: lentes y prótesis de córneas, oídos y marcapasos caróticos; *h)* otras aplicaciones se encuentran por ejemplo en hernias, tendones y adhesión visceral; *i)* implantes cosméticos maxilofaciales (nariz, oreja, maxilar, mandíbula, dientes), pechos, testículos, penes, etcétera.

<i>Materiales</i>	<i>Ventajas</i>	<i>Desventajas</i>	<i>Ejemplos</i>
Polímeros: Silicón Teflón Dacrón Nylon	Elásticos, fáciles de fabricar, baja densidad	Baja resistencia mecánica, degradación con el tiempo	Suturas, arterias, venas, nariz, orejas, mandíbulas, dientes, tendones
Metales: 316, 316LS.S, aleaciones de titanio, aceros de bajo contenido de carbón	Resistencia a esfuerzos de alto impacto, alta resistencia al desgaste	Baja biocompatibilidad, corrosión en medios fisiológicos, alta densidad, pérdida de propiedades mecánicas con tejidos conectivos suaves.	Fijación ortopédica: tornillos, clavos, alambres, placas, barras intermedulares, implantes dentales
Cerámicas: Óxidos de aluminio, aluminatos de calcio, óxidos de titanio, carbonos	Buena biocompatibilidad, resistencia a la corrosión, inerte, resistencia a la alta corrosión	Fractura ante esfuerzos de alto impacto, difícil fabricación, baja resistencia mecánica, inelásticos, alta densidad	Prótesis de cadera, dientes, dispositivos transcutáneos
Compuestos: Cerámica-metal carbón-otro material	Buena compatibilidad, inerte, resistencia a la corrosión, alta resistencia a los esfuerzos	Carecen de consistencia en la fabricación del material	Válvulas cardíacas, uniones óseas, marcapasos

CUADRO IV. Materiales para implantación

La caracterización física de las propiedades requeridas de un material para aplicaciones médicas, varía de acuerdo con la aplicación particular. Debemos considerar que las pruebas fisicoquímicas de los materiales para implante *in vivo* son difíciles, si no imposibles. Las pruebas *in vitro* deben ser realizadas antes del implante.

La fabricación y el uso de los materiales depende de sus propiedades mecánicas, tales como resistencia, dureza, ductibilidad, etcétera. Las propiedades elásticas y viscoelásticas serán caracterizadas antes que las estáticas y dinámicas.

La naturaleza (iónico, covalente y metálico), y la fuerza de los enlaces atómicos determinan qué tan estable es el material cuando se le aplica una carga, es decir, cuando se le somete a un esfuerzo de tipo mecánico; este tipo de propiedades son conocidas como *mecánicas*. Cuando se determina la estabilidad del material en función de cambios en la temperatura, se habla de propiedades *térmicas*.

Cuando estiramos un material, son las fuerzas entre los enlaces moleculares (fuerzas de atracción y repulsión entre los átomos que las componen) las que determinan el comportamiento del material. Inicialmente, la mayor parte de los materiales cumplen con la Ley de Hooke, es decir, la fuerza que se aplica para estirarlo (o comprimirlos) es proporcional a la distancia de deformación. La constante de proporcionalidad se llama *constante elástica*, y está relacionada indirectamente con la energía del enlace, lo que podemos expresar como:

$$\sigma = E \cdot \epsilon$$

donde σ representa el esfuerzo, que es la fuerza por unidad de área de sección transversal, ϵ es la deformación o estiramiento del material, dada por el cambio en la longitud respecto a la longitud original (l/l_0) y E se conoce como módulo elástico o Módulo de Young el cual es una característica del material.

