

Apuntes de

BIOFÍSICA

PRIMERA EDICIÓN

J. J. García V.

Docente de Biofísica Carrera de Medicina

Universidad Privada Abierta Latinoamericana.

Cochabamba Bolivia

PROLOGO.

Enseñar Biofísica a los estudiantes de Medicina o, en general, a los de Ciencias de la Salud, ha sido siempre, es y, quien lo dude, será siempre un problema difícil. Con las otras disciplinas llamadas "básicas" comparte, en las estadísticas, la primera posición en la lista de materias con un muy alto porcentaje de estudiantes aplazados y reúne a su alrededor una gran cuota de frustración.

El estudiante no comprende ni acepta que deba estudiar cosas más relacionadas con la física y la química que con la medicina: ¡como futuro médico considera que está para ver enfermos y usar estetoscopio y no para usar calculadoras! El docente, por su parte, no comprende ni acepta a ese estudiante que pretende que se le enseñe clínica o cirugía sin haber aprendido biomecánica, termodinámica, radiaciones, electricidad, etc., que son conocimientos fundamentales al momento de tomar decisiones diagnósticas.

Es por todo esto que me propuse escribir este libro que servirá para enseñar biofísica a estudiantes de medicina cuyo sustento conduce con una clara objetividad hacia la Fisiología. Es una recopilación ardua y pensada para apoyar el vasto conocimiento de las ciencias médicas. Sería tan fácil como irreal pedirle al estudiante que complete sus conocimientos recurriendo a tal o cual libro o revisión: ¿dónde lo encuentra? ¿En qué biblioteca? He tratado de hacer un libro que, dentro de lo posible, sea suficiente y que sirva para despertar, aunque sólo sea en algunos estudiantes, la pasión que debe tener todo ser humano, sea estudiante de Medicina o no, por la conducta natural física y fisiológica de todo organismo vivo...

CAPITULO 1. ORIGEN Y EVOLUCIÓN DEL UNIVERSO-VIDA

Origen del universo.

Origen y evolución del universo.

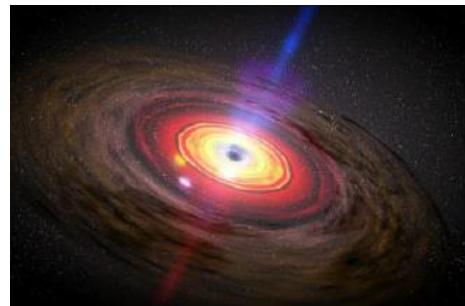
La ciencia intenta explicar el origen del Universo con diversas teorías.

Existen cuatro teorías fundamentales que explican el origen del Universo.

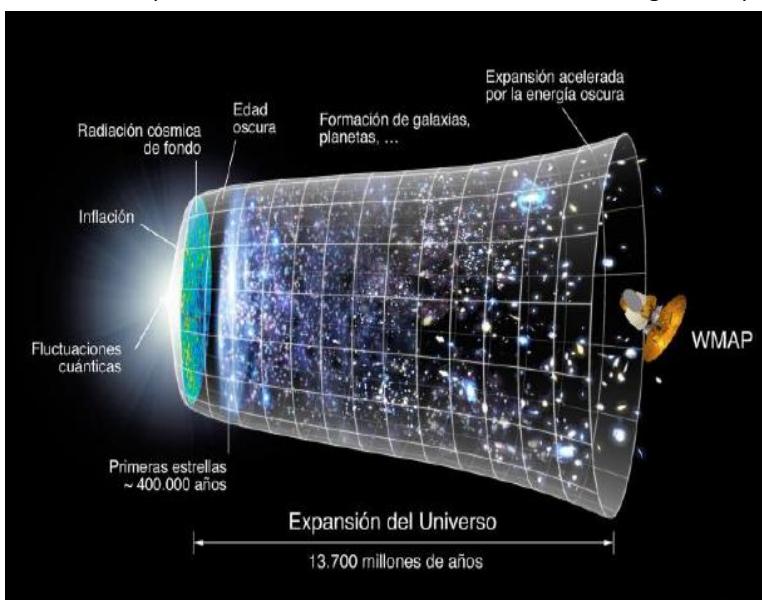
Éstas son:

- La teoría del Big Bang
- La teoría Inflacionaria
- La teoría del estado estacionario
- La teoría del universo oscilante.

Las más aceptadas son la del Big Bang y la teoría Inflacionaria.



La **teoría del Big Bang** o gran explosión (entre 12.000 y 15.000 millones de años), supone que, toda la materia del Universo estaba concentrada en una zona extraordinariamente pequeña del espacio, misma que explotó. La materia salió impulsada con gran energía en todas las direcciones. Una gran explosión iniciada en un punto de materia en el vacío, en este punto se concentraba toda la materia, la energía, el espacio y el tiempo. No había ni "fuera" ni "antes".



La **teoría inflacionaria** de Alan Guth explica los primeros instantes del Universo. Se basa en estudios sobre campos gravitatorios fortísimos, como los que hay cerca de un agujero negro. Esta teoría supone que una fuerza única se dividió en las cuatro que ahora conocemos (fuerzas: gravitatoria, electromagnética, nuclear fuerte y nuclear débil), provocando el origen del universo. El empuje inicial duró un tiempo prácticamente inapreciable, pero fue tan violenta que, a pesar de que la atracción de la gravedad frena las galaxias, el Universo todavía crece. La teoría inflacionaria, predice que el universo debe ser esencialmente plano, lo cual puede comprobarse experimentalmente, ya que la densidad de materia de un universo plano guarda relación directa con su velocidad de expansión.

ORIGEN Y EVOLUCIÓN DE LA TIERRA

Formación del Sol y los planetas

Después del Big Bang, la fuerza desencadenada impulsó la materia, extraordinariamente densa, en todas direcciones, a la velocidad de la luz. Con el tiempo, y a medida que se alejaban del centro y reducían su velocidad, masas de esta materia se quedaron más próximas para formar, más tarde, las galaxias.

No se sabe qué ocurrió en el lugar que ahora ocupamos durante los primeros 10.000 millones de años, si hubo otros soles, otros planetas, espacio vacío o, simplemente, nada. Hacia la mitad de este periodo, o quizás antes, debió formarse una galaxia.

Cerca del límite de esta galaxia, que hoy llamamos Vía Láctea, una porción de materia se condensó en una nube más densa hace unos 5.000 millones de años. Esto ocurría en muchas partes, pero esta nos interesa especialmente. Las fuerzas gravitatorias hicieron que la mayor parte de esta masa formase una esfera central y, a su alrededor, quedasen girando masas mucho más pequeñas. La masa central se convirtió en una esfera incandescente, nuestro Sol.

Las pequeñas masas también se condensaron mientras describían órbitas alrededor del Sol, formando los planetas y algunos satélites. Entre ellos, uno quedó a la distancia justa y con el tamaño adecuado para tener agua en estado líquido y retener una importante envoltura gaseosa. La Tierra.

La tierra que hoy conocemos fue muy distinta después de su nacimiento (hace unos 4.500 millones de años). Entonces era un amasijo de rocas conglomeradas cuyo interior se calentó y fundió todo el planeta. Con el tiempo la corteza se

Etapas de la Evolución	
Big Bang	Densidad infinita, volumen cero.
10^{-43} segs.	Fuerzas no diferenciadas
10^{-34} segs.	Sopa de partículas elementales
10^{-10} segs.	Se forman protones y neutrones
1 seg.	10.000.000.000 °. Tamaño Sol
3 minutos	1.000.000.000 °. Núcleos
30 minutos	300.000.000 °. Plasma
300.000 años	Átomos. Universo transparente
10^6 años	Gérmenes de galaxias
10^8 años	Primeras galaxias
10^9 años	Estrellas. El resto, se enfriá.
5×10^9 años	Formación de la Vía Láctea
10^{10} años	Sistema Solar y Tierra

secó y se volvió sólida. En las partes más bajas se acumuló el agua mientras que, por encima de la corteza terrestre, se formaba una capa de gases, la atmósfera.

Aqua, tierra y aire empezaron a interactuar de forma bastante violenta ya que, mientras tanto, la lava emanaba en abundancia por múltiples grietas de la corteza, que se enriquecía y transformaba gracias a toda esta actividad.

Después de un periodo inicial, la Tierra era una masa incandescente, las capas exteriores empezaron a solidificarse, pero el calor del interior las fundía de nuevo. Finalmente, la temperatura bajó para permitir la formación de una corteza terrestre.

Al principio no tenía atmósfera, y recibía muchos impactos de meteoritos. La actividad volcánica era intensa, aumentando el espesor de la corteza que al enfriarse, se solidificaban.

Esta actividad de los volcanes generó una gran cantidad de gases que acabaron formando una capa sobre la corteza. Fue la primera capa protectora que permitió la aparición de agua líquida. Algunos autores la llaman "Atmósfera I".

Gracias a las erupciones de los volcanes, se generó vapor de agua, que al subir por la atmósfera se condensaba, dando origen a las primeras lluvias. Al cabo del tiempo, la corteza se enfrió, el agua pudo mantenerse líquida en las zonas más profundas de la corteza, formando mares y océanos, es decir, la hidrosfera.

Origen de la vida.

Hace 3.800 millones de años, nuestro planeta presenció el surgimiento de la vida a partir de materiales inertes. Seguro que alguna vez te lo has preguntado... ¿qué es estar vivo? ¿Qué distingue a los seres vivos de los seres no vivos?

Una definición inicial, simple y que excluye totalmente a los seres inertes podría ser la siguiente:

Los seres vivos se caracterizan porque se pueden reproducir y auto mantenerse.

Un ser vivo cumple diversas características: es originado por uno o varios progenitores, intercambia materia y energía con el medio que le rodea (come, respira, elimina residuos...), es capaz de reproducirse, y finalmente, morir.

Los seres vivos están hechos de materia orgánica. ¿De dónde salió la materia orgánica para construir el primer ser vivo?



Se calcula que la vida apareció en nuestro planeta hace aproximadamente 3.800 millones de años. Se cree que la atmósfera de la Tierra, en aquella época, contenía principalmente vapor de agua y gases como el amoníaco, el hidrógeno y el metano. En 1953, el científico Stanley Miller, realizó un famoso experimento en la que mezcló los mismos componentes de aquella atmósfera primitiva y los sometió a descargas eléctricas, simulando las frecuentes tormentas eléctricas de aquella época. Dispuso un aparato de Tesla que producía pequeñas cargas eléctricas en el interior de un sistema cerrado que contenía metano, amoniaco, vapor de agua y un poco de hidrógeno gaseoso. Se formaron diversas moléculas orgánicas entre las que se destacaron cetonas, aldehídos y ácidos, pero lo más importante de todo fue que se sintetizaron aminoácidos. Esta teoría dio apoyo experimental a la idea de Oparin de que las condiciones y las moléculas inorgánicas simples de la atmósfera primitiva del planeta tenían realmente la capacidad de combinarse para formar moléculas orgánicas de los seres vivos.

La humanidad de hoy siempre ha deseado conocer el origen de la vida, planteándose así uno de los problemas más difíciles de contestar para la biología actual. La Historia ha dado varias explicaciones que han sido descartadas y algunas de ellas, se mantienen en la actualidad. Estas explicaciones se establecen en cuatro categorías:

Creacionismo

Generación espontánea

Origen cósmico

Biogénesis



Creacionismo. El origen de la especie humana, se halla contenida en la Biblia, concretamente en el capítulo de Génesis. Estas ideas, se mantuvieron vigentes hasta bien entrado el siglo XIX, y cualquier opinión en contra era tachada de herejía y ridiculizada de inmediato por la Ciencia Oficial, vigente en aquella época; que defendía las leyes bíblicas.

Afirma que el hombre ha sido creado en el año 4.004 a.C., según cálculos realizados sumando las edades de Adán y los profetas de Israel que se contenían en la Biblia. Así, todos los seres vivientes han sido creados por Dios al principio de los tiempos con aspectos a los actuales.

Los restos fosilificados de animales encontrados eran de los seres ahogados en el diluvio universal y que no tuvieron cabida en el Arca de Noé.

La Tierra había sufrido una serie de catástrofes geológicas que hicieron desaparecer y sepultaron a los seres vivos, seguidas de sucesivas creaciones, la última que está escrita en el Antiguo Testamento.



Generación espontánea. Desde la antigüedad se pensaba que la vida podía surgir por generación espontánea, a partir de la combinación de los cuatro elementos que se consideraban esenciales: aire, fuego, agua y tierra.

Se propuso que gusanos, insectos y peces provenían de sustancias como el sudor o el rocío, como resultado de la interacción de la materia "no viva" con "fuerzas capaces de dar vida".

La generación espontánea antiguamente era una creencia profundamente arraigada descrita ya por Aristóteles. La observación superficial indicaba que surgían gusanos del fango, moscas de la carne podrida, organismos de los

lugares húmedos, etc. Así, la idea de que la vida se estaba originando continuamente a partir de esos restos de materia orgánica se estableció como lugar común en la ciencia. Hoy en día la comunidad científica considera que esta teoría está plenamente refutada. Francisco Redi empeñó a demostrar la falsedad de la teoría de la "generación espontánea".



Origen cósmico. Esta teoría, se basa fundamentalmente en la observación de la fecundación de las lavas, originariamente estériles (cuando su temperatura es elevada), por esporas traídas por el viento y establece que este fenómeno podría ocurrir a escala cósmica, es decir, que la Tierra habría sido sembrada por gérmenes provenientes del cosmos. Establece que los gérmenes habrían llegado empleando a los meteoritos como vehículo de transporte. Establece que los gérmenes habrían llegado en medio de polvo cósmico movido por la radiación cósmica.

Teoría de la biogénesis. La biogénesis es aquella teoría en la que la vida solamente se origina de una vida preexistente.

Todos los organismos visibles surgen sólo de gérmenes del mismo tipo y nunca de materia inorgánica. Si la vida alguna vez se originó de materia inorgánica, tuvo que aparecer en la forma de una célula organizada, ya que la investigación científica ha establecido a la célula como la unidad más simple y pequeña de vida independiente visible.

Según la ciencia fue avanzando, surgieron otras teorías que poco a poco fueron dando forma a ideas, conceptos y definiciones sobre los mecanismos del origen de la vida en la tierra.

Teorías evolucionistas. Oparin postula que se dio en dos fases:

Evolución Química: En los tiempos prebióticos, la atmósfera de la Tierra carecía de oxígeno. Contenía principalmente Hidrógeno, amoníaco, metano y agua. El vapor de agua cubría parte de la superficie de la Tierra, pudiendo haber interactuado gracias a la energía provista por la radiación ultravioleta, el calor y las descargas eléctricas. Originando moléculas como los carburos, que habrían originado los hidrocarburos que a su vez, en reacción con amoníaco, habrían dado origen a: amidas, aminoácidos, bases nitrogenadas y azúcares.

Evolución Biológica: El enfriamiento progresivo de la Tierra habría permitido la formación de lagunas en las cuales todas esas moléculas habrían permanecido en solución, constituyendo un verdadero “caldo nutritivo” en el cual se habría favorecido las interacciones entre ellas. Así se habrían llegado a formar Proteínas y Polisacáridos, que habrían reaccionado para originar los denominados Coacervados, esto es, complejos moleculares que poseen una superficie semejante a membrana y un interior líquido y que tendrían algunas capacidades vitales, tales como: alimentación, metabolización, crecimiento, reproducción.

La teoría actual para explicar el origen de la vida se basa en comprobar experimentalmente cada uno de los pasos necesarios que se han debido de producir para dar la lugar a la vida tal y como la conocemos. Estos pasos son:

Origen de los precursores orgánicos.

Origen de las biomoléculas.

Origen de la organización celular.

Las teorías modernas evolucionistas intentan explicar los procesos y mecanismos mediante los cuales se produce la evolución en los seres vivos, tales como:

El Lamarckismo

El darwinismo

El neodarwinismo

Pruebas de la evolución. La evolución es muy difícil de observar directamente pero todos los organismos vivos presentan rasgos evolutivos que la demuestran. Las pruebas se pueden agrupar en cinco tipos:

Paleontológicas

Biogeográficas

Anatómicas

Embriológicas

Biomoleculares

Los mecanismos de la evolución. La evolución se produce por dos causas fundamentales:

La variabilidad genética. A nivel genético la evolución representa una variación de los tipos de genes a lo largo del tiempo, con cambios de unos alelos por otros en las poblaciones. Tres son las principales consecuencias del funcionamiento de la evolución:

La adaptación de los organismos

La especiación

La diversificación de especies

La selección natural. Es la base de todo el cambio evolutivo. Es el proceso a través del cual, los organismos mejor adaptados desplazan a los menos adaptados mediante la acumulación lenta de cambios genéticos favorables en la población a lo largo de las generaciones. Cuando la selección natural funciona sobre un número extremadamente grande de generaciones, puede dar lugar a la formación de una nueva especie.

La historia de la evolución. Los fósiles representativos. Un **fósil** es cualquier resto o huella de la actividad de un ser vivo que ha vivido en el pasado y que ha llegado a nuestros días gracias a su mineralización o conservación en las rocas.

El estudio de los fósiles es una de las pruebas de la evolución y que también nos informa de la historia de la misma, dándonos datos sobre la extinción y la aparición de las especies en la Tierra. Algunos fósiles han servido para marcar ciertas etapas de la historia de la Tierra, a estos se les llama **fósiles representativos**.

La evolución humana. Nuestra especie, Homo sapiens, surgió hace sólo 100.000 años, pero los antepasados de los cuales procedemos se remontan a unos cuatro millones de años antes. Los descubrimientos recientes hacen suponer que nuestra línea evolutiva no es definitiva, sino que se adapta a la nueva información que los científicos van aportando con sus investigaciones.

El ser humano pertenece a la familia de los homínidos, conjuntamente con los simios actuales, los chimpancés, el gorila y el orangután. Pero hay una relación de fósiles de homínidos que nos indican nuestra línea evolutiva.

La humanidad y la evolución. Características evolutivas. El ser humano ha experimentado un proceso de evolución conjuntamente con el resto de los primates, los cuales iniciaron su evolución como mamíferos primitivos arborícolas en el Paleoceno, hace alrededor de 65 millones de años.

Así mismo, durante nuestra evolución y hasta la actualidad hemos tenido importantes relaciones con las demás especies que habitan la Tierra.

Definición de vida orgánica.

El concepto de vida puede ser definido desde diversos enfoques. La noción más habitual está vinculada a la biología, que sostiene que la vida es la capacidad de nacer, crecer, reproducirse y morir. En este sentido, la vida es aquello que distingue a hombres, animales y plantas de los objetos, como una roca o una mesa.

La vida también es el estado de actividad de los seres orgánicos y la fuerza interna que permite obrar a aquel que la posee. Otra forma de interpretar la vida está vinculada a la capacidad de un ser físico de administrar sus recursos internos para adaptarse a los cambios que se producen en su medio.

La vida orgánica se caracteriza por estar compuesta por complejas estructuras organizadas, desde la más simple proteína hasta un organismo completo como lo es ser humano, es más compleja que las estructuras inorgánicas. La vida orgánica está basada en el carbono.

El estudio de la vida se llama biología y los biólogos son los que estudian sus propiedades. Tras el estudio por parte de éstos, se hace evidente que toda reacción bioquímica capaz de establecer una estructura homeostática que desarrolle la función metabólica, se la puede definir como materia viva orgánica u organismo, compartiendo algunas características comunes, producto de la selección natural:

1. Un organismo requiere aporte externo de energía para poder sostener su ciclo metabólico. Dada la tendencia constante a degradar la usada, se establece una resistencia que ofrece toda materia viva a ser animada. Este hecho se hace evidente al observarse la tendencia a degradar a materia inerte. Es decir, se alimentan para no morir.
2. Un organismo usa todos los recursos disponibles y compatibles con su estructura para perpetuar su esquema molecular (ADN), desecharlo inservible y desarrollando lo útil. En las estructuras vitales más complejas, esto se observa por el hecho de que crecen y se desarrollan.
3. Un organismo es receptivo a los estímulos del medio ambiente, siendo éste el único medio por el cual poder reponer los recursos perdidos. Si deja de responder, dejará de ser materia viva.
4. Un organismo responde a un medio favorable activando los procesos que le permitirán duplicar su esquema molecular y transferir sus funciones de manera que fomente ese esquema al máximo de sus facultades vitales. En función de los recursos disponibles del medio, esas facultades serán más o menos intensas.

La vida se agrupa en diversos niveles estructurales jerarquizados. Así se sabe que la unión de células puede dar lugar a un tejido y la unión de éstos da lugar a un órgano que cumple una función específica y particular, como el caso del corazón o el estómago. De esta forma los diversos niveles de jerarquización de la vida se agrupan hasta formar un organismo o ser vivo, éstos al agruparse siendo de una misma especie forman una población y el conjunto de poblaciones de diversas especies que habitan en un biotopo dado forman una comunidad.

Definición de biología.

La Biología es una ciencia porque se basa en la observación de la naturaleza y la experimentación para explicar los fenómenos relacionados con la vida: *Biología es el estudio de la transferencia no-espontánea de la energía contenida en las partículas y de los sistemas cuasi-estables que la experimentan.*

Definición de Física.

La Física es la ciencia que observa la Naturaleza, y trata de describir las leyes que la gobiernan mediante expresiones matemáticas. La Física es una ciencia cuantitativa que incluye mecánica, fenómenos térmicos, electricidad y magnetismo, óptica y sonido. No es difícil reconocer que vivimos en un mundo científico y tecnológico; la física es una parte fundamental de nuestro mundo que influye en nuestra sociedad a cualquier escala, pues abarca desde lo infinitamente grande, la astrofísica, a lo infinitamente pequeño, la física de las partículas elementales. Por ello no debe extrañar la presencia de la física en todo lo que ha representado progreso científico y técnico.

Definición de biofísica.

La Biofísica es una sub-disciplina de la Biología que estudia los principios físicos subyacentes a todos los procesos de los sistemas vivientes. La biofísica explica los fenómenos biológicos aplicando los principios fundamentales de la naturaleza. Por ejemplo, la biofísica estudia los cambios de polaridad en los microtúbulos de un Paramecium, o la transferencia de energía de una partícula a otra dentro del complejo motor molecular conocido como ATP sintetasa, o la mecánica del esqueleto humano, o la dinámica de fluidos en un saltamontes, etc.

Por supuesto, la biofísica se fundamenta en los estudios proporcionados de la física; por ello, decimos que la biofísica es una ciencia interdisciplinaria.

CAPÍTULO 2. MEDIDAS Y ANTROPOMETRÍA

MEDICIÓN

Definiciones de medición. Medición es determinar la dimensión de la magnitud de una variable en relación con una unidad de medida preestablecida y convencional. Se conocen algunos sistemas convencionales para establecer las unidades de medida:

- Sistema Internacional (SI)
- Sistema Inglés
- Sistema CGS (sistema cegesimal de unidades)
- Sistema Giorqi o MKS (metro, kilogramo y segundo)
- Sistema terrestre o técnico

Requisitos para la medición.

Debe cumplir estas condiciones:

- 1º.- Ser inalterable, esto es, no ha de cambiar con el tiempo ni en función de quién realice la medida.
- 2º.- Ser universal, es decir utilizada por todos los países.
- 3º.- Ha de ser fácilmente reproducible por todos.

Magnitudes fundamentales y unidades

Magnitud: El término magnitud suele emplearse por la gente en dos sentidos diferentes. Por un lado, es el tamaño que ostenta un cuerpo (ejemplo, la magnitud de un edificio). Por otro lado, es referida a la grandeza, a la importancia que presenta un hecho, situación, o cosa.

A los objetos podemos atribuirle cualidades comunes, como por ejemplo; se puede afirmar que una manzana y una cereza son rojas, o que un tren y un barco son muy grandes. Estas cualidades no siempre son commensurables, es decir, a veces se pueden comparar pero no se puede decir cuánto más roja es la cereza que la manzana. El barco y el tren si se podrían comparar (medir) y decir cuánto es la diferencia, esta sería una cualidad llamada longitud.

A este tipo de cualidades que son commensurables se las denomina magnitud.

Cantidad: Es el número que representa de la comparación de magnitudes, lo correcto es comparar con una unidad fundamental. Ejemplo: podríamos decir que una calle es el doble de ancho de otra, pero lo correcto para esto sería comparar cada calle con una unidad fundamental llamada metro.

Unidades: Cuando medimos, la cantidad resultante lleva un nombre que es la unidad. Ejemplo, podemos medir un lápiz con una regla dividida en centímetros, la medición da 5 centímetros. Entonces la unidad en este caso es el centímetro.

Con base a lo explicado, podemos simplificar de la siguiente manera:

- Magnitud: longitud
- Cantidad: 5
- Unidad: centímetros.

EL SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES.

El Sistema internacional de Unidades es una forma aceptada internacionalmente de utilización de las unidades de medida de las magnitudes físicas de los cuerpos. En el Sistema Internacional de unidades existen 3 clases de unidades.

- Unidades básicas
- Unidades suplementarias
- Unidades derivadas

Normas para el uso del Sistema S.I.

1. Las unidades del sistema SI establecidos precedentemente deben ser apropiadamente utilizadas ya sea con prefijos múltiplos o submúltiplos.
2. Cuando son escritas, todas las unidades deben comenzar con minúscula, excepto al comienzo de un frase o sentencia. Cuando se escribe "grados Celsius" la palabra Celsius comienza con mayúscula. Los símbolos de unidades se escriben con minúscula, excepto cuando el nombre de la unidad es derivado de nombres de personas (weber-Wb). Los prefijos T (Tera), G (Giga) y M (Mega) se escriben con mayúscula. Los otros prefijos se escriben con minúscula.
3. Plurales. Cuando se escriben los nombres de las unidades, estas pueden usarse en plural: varios kilómetros de largo. Los símbolos de las unidades nunca se escriben en plural: 70 km, 5,5 m.

4. Puntuación.

- a) No se debe usar punto después de un símbolo, excepto cuando este va al final de una oración.
- b) Cuando se escriben números menores que uno, siempre se debe usar un cero antes de la coma decimal. Ej.: 0,235
- c) Cuando se tenga grupos de 4 o más dígitos, estos deben separarse en grupos de 3, sin colocar un punto para separar los grupos, y en grupos de 4 dígitos es recomendable dejar un espacio. Ej.: 1 234 567 ,89 y NO 1.234.567,89
- d) Cuando se usan prefijos, éstos deben escribirse inmediatamente adyacentes a la unidad respectiva Ej.: meganewton: MN, kilowatt: kW.
- e) Usar superíndice para indicar unidades al cubo o al cuadrado. Ej.: m², cm³
- f) En los símbolos se puede reemplazar la palabra "por" por el slash. Ej.: 50 km/h
- g) En caso de no abreviación de las unidades, en vez del punto centrado se usa un guión. Ej.: metro-kelvin
- h) En unidades compuestas que se forman por la multiplicación de 2 o más unidades un punto grueso centrado es usado. Ej.: kg•m También se puede usar un exponente negativo. Ej.: 25 m•s⁻¹ (25 metros por segundo o 25 m/s).

5 Otras recomendaciones

- a) Evitar el uso de prefijos en denominadores (excepto kg), que corresponde a una unidad básica.
- b) Evitar el uso de los prefijos hecto, deka, deci, y centi, excepto cuando son usados para- áreas y volúmenes.
- c) Evitar el uso de un número excesivo de decimales. Si los dígitos que se descartan son menores a cinco, simplemente redondee sin cambio. Ej. 2,461242 queda 2,46. Si los dígitos que se emiten son mayores o iguales a cinco incrementan el valor del último dígito retenido. . Ej. 2,467542 queda 2,468 ó 2,47

6 Unidades no permitidas.

- a) Existen ciertas unidades fuera del SI, las cuales, sin embargo, son reconocidas y retenidas ya sea por su importancia práctica o debido a su uso en campos específicos.
- b) Los prefijos consignados en el punto 2 pueden ser usados con varias de las unidades mostradas más abajo, por ejemplo mililitro, mL; megaelectrovolt, MeV. Unidades compuestas también son formadas con algunas de las unidades descritas a continuación, por ejemplo, kg/h, km/h.

Tipos de magnitudes. Las magnitudes fundamentales son:

Magnitudes	Unidades de medida
Masa	kilogramo
Longitud	metro
Tiempo	segundo
Temperatura	kelvin
Intensidad de corriente eléctrica	ampere
Cantidad de sustancia	mol
Intensidad luminosa	Candela

Unidades base.

Masa	kilogramo	kg			
	El kilogramo equivale a la masa del kilogramo patrón internacional.				
Longitud	metro	m			
	El metro equivale a 1650763.73 veces la longitud de onda de la radiación emitida por los átomos del nucleido ^{86}Kr , en la transición entre el estado $5d_5$ y el estado $2p_{10}$, propagándose en el vacío.				
Tiempo	segundo	s			
	El segundo equivale a 9192631770 veces el período de la radiación correspondiente a la transición entre los dos <u>niveles</u> de la estructura hiperfina del estado fundamental de los átomos de nucleido ^{133}Cs .				
Corriente eléctrica	amperio	A			
	El amperio equivale a la intensidad de una corriente eléctrica constante en <u>el tiempo</u> que, al circular en el vacío por dos conductores paralelos situados a un metro de distancia, rectilíneos e infinitos, de sección circular y despreciable, da <u>lugar</u> a una fuerza de atracción mutua entre los conductores de 2×10^{-7} newtonios por metro.				
Intensidad luminosa	candela	cd			
	La candela es la intensidad de luz que emite 1/600000 metros cuadrados de la superficie de un cuerpo negro a una temperatura correspondiente a la solidificación del platino a una presión de 101325 neutrones por metro cuadrado, y perpendicular a su superficie.				
Cantidad de sustancia	mol	mol			
	El mol equivale a la cantidad de materia de un sistema constituido por tantas partículas como átomos contiene 12/1000 kilogramos de nucleido del carbono ^{12}C .				
Temperatura termodinámica	kelvin	K			
	El kelvin equivale a la 273.16-ava parte de la temperatura termodinámica del punto triple del agua (aprox. 0.01 °C)				

Existen otros tipos de magnitudes, mismas que son utilizadas según áreas y actividades internacionales:

MAGNITUDES	Sistema Absoluto			Sistema Técnico	
	SI - M.K.S	C.G.S	F.P.S	Europeo	Inglés
Longitud	m	cm	pie	m	pie
Masa	Kg	g	lb	UTM	slug
Tiempo	s	s	s	s	s
Temperatura	°K	°C	°F		°R
Intensidad Luminosa	cd				
Corriente Eléctrica	A				
Cantidad de sustancia	mol				
Fuerza	N = Kg.m/s ²	Dina = g.cm/s ²	Poundal = lb.pie/s ²	kg.f	lb.f
Velocidad	m/s	cm/s	pie/s	m/s	pie/s
Aceleración	m/s ²	cm/s ²	pie/s ²	m/s ²	pie/s ²
Trabajo o Energía	J = N.m	ergio = dina.cm	poundal.pie	kg.f.m	lb.f.pie
Potencia	W = J/s	ergio/s	poundal.pie/s	kg.f.m/s	lb.f.pie/s
Presión	Pa = N/m ²	dina/cm ²	poundal/pie ²		
Calor	cal	cal	BTU		

Tipos de medidas

Existen dos tipos de medidas:

Directas.

Indirectas.

Directas. Cuando se dispone de un instrumento de medida que la obtiene comparando la variable a medir con una de la misma naturaleza física. Así, si deseamos medir la longitud de un objeto, se puede usar un calibrador.

Indirectas. Medición indirecta es aquella que realizando la medición de una variable, podemos calcular otra distinta, por la que estamos interesados.

Si queremos medir la altura de un edificio, dadas las dificultades de realizar la medición directamente, emplearemos un método indirecto. Colocaremos en las proximidades del edificio un objeto vertical, que sí podamos medir, así como su sombra. Mediremos también la longitud de la sombra del edificio. Dada la distancia del Sol a la tierra los rayos solares los podemos considerar paralelos, luego la relación de la sombra del objeto y su altura, es la misma que la relación entre la sombra del edificio y la suya.

Tipos de errores.

Errores sistemáticos. Son aquellos errores que se repiten de manera conocida en varias realizaciones de una medida. Las características de estos permiten corregirlos. Un ejemplo de error sistemático es el error del cero, en una báscula, que a pesar de estar en vacío, señala una masa no nula.

Errores aleatorios. Son los que se producen de un modo no regular, variando en magnitud y sentido de forma aleatoria, son difíciles de prever, y dan lugar a la falta de calidad de la medición.

Error absoluto. El error absoluto de una medida es la diferencia entre el valor de la medida y el valor real de una magnitud (valor tomado como exacto).

Error relativo. Es la relación que existe entre el error absoluto y la magnitud medida, es adimensional, y suele expresarse en porcentaje.

FORMAS DE MEDICIONES

En el área de la salud, podemos establecer tres formas de hacer mediciones:

Ergonómicas.

Antropométricas.

Somatotípicas.

Ergonomía.

Término que proviene de las palabras griegas ergon (trabajo) y nomos (ley, norma). Estudia la adaptación del trabajo al hombre para evitar diferentes problemas de salud. Con la ergonomía los trabajos mejoran en seguridad, eficiencia y efectividad y bienestar o satisfacción.

Las Áreas de trabajo de la ergonomía las podemos resumir en:

Ergonomía Ambiental. Estudia aquellos factores ambientales que afectan al confort laboral para que se ejecuten en condiciones de seguridad y no resulten nocivos a la salud.

Ergonomía Cognitiva. Estudia las interacciones entre un dispositivo, objeto, producto y un individuo. Estas interacciones hacen uso de las principales funciones mentales (percepción, memoria, razonamiento). La ergonomía cognitiva se ocupa entonces de los problemas de costo cognitivo derivado de esta interacción.

Ergonomía de Diseño y Evaluación. Los ergonomistas del área de diseño y evaluación participan durante el diseño y la evaluación de equipos, sistemas y espacios de trabajo; su aportación utiliza como base conceptos y datos obtenidos en mediciones antropométricas, evaluaciones biomecánicas, características sociológicas y costumbres de la población a la que está dirigida el diseño. Al diseñar o evaluar un espacio de trabajo, es importante considerar que una persona puede requerir de utilizar más de una estación de trabajo para realizar su actividad, de igual forma, que más de una persona puede utilizar un mismo espacio de trabajo en diferentes períodos de tiempo, por lo que es necesario tener en cuenta las diferencias entre los usuarios en cuanto a su tamaño, distancias de alcance, fuerza y capacidad visual, para que la mayoría de los usuarios puedan efectuar su trabajo en forma segura y eficiente. Al considerar los rangos y capacidades de la mayor parte de los usuarios en el diseño de lugares de trabajo, equipo de seguridad y trabajo, así como herramientas y dispositivos de trabajo, ayuda a reducir el esfuerzo y estrés innecesario en el personal, lo que aumenta la seguridad, eficiencia y productividad del trabajador.

Biomecánica y fisiología. Estudia al cuerpo desde el punto de vista mecánico en donde se basa en una serie de conocimientos de la medicina del trabajo, la fisiología y la antropometría en donde el estudio del cuerpo es clave para la obtención de un rendimiento máximo.

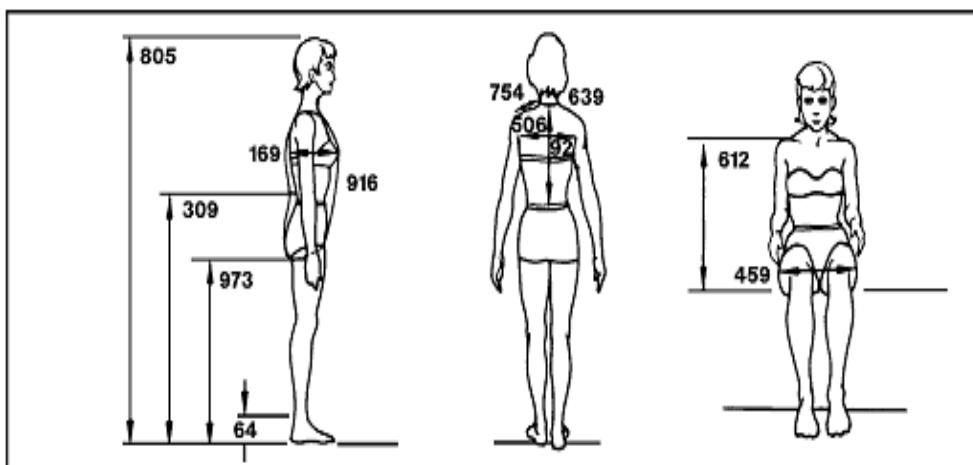
Ergonomía preventiva y correctiva. Trabaja en relación con las disciplinas encargadas de la seguridad e higiene en el ambiente laboral. Estudia y analiza las condiciones de seguridad, de salud y de confort laboral.

Ergonomía de necesidades. Estudia el diseño y el desarrollo del equipo para las personas que tengan alguna dificultad física y para los infantes. También se aplica en el diseño de microambiente autónomos.

Antropometría.

Es la sub-rama de la antropología biológica o física que estudia las medidas del hombre. Se refiere al estudio de las dimensiones y medidas humanas con el propósito de modificar los cambios físicos del hombre y las diferencias entre sus razas y subrazas.

Hoy en día, la antropometría cumple una función importante



en el diseño industrial, en la industria de diseños de indumentaria, en la ergonomía, la biomecánica y en la arquitectura, donde se emplean datos estadísticos sobre la distribución de medidas corporales de la población para optimizar los productos. Se trata de un Área de trabajo de la ergonomía en donde se toma en cuenta las medidas del cuerpo humano en relación al tamaño del cuerpo, sus formas, la fuerza y su capacidad de trabajo. Es la información que es utilizada para el diseño de espacios laborales, como también las herramientas, el equipo de seguridad y los elementos de protección personal en donde se considera las características del cuerpo humano.

La antropometría consiste en una serie de mediciones técnicas sistematizadas que expresan, cuantitativamente, las dimensiones del cuerpo humano. A menudo la antropometría es vista como la herramienta tradicional, y tal vez básica de la antropología biológica, pero tiene una larga tradición de uso en la Educación Física y en las Ciencias Deportivas, y ha encontrado un incremento en su uso en las Ciencias Biomédicas.

Técnicas y mediciones sugeridas. La antropometría involucra el uso de marcas corporales de referencia, cuidadosamente definidas, el posicionamiento específico de los sujetos para estas mediciones, y el uso de instrumentos apropiados. Las mediciones que pueden ser tomadas sobre un individuo, son casi ilimitadas en cantidad. Generalmente, a las mediciones se las divide en: masa (peso), longitudes y alturas, anchos o diámetros, profundidades, circunferencias o perímetros, curvaturas o arcos, y mediciones de los tejidos blandos (pliegues cutáneos).

Además, se pueden definir numerosas mediciones especiales para partes específicas del cuerpo, especialmente para la cabeza y rostro, la mano y el pie. No hay una lista mínima de mediciones aceptada que deba ser tomada para definir una población.

Un tema clave en la antropometría es la selección de las mediciones. Esto depende del propósito del estudio y de las cuestiones específicas que estén bajo consideración. Por lo tanto, es necesario que antes de la aplicación de la antropometría se haga un análisis absolutamente lógico, comenzando con un concepto claro del conocimiento buscado, y que lleve a una selección de las mediciones necesarias para obtener una respuesta aceptable. "La antropometría es un método y debe ser tratado como tal, un medio para un fin y no un fin en sí mismo". Cada medición debe ser seleccionada para proveer una pieza específica de información dentro del contexto del estudio diseñado. Por ello, "ningún conjunto de mediciones aisladas cumplirá con las necesidades de cada estudio". El corolario es que no es aceptable tomar mediciones por las mediciones en sí mismas; no tiene sentido tomar un extenso conjunto de mediciones, simplemente porque uno tiene la oportunidad de hacerlo.

La antropometría no es invasiva en un sentido fisiológico. Todas las mediciones son dimensiones externas del cuerpo, o de sus partes. Sin embargo, la antropometría es invasiva en un sentido personal: Una persona está siendo medida. En algunos grupos, pautas culturales pueden limitar las dimensiones que pueden ser medidas.

Aunque la antropometría es altamente objetiva y altamente confiable, en manos de antropometristas entrenados, el significado biológico o funcional de muchas dimensiones no ha sido adecuadamente establecido. La clave para una antropometría efectiva yace en el entendimiento del significado o la significancia de las mediciones específicas, con el objeto de hacer la elección correcta que permita respuestas efectivas a las preguntas formuladas. Las mediciones difieren en sus utilidades, y algunas se han establecido firmemente, más debido a una repetición ciega que porque se sepa que son útiles.

Gran parte de la variación en la morfología humana está relacionada al desarrollo de los tejidos esquelético, muscular y adiposo, así como también de las vísceras. Por lo tanto, las mediciones sugeridas se concentran en los huesos, músculos y en la grasa, y proveen información sobre los tejidos esquelético, muscular y subcutáneo. También se debe considerar la variación regional en la morfología; por lo tanto, se sugiere tomar dimensiones del tronco (superior e inferior) y de las extremidades (superiores e inferiores). La combinación de las dimensiones también provee información sobre las proporciones corporales y del físico. Las dimensiones sugeridas también se seleccionan sobre la base del sitio de idealización y accesibilidad, aunque a veces, preferencias culturales locales pueden limitar el acceso a algunos sitios de medición (por ej. la circunferencia del pecho en el tórax, o algunos pliegues cutáneos del tronco en mujeres adolescentes).

Los procedimientos para tomar las mediciones sugeridas provienen del "Manual de Referencia de Estandarización Antropométrica", editado por Lohman, Roche y Martorell.

El peso y la estatura (altura) son las dimensiones antropométricas más comúnmente usadas. El peso corporal es una medida de la masa corporal. Es una medida heterogénea, una composición de muchos tejidos que, a menudo, varían independientemente. Aunque el peso debe ser medido con el individuo desnudo, a menudo, este hecho no se puede practicar. Por consiguiente, frecuentemente se toma el peso con el individuo vestido con ropas ligeras (short de gimnasia y remera), sin calzado.

La estatura o altura, es una medición lineal de la distancia desde el piso o superficie plana donde está parado, hasta la parte más alta (vértice) del cráneo. Es una composición de dimensiones lineales a la que contribuyen las extremidades inferiores, el tronco, el cuello y la cabeza. La estatura debe medirse con un estadiómetro fijo. Si se utiliza un antropómetro móvil, un individuo debe mantener el antropómetro, de tal forma que quede correctamente alineado mientras que el otro sujeto posiciona al sujeto y toma la medición. El individuo debe estar en posición erguida, sin zapatos. Eventualmente, el peso se distribuye en ambos pies, los talones deben estar juntos, los brazos deben colgar relajados a los costados del cuerpo, y la cabeza debe estar en el plano horizontal de Frankfort.

La estatura y el peso muestran una variación diurna, o variación de la dimensión en el curso del día. Esto puede ser un problema en los estudios longitudinales de corta duración, en los cuales los cambios evidentes podrían simplemente reflejar la variación, de acuerdo al momento del día, en el cual la medición fue tomada. Por ejemplo, la estatura es mayor en la mañana, en el momento de levantarse de la cama, y disminuye en el momento que el individuo asume la postura erguida y comienza a caminar. Este "encogimiento" de la estatura ocurre como resultado de la compresión de los discos fibrosos de los cartílagos que separan las vértebras. Con la fuerza de gravedad impuesta, al estar de pie y al caminar, los discos se comprimen gradualmente. Como resultado de ello, la estatura puede disminuir en un centímetro o más. La pérdida de estatura está limitada a la columna vertebral. Esta se recupera cuando el individuo permanece en la cama, o sobre una superficie plana, por alrededor de 30 minutos.

El peso del cuerpo también muestra una variación diurna. El individuo es más liviano en la mañana, específicamente después de haber vaciado la vejiga luego de levantarse. Luego el peso del cuerpo se incrementa gradualmente durante el curso del día. Este se ve afectado por la dieta y la actividad física. En las chicas y mujeres que menstrúan, la variación en la fase del ciclo menstrual también afecta la variación diurna del peso del cuerpo.

Aplicaciones de la antropometría.

Los datos antropométricos tienen una variedad de aplicaciones, incluyendo la descripción y comparación, evaluación de intervenciones e identificación de individuos o grupos de riesgo. La antropometría sirve para describir el "status" morfológico de un individuo o de una muestra, o como base de comparación de la muestra de la población o a otras muestras, por ejemplo, el "status" de crecimiento de chicos en edad escolar que participan en deportes específicos.

A menudo, la antropometría es usada como una variable de resultado de las intervenciones evaluativas, tales como los efectos del ejercicio y la reducción del peso corporal y la adiposidad subcutánea, o los efectos del entrenamiento de resistencia sobre el perímetro de los músculos. También se la puede usar como una variable mediadora en

intervenciones de evaluación; por ejemplo, los efectos del ejercicio y de una intervención dietaria sobre el colesterol en el suero, pueden ocurrir mediante su efecto sobre el peso corporal y la adiposidad.

Finalmente, a menudo la antropometría es usada para identificar los individuos de riesgo que pueden requerir atención especial. Por eso es usada, por ejemplo, para visualizar individuos con obesidad, o chicos que no están creciendo adecuadamente para sus edades cronológicas. Un corolario de esta aplicación es el uso de la antropometría para identificar individuos con características específicas que se consideren apropiadas para el éxito en un deporte en particular.

Instrumentos utilizados para medir.

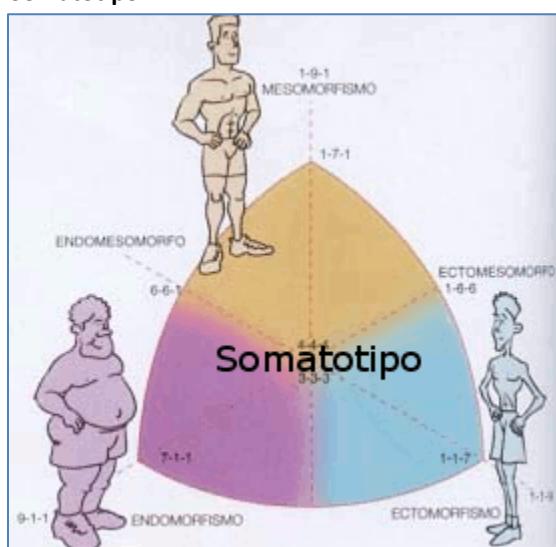
Los instrumentos de medida utilizados para los estudios antropométricos son los siguientes:

- Tallímetro.**- Escala métrica apoyada sobre un plano vertical y una tabla o plano horizontal con un cursor deslizante para contactar con la parte superior de la cabeza o vértebra. Precisión 1 mm.
- Báscula.**- Balanza pesa-personas con precisión de 100 gramos.
- Antropómetro.**- Es una escala métrica con dos ramas, una fija y otra que se desplaza. Las ramas pueden ser rectas y curvas con olivas. Precisión 1 mm. Se miden segmentos corporales, grandes diámetros y alturas.
- Cinta Antropométrica.**- Debe ser flexible, no elástica, metálica, anchura inferior a 7 mm, con un espacio sin graduar antes del cero y con escala de fácil lectura.
- Paquímetro o compás de pequeños diámetros.**- Compás de corredera graduado, de profundidad en sus ramas de 5º mm, con capacidad de medida de 0 a 250 mm, y precisión de 1 mm. Se utiliza para medir pequeños diámetros.
- Plicómetro o compás de pliegues cutáneos.**- Con capacidad de medida de 0 a 48 mm, y precisión de 0.2 mm. La presión en sus ramas es constante (10 g/mm²) cualquiera que sea su apertura. Se utiliza para medir panículo adiposo.

Material auxiliar.

- Banco de madera de altura conocida para medir altura sentado y facilitar al antropometrista la toma de diferentes medidas.
- Lápiz dermográfico para señalar los puntos anatómicos y marcas de referencia.
- Pesos y escala métrica para calibrar los aparatos.
- Disponer de un programa informático de Cineantropometría, es aconsejable para el posterior tratamiento de los datos, debido al alto número de medidas que se realizan.
- Una plataforma como base de sustentación para colocar el antropómetro y el sujeto estudiado, puede ser útil en la medición de las alturas cuando el suelo no está bien nivelado.

Somatotipo.



Somatotipo o psicología constitucional es una teoría, desarrollada en la década de 1940 por el psicólogo norteamericano William Herbert Sheldon, propuso clasificar al físico humano de acuerdo con la contribución relativa de tres elementos fundamentales, según las tres capas germinales del desarrollo embrionario:

El endodermo, (que se desarrolla dando lugar al tracto intestinal),

El mesodermo, (que se convierte en músculos, corazón y vasos sanguíneos), y

El ectodermo (que posteriormente forma la piel y el sistema nervioso).

El somatotipo es utilizado para estimar la forma corporal y su composición, principalmente en atletas. Lo que se obtiene, es un análisis de tipo cuantitativo del físico. Se expresa en una calificación de tres números, el componente endomórfico, mesomórfico y ectomórfico, respectivamente, siempre

respetando este orden. Es de suma importancia reconocer las limitaciones que tiene este método, ya que solamente nos da una idea general del tipo de físico, sin ser preciso en cuanto a segmentos corporales y/o distribución de los tejidos de cada sujeto.

Por ejemplo, un atleta puede tener una marcada hipertrofia muscular en el tren superior, y un tren inferior poco desarrollado, cosa que el somatotipo no tiene la capacidad de diferenciar.

Endomorfos:

Su apariencia refleja sus contornos redondeados, sus miembros superiores e inferiores no son muy prolongados, son personas de metabolismo basal bajo, tranquilos, de buen dormir, de buen comer, sus movimientos son lentos y sin prisa. Se dedican en lo general a deportes tales como rugby.

Mesomorfos:

Los músculos de este tipo de biotipo son bien desarrollados y marcados, corresponden a una apariencia fuerte y robusta, estéticamente armoniosa y deseada por nuestra belleza corporal cultural de hoy en día. Se caracteriza por una buena postura, siempre alerta con vitalidad, suelen ser enérgicos, tienden a ser incansables, pueden dedicarles muchas horas a la actividad laboral, están siempre listos y dispuestos a entrenar y gozan durante las sesiones de entrenamiento. Son de comer mucho, rápidamente, descuidan las dietas y no respetan los horarios para ingerir alimentos, son proclives a dedicarle pocas horas al sueño y a pesar de ello su capacidad de recuperación es notable, son sumamente competitivos y quieren ganar sea como sea, hasta el punto de odiar el fracaso. Suelen tener tendencia a la tensión arterial alta y pueden soportar el dolor y las molestias musculares con notable capacidad. Suelen dedicarse a deportes tales como, lanzamientos, artes marciales etc.