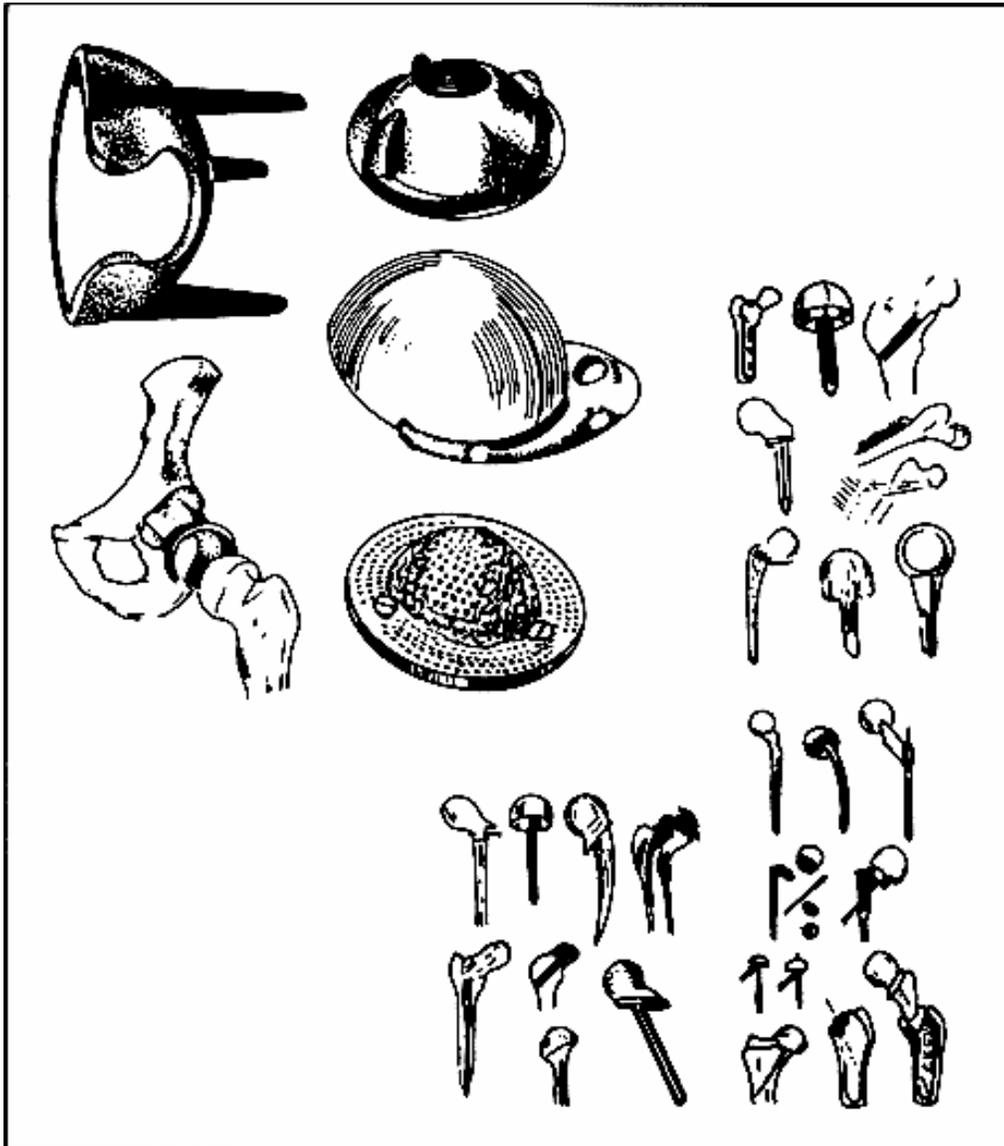


Figura 34. Diversos diseños de componentes de cabezas de fémur y componentes de cadera.

Cuando un material es sometido a deformación por estiramiento, es posible determinar dos regiones bien marcadas en el comportamiento que presenta: la elástica, donde la deformación es proporcional al esfuerzo aplicado: el material regresa a su forma original cuando la fuerza que actúa sobre él se elimina; y la *plástica*, en la que no existe proporcionalidad entre la fuerza aplicada y el estiramiento, en este caso el material no regresa a su forma original al anularse la fuerza que actúa sobre él. Generalmente, los

materiales sometidos a fuerzas pequeñas siguen un comportamiento de tipo elástico, pero a medida que la fuerza crece el comportamiento pasa a ser del tipo plástico, y si la fuerza sigue creciendo, puede ocurrir la *fractura* del material.