Ectomorfos:

Es el más cerebral de los 3, dedica mucho de su tiempo a la actividad intelectual, siente una necesidad abrupta de hambre que es satisfecha rápidamente, su gasto calórico basal es muy alto con lo cual lo es muy difícil subir de peso, por lo tanto lo más recomendable sería que en lugar de consumir alimentos 4 veces al día, lo hiciera en 6 u 8 oportunidades, dado que de lo contrario, suelen auto consumirse, esto es determinante para el desarrollo muscular de los atletas ectomorficos, también es recomendable entrenar la Fuerza no más de 3 días a la semana para acumular calorías y así lograr el objetivo de incrementar la masa muscular. Suelen tener tendencia a la tensión arterial baja, son sumamente débiles al dolor, su tejido adiposo es casi nulo, suelen tener una composición del 3 al 5 % de grasa corporal.

CAPÍTULO 3. BIOMECÁNICA

La biomecánica es una área de conocimiento interdisciplinario que estudia los modelos, fenómenos y leyes que sean relevantes en el movimiento (incluyendo el estático) de los seres vivos.

Esta área de conocimiento se apoya en diversas ciencias biomédicas, utilizando los conocimientos de la mecánica, la ingeniería, la anatomía, la fisiología y otras disciplinas.

La biomecánica está íntimamente ligada a la biónica y usa algunos de sus principios, ha tenido un gran desarrollo en relación con las aplicaciones de la ingeniería a la medicina, la bioquímica y el medio ambiente, tanto a través de modelos matemáticos para el conocimiento de los sistemas biológicos como en lo que respecta a la realización de partes u órganos del cuerpo humano y también en la utilización de nuevos métodos diagnósticos.

Subdisciplinas de biomecánica.

*Biomecánica médica.

*Biomecánica ocupacional.

*Biomecánica deportiva.

La biomecánica médica, se encarga de evaluar las patologías que aquejan al cuerpo humano para generar soluciones capaces de evaluarlas, repararlas o paliarlas.

La biomecánica deportiva, analiza la práctica deportiva para mejorar su rendimiento, desarrollar técnicas de entrenamiento y diseñar complementos, materiales y equipamiento de altas prestaciones.

La biomecánica ocupacional, estudia la interacción del cuerpo humano con su entorno más inmediato (trabajo, casa, conducción de vehículo, manejo de herramientas, etc.) y adaptarlos a las necesidades y capacidades humanas.

Aplicaciones de la biomecánica.

Las aplicaciones de la biomecánica van, desde el diseño de cinturones de seguridad para automóviles hasta el diseño y utilización de máquinas de circulación extracorpórea (utilizadas durante la cirugía cardíaca para sustituir las funciones cardíacas y pulmonares). En este sentido, un desarrollo importante fue el pulmón de acero, primer dispositivo de respiración artificial que salvó la vida a algunos enfermos de poliomielitis.

La biomecánica interviene en el desarrollo de implantes y órganos artificiales. Se han desarrollado prótesis mioeléctricos para extremidades de enfermos amputados, estos son movilizados por pequeños motores eléctricos estimulados por sistemas electrónicos que recogen las señales musculares (no todos los pacientes son capaces de utilizarlas de forma apropiada).

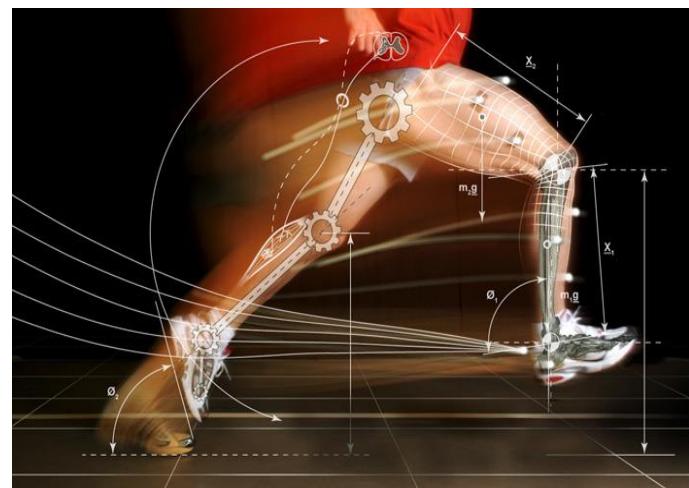
Uno de los avances en la medicina son las prótesis articulares, que permiten sustituir articulaciones destruidas por diferentes enfermedades reumáticas mejorando, de forma radical, la calidad de vida de los pacientes; han obtenido gran éxito clínico las de cadera y rodilla, y algo menos las de hombro.

El desarrollo de implantes artificiales para tratar fracturas ha revolucionado el mundo de la traumatología: incluye tornillos, agujas, placas atornilladas, clavos intramedulares y sistemas de fijación externa; todos requieren un estudio biomecánico. También se están desarrollando corazones artificiales; desde 1982 muchos pacientes han sido tratados con tales dispositivos con éxito.

Aportes de la biomecánica.

Los aportes a la humanidad que se han logrado a través de la biomecánica pueden ser dados a través de:

1. Corrección de ejes.
2. Evita dolor en tendón de Aquiles.
3. Evita periostitis.
4. Evita bursitis plantar.
5. Evita dolores articulares.
6. Previene lesiones producidas por choque.
7. Reduce la fatiga.
8. Aumenta tu rendimiento deportivo a corto y largo plazo.



Utilidades de la biomecánica.

La biomecánica es el área a través de la cual se tiene una mejor comprensión de las actividades y ejercicios, así mismo interviene en la prevención de lesiones, mejora del rendimiento, describe y mejora la técnica deportiva y médicas, además de desarrollar nuevos materiales para la rehabilitación.

Se pueden distinguir varios campos de aplicación de la biomecánica del movimiento humano:

1. Biomecánica médica: existe una gran variedad de aplicaciones incorporadas a la práctica médica; desde la clásica pata de palo, a las sofisticadas ortopédicas con mando mioeléctrico y de las válvulas cardíacas a los modernos marcapasos existe toda una tradición e implantación de prótesis.
 - i. Biomecánica aplicada a la traumatología, se utiliza para el estudio de las causas de las lesiones.
 - ii. Biomecánica aplicada a la rehabilitación, que estudia aquellos ejercicios que tiene un carácter rehabilitador, teniendo en cuenta la dirección de las fuerzas, así como los momentos generados en torno a las articulaciones.
 - iii. Biomecánica aplicada a la fisiología, que aborda por ejemplo el estudio de la mecánica de los fluidos, así como la relación de la inervación muscular en cuanto a la coordinación de movimientos y las implicaciones de los procesos fisiológicos del cuerpo sobre las habilidades motoras.
 - iv. Biomecánica ortopédica, dedicada a la implantación y adaptación de prótesis
2. Biomecánica ocupacional: en el mundo del trabajo, la biomecánica humana también encuentra una faceta dentro de los que conocemos como ergonomía, la cual tiene por objeto la adaptación y mejora de las condiciones de trabajo al hombre, tanto en su aspecto físico como psíquico y social.
3. Biomecánica de la actividad física y deportiva: se ocupa de la mecánica implicada en actividades humanas tan cotidianas como andar, correr o saltar.

Otras utilidades de la biomecánica están dadas en la posibilidad de mejorar las deformaciones de la Columna Vertebral.

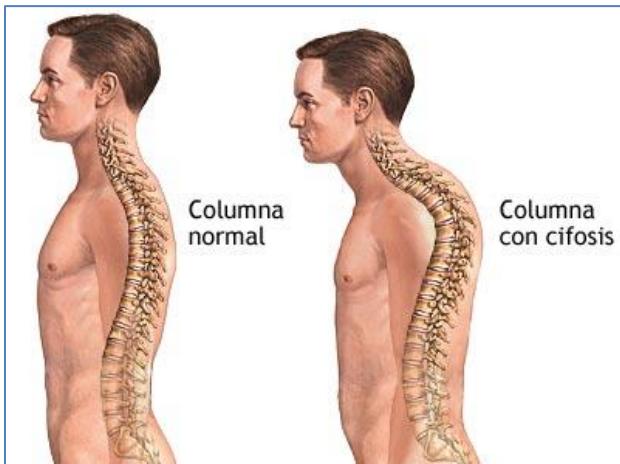
La Cifosis es conocida como "joroba" y es la curvatura anormalmente aumentada de la columna vertebral a nivel dorsal, si se observa lateralmente. La deformidad puede tener un origen traumático, infeccioso inflamatorio (por artritis reumatoide) o Neoplásico. Es importante mencionar la cifosis juvenil de Schevermann, que puede surgir aproximadamente hacia la pubertad y que es causada por una deformidad de una o más vértebras en forma de cuño.

Cuando la Cifosis es reductible, según el diagnóstico médico, los pacientes son sometidos a ejercicios correctivos de auto-estiramiento, hombros en retropulsión y extensión cervical. Además de la recomendable práctica de voleibol, básquet y/o natación, en algunos casos es necesario el uso del arnés en forma de ocho para mantener los hombros hacia atrás. En casos más severos se puede recurrir a un corsé o a una operación quirúrgica.

La escoliosis es otro de las deformaciones de la columna con mayor recurrencia y se caracteriza por la desviación lateral de la línea vertical de la columna vertebral.

En la Escoliosis Estructurada se presenta la curva permanente acompañada de rotación de los cuerpos vertebrales. En la No Estructurada, la curva desaparece con los movimientos de inclinación lateral del tronco.

Así tenemos las escoliosis adoptadas por una mala postura, ya sea al sentarse o pararse, y las escoliosis provocadas por la Dismetría de miembros inferiores (cuando un miembro inferior es más corto que el otro).



Modelos biomecánicos.

El modelaje del cuerpo humano, de sus partes y tejidos ha comenzado a aparecer como un método importante para estudiar problemas específicos de la mecánica humana.

La creación del modelo biomecánico es un paso indispensable para el estudio del movimiento de los cuerpos. Dado que el modelo biomecánico es una estructura lógica donde se relacionan el desempeño técnico y las causas que lo producen, todos estos factores pueden ser medidos tanto de forma cualitativa como cuantitativa.

Los estudios biomecánicos se sirven de distintas técnicas para lograr sus objetivos. Algunas de las más usuales son:

- Fotogrametría: análisis de movimientos en 3D basado en tecnología de video digital. Una vez procesadas las imágenes capturadas, la aplicación proporciona información acerca del movimiento tridimensional de las personas o de los objetos en el espacio.
- Electromiografía: análisis de la actividad eléctrica de los músculos.
- Plantillas instrumentadas: registro de las presiones ejercidas por el pie durante la marcha.
- Plataformas de fuerza: plataformas dinamométricas diseñadas para registrar y analizar las fuerzas de acción-reacción y momentos realizados por una persona durante la realización de una actividad determinada.
- -Equipos para la valoración de la discapacidad: aplicación informática para la valoración de deficiencia relacionada con el sistema músculo-esquelético.
- Valoración de la fuerza muscular: sistema de dinamometría para la valoración de la fuerza ejercida por diferentes grupos musculares.

En diferentes estudios biomecánicos con modelos, se hacen uso de equipos de alta tecnología -implementando un software- que permite analizar aquellos músculos más representativos de cada región articular. Haciendo uso de dicho software, una vez trasladado al modelo biomecánico el movimiento de la persona y las fuerzas que realiza, se puede obtener la actividad en los distintos grupos musculares y, consecuentemente, predecir un posible riesgo ergonómico en aquellos involucrados en las patologías musculo esqueléticas más comunes.

Los modelos biomecánicos se emplean:

1. Para aplicar las leyes de la mecánica y la teoría de maquinaria y mecanismos. Por ejemplo, cuando analizamos a un miembro del cuerpo humano como palanca, estamos utilizando un modelo de ese miembro donde se pueden considerar uno o varios músculos que son los encargados de mover o estabilizar el miembro y su carga mecánica.
2. Simulación en computadora. Con ayuda de los modelos, programas especializados y la acumulación de datos, ha comenzado a emplearse como un método creado especialmente para la simulación a partir de modelos del cuerpo humano. Un ejemplo es modelo humano (musculo-esquelético) SIMM. Este modelo posee 86 grados de libertad, 117 articulaciones y 344 actuadores, que representan músculos y tendones. Las articulaciones tienen gran exactitud cinemática.

La simulación con modelos posee ciertas ventajas cuando se desea experimentar al sistema de movimientos del hombre en determinadas condiciones, ya que permite:

1. El estudio y análisis del comportamiento de sistemas en los cuales sería muy costoso o imposible experimentar directamente en ellos.
2. Estudiar los aspectos que sobre un sistema determinado tendría ciertos cambios o innovaciones sin necesidad de arriesgar a estudiarlos en el sistema real.
3. El análisis de determinadas alternativas para seleccionar sistemas de nueva implantación.
4. Resolver problemas analíticos complicados de una forma más sencilla.

Clasificación de los modelos en biomecánica

El modelaje en biomecánica puede ser dividido en dos grandes grupos, cada uno de los cuales posee subgrupos:

1. Físico
 - 1.1 Modelos a escala
 - 1.2 Maniquí antropométrico
2. Matemático
 - 2.1 Modelos de elementos deformables
 - 2.2 Modelos de cuerpo rígido

El modelo físico es bastante caro y no puede ser fácilmente modificado. Estos modelos desarrollan un importante papel en la investigación biomecánica.

El modelo a escala es utilizado cuando es extremadamente difícil resolver las ecuaciones de movimiento, en casi todos los estudios donde interviene la mecánica de fluido y el cuerpo humano se desarrolla mediante este tipo de modelaje. Por ejemplo, para estudiar el vuelo de los saltadores de esquí y el efecto de la resistencia del aire sobre los corredores.

Los maniquíes antropométricos se usan para pruebas destructivas o dañinas. Se utilizan con mucho acierto en pruebas de la aviación y automovilísticas. Son modelos extremadamente caros debido a los sensores que son necesarios colocarlos para hacer las mediciones deseadas, y se ven sometidos a grandes cargas que pueden destruirlos.

El modelaje matemático es muy utilizado en la biomecánica, y especialmente en el deporte, por el desarrollo de las computadoras digitales de alta velocidad, que pueden resolver ecuaciones matemáticas rápidamente. Otra ventaja de este tipo de modelaje es la relativa facilidad para modificar las representaciones matemáticas del cuerpo y lo económico de simular los sistemas biomecánicos. Se emplean para modelar además del cuerpo humano, sus segmentos y sus componentes (huesos y tejidos).

Los modelos de elementos deformables pueden ser de parámetros mezclados, parámetros discretos y elementos finitos o continuos.

Los modelos de cuerpo rígido pueden emplearse para definir la configuración del cuerpo humano. Estos modelos son muy utilizados cuando se simulan colisiones, caída libre y destrezas en el deporte.

Los modelos de respuesta a colisiones del cuerpo completo han tenido una gran línea de evolución, pues han ayudado al desarrollo de análogos al humano, adecuados para estudiar la respuesta del cuerpo completo a la colisión.

En los últimos años el desarrollo de la computadora y de programas cada vez más sofisticados permite la creación de modelos del cuerpo humano cada vez más complejos. A continuación mostramos un ejemplo de ello.

Esta nueva técnica para la animación de actores (y por qué no del deportista) virtuales está basada en tecnología de sensores magnéticos y guantes-datos VR.

Dos clases de aplicaciones pueden ser realizadas, la primera, aplicación en tiempo real utilizando la captura del movimiento y reproduciendo dicho movimiento en un ambiente virtual; y la segunda, el registro de gestos y acciones motoras que demandan más esfuerzo computacional.

Por último se hace necesario aclarar que los modelos matemáticos son los más usados y para su utilización es necesario tener en cuenta los parámetros de los segmentos del cuerpo humano, que han sido investigados por varios científicos, ya no sería posible entonces la aplicación de la mecánica de Newton al movimiento del hombre.

Leyes de Newton.

Isaac Newton fue un científico inglés que escribió "Los principios matemáticos de la filosofía natural. En este libro, entre otros temas, enunció sus leyes del movimiento. El movimiento es el desplazamiento de los cuerpos dentro de un espacio con referencia a otro cuerpo. El movimiento es relativo ya que depende del punto de vista del observador.

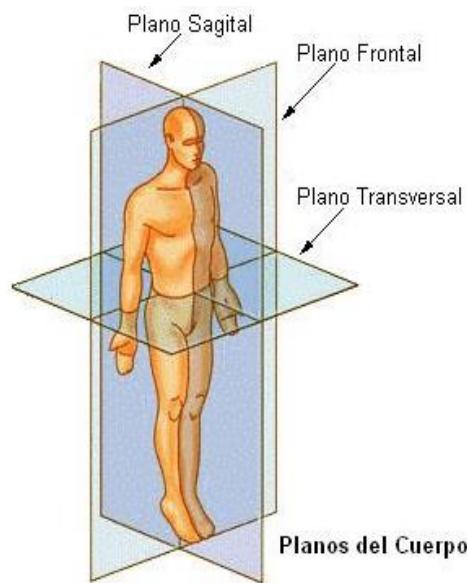
La fuerza es la acción de un cuerpo sobre otro que causa el movimiento. La masa es la magnitud que indica la cantidad de materia de la que está formado el cuerpo en movimiento.

Isaac Newton, estableció que todo movimiento se encuentra regido por tres leyes.

- Primera ley o ley de inercia. Todo cuerpo permanece en su estado de reposo o de movimiento rectilíneo uniforme a menos que otros cuerpos actúen sobre él.
- Segunda ley o Principio Fundamental de la Dinámica. La fuerza que actúa sobre un cuerpo es directamente proporcional a su aceleración.
- Tercera ley o Principio de acción-reacción. Cuando un cuerpo ejerce una fuerza sobre otro, éste ejerce sobre el primero una fuerza igual y de sentido opuesto.



Planos del Cuerpo Humano.



El plano es una representación imaginaria que pasa a través del cuerpo en su posición anatómica. Los planos se pueden clasificar en:

Plano Medio Sagital: Es el plano que divide imaginariamente al cuerpo en sentido antero posterior a lo largo de la línea media y lo divide en dos partes iguales, derecha e izquierda.

Plano Frontal: Es un plano vertical que pasa a través del cuerpo formando un ángulo recto (de 90°) con el plano medio y divide imaginariamente al cuerpo en dos partes, la anterior o facial y la posterior o dorsal.

Plano Horizontal: Es el plano que divide al cuerpo o cualquier parte de él en dos mitades, superior o cefálica e inferior o caudal.

En el estudio de la anatomía humana, los planos anatómicos son las referencias espaciales que sirven para describir la disposición de los diferentes tejidos, órganos y sistemas, y las relaciones que hay entre ellos. Clásicamente, se parte del supuesto de que el cuerpo que va a ser estudiado se encuentra en la denominada posición anatómica.

Ejes corporales.

El eje vertical va de la cabeza a los pies: es un eje 'cráneo-caudal' ('cabeza-cola').

El eje anteroposterior va de delante hacia atrás: es un eje ventro-dorsal.

Planos de movimiento del cuerpo humano

Para las indicaciones de situación y dirección son importantes las siguientes denominaciones:

Ventral-dorsal. Esta indicación de dirección se utiliza en el tronco. Ventral significa hacia el vientre y dorsal significa hacia la espalda (ej: las costillas se unen en la parte ventral con el esternón y en la parte dorsal con la columna vertebral).

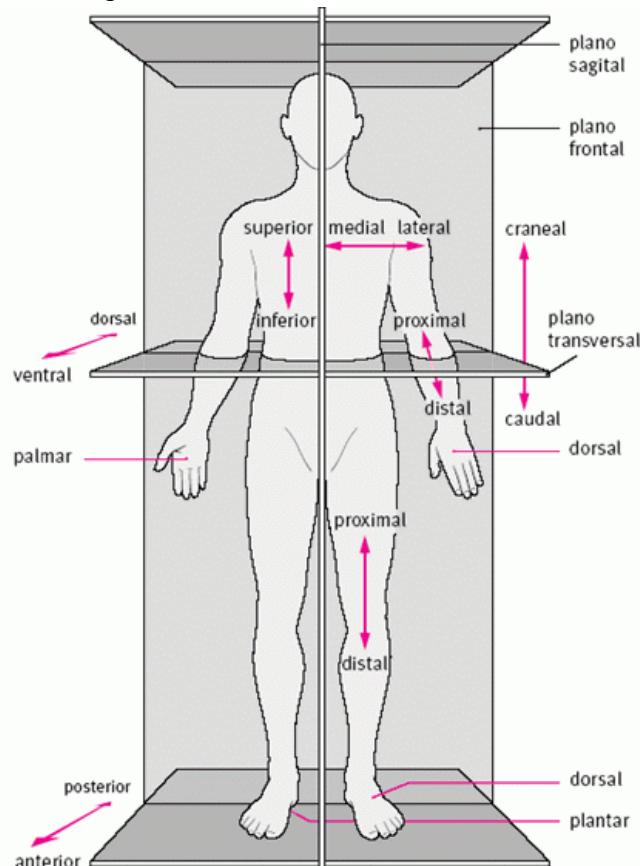
Medial-lateral. Medial (interno) significa en dirección a la línea media del cuerpo y lateral (externo) significa hacia el exterior. (ej: vasto medial= músculo en la parte interna del muslo y vasto lateral=músculo en la parte externa del muslo).

Craneal-caudal. Craneal significa hacia la cabeza y caudal, hacia los pies (ej: la columna vertebral está unida cranealmente con la cabeza y caudalmente con la pelvis).

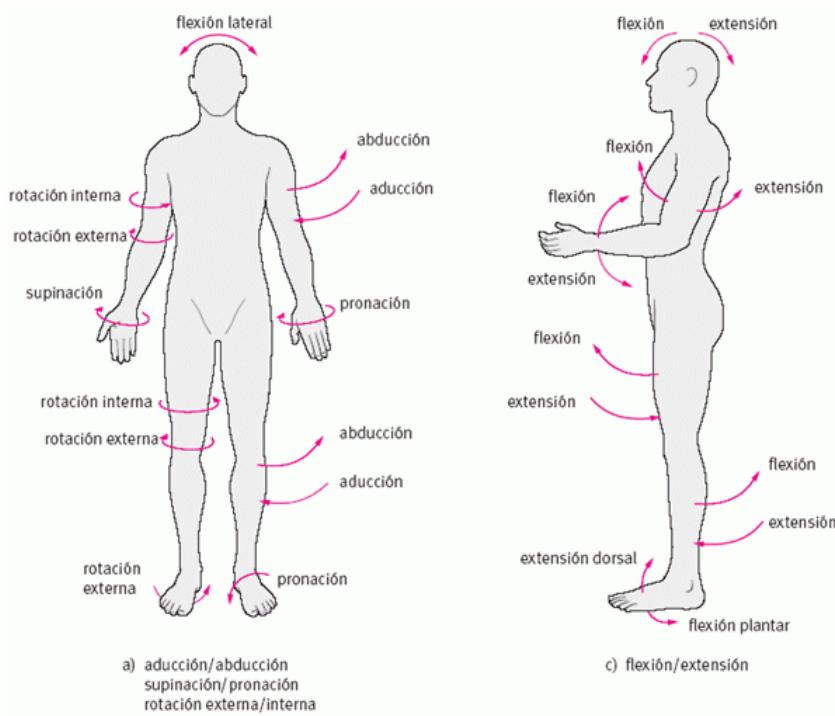
Proximal-distal. Proximal significa hacia el centro del cuerpo y distal, hacia la periferia) ej: la articulación radiocubital proximal se encuentra en el codo y la articulación radiocubital distal, en la muñeca.

Anterior-posterior. Anterior significa que está situado delante y posterior, que está situado detrás (Ej: espina iliaca anterosuperior y espina iliaca posterosuperior).

Superior-inferior. Superior significa por encima de e inferior, por debajo de (Ej: supraespinooso=que se encuentra por encima de la espina de la escápula, contraposición con el infraespinooso, que está situado por debajo de la espina de la escápula).



Descripción de los movimientos.



efectúan perpendicularmente al eje de la pierna o del brazo y describen un movimiento de giro hacia dentro y hacia fuera. En la columna vertebral hablaremos de rotación derecha y rotación izquierda.

Supinación-pronación. Describe explícitamente el movimiento de giro de la mano. Al efectuar la supinación la palma de la mano gira hacia arriba y al efectuar la pronación, hacia abajo.

Flexión plantar-flexión dorsal. Se describe así el movimiento de flexión y de extensión del pie (articulación talocrural). En la flexión plantar (plantiflexion) la punta del pie se dirige hacia abajo, en la flexión dorsal (dorsiflexion) hacia arriba. Si se trabaja contra resistencia, en cada movimiento articular se puede diferenciar dos movimientos parciales: la fase concéntrica y la fase excéntrica.

Fase de movimiento concéntrica. Fase del movimiento en la que se produce la superación (elevación) por los agonistas o sinergistas. Ej: en el movimiento de flexión del codo con una mancuerna, en la fase concéntrica el peso se desplaza hacia arriba contra la fuerza de la gravedad.

Fase de movimientos excéntrica. Fase del movimiento en la que se aleja. Ej: en el ejercicio anterior, en la fase excéntrica el peso desciende en la dirección de la fuerza de la gravedad de forma controlada.

Palancas

El hombre, desde el inicios de los tiempos ha ideado mecanismos que le permitan ahorrar energía y con ello lograr que sus esfuerzos físicos sea cada vez menores. Entre los diversos mecanismos para hacer más eficientes sus esfuerzos se pueden citar las poleas, los engranajes y las palancas.

La palanca es una máquina simple que se emplea en una gran variedad de aplicaciones. Probablemente, incluso, las palancas sean uno de los primeros mecanismos ingenieros para multiplicar fuerzas. Es cosa de imaginarse el colocar una gran roca como puerta a una caverna o al revés, sacar grandes rocas para habilitar una caverna.

Con una buena palanca es posible mover los más grandes pesos y también aquellos que por ser tan pequeños también representan dificultad para tratarlos.

¿Qué es una palanca? Básicamente está constituida por una barra rígida, un punto de apoyo (se le puede llamar "fulcro") y dos fuerzas (mínimo) presentes: una fuerza (o resistencia) a la que hay que vencer (normalmente es un peso a sostener o a levantar o a mover en general) y la fuerza (o potencia) que se aplica para realizar la acción que se menciona. La distancia que hay entre el punto de apoyo y el lugar donde está aplicada cada fuerza, en la barra rígida, se denomina brazo. Así, a cada fuerza le corresponde un cierto brazo.

Según de la geometría de que disponga, en una articulación se puede efectuar uno o más de los siguientes movimientos básicos.

Flexion-extension. La flexión describe el movimiento de doblar y la extensión, el de estirar una articulación. Los músculos pueden ser flexores o extensores; algunos músculos poliarticulares desempeñan ambas funciones (Ej: el recto femoral tiene una función flexora de la cadera y extensora de la rodilla).

Aducción-abducción. La abducción es la separación y la aducción el acercamiento. En la zona de las piernas se habla explícitamente de los aductores y de los abductores. En la columna vertebral, a esta forma parecida de movimiento se la denomina flexión lateral

Rotación interna-rotación externa. La rotación interna y la externa se

Como en casi todos los casos de máquinas simples, con la palanca se trata de vencer una resistencia, situada en un extremo de la barra, aplicando una fuerza de valor más pequeño que se denomina potencia, en el otro extremo de la barra.

¿Cuántos tipos de palanca hay? Hay tres tipos de palancas:

Palanca de primer tipo o primera clase o primer grupo o primer género: Se caracteriza por tener el fulcro entre la fuerza a vencer y la fuerza a aplicar. Esta palanca amplifica la fuerza que se aplica; es decir, consigue fuerzas más grandes a partir de otras más pequeñas. Por ello, con este tipo de palancas pueden moverse grandes pesos. Algunos ejemplos de este tipo de palanca son: el alicates, la balanza, la tijera, las tenazas y el balancín.

Algo que desde ya debe destacarse es que al accionar una palanca se producirá un movimiento rotatorio respecto al fulcro, que en ese caso sería el eje de rotación.

Palanca de segundo tipo o segunda clase o segundo

grupo o segundo género: Se caracteriza porque la fuerza a vencer se encuentra entre el fulcro y la fuerza a aplicar. Este tipo de palanca también es bastante común, se tiene en los siguientes casos: carretilla, destapador de botellas, rompenueces. También se observa, como en el caso anterior, que el uso de esta palanca involucra un movimiento rotatorio respecto al fulcro que nuevamente pasa a llamarse eje de rotación.

Palanca de tercer tipo o tercera clase o tercer grupo: Se caracteriza por ejercerse la fuerza "a aplicar" entre el fulcro y la fuerza a vencer. Este tipo de palanca parece difícil de encontrar como ejemplo concreto, sin embargo el brazo humano es un buen ejemplo de este caso, y cualquier articulación es de este tipo, también otro ejemplo lo tenemos al levantar una cuchara con sopa o el tenedor con los tallarines, una engrapadora funciona también aplicando una palanca de este tipo.

Clases de palancas del cuerpo humano.

En el cuerpo humano la Biomecánica está representada por un "sistema de palancas", que consta de los segmentos óseos (como palancas), las articulaciones (como apoyos), los músculos agonistas (como las fuerzas de potencia), y la sobrecarga (como las fuerzas de resistencias). Según la ubicación de estos elementos, se pueden distinguir tres tipos de géneros de palancas:

- Primer Género o Interapoyo, considerada palanca de equilibrio, donde el apoyo se encuentra entre las fuerzas potencia y resistencia. El sistema formado por los músculos de la nuca, que ejercen la fuerza, el peso de la cabeza que tiende a caer hacia delante y el atlas (primer vértebra cervical), que es el punto de apoyo.
- Segundo Género o Interresistencia, como palanca de fuerza, donde la fuerza resistencia se sitúa entre la fuerza potencia y el apoyo. El sistema formado por los gemelos, que ejercen la fuerza, el tarso, donde se aplican la resistencia y la punta de los pies, que es el punto de apoyo.
- Tercer Género o Interpotencia, considerada palanca de velocidad, donde la fuerza potencia se encuentra entre la fuerza resistencia y el apoyo. El sistema formado por el tríceps, que ejerce la fuerza, el objeto que empujamos con la mano que es la resistencia y el codo que actúa como punto de apoyo.



Género	Denominación		Modelos
Primer	InterApoyo	Palanca de equilibrio	Columna cervical (art. occipitoatloidea).
Segundo	InterResistencia	Palanca de fuerza	Tobillo-pie (articulación tibiotarsiana) - Postura digitigrada
Tercer	InterPotencia	Palanca de velocidad	Bíceps braquial

Momentos de fuerza

El momento de la fuerza de los movimientos corporales depende de la suma de todos los momentos que intervienen en un mismo movimiento, tanto los que lo favorecen (el de la contracción muscular o fuerza) como los que se oponen (resistencia).

Se denomina momento de una fuerza respecto de un punto, al producto vectorial del vector posición r de la fuerza por el vector fuerza F .

$$M = r'F$$

Por lo tanto el módulo de M es: $M = F \times r = F \cdot rsen\alpha = F \cdot d$

Siendo d la distancia del origen a la dirección de la fuerza y r el vector de posición de donde se aplica la fuerza.

Normalmente, como es el caso típico de un tornillo o una palanca, la fuerza se aplica en el extremo de la herramienta así que el seno del ángulo entre la dirección de F y la dirección de r es 1 (porque α es cero y $\sin 0=1$) y entonces $r=d$.

Momento de fuerza explicada en el cuerpo humano.

Para provocar el movimiento de algún segmento corporal el músculo agonista debe realizar una tracción ósea a partir de su inserción móvil. Esta inserción se encuentra a una determinada distancia de la articulación eje del movimiento. La línea de acción de un músculo, presenta con el eje mecánico del hueso movilizado un ángulo denominado alfa.

Para determinar el valor de la fuerza que realiza el músculo, en los distintos ángulos de excursión articular, es necesario calcularlo a través del "Momento de Fuerza", que equivale al producto de la Fuerza por el Brazo de Palanca por el seno de alfa: MOMENTO DE FUERZA = fuerza x brazo de palanca x seno de alfa

Cuando la posición articular se corresponde a la longitud media del músculo, donde el seno de alfa es igual a 1, el momento de fuerza muscular es máximo. Antes y después de esa posición, los valores de alfa son menores y la eficacia del momento de fuerza se reduce.

En el cuerpo humano, el momento de fuerza se encuentra en los sistemas óseo-articulares y musculares. Por ejemplo, cuando un segmento del cuerpo se mueve en forma angular desde su articulación por influencia de la contracción muscular, se produce un Momento de fuerza (M). Como sabemos, este eje articular representa el punto de pivot o fulcro, y se puede identificar con la letra "E" (de Eje). La fuerza se rotulará con la letra "F". En el organismo humano, la fuerza resulta de la tensión que producen los músculos esqueléticos durante su acción (contracción) muscular. La fuerza se describe como un vector con una línea de aplicación.

$$M = F \times d \text{ (de Fuerza)}$$

$$M = F \times BF$$

Dónde:

M = momento de fuerza

F = La Fuerza aplicada perpendicular al brazo de fuerza

BF = Brazo de fuerza (o de radio) distancia

Equilibrio.

Se denomina equilibrio al estado en el cual se encuentra un cuerpo cuando las fuerzas que actúan sobre él se compensan y anulan recíprocamente. Cuando un cuerpo está en equilibrio estático, si se lo mantiene así, sin ningún tipo de modificación, no sufrirá aceleración de traslación o rotación, en tanto, si el mismo se desplaza levemente, pueden suceder tres cosas:

- que el objeto regrese a su posición original (equilibrio estable),
- el objeto se aparte aún más de su posición original (equilibrio inestable) o
- que se mantenga en su nueva posición (equilibrio indiferente o neutro).

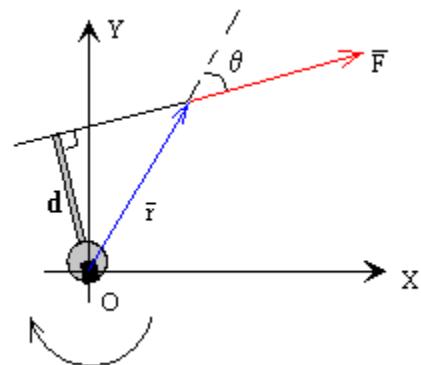
¿Qué es el equilibrio?

Es la capacidad que tiene la persona para mantener una posición, estática o en movimiento, contrarrestando de esta forma las fuerzas que puedan influir en ella.

Así, la gravedad es la fuerza externa más importante que actúa sobre nosotros, y tiende a hacernos perder el control sobre nuestra posición.

El equilibrio puede ser:

- Estático. Se produce cuando no existe desplazamiento apreciable del centro de gravedad (C.G.). Es el caso, por ejemplo, de un jugador de golf.



- Dinámico. Si hay un desplazamiento considerable del C.G. por el espacio. Permite mantener la postura pese a los constantes movimientos del cuerpo. Es el caso de los patinadores, por ejemplo, cuando realizan desplazamientos, saltos y giros sobre sus patines.

Factores que determinan el equilibrio.

- **La amplitud de la base de sustentación de nuestro cuerpo.** El concepto de base de sustentación relaciona a un objeto con la superficie sobre la que está apoyado. En el cuerpo humano en posición erguida, la base de sustentación queda delimitada por los márgenes externos de apoyo de los dos pies. Es decir, a los lados por la cara lateral de cada pie y los dedos, por delante la línea que une los dos dedos más salientes de cada pie, y por detrás la línea que une los talones. La base de sustentación en el cuerpo humano es variable en función de la posición que adopten los pies. Puede aumentar o disminuir su tamaño, bien separando o juntando los pies (hacia los lados o hacia delante y atrás), o bien rotándolos hacia fuera y hacia dentro. En principio, la base de sustentación más eficaz de cara a mantener el equilibrio sería la que mayor superficie presentara.
- **El centro de gravedad.** Es el punto del cuerpo en donde incide la fuerza de la gravedad. El centro de gravedad tiene la peculiaridad de ser determinante en el equilibrio de los cuerpos; es a partir de su proyección vertical como se conoce si un objeto está en equilibrio estable, inestable o desequilibrado, según su relación con la base de sustentación (si está dentro, próxima al borde o fuera de ella respectivamente). La altura a la que se encuentra el centro de gravedad también influye en el equilibrio. En principio, cuanto más bajo se encuentre, mayor estabilidad tendrá el cuerpo. En el caso de un luchador, se consigue mayor estabilidad flexionando las piernas y el tronco para descender el centro de gravedad.

- **La estabilidad.** Podría decirse que la estabilidad es la mayor o menor facilidad que tiene un cuerpo de mantener su estado de equilibrio al actuar sobre él fuerzas externas o perturbadoras. Un cuerpo en reposo mantiene su estado de equilibrio mientras la proyección vertical del centro de gravedad caiga dentro de la base de sustentación. Una persona en posición eructa con los pies quietos que esté siendo empujada, podrá resistir sin caerse mientras la proyección de su centro de gravedad no rebasa la línea que une los puntos de sus pies más alejados en contacto con el suelo. En el momento en que rebasa esa línea, si no quiere caerse tendrá que modificar la posición de sus pies desplazándose hacia la dirección del desequilibrio, de manera que vuelva a meter entre ellos la proyección del centro de gravedad.

De todo lo dicho anteriormente, podemos interpretar la finalidad de algunas de las posiciones básicas que se adoptan en los diferentes deportes. Así tenemos que en baloncesto, por ejemplo, la posición base sería con los pies separados algo más que la anchura de los hombros (con la finalidad de ampliar la base de sustentación); las piernas semiflexionadas (con el fin de descender el centro de gravedad); y el tronco ligeramente inclinado hacia delante (para meter la proyección del centro de gravedad dentro de los límites de la base de sustentación, y lo más al centro posible).

- **La complejidad de la tarea.** Cuanto más complicada es la tarea a realizar, más difícil resulta mantener el equilibrio. Por poner un ejemplo, no es lo mismo aguantar el equilibrio de pie que haciendo el pino, aunque la superficie de la base de sustentación sea prácticamente la misma, y la altura y proyección del centro de gravedad también lo sean.
- **La posición y movimientos de la cabeza.** Esto es así ya que el sentido del equilibrio viene determinado principalmente por un líquido que se encuentra en el oído medio y su posición es fundamental. Por eso, si das varias vueltas seguidas, mueves este líquido y perjudicas el equilibrio. La vista proporciona información sobre la posición del cuerpo y principalmente de la cabeza, y contribuye así al mantenimiento del equilibrio.
- **La cantidad de información que reciba el organismo.** Gracias a la vista, el tacto, el oído, etc. Habrás comprobado muchas veces cómo en la oscuridad (completa), cuando no tienes referencias visuales, te desorientas de tal manera que llega un momento en el que se ve afectado tu equilibrio.
- **La edad.** El equilibrio se relaciona con las experiencias motrices que cada uno va adquiriendo conforme crece. Antes de la pubertad el sistema nervioso alcanza un gran desarrollo y por ello se alcanzan las máximas posibilidades en tareas que requieren equilibrio. En edades avanzadas el deterioro del sistema nervioso y del aparato locomotor – que se acentúa con la inactividad- contribuyen a que disminuya notablemente el equilibrio.

Equilibrio en las distintas áreas.

En física o ingeniería:

Equilibrio termodinámico: situación que se da en un sistema físico (es decir, un sistema al que podemos atribuir una energía interna) cuando todos los factores exteriores y/o procesos internos no producen cambios de presión, temperatura u otras variables macroscópicas.

Equilibrio químico: cuando una reacción química de transformación ocurre al mismo ritmo que la transformación inversa, y por tanto no se producen cambios en la cantidad de cada compuesto.

Equilibrio mecánico: cuando la suma de fuerzas y momentos sobre todos y cada una de las partes del cuerpo se anulan.

En biología:

Equilibrio puntuado: una parte de la teoría de la evolución que afirma que la especificación ocurre rápidamente en ciertos momentos que van seguidos de largos períodos sin cambios apreciables.

En los sistemas biológicos.

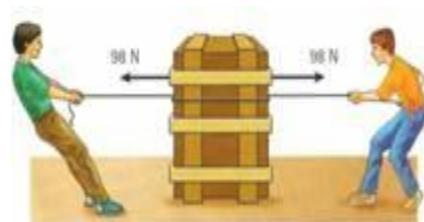
La homeostasis. Se puede definir como el equilibrio necesario para el mantenimiento de la vida. La homeostasis es el mantenimiento de las variables del medio interno (pH, temperatura, concentración de iones, oxígeno, dióxido de carbono, glucosa) estáticas o constantes en condiciones de equilibrio dinámico (constante renovación y homogeneización).

Equilibrio de los Cuerpos.

Todos los objetos que nos rodean en la Tierra experimentan fuerzas. Por ejemplo, independientemente del sitio en que uno se encuentre, actúa una fuerza llamada peso. En ocasiones las fuerzas que actúan sobre un objeto se contrarrestan entre sí y dan la impresión de que no están presentes. Por ejemplo, una persona sobre una superficie horizontal, en el actúan el peso y la fuerza que ejerce el piso. Estas dos fuerzas tienen el mismo valor pero son opuestas entre sí. En este caso se dice que las fuerzas se anulan mutuamente y que el cuerpo se encuentra en equilibrio.

Si sobre un cuerpo actúan dos fuerzas en diferente dirección y una de las dos fuerzas es mayor que la otra, el objeto no se encuentra en equilibrio. En la figura, dos personas tiran de una caja, pero en direcciones contrarias, con fuerzas iguales; en este caso, la caja puede permanecer en reposo pues las fuerzas ejercidas se anulan entre sí.

Si una de las personas ejerce mayor fuerza que la otra, la caja empezará a moverse. La fuerza que resulta de la aplicación de dos o más fuerzas se denomina fuerza neta.



Estabilidad.

Es la cualidad de una situación en la que está siendo mantenida alguna regularidad, independientemente de si sea dinámicamente (como habitualmente sucede en los organismos vivos) o estáticamente (propio de lo inorgánico, como la geología). Es cierto, sin embargo, que hay excepciones en ambos campos: por ejemplo, en hidrología, suele hablarse de equilibrio dinámico en las cuencas de los ríos.

En medicina, se dan algunos conceptos de estabilidad asociada a:

Control postural: Como el control de la posición del cuerpo en el espacio con dos objetivos: la estabilidad postural y la orientación del cuerpo en el espacio.

Estabilidad postural: Capacidad para mantener la posición del centro de gravedad del cuerpo sobre la base de sustentación, es decir, dentro de los límites de la estabilidad corporal. Sinónimo de equilibrio.

Se conoce por ejemplo que ninguna estructura sola en sí misma es responsable de proporcionar la estabilidad en las articulaciones. En cambio, la suma de determinadas estructuras, como la estructura ósea de las facetas articulares, los ligamentos o los músculos, conforma el grupo de componentes clave en el mantenimiento de una articulación estable y a su vez poseedora de una amplia gama de movimiento en varias direcciones.

La estabilidad fisiológica está asociada a la homeostasis. La estabilidad del medio interno celular es fundamental para su correcto funcionamiento. Homeostasis no significa algo fijo e inmóvil, que se mantiene exactamente igual siempre, sino más bien "un estado que puede variar, pero que es relativamente constante". Es el mantenimiento de las condiciones internas relativamente ajustadas a pesar de los cambios que se generan en el exterior.

Elasticidad.

El término 'elasticidad' se utiliza para hacer referencia a aquella capacidad de la física que permite que algunos elementos cambien su forma de acuerdo a si están bajo estrés físico (es decir, estiramiento) o a si están en su posición de reposo.

La elasticidad es una propiedad que se aplica a varios elementos tanto naturales como artificiales.

Un ejemplo es la goma, estando en reposo posee una forma y un tamaño específico, bajo tensión la misma se puede agrandar, torcer, arrugar, etc.

Muchos elementos como el papel, el vidrio (en estado frío), el cartón, la cerámica, etc., no poseen elasticidad alguna y que ante la situación de tensión o de golpe se destruyen, perdiendo su forma original y no pudiendo ser rearmados naturalmente.

La elasticidad también se encuentra en muchos órganos, tejidos y músculos del cuerpo humano, tienen la capacidad de crecer y volverse elásticos de acuerdo a diferentes situaciones.

Un ejemplo claro de órgano elástico es la del estómago, que puede aumentar varias veces su tamaño original para volver a su estado de reposo, luego de haberse realizado el proceso de alimentación.

Normalmente, en el caso de los órganos y músculos, la elasticidad tiene que ver con una correcta hidratación ya que la ausencia de agua (como sucede con la piel) resquebraja y atrofia a los diferentes tejidos.

Fue Robert Hooke (1635-1703), físico-matemático, químico y astrónomo inglés, quien primero demostró el comportamiento sencillo relativo a la elasticidad de un cuerpo.

Hooke estudió los efectos producidos por las fuerzas de tensión, observó que había un aumento de la longitud del cuerpo que era proporcional a la fuerza aplicada. Por lo tanto, se establece una ley física, denominada hoy en día como la Ley de Hooke que dice:

"Cuando se trata de deformar un sólido, este se opone a la deformación, siempre que ésta no sea demasiado grande"

Algunas definiciones importantes con respecto a la elasticidad.

Cuando un objeto se somete a fuerzas externas, sufre cambios de tamaño o de forma, o de ambos. Esos cambios dependen del arreglo de los átomos y su enlace en el material.

Cuerpo elástico es cuando un peso jala y estira a otro y regresa a su tamaño normal, cuando se le quita este peso.

Elasticidad es la propiedad de cambiar de forma cuando actúa una fuerza de deformación sobre un objeto, y el objeto regresa a su forma original cuando cesa la deformación.

Inelásticos se les llama así a los materiales no deformables (arcilla, plastilina y masa de repostería). El plomo también es inelástico, porque se deforma con facilidad de manera permanente.

Límite elástico es cuando al estirar o comprimir más allá de cierta cantidad, ya no regresa a su estado original y permanece deformado.

También se puede decir que es la fuerza más pequeña que produce deformación.

Se denomina deformación elástica aquella que desaparece al retirar la fuerza que la provoca.

*Cuando se tira o se estira de algo se dice que está en tensión (largas y delgadas).

*Cuando se aprieta o se comprime algo se dice que está en compresión (cortas y gruesas).

Hooke estableció la ley fundamental que relaciona la fuerza aplicada y la deformación producida. Para una deformación unidimensional, la Ley de Hooke se puede expresar matemáticamente así:

$$F = -Kx$$

K es la constante de proporcionalidad o de elasticidad.

X es la deformación, esto es, lo que se ha comprimido o estirado a partir del estado que no tiene deformación. Se conoce también como el alargamiento de su posición de equilibrio.

F es la fuerza resistente del sólido.

El signo (-) en la ecuación se debe a la fuerza restauradora que tiene sentido contrario al desplazamiento. La fuerza se opone o se resiste a la deformación. Las unidades son: Newton/metro (N/m).

CAPITULO 4. BIOENERGÉTICA

La 'bioenergética' es la parte de la biología muy relacionada con la física, que se encarga del estudio de los procesos de absorción, transformación y entrega de energía en los sistemas biológicos.

En general, la Bioenergética se relaciona con la Termodinámica, en particular con el tema de la Energía Libre, en especial la Energía Libre de Gibbs. En termodinámica, la energía libre de Gibbs (energía libre o entalpía libre) es un potencial termodinámico, es decir, una función de estado extensiva con unidades de energía, que da la condición de equilibrio y de espontaneidad para una reacción química (a presión y temperatura constantes).

Termodinámica del cuerpo humano.

Conceptos básicos de termodinámica.

La termodinámica es la rama de la física que describe los estados de equilibrio a nivel macroscópico.

Es una importante rama de la física que estudia las relaciones entre el calor y las demás formas de energía. El campo que abarca la termodinámica es muy amplio y su conocimiento es indispensable para comprender muchos procesos que ocurrán en los organismos vivos, tal como la producción de trabajo por el músculo, las fotosíntesis, la concentración de solutos por parte del riñón, etc., todos regidos por relaciones termodinámicas.

La termodinámica trata fundamentalmente de las transformaciones de calor en trabajo mecánico y de las transformaciones opuestas de trabajo mecánico en calor.

Denominamos estado de equilibrio de un sistema cuando las variables macroscópicas presión p, volumen V, y temperatura T, no cambian. El estado de equilibrio es dinámico en el sentido de que los constituyentes del sistema se mueven continuamente.

El estado del sistema se representa por un punto en un diagrama p-V. Podemos llevar al sistema desde un estado inicial a otro final a través de una sucesión de estados de equilibrio.

Se denomina ecuación de estado a la relación que existe entre las variables p, V, y T. La ecuación de estado más sencilla es la de un gas ideal $pV=nRT$, donde n representa el número de moles, y R la constante de los gases $R=0.082 \text{ atm}\cdot\text{l}/(\text{K mol})=8.3143 \text{ J}/(\text{K mol})$.

Se denomina energía interna del sistema a la suma de las energías de todas sus partículas. En un gas ideal las moléculas solamente tienen energía cinética, los choques entre las moléculas se suponen perfectamente elásticos, la energía interna solamente depende de la temperatura.

Para el estudio de la termodinámica, es preciso entender algunos elementos constituyentes, tales como:

Sistema: parte del Universo objeto de estudio.

Alrededores: porción del Universo que no se va a estudiar, pero que puede interaccionar con el sistema.

Pared: separación real o imaginaria entre el sistema y los alrededores.

El tipo de pared determina que interacciones se pueden producir entre el sistema y los alrededores.

Así las paredes pueden ser:

Móvil o rígida, lo que permitirá o no un cambio de volumen del sistema,

Permeable, impermeable o semipermeable, lo que permitirá o no el intercambio de materia entre el sistema y los alrededores.