En los materiales cerámicos y en los vítreos es fácil que ocurra la fractura, además es impredecible el momento en que esto puede suceder, por lo que, aunque presentan un alto grado de biocompatibilidad, no son muy usados en implantes.

La *resistencia al impacto* es la cantidad que puede absorber un material de energía debida a la fuerza ejercida sobre él por un golpe, es decir, por una fuerza grande en magnitud aplicada durante un tiempo muy corto. Ésta es otra de las pruebas que tiene que pasar un material que se requiere para implantación, los requisitos sobre la medida dependerán del uso que se le dé.

La *dureza* es una medida de la deformación plástica, y se define como la fuerza por unidad de área de penetración o indentación en el material. Para determinarla de manera experimental, es claro que el método dependerá del tipo de material de que se trate; en el caso de metales, por ejemplo, se incrusta una punta de diamante en forma de pirámide en la superficie del material, con una fuerza conocida, y se mide la penetración que alcanza. Si se trata de un polietileno, se utiliza una esfera de acero inoxidable sobre la superficie, midiéndose la penetración que alcanza para una carga dada.

Otra propiedad importante del material es la de *termofluencia*, es decir, la deformación que sufre con el tiempo al someterse a una carga conocida. La deformación elástica que sufre inicialmente el material ante una carga dada, es seguida de una termofluencia (algo así como el corrimiento entre las capas atómicas que lo constituyen, similar a lo que sucede con los fluidos), antes de que se presente la fractura.

El *desgaste* de un material de implantes tiene importancia en especial si se trata de remplazar uniones. El desgaste del material está estrechamente relacionado con la fricción entre los dos materiales. Es importante considerar el área real de la superficie que entra en contacto en la unión requerida ya que, en general, es mucho menor de lo que aparenta; ésta puede incrementarse con el peso que se aplica para los materiales dúctiles y para los elásticos.

En las prótesis de uniones entre huesos, el desgaste es muy importante, y resulta del movimiento y recolocación de los materiales usados.

Hay diferentes tipos de desgaste: el *corrosivo*, debido a la actividad química de alguno de los materiales de la unión; el de *fatiga superficial*, debido a la formación de pequeñas fracturas que pueden dar lugar a un rompimiento del material, y el *abrasivo*, en el cual partículas de una superficie son empujadas hacia la otra en la que se adhieren, debido al movimiento que se tiene.

Cuando hay lubricación entre dos superficies en contacto, la fricción y las propiedades de desgaste cambia drásticamente. En la mayoría de las aplicaciones a implantes existe algún tipo de lubricante.

Como podemos notar, la física está presente en todas las ramas de la medicina: no sólo en la investigación básica, también en la instrumentación, en los implantes, en la clínica, en diagnóstico, en terapia, etcétera.

Es tradicional que los estudiantes tengan problemas tanto en física como en matemáticas porque desde muy jóvenes les han hecho sentir que son materias muy difíciles, incluso algunas veces se dan por vencidos antes de tratar de entender los conceptos básicos, y esto obviamente dificulta su aprendizaje. Este fenómeno se da en todos los niveles de la educación; sin embargo, vivimos en un mundo en el que la física está presente en todo momento, ya que es la ciencia que explica el comportamiento de la naturaleza. El cuerpo humano y la tecnología que para él podemos desarrollar no pueden quedar excluidos.

Con este pequeño libro esperamos que los estudiantes de medicina ahuyenten su miedo por la física y que los estudiantes de física se interesen en las aplicaciones que ésta tiene en medicina.

Indice

[Anterior](#)

[Previo](#)

[Siguiete](#)

BIBLIOGRAFÍA

Burns, D.M., & S. G. G. Mac Donald, *Physics for Biology and Pre Medical students*, Addison Wesley Publishers, EUA, 1975.

Cameron, John R., y James G. Skofronick, *Medical Physics*, Ed. John Wiley & Son, EUA, 1978.

Clynes, M., y J.H. Milsum, *Biomedical Engineering Systems*, McGraw-Hill, Nueva York, 1970.

Hoening, Stuart A., y Daphne H. Scott, *Aparatos médicos eléctricos*, Ed. limusa, México, 1981.