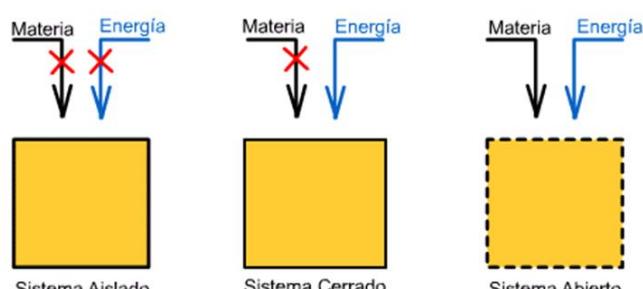
Adiabática o Diátermica, que permite o impide, respectivamente, mantener una diferencia de temperatura entre el sistema y los alrededores.

Así, los sistemas termodinámicos que podemos estudiar, se pueden clasificar en:

Aislados: que no pueden intercambiar ni materia ni energía.

Cerrados: son aquellos que pueden intercambiar energía, aunque no materia, con los alrededores.

Abiertos: aquellos que pueden intercambiar materia y energía.



Las variables termodinámicas pueden clasificarse en:

Extensivas: que dependen de la cantidad de materia, ej. Volumen.

Intensivas: que son independientes de la cantidad de materia, ej. P, T, densidad.

Así surge otra clasificación para un sistema termodinámico, los sistemas pueden ser a su vez:

Homogéneos: las propiedades termodinámicas tienen los mismos valores en todos los puntos del sistema. El sistema está constituido por una sola fase.

Heterogéneos: las propiedades termodinámicas no son las mismas en todos los puntos del sistema. El sistema está constituido por varias fases, separadas entre sí por una "frontera" llamada interfase.

Muy importante es indicar que las variables termodinámicas solo están definidas cuando el sistema está en equilibrio termodinámico.

¿Qué significa equilibrio termodinámico? Significa que se den simultáneamente tres situaciones:

Equilibrio térmico (que la temperatura no cambie).

Equilibrio químico (que su composición no cambie).

Equilibrio mecánico (que no se produzcan movimientos en el sistema).

Es importante conocer que los sistemas físicos que encontramos en la Naturaleza consisten en un agregado de un número muy grande de átomos. La materia está en uno de los tres estados:

Sólido, Líquido o Gaseoso.

En los sólidos, las posiciones relativas (distancia y orientación) de los átomos o moléculas son fijas.

En los líquidos, las distancias entre las moléculas son fijas, pero su orientación relativa cambia continuamente.

En los gases, las distancias entre moléculas, son en general, mucho más grandes que las dimensiones de las mismas. Las fuerzas entre las moléculas son muy débiles y se manifiestan principalmente en el momento en el que chocan. Por esta razón, los gases son más fáciles de describir que los sólidos y que los líquidos.

Por lo tanto, el gas contenido en un recipiente, está formado por un número muy grande de moléculas, 6.02×10^{23} moléculas en un mol de sustancia.

Cuando se intenta describir un sistema con un número tan grande de partículas resulta inútil (e imposible) describir el movimiento individual de cada componente.

Por lo que se miden magnitudes que se refieren al conjunto: volumen ocupado por una masa de gas, presión que ejerce el gas sobre las paredes del recipiente y su temperatura.

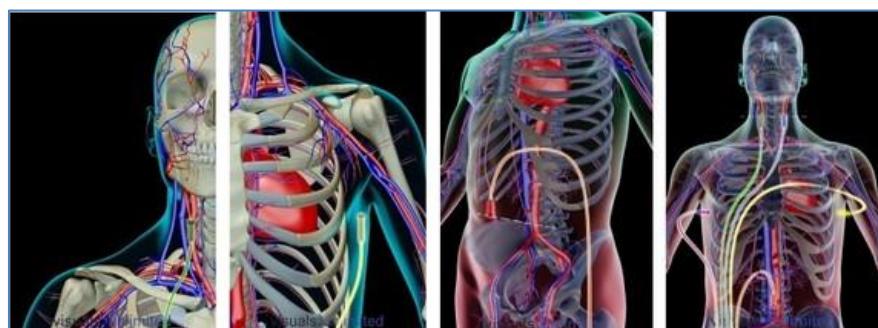
Estas cantidades físicas se denominan macroscópicas, en el sentido de que no se refieren al movimiento individual de cada partícula, sino del sistema en su conjunto.

Leyes o principios de la termodinámica.

La termodinámica estudia los efectos de los cambios de la temperatura, presión y volumen de los sistemas físicos a un nivel macroscópico. Estudia la circulación de la energía y cómo la energía infunde movimiento.

Principios de la termodinámica

- Principio cero de la termodinámica: Permite definir la temperatura como una propiedad. Si dos sistemas están por separado en equilibrio con un tercero, entonces también deben estar en equilibrio entre ellos. Si tres o más sistemas están en contacto térmico y todos juntos en equilibrio, entonces cualquier par está en equilibrio por separado. Esta ley dice que la energía no se crea ni se destruye, sino que se transforma, mudando de una forma en otra. La energía es una, pero tiene diversas formas.
- Primer Principio o ley de la termodinámica: Define el concepto de energía como magnitud conservativa. En todo proceso termodinámico, la energía se conserva.
- Segundo Principio ley de la termodinámica: Define la entropía como magnitud no conservativa, una medida de la dirección de los procesos. Entropía, representa a la fracción de energía en un sistema que no está disponible para poder realizar o llevar a cabo un trabajo específico. También se define como una medida del orden o restricciones para llevar a cabo un trabajo. En general, el segundo principio se ocupa de estudiar la producción de trabajo y el rendimiento de los sistemas. Para obtener trabajo mecánico se necesita la transformación de la energía interna en calor y del calor en trabajo mecánico, es decir, dos etapas sucesivas.



- Tercer principio o ley de la termodinámica. Este principio, estudiado por Nernst, es también llamado "Teorema de Nernst" y se lo puede enunciar de la siguiente forma: en el cero absoluto, la entropía de un sistema puede siempre considerarse igual a cero.

Termodinámica biológica.

Los mecanismos que se encuentran en los seres vivientes son, en general, sumamente complejos y no pueden definirse exclusivamente por los parámetros que hemos visto que caracterizan a un sistema físico termodinámico. Este resulta sumamente sencillo en comparación a los sistemas biológicos.

Los fenómenos que se producen en un organismo vivo, destinados a un fin específico (por ejemplo, oxidación de las grasas), constan de una serie de reacciones que se suceden una tras otras, a una cierta temperatura, y a esta serie de reacciones se denomina cadena. No siempre se conocen bien todos los eslabones de esta cadena y la forma de interacción entre unas y otras, además, la velocidad total queda definida por la constante de velocidad de la reacción más lenta (regla de Blackman – Putter).

El estudio de una cadena compleja de reacciones involucra varias reacciones sencillas, y la reacción más lenta de una reacción sencilla determinará la constante de velocidad de la serie. Luego, la velocidad de una cadena de reacciones será siempre indicada la de un proceso simple que ocurre en el organismo.

Otro detalle que importa conocer es que, en sistemas termodinámicos estudiados anteriormente, los cambios impuestos a un sistema son generalmente reversibles o cíclicos, es decir, puede volverse al estado inicial luego de haber pasado por un estado final (por ejemplo, la compresión de un gas a temperatura constante).

En los organismos vivientes, las reacciones más frecuentes son irreversibles y además no son hechas en condiciones adiabáticas (sin intercambio térmico con el medio que rodea al sistema), de tal modo que la aplicación de las leyes de la termodinámica vistas anteriormente se limita bastante, y su aplicación sobre la base de analogías con sistemas simples no es válida, ya que el número de observaciones a considerar es muy grande y deben tenerse en cuenta todas. En un sistema simple, como un gas puro, debemos considerar P, V, T y definimos termodinámicamente al sistema, pero este no es aplicable estrictamente a un sistema biológico.

De todos modos, si podemos aplicar lo visto al estudio de la reacción entre una o más etapas de una cadena de reacciones, siempre y cuando se conozcan las observaciones, lo que no es posible en todos los casos.

Pero debemos tener presente, que tanto el primero como el segundo principio de la termodinámica se cumplen estrictamente en los seres vivientes.

Todas las transformaciones en los sistemas biológicos tienen lugar a presión y volumen prácticamente constante y, además, dado que la temperatura en los animales de sangre caliente es significativamente constante es prácticamente todos sus puntos, no pueden existir transformaciones de calor en trabajo, o sea, los organismos vivientes no se comportan como máquinas técnicas sino como máquinas químicas.

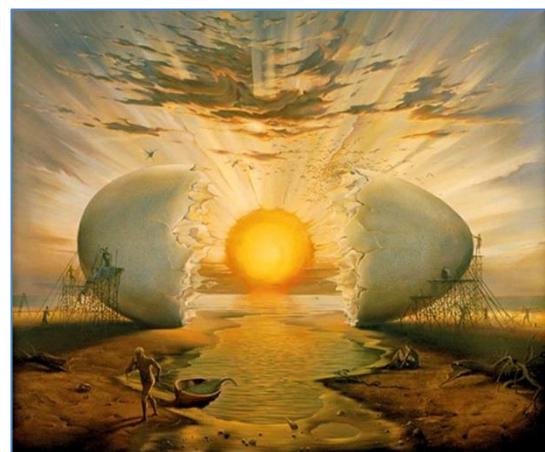
En la naturaleza se están produciendo continuamente reacciones con absorción o liberación de calor (reacciones endergónicas o exergónicas, respectivamente), entonces, interesa fundamentalmente los cambios de la energía libre de los sistemas reaccionantes. Por ejemplo, la descomposición de CO₂ en C y O₂ requiere 94.300 cal, y la síntesis de CO₂ a partir de C y O₂ libera 94.300 cal (reacción exotérmica). Las cantidades absolutas de energía calorífica de cada elemento no interesan tanto (por otra parte se desconocen), pero lo que realmente interesa es la variación de la energía libre, como queda dicho, que tal reacción involucra.

Principio de Margalef.

Uno de los conceptos primarios que permite comprender la termodinámica de los seres vivos, es el llamado principio de Margalef: Los seres vivos son sistemas físicos (equivalencia) complejos, integrados por un sistema disipativo y uno auto organizativo acoplados entre sí (condición).

Como puede apreciarse, se considera a los seres vivos como sistemas físicos (principio de equivalencia), por lo que no extraña de aquí en más, que cumplan con las mismas leyes que operan para todos los sistemas físicos conocidos. Los seres vivos se ajustan a las mismas leyes de la física, que rigen la mecánica de todos los sistemas físicos.

Pero el principio de Margalef apunta también que se trata de sistemas físicos complejos, sistemas integrados a su vez por sistemas menores, una suerte de "sistemas subsumidos en sistemas", como lo destaca Donald Ingber al tratar sobre la geometría biológica.



Incluso Margalef va más allá, pues señala que estos sistemas que conforman el sistema complejo que constituye un ser vivo, se encuentran acoplados. La forma en que estos sistemas se acoplan, pasa a ser una cuestión fundamental, y su comprensión es uno de los pilares de la profunda reformulación de la biología, que se desarrolla en nuestros días. El sistema disipativo, genera (obviamente "transforma") energía; y el sistema auto organizativo, recupera la energía disipada, como información. Esta recuperación de la energía como información, se aprecia en la generación de estructura, o en los cambios irreversibles de la misma, ligando indisolublemente los seres vivos al concepto de "historia" (producir hechos irreversibles).

Es notable que, si bien puede acertarse a comprender intuitivamente lo antedicho, entendemos por sistema físico al conjunto de elementos, que conforman una estructura con por lo menos alguna función común. Y la condición de "complejos" se debe a que las partes que lo constituyen, son diferentes entre sí.

Pero dicho así, hasta una bicicleta se ajusta a la definición, y satisface incluso, el requerimiento de ser un sistema físico complejo. ¿Cómo explicar entonces, que no somos como una bicicleta, o como cualquier otro sistema físico inerte? Sistemas físicos complejos, hay muchos en la naturaleza. Pero ninguno, salvo los seres vivos, es capaz de recuperar la energía que disipa como información. Recuperar la energía disipada como información, es la gran diferencia. Ello nos permite generar estructura, o provocar cambios irreversibles en la misma.

Para ser más precisos, esta capacidad nos permite "auto organizarnos". Y el centro de la cuestión vuelve a desplazarse, ahora hacia la propiedad de "auto organización". No todos los sistemas físicos, complejos o no, son auto organizativos. Sólo unos pocos, cumplen con tal condición. El estudio de modelos de auto organización, describe a los seres vivos como sistemas físicos complejos, que retienen para sí, dos propiedades fundamentales asociadas a la condición de los seres vivos: auto organizativos, y homeostáticos.

A modo de simplificación, la auto organización puede definirse como la capacidad del sistema para generar y/o modificar su propia estructura, a partir de la información que recupera de la propia energía disipada.

Por otra parte, no todos los sistemas auto organizativos son a su vez, homeostáticos. Sólo algunos cumplen con ambas condiciones (auto organización y homeostasis), cumpliendo con el "principio de condición" implicado en el principio de Margalef, principio que define la condición de "vivos", de estos sistemas físicos.

El concepto de homeostasis, en física se define como la "capacidad de un sistema físico para sortear perturbaciones". Tal definición es con mucho, más versátil y global que la clásica definición médica de "mantener la constancia o equilibrio del medio interno", definición que incluso facilita malas interpretaciones: errores como considerar que es una suerte de "equilibrio estático" al que se debe introducir la noción de "bifurcación", para llegar a entender que el restablecimiento del equilibrio va mudando los "niveles". Ese tipo de vicio de interpretación, no ocurre si se parte de la definición física de la misma. Tampoco ocurre si se ahonda en "cómo" y "porqué" ocurre la homeostasis, o lo que es lo mismo decir, si se atiende al "principio de estabilidad, inercia y recurrencia". Los seres vivos somos entonces, sistemas físicos complejos auto organizativos y homeostáticos.

El cuerpo humano puede ser considerado como un sistema termodinámico abierto, que debe mantener su temperatura constante de 37°C, a pesar de encontrarse en un entorno de temperatura generalmente inferior que se puede tomar como una media de 15°C. Por otra parte está continuamente intercambiando materia y energía con sus alrededores (metabolismo), consumiendo energía para desarrollar los trabajos internos y externos, y para fabricar moléculas estables (anabolismo) para lo cual necesita alimentarse, ingiriendo moléculas de gran energía libre (nutrición) que a partir de determinadas reacciones de combustión dan lugar a productos de menor energía (catabolismo).

Tiene la peculiaridad de que su entropía es mínima, por eso es un sistema termodinámico inestable lo que provoca su evolución permanente, o sea la vida misma. Precisamente la muerte implicaría un estado de máxima entropía. Para que el organismo vivo pueda mantenerse en dicho estado es necesario que elimine el exceso de entropía que se produce continuamente inherente a los procesos vitales: circulación de la sangre, respiración etc. Con la alimentación conseguimos introducir en el sistema moléculas más ordenadas, eliminando otras mucho más desordenadas (CO₂ y H₂O).

Por ejemplo al ingerir 180g de glucosa, el hidrato de carbono más conocido, y combinarse con 134,4 litros de oxígeno, se desprenden 2858 kJ, y el contenido energético por unidad de masa sería 15878 kJ/kg. El equivalente calorífico del oxígeno se definiría como la energía liberada entre el oxígeno consumido o sea 2858 kJ/134,4 L=21,25 kJ/L.

Cuando una persona está dormida, consume una determinada energía que se mide por la llamada tasa metabólica basal que corresponde a 1,2W/kg,

¿Qué es metabolismo basal?

El metabolismo basal es el valor mínimo de energía necesaria para que la célula subsista. Esta energía mínima es utilizada por la célula en las reacciones químicas intracelulares necesarias para la realización de funciones metabólicas esenciales, como es el caso de la respiración.

En el organismo, el metabolismo basal depende de varios factores, como sexo, talla, peso, edad, etc. Como claro ejemplo del metabolismo basal está el caso del coma. La persona «en coma», está inactiva, pero tiene un gasto mínimo de calorías, razón por la que hay que seguir alimentando al organismo.

El metabolismo basal es el gasto energético diario, es decir, lo que un cuerpo necesita diariamente para seguir funcionando. A ese cálculo hay que añadir las actividades extras que se pueden hacer cada día. La Tiroxina estimula el metabolismo basal aumentando la concentración de enzimas que intervienen en la respiración aumentando el ritmo respiratorio de las mitocondrias en ausencia de ADP.

La tasa metabólica disminuye con la edad y con la pérdida de masa corporal. El aumento de la masa muscular es lo único que puede incrementar esta tasa. Al gasto general de energía también pueden afectarle las enfermedades, los alimentos y bebidas consumidas, la temperatura del entorno y los niveles de estrés. Para medir el metabolismo basal, la persona debe estar en completo reposo pero despierta. Una medida precisa requiere que el sistema nervioso simpático de la persona no esté estimulado. Una medida menos precisa, y que se realiza en condiciones menos estrictas, es la tasa metabólica en reposo.

El metabolismo basal de una persona se mide después de haber permanecido en reposo total en un lugar con una temperatura agradable (20°C) y de haber estado en ayunas 12 o más horas.

El metabolismo basal se calcula en kilocalorías/día y depende del sexo, la altura y el peso, entre otros factores. La FAO propone este método para edades comprendidas entre 10 y 18 años:

$$\text{Mujeres: } 7,4 \times \text{peso en kilogramos} + 428 \times \text{altura en metros} + 572$$

$$\text{Hombres: } 16,6 \times \text{peso en kilogramos} + 77 \times \text{altura en metros} + 572$$

El metabolismo basal diario se puede calcular de manera muy aproximada de la siguiente forma mediante las ecuaciones de Harris Benedict:

$$\text{Hombre: } 664,73 + ((13,751 \times \text{masa (kg)}) + (5,0033 \times \text{estatura (cm)}) - ((6,55 \times \text{edad (años)}))$$

$$\text{Mujer: } 655,1 + ((9,463 \times \text{masa (kg)}) + (1,8 \times \text{estatura (cm)}) - ((4,6756 \times \text{edad (años)}))$$

Los siguientes factores aumentan el metabolismo basal:

- Mayor masa muscular
- Mayor superficie corporal total
- Género Masculino (Los varones casi siempre tienen mayor masa corporal magra que las mujeres)
- Temperatura corporal, (fiebre o condiciones ambientales frías)
- Hormonas tiroideas (un regulador clave del metabolismo basal las concentraciones altas aumentan la BMR.)
- Aspectos de la actividad del sistema nervioso (liberación de hormonas de estrés)
- Etapas de crecimiento en el ciclo vital.
- Consumo de cafeína o tabaco (no se recomienda el uso de tabaco para controlar el peso corporal ya que aumenta demasiado los riesgos a la salud).

En resumen, el metabolismo basal, es el consumo energético necesario para mantener las funciones vitales y la temperatura corporal del organismo. Su fórmula es simple: 24 Kcal/kg de peso. Este valor se ve afectado por otros factores variables, a saber: La superficie corporal, la masa magra, el sexo, la edad, embarazos (en el caso de las madres), raza, clima, alteraciones hormonales, estados nutricionales actuales, y otros.

También es importante considerar el efecto termogénico de los alimentos, el cual es el consumo energético que aparece como consecuencia de la digestión de los propios alimentos. Así la energía utilizada es de un 30% si se ingieren solo proteínas, de un 6% si se ingieren solo hidratos de carbono y de un 14% si se ingieren solo grasas.

Este efecto aumenta con el valor calórico o si aumenta el fraccionamiento de las comidas.

El trabajo muscular o factor de actividad, es el gasto energético necesario para el desarrollo de las diferentes actividades. En una persona moderadamente activa representa del 15% al 30% de las necesidades totales de la energía.



La Injuria es la energía adicional utilizada por el organismo para tratar enfermedades o problemas. Según la patología que padezca cada individuo, este factor varía según el grado de severidad, extensión o duración del proceso patológico.

Termometría clínica

Todos los seres vivos fabrican calor. El hombre posee una temperatura constante, sobre la cual ejercen escasa influencia las variaciones del medio en que viven. Las combustiones íntimas y los fenómenos múltiples de la nutrición son los que proporcionan el calor necesario a la conservación de esta temperatura individual.

La termorregulación se define como el equilibrio de la temperatura corporal. Controlada por el hipotálamo, el cual funciona como un gran termostato en el cuerpo humano, la temperatura corporal central tiene un valor promedio de 37°C con variaciones no mayores a los $0,6^{\circ}\text{C}$. Cuando por condiciones diversas la temperatura corporal varía el hipotálamo envía órdenes al cuerpo humano para restablecer los valores normales, es decir, si la temperatura corporal se eleva, se produce vasodilatación cutánea y aumento en la sudoración para lograr disipar el calor por medio de la conexión y la evaporación respectivamente. La nivelación de la temperatura también puede suceder mediante actos voluntarios del individuo tales como ingesta de alimentos, vestimenta, refrigeración y calefacción de ambientes, etcétera.



La termometría tiene por objeto el estudio de la temperatura corporal, la cual se altera en el curso de múltiples procesos patológicos. Esta medición es realizada con el famoso termómetro utilizado clínicamente por primera vez desde hace más de un siglo, inventado por Galileo alrededor de 1592 basando su diseño en la observación del fenómeno de dilatación de ciertos materiales. Fue hasta 1612 cuando Santorre Santorio lo implementa en el área médica y en 1714, Farenheit desarrolla el termómetro de mercurio. Si bien, en el área de creación de instrumentos para la medición de temperatura ha habido significativos avances gracias a la ciencia y la tecnología, sigue siendo el de mercurio el termómetro más popular y el de más usos médicos en la actualidad.

El termómetro de mercurio, posee una estructura simple: un tubo de vidrio que contiene mercurio en su interior cuyo volumen cambia de manera uniforme al estar en contacto con variaciones de temperatura, manteniendo su estado líquido aún en temperaturas muy altas o por el contrario muy bajas. En el área clínica hay diferentes regiones para la medición de la temperatura corporal, siendo las que se detallan a continuación:

- a) Cavidad axilar: Resultando inconveniente la excesiva pilosidad de ésta área. No supera los 37°C en adultos sanos.
- b) Boca: Se introduce el bulbo del termómetro debajo de la lengua, manteniendo la boca cerrada. $37,4^{\circ}\text{C}$.
- c) Recto: Se obtienen cifras constantes a pesar de la presencia de escíbalos (materia fecal) que son malos conductores del calor. Sin embargo, se recomienda prudencia ya que en recién nacidos puede provocar ulceraciones y hemorragias, por lo que es factible utilizar el termómetro de bulbo en lugar de los puntiagudos. $37,8^{\circ}\text{C}$.
- d) Vagina: Pese a su evidente comodidad, arroja valores estables.
- e) Conducto auditivo: Ofrece datos térmicos muy exactos y constantes. Se les hace una pequeña adaptación a través de un bulbo distal. Existe riesgo de perforación de tímpano.
- f) Pliegue inguinal: Es aplicable la técnica de la axila.

Es preferible confiar en las temperaturas bucales, rectales y del conducto auditivo externo.

Existen ciertos términos que es común utilizarlos en termometría, estos son:

Hipotermia,
Febrícula,
Hipertermia y
Fiebre.

HIPOTERMIA.- En el estado de hipotermia la temperatura rectal es menor a los 35°C , existen diferentes grados; ligera (entre 28 y 34°C), profunda (entre 17 a 28°C) y muy profunda (temperatura menor a los 17°C). La sintomatología que se presenta en el estado hipotérmico es: rigidez global (inflexibilidad, tiesura generalizada), midriasis bilateral

(dilatación de las pupilas en ambos ojos), cianosis en placas (coloración azulada de mucosas y piel) y bradicardia extrema (lentitud en el ritmo cardiaco).

FEBRÍCULA.- La febrícula es la fiebre moderada entre los 37-38°C y se presenta por lo general como consecuencia de procesos infecciosos de larga duración. Algunos de sus síntomas son palidez, pérdida de peso y pérdida del apetito.

HIPERTERMIA.- Se denomina hipertermia a la elevación de la temperatura corporal en un rango mayor de 37,5°C debido a las siguientes causas:

- Realización de ejercicio intenso por períodos de tiempo prolongados.
- Por temperaturas y humedad elevadas, por ejemplo, golpe de calor.
- Por la pérdida de regulación central (daño en el centro regulador hipotalámico por traumatismo, hemorragia o tumores).

FIEBRE.- La fiebre es una compleja reacción del organismo, elevación de la temperatura corporal (arriba de 37°C) generalmente originada por causas infecciosas. Se acompaña de diversos síntomas en el sistema circulatorio (taquicardia, soplo cardíaco sistólicos, ruidos febris), digestivo (anorexia, sensación de plenitud gástrica, sed excesiva), nervioso (apatía, sueño excesivo, delirios y alucinaciones, dolor de cabeza, abatimiento general). La piel se percibe caliente, húmeda y enrojecida (sobre todo en el área de la cara). La fiebre puede ser: continua, remitente, intermitente, recurrente, ondulante, "de dromedario" o silla de montar, inversa, héctica, periódica o familiar mediterránea, catamenial y de origen indeterminado (FOD). Las FOD es un concepto introducido por Petersdorf y Beeson hacia 1961 y reúne las siguientes características:

- * Duración de por lo menos tres semanas
- * Temperatura mayor o igual a los 38,3°C en por lo menos tres ocasiones
- * Imposibilidad de lograr un diagnóstico después de una semana con el paciente internado y en observación.

Si bien el cuadro clínico de las FOD arroja que pueden ser causadas por más de doscientas enfermedades, etiológicamente se dividen de la siguiente manera:

- Causadas por infecciones en un 30-40%
- Causadas por neoplasias (tumores) en un 20-30%
- Enfermedades del colágeno en un 10-20%
- Otras patologías en un 15-20%

Es importante destacar la utilidad que tiene la toma de temperatura en el diagnóstico clínico, ya que las variaciones térmicas en el individuo, asociadas a otros hallazgos semiológicos constituyen un signo de alarma que sugieren al médico la existencia de otra enfermedad grave subyacente.



Tipos de termómetros.

1. Temperatura táctil.

Es la medición de la temperatura utilizando el tacto tocando a la persona, este método no ofrece ninguna garantía acerca del nivel exacto de la temperatura, simplemente es una forma de saber si tiene fiebre para luego usar un termómetro para la medición.

2. Termómetros de vidrio.

Son los más económicos, pueden medir la temperatura de forma precisa y de fácil medición, pero requieren mayor tiempo para hacer las mediciones (oral y rectal 3 minutos, axilar 8 a 10 minutos). Al ser de vidrio pueden romperse con facilidad, por lo que no son aconsejados debido a que el vidrio roto y su contenido de mercurio (tóxico) son dañinos para la salud, tienen la punta sólida y son de difícil lectura porque se debe buscar el ángulo en el cual se puede visualizar la banda de mercurio.

3. Termómetros digitales.

Sirven para medir la fiebre de forma precisa, rápida, segura y fácil de leer y fácil medición. Precisa porque utilizan sensores de temperatura; rápida porque bastan un minuto para obtener la medida; segura porque cuentan con una punta flexible, donde se ubica el sensor, lo que les da menor probabilidad a romperse y no contienen mercurio; y fáciles de leer porque cuentan con una pantalla digital que muestra la temperatura obtenida de la medición.

4. Termómetros de oído.

Son los más costosos, estos termómetros miden el calor emitido en el tímpano y el tejido circundante en el interior del conducto auditivo por medio de un infrarrojo, se obtiene una medición precisa siempre y cuando se haya colocado correctamente dentro del canal auditivo, de lo contrario, el infrarrojo no podrá medir la temperatura o arrojará un dato erróneo. El tiempo de la medición es el más rápido, y son fáciles de leer al contar con una pantalla digital.



5. Termómetros de tira plástica.

Es un dispositivo que se coloca en la frente de los niños y dan valores de temperatura poco confiables, son de fácil lectura pero al igual que el método de medición de la temperatura táctil, le indican si el niño tiene fiebre, y es un antícpio al uso de otro tipo de termómetro.

6. Termómetros de chupete.

Dispositivo que se coloca en los chupones de los bebés, sus valores también son poco confiables, al igual que la temperatura táctil y los termómetros de tira plástica sólo indican si el niño tiene fiebre.

Lesiones por el calor o el frío

Efectos del calor

Agotamiento por calor.

Se produce cuando se realiza ejercicio intenso a temperatura y humedad elevadas.

Síntomas:

- Sudoración abundante
- Aumento de la temperatura corporal
- Dolor de cabeza
- Escalofríos (piel de gallina)
- Aumento de frecuencia cardiorrespiratoria
- Descenso de la tensión arterial
- Náuseas y vómitos
- Calambres
- Pérdida de conciencia

Hay que poner al accidentado bajo paños húmedos y fríos para disminuir la temperatura corporal.

Para mejorar el flujo sanguíneo, se pueden masajear las extremidades y debemos reponer las pérdidas de agua y sales sólo cuando el individuo se encuentre completamente consciente.

No demoraremos el traslado para su hospitalización en una unidad adecuada.

Para prevenir, tenemos que tener en cuenta las siguientes normas:

- No practicar ejercicios intensos en lugares muy calurosos.
- Buena y frecuente hidratación.
- Evitar el consumo de bebidas alcohólicas.

Golpe de calor

Le favorecen factores como la edad, (ancianos y niños), medicamentos y falta de entretenimiento para ejercicios en ambientes desfavorables.

Síntomas:

- Pérdida de conciencia
- Náuseas
- Mareos
- Confusión mental
- Ausencia de sudoración.

Si encontramos a una persona con piel caliente y seca con aumento de la frecuencia de las respiraciones, pulso y tensión arterial (puede que con fiebre de hasta 40°C), debemos actuar de la siguiente manera:

Colocar al accidentado en un ambiente fresco, con circulación corriente de aire y sin ropa.

Es importante enfriar al sujeto, para lo cual procederemos a cubrirlo con toallas o paños húmedos y frescos y si es posible, disponer de un ventilador, que nos será útil.

Insolación

Un estado inicial de golpe de calor es la insolación, en la que aparecen dolores de cabeza, vértigos y mareos tras una larga exposición al sol en personas poco habituadas. Podemos distinguirla del golpe de calor por la ausencia de fiebre y pérdida de conocimiento. En este caso, el tratamiento consiste en reposar en zona fresca y bien ventilada, aplicar bolsas de hielo en la cabeza y paños húmedos por todo el cuerpo.

Cuando preveamos que vamos a permanecer expuestos al sol durante un prolongado espacio de tiempo, son útiles las siguientes recomendaciones:

- Ropa ligera
- Ir bebiendo sorbos de líquidos que contengan sal y azúcares
- Proteger la cabeza o incluso mojarla
- Dosificar el esfuerzo
- Descansar a intervalos
- Nunca ir solo, especialmente por parajes solitarios



Efectos del frío

La exposición de nuestro organismo a las bajas temperaturas conlleva la producción de lesiones locales (*congelaciones*) y generalizadas (*hipotermia*).

Podemos determinar la gravedad en función de los siguientes factores:

Ambientales:

Temperatura: más gravedad a menos temperatura.

Tiempo de exposición: velocidad de enfrentamiento.

Humedad: facilita la pérdida del calor corporal por radiación.

Viento: aumenta las pérdidas de calor por convección, por ejemplo, un viento de 74 km/h a 4°C equivale a un viento de 3 km/h a -40°C.

Altura: la temperatura disminuye 0,5°C por cada 100 metros de altura.

Características del sujeto:

Edad: más peligro en niños y ancianos por tener peor el sistema de regulación térmica.

Raza.

Biotipo: las personas obesas por lo general se defienden mejor de las bajas temperaturas.

Preparación psíquica.

Enfermedades: la desnutrición, enfermedades de los músculos y de las arterias.

Inmovilización: más frecuentes en heridos, soldados en las trincheras, etc.

Indumentaria adecuada: proteger las zonas distales de nuestro organismo, manos, pies, nariz y orejas.

Ingesta de alcohol y drogas: es falso que el alcohol proteja del frío, ya que lo que provoca es una vasodilatación periférica que conlleva la pérdida de calor.

Congelaciones

Son aquellas lesiones producidas por enfriamiento progresivo que afectan a partes localizadas del organismo (*pies, manos, orejas,...*).

Según el aspecto de la lesión, **se clasifican en**:

Primer grado: cursan con enrojecimiento de la piel con inflamación (*sabañón*). Son lesiones reversibles.

Segundo grado: enrojecimiento de la piel con formación de ampollas. Son lesiones reversibles.

Tercer grado: aspecto de escara negra con tejidos muertos y vesículas alrededor. Estas lesiones pueden ser reversibles.

Cuarto grado: gran destrucción de tejidos que pueden llegar incluso al músculo y hueso. Son lesiones irreversibles.

Tratamiento Básicamente consiste en recalentar las partes afectadas con agua a temperatura templada (37°C), pero no caliente, hasta que la piel recobre su coloración y aparezca sensación de hormigueo. Es muy útil 'remover' el agua en que se introduce la zona afectada.

Hipotermia

Enfriamiento generalizado del cuerpo en el que la temperatura interna desciende por debajo de los 34°C.

Síntomas:

- Temblores
- Enrojecimiento
- Somnolencia y debilidad muscular
- Pérdida de conocimiento y muerte

Tratamiento Debemos trasladar al paciente a una habitación caliente y secarlo si está húmedo. Darle un baño caliente a 37°C y trasladarlo urgentemente a un centro asistencial.

Fluctuaciones fisiológicas y patológicas de la temperatura.

Fisiológicas.

En el organismo humano la temperatura corporal es de $36,6 \pm 0,5^\circ\text{C}$; y para mantenerla se disponen de distintos mecanismos productores de calor, así como otros que consiguen pérdida de calor, para adaptarse a las condiciones ambientales.

Todos los procesos vitales, tienen por objetivo mantener constantes las condiciones del medio interno.

El ajuste continuo de las condiciones internas a las circunstancias externas, les permite a los organismos conservar su integridad e independencia.

La temperatura corporal puede sufrir ligeras fluctuaciones como resultado de variaciones normales diurnas de alrededor de $0,5^\circ\text{C}$; siendo más altas en horas tempranas de la noche y más bajas en horas tempranas de la mañana.

Existe un grado de calor mantenido en el cuerpo por el proceso de equilibrio entre la termogénesis y la termólisis.

Mecanismos de regulación:

A- Mecanismos productores de calor:

1- Metabolismo: El metabolismo basal depende: del aporte energético de la ingesta, de la actividad simpaticomimética y del sistema nervioso simpático, generando en condiciones basales alrededor de 75 cal/hora. Con el ejercicio puede incrementarse hasta diez veces esta producción de calor con la consiguiente elevación de la temperatura corporal.

2- Otros: El organismo genera calor como consecuencia de la radiación solar absorbida, así como del contacto con moléculas de aire caliente y por contacto directo con elementos a altas temperaturas, siendo estos mecanismos menores.

B- Mecanismos para perder calor:

- 1- **Evaporación:** La emisión de sudor es el principal mecanismo destinado a perder calor, su evaporación enfriá la piel y de forma secundaria los tejidos. El mantenimiento de la sudoración como mecanismo compensador requiere el aporte de líquidos e iones, fundamentalmente Cl⁻ y Na⁺; en caso contrario, el incremento provocado de la temperatura corporal, puede producir sintomatología (fatiga por sudor). En este mecanismo, es determinante la humedad ambiental, puesto que, la presencia de ésta elevada, evita la evaporación del sudor y, por tanto, el descenso de temperatura. Existen diferencias entre sexos, habiéndose comprobado que la mujer inicia la sudoración a mayor temperatura corporal que el hombre. En menor grado, existe evaporación por vías respiratorias. Es lo que se denomina la "perspiratio" insensible.
- 2- **Otros:** Los mecanismos de radiación, conducción y convección, manifiestan 3 formas de transferencia de calor, bien a cuerpos sólidos o al aire, con el consiguiente descenso de temperatura.

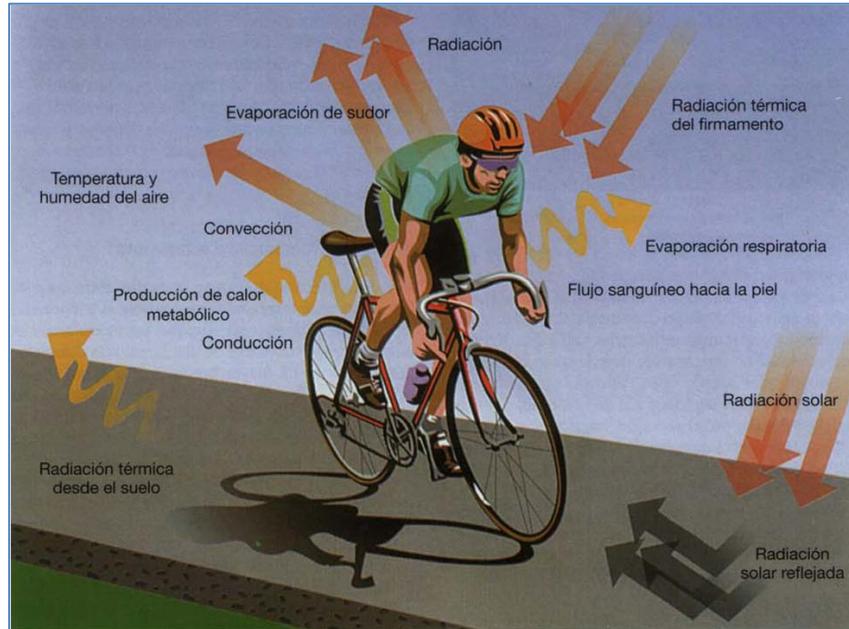
Termorregulación

La termorregulación se compone de una serie de elementos que conectan el sistema nervioso central y periférico. El sistema regulador central se encuentra en el hipotálamo en el que hay dos regiones, posterior y anterior, que asumen las funciones de producción y pérdida de calor, respectivamente. Los cambios de la temperatura provocan la respuesta neuronal de los receptores cutáneos, así como variaciones en la temperatura sanguínea, que sirven de señal al hipotálamo para dar una respuesta adecuada. Desde la piel, vísceras profundas y médula espinal, asciende hacia el hipotálamo anterior el haz espinotalámico lateral. La temperatura sanguínea, de por sí, sirve de estímulo al hipotálamo, que responde con variaciones en el tono autonómico y probablemente en la función endocrina para mantener la temperatura corporal en sus límites normales. Así, un aumento de temperatura percibido por el hipotálamo, provoca una respuesta autonómica que consiste en un aumento de la sudoración (pérdida de calor por evaporación), una vasodilatación cutánea (por pérdida de calor por conducción y convección, por contacto directo con la piel del calor) y un descenso del tono muscular (descenso de la producción de calor). En caso de descenso de temperatura actuaría en sentido contrario.

En la regulación de la temperatura corporal, juega un papel fundamental el propio individuo, puesto que el humano responde a cambios de temperatura con respuestas voluntarias (cambiar el nivel de actividad física, protección, abrigo,...).

Con la edad, la efectividad de la termorregulación disminuye debido al deterioro sensorial en el anciano, al descenso del metabolismo basal, a la pérdida de masa muscular y tono vascular,... lo que lleva a un mayor peligro de hipotermia.

Existe un mecanismo de adaptación a la temperatura, fundamentalmente extrema, que se denomina aclimatación: consiste en una serie de cambios progresivos en los mecanismos reguladores de la temperatura, en función de la exposición a dichas temperaturas y que precisan de 5 a 7 días para su establecimiento.



Patologías

Es el incremento anormal y temporal de la temperatura corporal que relacionamos con estar enfermo y encontrarse mal.

Existen dos situaciones caracterizadas por aumento de temperatura corporal, que conviene diferenciar:

- **Fiebre:** el aumento de temperatura se debe a una regulación transitoria por parte del centro regulador hipotalámico, que funciona adecuadamente. No se considera una reacción negativa ya que forma parte de la respuesta orgánica a la infección.
- **Hipertermia:** el incremento de la temperatura corporal, no encuentra adecuada respuesta en el hipotálamo, o bien, la respuesta de éste es inadecuada a la situación concreta, por lo que se considera patológica en todo caso. Este ascenso de temperatura no regulado puede provocar síndromes denominados menores o leves y cuadros clínicos mayores que pueden comprometer la vida del sujeto.

No olvidemos que la temperatura corporal del ser humano oscila en torno a un valor basal de $36,6 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$, independientemente de las condiciones ambientales que rodean al individuo, y sigue un ritmo de variación diurna que se mantiene en la enfermedad, alcanzando un punto mínimo en la madrugada y un punto máximo en las últimas horas de la tarde. Ello es debido a un exquisito control llevado a cabo en el centro termorregulador del Hipotálamo (estructura anatómica del Sistema Nervioso Central), donde se reciben dos tipos de señales: unas que provienen de receptores de frío y calor de la superficie cutánea y otras aportadas por neuronas termosensibles del Hipotálamo a la temperatura de la sangre que las baña.

Las variaciones "normales" de la temperatura corporal.

- **Interindividuales:** El "rango normal" de temperatura oral oscila de 36°C a $37,8^{\circ}\text{C}$ para un momento dado del día entre los individuos.
- **Intraindividuales:** Las temperaturas rectales son aproximadamente $0,6^{\circ}\text{C}$ más altas que las orales. La temperatura corporal alcanza su punto máximo en las últimas horas de la tarde.

En mujeres menstruantes, la temperatura matutina aumenta en la segunda fase del ciclo. Por último, la temperatura basal depende de factores fisiológicos como el estado postpandrial, el ejercicio físico, la edad...

Los márgenes de temperatura letal. La temperatura letal más baja es de alrededor de 26°C (excluyendo la hipotermia terapéutica). La temperatura letal más alta es de alrededor de 43°C . Las temperaturas superiores a 41°C son infrecuentes. Las infecciones son la causa más habitual de elevación extrema de la temperatura.

Alteraciones patológicas de la temperatura.

Hipotermia:

Descenso de la temperatura por debajo de 36°C . Se suele producir por causas tóxicas, endocrinas o medicamentosas.

Hipertermia, fiebre o pirexia.

Elevación de la temperatura por encima de los valores normales. Se dice que existe Febrícula o décimas de fiebre cuando la temperatura oscila entre 37 a 38°C . Será hipertermia o pirexia cuando la temperatura sea superior a 38°C . En función a la evolución o a la curva que tenga la fiebre habrá que distinguir distintos tipos de fiebre:

- **Fiebre en aguja o intermitente:** la temperatura presenta bruscos ascensos y descensos. Se caracteriza por la elevación de la temperatura por la tarde mientras que por la mañana suele ser normal.
- **Fiebre ondulante o remitente:** la temperatura varía en un grado o dos durante el día, pero no baja a los niveles normales. Producéndose muchas variaciones de temperatura a lo largo del día.
- **Fiebre en meseta o continua:** la temperatura permanece alta y varía muy poco durante el curso del día.

Mecanismos para generar temperatura

Alimentación: el proceso de metabolización de los alimentos produce energía, que en parte se utiliza para el trabajo muscular, aunque el mayor porcentaje se transforma en energía calórica.

Actividad física: el trabajo muscular acelera el metabolismo poniendo en funcionamiento una importante fuente de generación de temperatura. Cuanto más intenso es el esfuerzo, mayor es la cantidad de calor generado.

Intelecto: el hombre también posee la facultad de utilizar el intelecto para protegerse del frío, refugiándose, generando fuentes externas de calor y aislando del medio con la vestimenta.

CAPÍTULO 5. FÍSICA DE LOS GASES

Definiciones.

La palabra gas fue acuñada por el científico Jan Baptista van Helmont en la primera mitad del siglo XVII, a partir del vocablo latino chaos. Se trata de aquella materia que tiene poca densidad y que, por lo tanto, puede extenderse de manera indefinida. El gas es el estado de agregación de una materia que carece de volumen y de forma propia, algo que le permite diferenciarse de un líquido o de un sólido.

Para definir un patrón de gas que sirva para establecer reglas de comportamiento se crea el concepto de gas ideal, este gas ideal cumple las condiciones siguientes:

- Ocupa el volumen del recipiente que lo contiene.
- Está formado por moléculas.
- Estas moléculas se mueven individualmente y al azar en todas direcciones.
- La interacción entre las moléculas se reduce solo a su choque.
- Los choques entre las moléculas son completamente elásticos (no hay pérdidas de energía).
- Los choques son instantáneos (el tiempo durante el choque es cero).

Los gases reales, siempre que no estén sometidos a condiciones extremas de presión y temperatura, cumplirán muy aproximadamente las reglas establecidas para los gases ideales.

Propiedades de los gases.

El estado gaseoso es un estado disperso de la materia, es decir, que las moléculas del gas están separadas unas de otras por distancias mucho mayores del tamaño del diámetro real de las moléculas. Resuelta entonces, que el volumen ocupado por el gas (V) depende de la presión (P), la temperatura (T) y de la cantidad o número de moles (n).

Las propiedades de la materia en estado gaseoso son:

1. Se adaptan a la forma y el volumen del recipiente que los contiene. Un gas, al cambiar de recipiente, se expande o se comprime, de manera que ocupa todo el volumen y toma la forma de su nuevo recipiente.
2. Se dejan comprimir fácilmente. Al existir espacios intermoleculares, las moléculas se pueden acercar unas a otras reduciendo su volumen, cuando aplicamos una presión.
3. Se difunden fácilmente. Al no existir fuerza de atracción intermolecular entre sus partículas, los gases se esparcen en forma espontánea.
4. Se dilatan, la energía cinética promedio de sus moléculas es directamente proporcional a la temperatura aplicada.

VARIABLES QUE AFECTAN EL COMPORTAMIENTO DE LOS GASES

1. PRESIÓN. Es la fuerza ejercida por unidad de área. En los gases esta fuerza actúa en forma uniforme sobre todas las partes del recipiente. La presión atmosférica es la fuerza ejercida por la atmósfera sobre los cuerpos que están en la superficie terrestre. Se origina del peso del aire que la forma. Mientras más alto se halle un cuerpo menos aire hay por encima de él, por consiguiente la presión sobre él será menor.
 2. TEMPERATURA. Es una medida de la intensidad del calor, y el calor a su vez es una forma de energía que podemos medir en unidades de calorías. Cuando un cuerpo caliente se coloca en contacto con uno frío, el calor fluye del cuerpo caliente al cuerpo frío. La temperatura de un gas es proporcional a la energía cinética media de las moléculas del gas. A mayor energía cinética mayor temperatura y viceversa. La temperatura de los gases se expresa en grados kelvin.
 3. CANTIDAD. La cantidad de un gas se puede medir en unidades de masa, usualmente en gramos. De acuerdo con el sistema de unidades SI, la cantidad también se expresa mediante el número de moles de sustancia, esta puede calcularse dividiendo el peso del gas por su peso molecular.
 4. VOLUMEN. Es el espacio ocupado por un cuerpo.
5. DENSIDAD. Es la relación que se establece entre el peso molecular en gramos de un gas y su volumen molar en litros.

Gas Real.

Los gases reales son los que en condiciones ordinarias de temperatura y presión se comportan como gases ideales; pero si la **temperatura** es muy baja o la presión muy alta, las propiedades de los gases reales se desvían en forma considerable de las de gases ideales.

Concepto de Gas Ideal y diferencia entre Gas Ideal y Real.

Los Gases que se ajusten a estas suposiciones se llaman gases ideales y aquellas que no, se les llaman gases reales, o sea, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno y otros.

1. - **Un gas está formado por partículas llamadas moléculas.** Dependiendo del gas, cada molécula está formada por un átomo o un grupo de átomos. Si el gas es un elemento o un compuesto en su estado estable, consideramos que todas sus moléculas son idénticas.
2. - **Las moléculas se encuentran animadas de movimiento aleatorio y obedecen las leyes de Newton del movimiento.** Las moléculas se mueven en todas direcciones y a velocidades diferentes. Al calcular las propiedades del movimiento suponemos que la mecánica newtoniana se puede aplicar en el nivel microscópico. Como para todas nuestras suposiciones, esta mantendrá o desechará, dependiendo de si los hechos experimentales indican o no que nuestras predicciones son correctas.
3. - **El número total de moléculas es grande.** La dirección y la rapidez del movimiento de cualquiera de las moléculas pueden cambiar bruscamente en los choques con las paredes o con otras moléculas. Cualquiera de las moléculas en particular, seguirá una trayectoria de zigzag, debido a dichos choques. Sin embargo, como hay muchas moléculas, suponemos que el gran número de choques resultante mantiene una distribución total de las velocidades moleculares con un movimiento promedio aleatorio.
4. - **El volumen de las moléculas es una fracción despreciablemente pequeña del volumen ocupado por el gas.** Aunque hay muchas moléculas, son extremadamente pequeñas. Sabemos que el volumen ocupado por una gas se puede cambiar en un margen muy amplio, con poca dificultad y que, cuando un gas se condensa, el volumen ocupado por el gas comprimido hasta dejarlo en forma líquida puede ser miles de veces menor. Por ejemplo, un gas natural puede licuarse y reducir en 600 veces su volumen.
5. - **No actúan fuerzas apreciables sobre las moléculas, excepto durante los choques.** En el grado de que esto sea cierto, una molécula se moverá con velocidad uniformemente los choques. Como hemos supuesto que las moléculas sean tan pequeñas, la distancia media entre ellas es grande en comparación con el tamaño de una de las moléculas. De aquí que supongamos que el alcance de las fuerzas moleculares es comparable al tamaño molecular.
6. - **Los choques son elásticos y de duración despreciable.** En los choques entre las moléculas con las paredes del recipiente se conserva el ímpetu y (suponemos)la energía cinética. Debido a que el tiempo de choque es despreciable comparado con el tiempo que transcurre entre el choque de moléculas, la energía cinética que se convierte en energía potencial durante el choque, queda disponible de nuevo como energía cinética, después de un tiempo tan corto, que podemos ignorar este cambio por completo.

Características de Gas Ideal.

Se considera que un gas ideal presenta las siguientes características:

1. El número de moléculas es despreciable comparado con el volumen total de un gas.
2. No hay fuerza de atracción entre las moléculas.
3. Las colisiones son perfectamente elásticas.
4. Evitando las temperaturas extremadamente bajas y las presiones muy elevadas, podemos considerar que los gases reales se comportan como gases ideales

Gas perfecto.