Marion, Jerry B., *General Physics with Bioscience Essays*, John Wiley & Son Inc., EUA, 1978.

Passmore, R. e I. S. Robson, *Tratado de enseñanza integrada de la medicina*, vol. I, Ed. Científico Médicas, México, 1971.

Rayner, C., *El cuerpo humano*, vols. I y II, Ed. Orbis, S.A., Barcelona, 1985.

Rayner, C., *La mente humana*, Ed. Orbis, S.A., Barcelona, 1985.

Rivera, A. Fermín, y Manuel Rico B., *El cuerpo humano*, Ed. Trillas, México, 1983.

Seagrave, R. C., *Biomedical Applications of Heat and Mass Transfer*, Iowa State U. P., Iowa, 1971.

Webster, J. G., A. M. Cook, W. J. Tompkins, comps., *Electronic Devices for Rehabilitation*, G. C. Vanderheiden, Chapman and Hall Medical, Gran Bretaña, 1985.

[Indice](#)

[Anterior](#) [Previo](#) [Siguiete](#)

COLOFÓN

Este libro se terminó de imprimir y encuadernar en el mes de octubre de 1998 en los talleres de Impresora y Encuadernadora Progreso, S.A. de C. V. (IEPSA), calzada de San Lorenzo 244, 099830 México, D. F.

La Ciencia para Todos

es una colección coordinada editorialmente

por *Marco Antonio Pulido*

y *María del Carmen Farías.*

Indice |

[Anterior](#) | [Previo](#) | [Siguiete](#)

Mientras revisaba los trabajos de reconstrucción de la zona maya de Bekán Campeche, el distinguido arqueólogo Román Piña Chan sufrió un accidente que lo obligó a reducir sus actividades a las que puede efectuar desde una silla de ruedas. Su hija, la doctora María Cristina Piña tuvo que pasar varios meses en el hospital, al lado de su padre. Allí su curiosidad científica (es doctora en ciencias) la llevó a darse cuenta y analizar los múltiples usos y aplicaciones que la física tiene en la medicina e inició, mentalmente, la gestación de este libro.

La física en la medicina es, dentro de su aparente simplicidad, un trabajo bastante complejo mas de lectura fácil gracias a la claridad de su estilo. La autora presenta en él, a un nivel básico, el funcionamiento de algunos órganos, sistemas y sentidos del cuerpo humano y, a continuación, el campo de la física relacionado con ellos. Muestra en seguida algunas de las técnicas más usadas para hacer diagnósticos, esto es, hacer la determinación de una enfermedad por medio de los síntomas, así como el tratamiento de ciertos padecimientos.

Entre las técnicas que menciona la doctora Piña citaremos, como ejemplo, el uso del ultrasonido. La técnica de éste es simple: se produce un sonido cuya frecuencia oscile entre 1 y 5 MHz y se dirige al cuerpo; la onda, al encontrar un obstáculo se refleja en parte y la parte que continúa penetrando se reflejará en el obstáculo siguiente. El tiempo que requieren los pulsos de sonido para ser reflejados nos da información sobre la distancia a que se encuentran ambos obstáculos que serán los órganos del cuerpo u otro tipo de estructura que se encuentre en el interior del organismo. El análisis de la reflexión sirve al médico para diagnosticar ciertas enfermedades de los ojos; para observar el estado en que se encuentran los fetos, en la detección de tumores cerebrales e infinidad de otros usos. Y esto es sólo un ejemplo de las aplicaciones de la física a la medicina.

"En la actualidad colaboro con Efraín Borja y José Luis Mondragón —dice la doctora Piña— en el amplio campo de la física aplicada a la medicina. Y considero que una de las cosas más agradables de la vida es sentir que nuestro trabajo sirve a la comunidad, que podemos ayudar a hacer la vida más placentera y satisfactoria."

María Cristina Piña hizo su carrera, maestría y doctorado en la Facultad de Ciencias de la UNAM. Ha publicado numerosos artículos sobre su especialidad en revistas nacionales y extranjeras. Se desempeña como investigadora del IFUNAM.

[Indice](#)

[Anterior](#) [Previo](#)