Un gas está constituido por moléculas que se mueven casi libremente en el espacio, pues la separación media entre ellas es grande en relación con su tamaño, y puesto que las fuerzas intermoleculares son de corto alcance, las interacciones son débiles. Si la densidad del gas es suficientemente baja y al mismo tiempo la temperatura no es demasiado pequeña, la energía potencial de interacción entre las moléculas se puede despreciar en comparación con su energía cinética de traslación. En el límite en que, además, se pueden despreciar los efectos cuánticos se tiene lo que se denomina un gas perfecto o ideal clásico. Por lo tanto, se llama gas perfecto al gas ideal con calores específicos constantes, es decir, aquél en el que la diferencia de energía interna –y de entalpía– es proporcional a la diferencia de temperatura entre dos estados.

Se dice que un gas perfecto es caliente si la agitación térmica domina. Los efectos cuánticos en este caso son menoscupables.

Se dice que un gas perfecto es frío cuando los efectos térmicos son menoscupables. Su incompresibilidad proviene del asentamiento de la materia: los grupos electrónicos se repelen debido al carácter cuántico (fermión) de los electrones.

Un gas es perfecto si las interacciones entre partículas se reducen a choques elásticos.

Se dice que un gas perfecto es caliente si la agitación térmica domina. Los efectos cuánticos en este caso son menoscupables.

Se dice que un gas perfecto es frío cuando los efectos térmicos son menoscupables. Su incompresibilidad proviene del asentamiento de la materia: los grupos electrónicos se repelen debido al carácter cuántico (fermión) de los electrones.

Las leyes de los gases ideales.

Se han desarrollado leyes empíricas que relacionan las principales variables de un gas en base a las experiencias de laboratorio realizadas. En los gases ideales, estas variables incluyen la presión (p), el volumen (V) y la temperatura (T).

1.- La ley de Boyle - Mariotte: Esta ley dice que, si se mantiene la temperatura constante, cuando se aumenta la presión de un gas ideal, su volumen disminuye en la misma proporción. Es decir

$$P_1 \cdot V_1 = P_2 \cdot V_2$$

Esta ley la podemos enunciar matemáticamente como: P es inversamente proporcional a V o también P es proporcional a $1/V$ a temperatura constante. De esto se desprende que si reducimos a la mitad el volumen en el que está confinado un gas su presión se duplica. Entonces ¿qué sucede si aumentamos al doble la cantidad de gas que está confinado a un volumen fijo? De acuerdo a la ley de Boyle-Mariotte la presión también se duplica ya que equivale a haber reducido a la mitad el volumen del gas. Llamemos n a la cantidad de gas (que usualmente se expresa en moles) de modo que esta ley también puede enunciarse matemáticamente como:

$$P \text{ es proporcional a } n$$

2.-La ley de Gay-Lussac: Según esta ley, si se mantiene la presión constante, el volumen del gas aumentará en la misma proporción en que aumente su temperatura absoluta:

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

Igual que para la ley anterior se puede enunciar matemáticamente como: V es proporcional a T si no cambia el volumen.

3.- La ley de Charles: Esta ley dice que, si se mantiene el volumen constante, la presión de un gas aumenta en la misma proporción en la que aumenta su temperatura absoluta:

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$$

Lo que dicho en otras palabras significa que P es proporcional a T si el volumen no cambia.

En resumen tenemos:

$$P \text{ es proporcional a } 1/V$$

$$P \text{ es proporcional a } T$$

$$P \text{ es proporcional a } n$$

Si combinamos las tres leyes en una sola expresión tenemos:

(Expresión 1)

$$P \text{ es proporcional } \frac{nT}{V}$$

Para convertir la expresión anterior a una igualdad debemos introducir una constante de modo que:

(Expresión 2)

$$P \text{ es constante } \times \frac{nT}{V}$$

La constante ha sido determinada experimentalmente, se llama **constante del gas ideal** y se representa como R de modo que finalmente tenemos:

(Expresión 3)

$$P = R \times \frac{nT}{V} = \frac{nRT}{V}$$

Donde $R = 0.0821 \text{ L} \cdot \text{atm} / \text{K} \cdot \text{mol}$.

La expresión 3 se denomina **ecuación de gases ideales** e indica matemáticamente la relación entre presión, temperatura, volumen y cantidad de gas para gases ideales. Note que para usar la expresión la temperatura debe estar en °K, el volumen en litros y la cantidad de gas en moles, de esta forma la presión resulta en atmósferas.

Mol.

El Mol (símbolo: mol) es la unidad con que se mide la cantidad de sustancia, una de las siete magnitudes físicas fundamentales del Sistema Internacional de Unidades.

Un mol es la cantidad de materia que contiene $6,02 \times 10^{23}$ partículas elementales (ya sea átomos, moléculas, iones, partículas subatómicas, etcétera). Por eso, cuando un químico utiliza el término mol, debe dejar en claro si es:

- 1 mol de átomos
- 1 mol de moléculas
- 1 mol de iones
- 1 mol de cualquier partícula elemental.

Es un número con nombre propio

Este número tan impresionante:

602.000.000.000.000.000.000

o sea: 602.000 trillones = $6,02 \times 10^{23}$

el nombre propio, es **Número de Avogadro**.

Mezcla de gases.

El estudio de las mezclas gaseosas tiene tanta importancia como el de los gases puros. Por ejemplo, el aire seco es una mezcla de 78,1 % (en volumen) de nitrógeno, N₂; 20,9 % de oxígeno, O₂; y 0,9 % de argón, Ar; el 0,1 % restante es principalmente dióxido de carbono, CO₂. Las mezclas de gases son sumamente importantes en la industria, por ejemplo, aquellas en las que se requiere O₂ o N₂, usan directamente el aire.

Son mezclas homogéneas de distintos gases o vapores. La multitud de sustancias disponibles da lugar a unas posibilidades de combinación prácticamente ilimitadas.

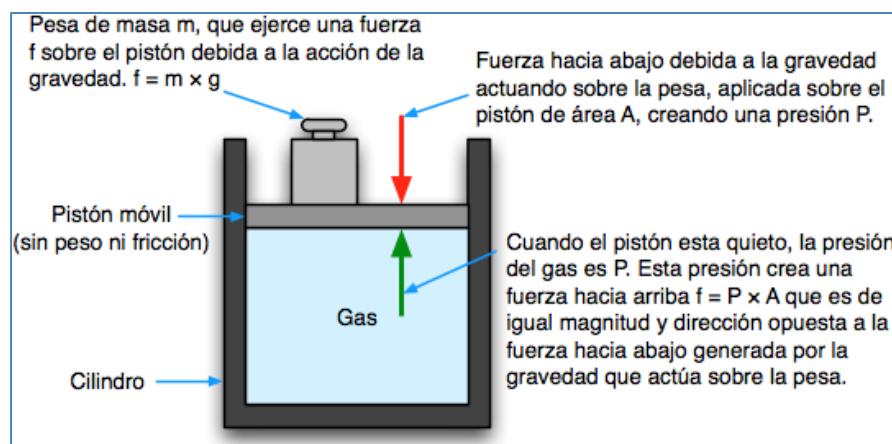
Ley de Dalton de las presiones aditivas: Establece que La presión total ejercida por una mezcla de gases es igual a la suma de las presiones que cada gas ejercería si existiera solo a la temperatura y volumen de la mezcla.

Ley de Amagat de los volúmenes aditivos: Establece que el volumen de una mezcla de gas es igual a la suma de los volúmenes que cada gas ocuparía si existiera solo a la temperatura y presión de la mezcla.

Las leyes de Dalton y Amagat se cumplen con exactitud para las mezclas de gases ideales, aunque solo en forma aproximada para las mezclas de gases reales.

Presión de un gas.

Los gases ejercen presión sobre cualquier superficie con la que entran en contacto, ya que las moléculas gaseosas se hallan en constante movimiento. Al estar en movimiento continuo, las moléculas de un gas golpean frecuentemente las paredes internas del recipiente que los contiene. Al hacerlo, inmediatamente rebotan sin pérdida de energía cinética, pero



el cambio de dirección (aceleración) aplica una fuerza a las paredes del recipiente. Esta fuerza, dividida por la superficie total sobre la que actúa, es la presión del gas.

La presión se define como una fuerza aplicada por unidad de área, es decir, una fuerza dividida por el área sobre la que se distribuye la fuerza.

$$\text{Presión} = \text{Fuerza} / \text{Área}$$

La presión de un gas se observa mediante la medición de la presión externa que debe ser aplicada a fin de mantener un gas sin expansión ni contracción.

Para visualizarlo, imaginen un gas atrapado dentro de un cilindro que tiene un extremo cerrado por en el otro un pistón que se mueve libremente. Con el fin de mantener el gas en el recipiente, se debe colocar una cierta cantidad de peso en el pistón (más precisamente, una fuerza, f) a fin de equilibrar exactamente la fuerza ejercida por el gas en la

parte inferior del pistón, y que tiende a empujarlo hacia arriba. La presión del gas es simplemente el cociente F / A , donde A es el área de sección transversal del pistón.

Unidades de presión.

La presión es una de las propiedades de los gases que se mide con mayor facilidad. En unidades del sistema internacional (SI), la fuerza se expresa en newton (N) y el área en metros cuadrados (m^2). La correspondiente fuerza por unidad de área, la presión, está en unidades de N/m.

La unidad del SI de presión es el pascal (Pa) que se define como una presión de un newton por metro cuadrado. De esta forma, una presión en pascales está dada por:

$$P(Pa) = F(N) / A(m^2)$$

Como el pascal es una unidad de presión muy pequeña, en general las presiones son dadas en kilopascales (kPa).

Para llegar a las unidades de presión, primero se empieza con la velocidad y la aceleración (de las moléculas del gas).

La velocidad es la distancia recorrida en función del tiempo:

$$\text{velocidad (m/s)} = \text{distancia recorrida (m)} / \text{tiempo (s)}$$

Luego tenemos la aceleración que es el cambio de velocidad en función del tiempo:

$$\text{aceleración (m/s}^2\text{)} = \text{Velocidad inicial (m/s)} - \text{Velocidad final (m/s)} / \text{tiempo (t)}$$

Luego tenemos la fuerza, que es el producto de la masa y la aceleración

$$\text{fuerza (N)} = \text{masa (kg)} \times \text{aceleración (m/s}^2\text{)}$$

y finalmente llegamos a la presión

$$\text{Presión (Pa)} = \text{Fuerza (N)} / \text{Área (m}^2\text{)}$$

En química, es muy común encontrar las unidades de presión de los gases expresadas en atmósferas (atm), milímetros de mercurio (mmHg), o torr.

$$101325 \text{ Pa} = 1 \text{ atm} = 760 \text{ mmHg} = 760 \text{ torr}$$

Transiciones de fase.

Se entenderá por fase una porción de materia con propiedades homogénea.

Una transición de fase es la transformación del sistema termodinámico de una fase o estado de la materia a otro.

Una fase de un sistema termodinámico y los estados de la materia tienen propiedades físicas uniformes.

Durante una transición de fase de un determinado medio de ciertas propiedades del cambio de medio, a menudo de manera discontinua, como resultado de alguna condición externa, tales como temperatura, presión, y demás. Por ejemplo, un líquido puede llegar a ser de gas cuando se calienta al punto de ebullición, lo que resulta en un cambio brusco en el volumen. La medición de las condiciones externas en las que se produce la transformación se denomina la transición de fase.

Transiciones de fase son ocurrencias comunes observadas en la naturaleza, y muchas técnicas de ingeniería explotan ciertos tipos de transición de fase.

El término es más comúnmente utilizado para describir las transiciones entre los estados sólido, líquido y gaseoso de la materia, y, en casos raros, plasma.

Tipos de transición de fase

Los ejemplos de transiciones de fase incluyen:

- Las transiciones entre las fases sólidas, líquidas y gaseosas de un solo componente, debido a los efectos de la temperatura y/o presión;
- Una transformación eutéctica, en el que se enfriá y una sola fase de líquido de dos componentes se transforma en dos fases sólidas. El mismo proceso, pero comienzo con un sólido en lugar de un líquido se denomina una transformación eutectoide.
- Una transformación peritéctica, en el que una sola fase sólida de dos componentes se calienta y se transforma en una fase sólida y una fase líquida.
- Una descomposición espinodal, en el que una sola fase se enfriá y se separa en dos composiciones diferentes de esa misma fase.
- Transición a una mesofase entre sólido y líquido, tales como una de las fases "cristal líquido".
- La transición entre las fases ferromagnéticas y paramagnético de materiales magnéticos en el punto de Curie.
- La transición entre diferente, ordenados, estructuras magnéticas commensurables o incommensurables, como en antimonio de cerio.
- La transformación martensítica que se produce como una de las muchas transformaciones de fase en acero al carbono y es un modelo para las transformaciones de fase desplazativas.

- Los cambios en la estructura cristalográfica tal como entre ferrita y austenita de hierro.
- Transiciones de orden-desorden como en Aluminuros de alfa-titanio.
- La aparición de la superconductividad en ciertos metales y cerámicas cuando se enfria por debajo de una temperatura crítica.
- La transición entre las diferentes estructuras moleculares, especialmente de sólidos, tales como entre una estructura amorfa y una estructura de cristal, entre dos estructuras cristalinas diferentes, o entre dos estructuras amorfas.
- Quantum condensación de fluidos bosónicos. La transición superfluido en helio líquido es un ejemplo de esto.
- La ruptura de simetrías en las leyes de la física durante la historia temprana del universo como su temperatura se enfria.

Las transiciones de fase ocurren cuando la energía libre termodinámica de un sistema es no analítica para alguna elección de las variables termodinámicas. Esta condición se deriva generalmente de la interacción de un gran número de partículas en un sistema, y no aparece en los sistemas que son demasiado pequeñas.

En el punto de transición de fase de las dos fases de una sustancia, líquido y vapor, tienen energías libres idénticas y por lo tanto tienen la misma probabilidad de existir. Por debajo del punto de ebullición, el líquido es el estado más estable de los dos, mientras que por encima se prefiere la forma gaseosa.

A veces es posible cambiar el estado de un sistema diabatically de tal manera que pueda ser llevado más allá de un punto de transición de fase, sin someterse a una transición de fase. El estado resultante es metaestable, es decir, menos estable que la fase a la que se habría producido la transición, aunque no sea inestable. Esto ocurre en el sobrecaleamiento, el sobre enfriamiento, y la sobresaturación, por ejemplo.

Puntos críticos

En cualquier sistema que contiene fase líquida y gaseosa, existe una especial combinación de presión y temperatura, conocido como el punto crítico, en el que la transición entre el líquido y el gas se convierte en una transición de segundo orden. Cerca del punto crítico, el fluido está suficientemente caliente y comprimido que la distinción entre las fases líquida y gaseosa es casi inexistente. Esto está asociado con el fenómeno de la opalescencia crítica, un aspecto lechoso del líquido debido a las fluctuaciones de densidad en todas las longitudes de onda posibles.

Medición de la presión.

La presión queda determinada por el cociente entre una fuerza y el área sobre la que actúa esa fuerza. Así, si una fuerza F actúa sobre una superficie A , la presión P queda estrictamente definida por la siguiente expresión:

$$P = F / A$$

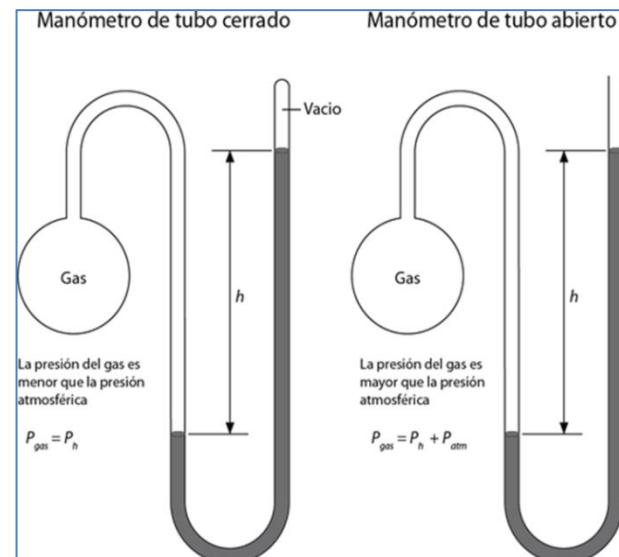
Los sensores de presión pueden agruparse en:

- Basados en principios mecánicos, como deformación por fuerza.
- Basados en principios eléctricos, por conversión de una deformación o fuerza a una propiedad eléctrica.

Manómetro.

La forma más tradicional de medir presión en forma precisa utiliza un tubo de vidrio en forma de "U", donde se deposita una cantidad de líquido de densidad conocida (para presiones altas, se utiliza habitualmente mercurio para que el tubo tenga dimensiones razonables; sin embargo, para presiones bajas el manómetro en U de mercurio sería poco sensible).

El manómetro en forma de "U" conforma un sistema de medición más bien absoluto y no depende, por lo tanto, de calibración. Esta ventaja lo hace un artefacto muy común. Su desventaja principal es la longitud de tubos necesarios para una medición de presiones altas y, desde el punto de vista de la instrumentación de procesos, no es sencillo transformarlo en un sistema de transmisión remota de presión.



Barómetro.

Un barómetro es un instrumento que se utiliza para medir la presión ejercida por la atmósfera.

Un barómetro sencillo consta en un tubo largo de vidrio, cerrado de un extremo y lleno de mercurio. Si el tubo se invierte con cuidado y lo colocamos verticalmente sobre un recipiente que contenga mercurio, de manera que no entre aire en el tubo. El nivel del mercurio en el tubo desciende hasta una altura determinada y se mantiene en ese nivel creando un vacío en el extremo superior.

Esfigmomanómetro.

También llamado tensiómetro, se trata de un instrumento médico que empleado para la medir indirectamente la presión arterial, proporcionando datos en unidades físicas de presión, por regla general en milímetros de mercurio (mmHg o torr). Etimológicamente proviene del griego sphygmos que significa pulso y de la palabra manómetro (que proviene del griego y se compone de μανός, ligero y μέτρον, medida). También es conocido popularmente como tensiómetro o baumanómetro aunque correctamente es manómetro. Se compone de un sistema de brazalete inflable, más un manómetro (medidor de la presión) y un estetoscopio para auscultar de forma clara el intervalo de los sonidos de Korotkoff (sistólico y diastólico).



El esfigmomanómetro proporciona una medida indirecta de la presión arterial. Existen diversos esfigmomanómetros en la actualidad: los tradicionales de columna de mercurio, los aneroides (de aguja empujada por resortes interiores, en lugar de la columna de mercurio) y los esfigmomanómetros digitales. Cada uno de los sistemas posee características propias, siendo los más precisos los de columna de mercurio.

El dispositivo con carácter no invasivo que se conoce en la actualidad fue inventado por Samuel Siegfried Karl Ritter von Basch en el año 1881 el científico Scipione Riva-Rocci introdujo una versión del instrumento más sencilla en 1896. En el año 1901, Harvey Cushing modernizó el dispositivo y lo popularizó dentro de la comunidad médica. El médico ruso Korotkov (o Korotkoff) aportó en 1905 el método auscultatorio a la esfigmomanometría. Es por esta razón por la que este instrumento ha cumplido ya sus cien años de uso.

Medición de la Presión Atmosférica

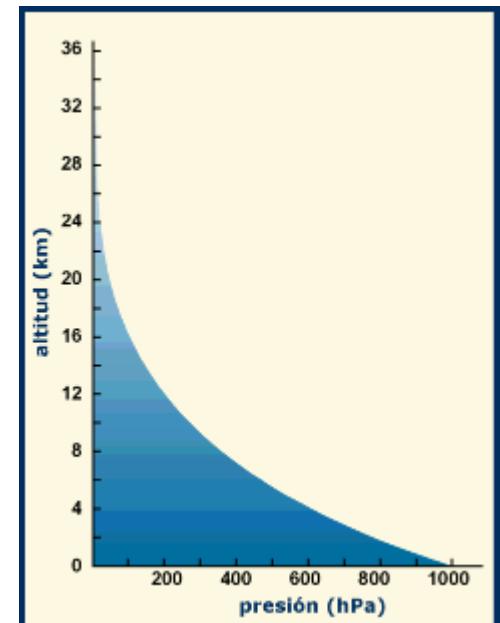
Aunque no podemos ver el aire, es verdadero y tiene presión. La presión de la atmósfera cambia. Es más alta en el nivel del mar, y disminuye a medida que se asciende en la atmósfera. Algunos sistemas de estados del tiempo tienen presión levemente más alta que otras, es posible que hayas oído hablar sistemas de alta presión y baja presión.

La atmósfera tiene presión. La presión de aire en la atmósfera de la tierra es bastante fuerte cuando uno se encuentra cerca del nivel del mar. Cuando uno asciende, bien sea en un aeroplano o hacia la cima de una montaña, hay menos presión. También hay presión debajo de agua. Se puede sentir cómo el agua ejerce presión sobre nosotros cuando nos zambullimos al fondo de una piscina. En las profundidades del océano, la presión es realmente muy fuerte.

La presión de la atmósfera no es igual en todas partes. Cuando uno mira un informe meteorológico en la televisión, es posible que digan que estamos atravesando un sistema de baja presión. O puede ser que digan que hay un sistema de alta presión cerca de nosotros. Generalmente, los vientos soplan desde un lugar de presión alta hacia un lugar de baja presión.

Variación de la presión con la altura.

La presión en un cierto punto corresponde a la fuerza (peso) que la columna atmosférica sobre ese lugar ejerce por unidad de área, debido a la atracción gravitacional de la Tierra. La unidad utilizada para la presión atmosférica se denomina hectopascal (hPa) o milibar (mb) y corresponde a una fuerza de 100 Newton por metro cuadrado.



La presión atmosférica promedio a nivel del mar es ligeramente superior a 1000 hPa, lo que corresponde a una fuerza cercana a 10 toneladas por metro cuadrado (1 Kg por cm²). Como la atmósfera es comprimible, el efecto de la fuerza

gravitacional hace que su densidad (masa por unidad de volumen) disminuya con la altura, lo cual a su vez explica que la disminución de la presión con la altura no sea lineal.

A mayor altura existe menor presión ya que encima hay menos cantidad de aire y está menos comprimido (menos denso). Es decir, en un mismo volumen hay menos moléculas porque están menos comprimidas por el peso de las de arriba.

Todos los puntos situados a la misma altura dentro de una columna de aire soportan la misma presión, siendo esta menor cuanto más arriba ascendamos.

La presión en lo alto de una montaña es siempre menor que en el valle.

Atmosfera.

La palabra atmósfera se deriva de dos voces griegas ATMOS, vapor; y SPAIRE, esfera: "esfera de gases que rodea la Tierra".

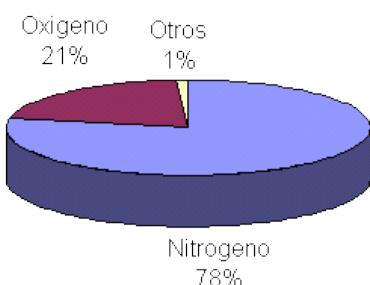
La atmósfera es el lugar donde vivimos, sustento y protección de la Tierra. Es una capa gaseosa, con un espesor de más de 1000 Km, que envuelve a la Tierra y la sigue constantemente en todos sus movimientos.

Esta capa gaseosa es en realidad una mezcla de gases: un 78% de nitrógeno, y un 21% de oxígeno. El resto es argón (0,93%), dióxido de carbono (0,03%) y otros gases como vapor de agua (varía del 0,1% a 5% según el clima) neón, helio, kriptón, xenón e hidrógeno.

Todas las características del mundo y el propio ambiente terrestre, dependen esencialmente del aire.

- En la atmósfera se desarrolla la vida. Si no existiera la atmósfera sería imposible la vida en este planeta ya que los gases del aire son vitales para la vida en la Tierra: los seres humanos y los animales no pueden sobrevivir sin oxígeno (respiración) y las plantas verdes no pueden sobrevivir sin dióxido de carbono (fotosíntesis).
- Regula la temperatura de la Tierra al evitar que los rayos solares lleguen directamente a su superficie e impide que durante la noche se pierda demasiado calor. La temperatura global media de la Tierra es de 15°C pero si no hubiera atmósfera la temperatura media del planeta sería de -18°C.
- Por la noche funciona como si fuera un techo de vidrio conservando el calor del día e impidiendo que se pierda en el espacio.
- Sirve de escudo que protege a la Tierra de la violencia de los rayos solares. Su capa de ozono actúa como un filtro de las radiaciones solares impidiendo que las radiaciones ultravioletas lleguen a la Tierra. Para que se forme ozono se requiere primero oxígeno

La cantidad de humedad y el tipo de iones que existen en el aire condiciona nuestro bienestar.



Respiración.

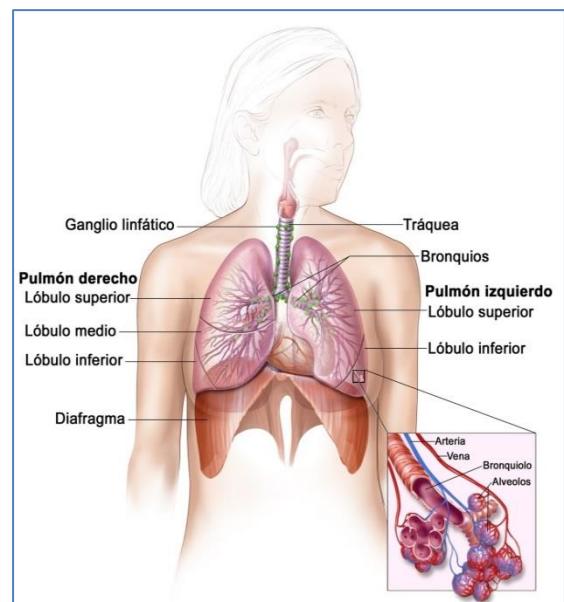
Por respiración se entiende generalmente a la entrada de oxígeno al cuerpo de un ser vivo y la salida de dióxido de carbono. O al proceso metabólico de respiración celular, indispensable para la vida de los organismos aeróbicos. Gracias a la respiración podemos tener energía y logramos llevar a cabo nuestra alimentación y nuestra vida diaria de una manera saludable.

Una persona en reposo ventila alrededor de 15 veces por minutos.

Una persona en reposo inspira alrededor de 0,3 a 0,5 L de aire en cada movimiento ventilatorio, espirando una cantidad igual a esa. Sin embargo, cuando esa persona está trabajando inspira 1 ó 2 L y hasta más.

La cantidad total de aire que se puede espirar después de una inspiración lo más grande posible se denomina capacidad vital. El hombre posee una capacidad vital de 4 a 5 L.

La respiración es el proceso por el cual ingresamos aire (que contiene oxígeno) a nuestro organismo y sacamos de él aire rico



en dióxido de carbono. Un ser vivo puede estar varias horas sin comer, dormir o tomar agua, pero no puede dejar de respirar más de tres minutos. Esto grafica la importancia de la respiración para nuestra vida.

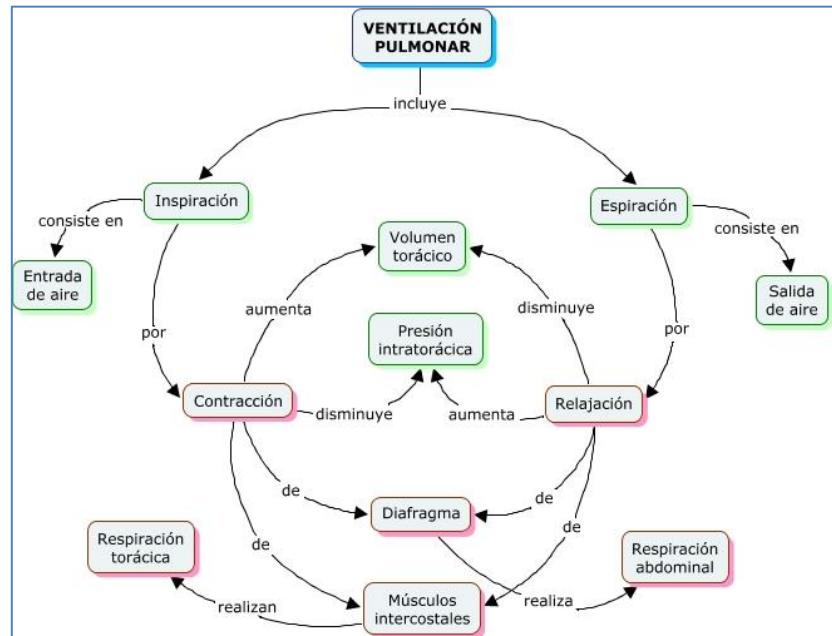
El sistema respiratorio de los seres humanos está formado por:

Las vías respiratorias: son las fosas nasales, la faringe, la laringe, la tráquea, los bronquios y los bronquiolos. La boca también es, un órgano por donde entra y sale el aire durante la respiración.

Las fosas nasales son dos cavidades situadas encima de la boca. Se abren al exterior por los orificios de la nariz (donde reside el sentido del olfato) y se comunican con la faringe por la parte posterior. En el interior de las fosas nasales se encuentra la membrana pituitaria, que calienta y humedece el aire que inspiramos. De este modo, se evita que el aire reseque la garganta, o que llegue muy frío hasta los pulmones, lo que podría producir enfermedades. No confundir esta membrana pituitaria con la glándula pituitaria o hipófisis.

Ventilación pulmonar.

Se define la ventilación pulmonar como el volumen de aire que se mueve entre el interior de los pulmones y el exterior por unidad de tiempo, siendo esta unidad normalmente el minuto. Su determinación se realiza mediante el producto del volumen corriente por la frecuencia respiratoria. Para un individuo adulto, sano, de unos 70 kg de peso con una frecuencia respiratoria entre 12 y 15 ciclos/minuto y un volumen corriente de 500 a 600 ml, la ventilación sería de 6 a 7 litros/minuto. Aunque el volumen corriente podría tomarse tanto en la inspiración como en la espiración, se considera habitualmente el del aire espirado, estrictamente considerado debería ser la media entre el volumen inspirado y el espirado.



De todo el volumen corriente que se inspira aproximadamente 1/3 no llega a la superficie de intercambio, sino que sirve para llenar las vías aéreas o zona de conducción. Este volumen de unos 150 ml aproximadamente, se denomina espacio muerto ya que no puede ser usado para el intercambio gaseoso. En condiciones en que algunos alvéolos reciben aire pero no están suficientemente irrigados, se incluye su volumen en región de no intercambio y se denomina a este volumen espacio muerto fisiológico. En condiciones normales este valor es muy pequeño, unos 5 ml y no se tiene en consideración.

El volumen de aire que llega hasta la región de intercambio o alveolar sería de unos 350 ml en un ciclo basal y multiplicado por la frecuencia como anteriormente, daría lugar a la ventilación alveolar o volumen minuto alveolar que estaría en 4,2 litros por minuto.

Volúmenes y capacidades pulmonares.

La inspiración dura aproximadamente 2 segundos, y la espiración 2 ó 3 segundos. Por lo tanto, el ciclo ventilatorio dura 4 ó 5 segundos.

La Frecuencia respiratoria es el número de ciclos que se repiten en 1 minuto, y es de 12 a 15 (resp./min.). $FR=60/4 \text{ ó } 5 = 12 \text{ ó } 15 \text{ resp/min}$

La cantidad de aire que entra en cada inspiración, que es igual a la misma que se expulsa en cada espiración, es aproximadamente 500 ml (0'5 l.), y se llama Volumen corriente (V.C.). El volumen minuto (V.m) es la cantidad de aire que entra en los pulmones en un minuto.

$$Vm = Vc \times Fr = 500 \times 1215 = 6.0007.500 \text{ ml}$$

El aire extra que podemos introducir en una inspiración forzada recibe el nombre de Volumen inspiratorio de reserva (V.I.R), que oscila sobre los 3.100 ml.

El volumen de aire que podemos expulsar en una espiración forzada después de una inspiración normal se llama Volumen espiratorio de reserva (V.E.R), que se sitúa entorno a los 1.200 ml.

El aire residual que nos queda en los pulmones tras una espiración forzada, se llama Volumen residual (V.R), que está sobre los 1200 ml.

No todo el aire que llega a los pulmones (500 ml), llega a la zona de intercambio, hay una parte que se quede en el espacio muerto anatómico, que son las partes del aparato respiratorio que no tienen alvéolos (tráquea,...), la cantidad esta alrededor de los 150 ml.

Capacidades pulmonares.

Son agrupaciones de los distintos volúmenes:

1. Capacidad inspiratoria: cantidad de aire que puede inspirar una persona distendiendo los pulmones al máximo, será igual a $V..IR + V.C = 3.600$ ml
2. Capacidad residual funcional: es el aire que queda en los pulmones tras una espiración normal. Sería igual a $V.E.R + V.R = 2.400$ ml
3. Capacidad vital: cantidad de aire que una persona puede movilizar en una respiración forzada máxima. Será $V.E.R + V.I.R + V.C = 4.800$ ml
4. Capacidad pulmonar total: cantidad de aire total. Es el volumen máximo teórico que podría alcanzar una persona. Será $V.I.R + V.E.R + V.C + V.R = 6.000$ ml.

Estos volúmenes son medias genéricas para varones de 70 kg. En mujeres los volúmenes son aproximadamente un 25% menos. Y en personas muy altas serán mayores.

Difusión de gases a través de la barrera hematogaseosa.

Estructura del aparato respiratorio.

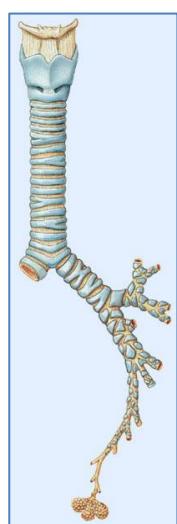
El aparato respiratorio se divide en dos partes desde el punto de vista funcional.

- a) Sistema de conducción o vías aéreas.
- b) Sistema de intercambio o superficie alveolar.

Vías respiratorias o sistema respiratorio conductor

Vías aéreas altas: fosas nasales y faringe.

Vías aéreas bajas: laringe, tráquea y bronquios.



La faringe es un conducto complejo que conecta la cavidad nasal y la cavidad oral con el esófago y con la laringe. Es una zona de paso mixta para el alimento y el aire respirado.

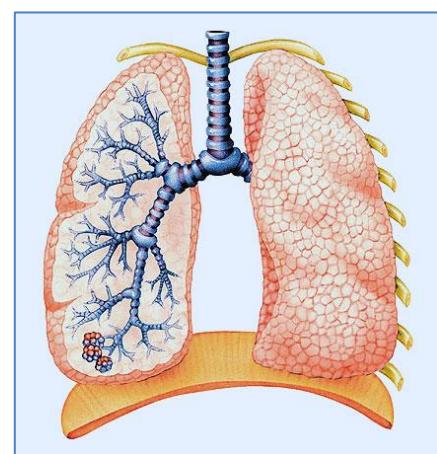
La laringe tiene una región denominada la glotis, formada por dos pares de pliegues o cuerdas vocales, siendo los pliegues superiores las cuerdas vocales falsas y los pliegues inferiores las cuerdas vocales verdadera. Las cuerdas vocales verdaderas son las responsables de la emisión de los sonidos propios del habla al vibrar cuando entre ellas pasa el aire espirado.

La tráquea es un conducto de unos 12 cm de longitud y 2,5-3,5 cm de diámetro, que conecta la laringe con los bronquios. Su mucosa tiene células pseudoestratificadas y ciliadas, que actúan de línea defensiva frente a la entrada de partículas. La porción abierta de los anillos se orienta hacia atrás, donde está el esófago, permitiendo su distensión durante la deglución de los alimentos. La tráquea se divide en dos conductos o bronquios primarios, uno dirigido hacia el pulmón izquierdo y otro dirigido hacia el derecho. Dentro de cada pulmón, los bronquios primarios van subdividiéndose en bronquios secundarios, terciarios y así sucesivamente hasta llegar a las vías aéreas de conducción de menor calibre o bronquiolos terminales.

Pulmones

Los pulmones son dos masas esponjosas situadas en la caja torácica, formados por los bronquios, bronquiolos y alvéolos, además de los vasos sanguíneos para el intercambio. El pulmón derecho es mayor que el izquierdo y presenta tres lóbulos. El izquierdo es más pequeño debido al espacio ocupado por el corazón y sólo tiene dos lóbulos.

El número total de alvéolos en los pulmones oscila entre



300-600 millones; al final de la espiración, su diámetro medio es de unas 100 μ , lo cual hace que la superficie o área total conjunta para el intercambio gaseoso sea de 100 m², área de tamaño suficientemente grande como para garantizar los intercambios con toda eficacia.

Los alvéolos son estructuras en forma esférica, llenas de aire, y de pared muy fina donde se realiza el intercambio de gases.

El epitelio alveolar es muy plano y está rodeado de capilares. Formado por células epiteliales denominadas neumocitos o células alveolares. Por fuera de estas células hay fibroblastos que sintetizan fibras elásticas y conectivas que le proporcionan soporte al alvéolo y son responsables del comportamiento elástico de este órgano.

Pleura

Es una membrana serosa que tapiza los pulmones doblada sobre sí misma. Dispone de dos hojas, la externa o parietal, adherida a la cara interna de la pared costal; y la interna o visceral, que se encuentra adherida firmemente a los pulmones. Entre ellas prácticamente no hay separación, tan sólo un poco de líquido que las mantiene aún más adheridas entre sí.

El espacio pleural (también denominado intra o interpleural) separa ambas pleuras unas 5-10 μ y está lleno de unos 20 ml de líquido pleural, obtenidos por ultrafiltración del plasma, que se están renovando continuamente. Este espacio intrapleural es virtual, pero cuando entre las hojas aparece aire o líquido, se separan y puede apreciarse la existencia individualizada de cada hoja. La pleura tiene dos funciones: a) mantener en contacto el pulmón con la pared torácica, de forma que sus movimientos vayan al unísono, y actuar como lubricante permitiendo que las hojas resbalen entre sí y no haya mucha fricción en un órgano en continuo movimiento. La presencia de esa pequeña cantidad de líquido favorece de forma extraordinaria la adherencia. La presión en la cavidad pleural es negativa, y puede mantenerse gracias a los capilares linfáticos que drenan el líquido y generan con su aspiración una presión negativa. La entrada de aire a la cavidad pleural elimina la presión negativa, provocando el colapso del pulmón y limitando de forma importante la respiración.

Vascularización e inervación de los pulmones

El aporte de sangre a los pulmones es tan importante para la respiración como la entrada de aire al espacio alveolar. La circulación pulmonar dispone de una extensa red de capilares (300 millones) que rodean cada uno de los alvéolos. La superficie total de este lecho capilar es de unos 70 m², lo que permite una estrecha correlación entre las superficies alveolares y endoteliales. De esta forma se garantiza una correcta difusión de los gases respiratorios.

Hasta las vías respiratorias llegan fibras procedentes del sistema nervioso autónomo que inervan las fibras musculares lisas de esta zona.

Funciones del sistema de conducción

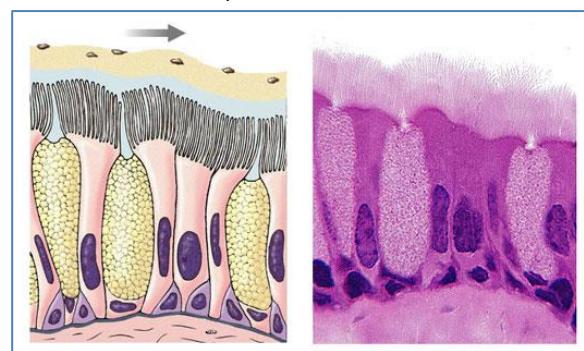
En las cavidades nasales la presencia de los cornetes da lugar a un incremento de superficie recubierta por un epitelio columnar ciliado y con gran cantidad de células mucosas. Además también hay pelos o vibriras y una densa red de capilares a nivel de la submucosa. Estas características estructurales, permite que el aire al penetrar en las fosas nasales, desarrolle, por lo tortuoso de su recorrido, un flujo turbulento que golpea contra las paredes, permitiendo así las funciones siguientes:

Filtrado del aire inspirado, eliminando las partículas en suspensión que tengan un diámetro superior a las 4-6 micras.
Calentamiento del aire, por contacto con el flujo sanguíneo, pudiendo elevarse la temperatura del aire de 2 a 3°C.

Humidificación del aire, el recorrido por las vías aéreas altas produce una saturación de vapor de agua (100%).

Protección, ya que la presencia de terminaciones nerviosas sensoriales del nervio trigémino detectan la presencia de irritantes y produce el reflejo del estornudo.

La faringe es un conducto que conecta la cavidad nasal con la laringe, y también la cavidad oral con el esófago y la cavidad nasal con el oído medio. La faringe es una encrucijada de paso tanto para el aparato respiratorio como para el digestivo, durante la deglución el alimento procedente de la cavidad bucal es desviado de la laringe por una lengüeta cartilaginosa,



la epiglotis. La laringe es una estructura cartilaginosa tapizada también por una mucosa ciliada que ayuda a limpiar, humidificar y calentar el aire. Por su estructura y posición protege de la entrada de sólidos o líquidos al aparato respiratorio y en ella se realiza la fonación o formación de sonidos.

Barrera hemato-gaseosa

La barrera entre el gas situado en el interior del alvéolo y la sangre en la densa red capilar que tapiza los alvéolos, barrera hemato-gaseosa o membrana alvéolo-capilar, es de aproximadamente $0,5 \mu$.

Los elementos que conforman esta barrera de separación son:

La capa de agua que tapiza el alvéolo en su interior.

El epitelio alveolar con su membrana basal.

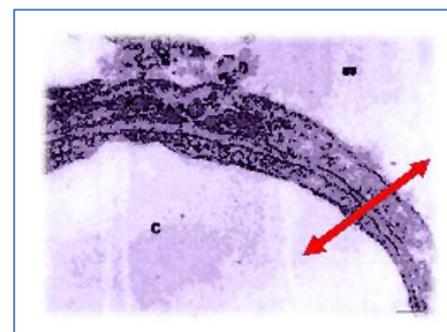
El líquido intersticial.

El endotelio capilar con su membrana basal

El epitelio alveolar está formado por células de dos tipos:

1. Células alveolares o neumocitos Tipo I.

2. Células alveolares o neumocitos Tipo II.



Las células alveolares Tipo I son las más abundantes (95%) y son células epiteliales planas o escamosas; las de Tipo II son células cúbicas más grandes, con microvellosidades en su superficie apical, su metabolismo es mucho más activo, sintetizan surfactante que acumulan en cuerpos lamelares y secretan a la capa líquida que baña los alvéolos. El surfactante es una sustancia tensoactiva, mezcla de fosfolípidos, principalmente dipalmitofosfatidilcolina (lecitina), proteínas e iones, que reduce la tensión superficial entre aire respirado y sangre, disminuye el trabajo respiratorio y proporciona estabilidad a los alvéolos impidiendo su colapso. También se encuentran macrófagos alveolares que recorren la superficie alveolar y fagocitan las partículas extrañas que alcanzan el epitelio alveolar, constituyendo la última barrera defensiva.

Intercambio de gases en el pulmón

La ventilación descrita previamente constituye el sistema mediante el cual se produce la renovación de gases en el alvéolo, lo que permitirá el intercambio gaseoso a través de la barrera hemato-gaseosa o membrana alvéolo-capilar, con los gases de la sangre capilar. El proceso de transferencia se realiza de forma totalmente pasiva mediante el mecanismo de la difusión.

	AIRE INSPIRADO		AIRE ALVEOLAR		AIRE ESPIRADO	
	Σ aire inspirado + volumen residual	S aire alveolar + espacio muerto				
O ₂	20,48%	159	13,15%	100	15,26%	116
CO ₂	0,04%	0,3	5,27%	40	3,42%	26
N ₂	78,62%	597	75,39%	573	75,13%	571
H ₂ O	0,50%	3,7	6,19%	47	6,19%	47

Las diferencias entre el aire inspirado y el aire alveolar se deben a:

- a) En cada ciclo respiratorio basal tan sólo se renueva 1/7 parte del aire contenido en los alvéolos, ya que la capacidad residual funcional es de alrededor de 2.300 ml y el volumen corriente alveolar de 350 ml.
- b) Al incorporar vapor de agua según recorre las vías aéreas, lo que da lugar a una dilución del resto de los gases.
- c) Al mezclarse con el aire de la capacidad residual funcional, los valores resultantes dependerán no sólo de las presiones del aire entrante sino también de las que tenga el aire residual.

Las diferencias entre el aire alveolar y el aire espirado se deben a:

- a) La mezcla entre el aire alveolar después de realizado el proceso de intercambio gaseoso y el aire inspirado que rellena las vías aéreas o espacio muerto.
- b) Las presiones parciales de los gases del espacio muerto y las presiones parciales de los gases del espacio alveolar.

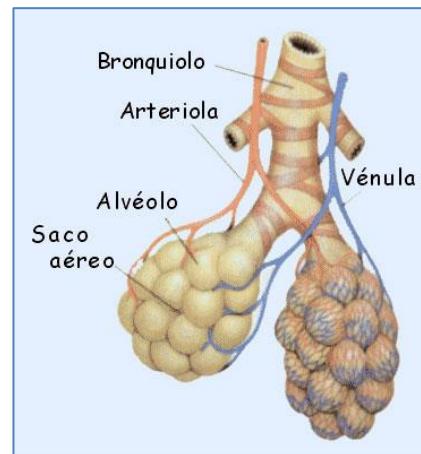
La variación observada en el N₂ se debe a que el volumen de aire inspirado es mayor que el volumen de aire espirado ya que en el intercambio gaseoso no se equilibra exactamente la pérdida de O₂ con la ganancia de CO₂ debido a que en condiciones metabólicas basales hay un mayor consumo de O₂ que producción de CO₂.

Gas alveolar

La composición del gas alveolar depende de los siguientes factores:

- Composición del aire inspirado.
- Ventilación alveolar.
- Metabolismo.

Presiones parciales (mm Hg.)	O ₂	CO ₂	N ₂
Gas alveolar	100	40	573
Sangre venosa	40	46	573
Extremo del capilar pulmonar	100	40	573
Sangre arterial sistémica	95	40	573



Difusión de los gases respiratorios

A una temperatura y presión dada, la cantidad de gas disuelto por unidad de volumen de la disolución, es un valor constante que se conoce con el nombre de *coeficiente de solubilidad*. Depende de la naturaleza del gas y del líquido. Por ejemplo, en condiciones estándar (0°C y 760 mm Hg), 100 ml de agua disolverán 49 ml de O₂ y 171 ml de CO₂, a 40°C los volúmenes se reducirán a 2,3 ml de O₂ y 54 ml de CO₂.

Los coeficientes de solubilidad del oxígeno y del anhídrido carbónico, a 37°C, son 0,024 y 0,57, respectivamente. Si se establecen combinaciones químicas, como por ejemplo la del oxígeno con la hemoglobina, éstas no ejercerán presión parcial.

El intercambio gaseoso es un proceso pasivo a través de la barrera hemato-gaseosa mediante difusión simple por gradiente de presión siguiendo la *Ley de Fick*:

$$\text{Flujo} = \text{Area} \cdot D \text{ gas} \cdot \Delta P / \text{espesor membrana.}$$

El área de difusión es de unos 70 m² el espesor está entre 0,1-0,5 μ. El coeficiente de difusión de un gas en un medio líquido depende de su solubilidad y de su tamaño. Los coeficientes de difusión para los principales gases respiratorios son 1,0 para el O₂, 20,3 para el CO₂ y 0,53 para el N₂ pudiendo observarse que el CO₂ presenta un coeficiente de difusión más de 20 veces superior al del O₂.

Flujo unitario. Se define como el volumen de gas que difunde entre gas alveolar y sangre en la unidad de tiempo y por unidad de presión. Para el O₂ presenta un valor de 20 ml/min/mm Hg. y para el CO₂ de 400 ml/min/mm Hg. Estos valores se modifican con la edad (disminuyendo) y el ejercicio (aumentando).

Difusión del O₂ y del CO₂

En el tiempo que la sangre tiene para recorrer el capilar, aproximadamente 1 segundo, se ha de producir todo el proceso difusivo, en realidad todo el intercambio en condiciones de reposo se realiza durante el primer tercio de trayecto capilar (0,3 seg) considerándose los otros dos tercios restantes como una reserva funcional. Cuando el caudal sanguíneo se incrementa y el tiempo de contacto disminuye normalmente hay reservas suficientes para la difusión.

Los factores que pueden limitar este intercambio, aparte de los gradientes de presión se encontrarían en modificaciones del área y del grosor de la membrana alveolar. El engrosamiento de la pared, por ejemplo en el edema o bien que la pared se haga más impermeable como en la fibrosis; o la disminución de área como en el enfisema o en el embolismo pulmonar dificultan el intercambio gaseoso.

CAPÍTULO 6 SOLUCIONES

Agua

Definición.

El agua es un compuesto químico presente en grandes cantidades en la Tierra, en estado líquido, sólido o gaseoso.

El agua es un compuesto de hidrógeno y oxígeno, cuya fórmula química es H_2O , donde se muestra que cada molécula de agua contiene dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno.

El agua, a pesar de ser un líquido incoloro, inodoro e insípido, es en realidad una sustancia química de reacciones esenciales para la vida.

A la presión atmosférica (760 mm de mercurio), el punto de congelación del agua es de $0^\circ C$ y su punto de ebullición de $100^\circ C$.

El agua es uno de los agentes ionizantes más conocidos, puesto que todas las sustancias son de alguna manera solubles en agua, se la conoce frecuentemente como el disolvente universal.

El agua combina con ciertas sales para formar hidratos, reacciona con los óxidos de los metales formando ácidos y actúa como catalizador en muchas reacciones químicas importantes.



Propiedades bioquímicas

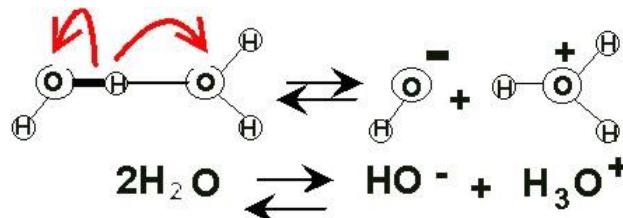
Los seres vivos se han adaptado para utilizar químicamente el agua en dos formas de reacciones:

- En la fotosíntesis en la que las enzimas utilizan el agua como fuente de átomos de hidrógeno.
- En las reacciones de hidrólisis, en que las enzimas hidrolíticas han explotado la capacidad del agua para romper determinados enlaces hasta degradar los compuestos orgánicos en otros más simples, durante los procesos digestivos.

Propiedades físico químicas del agua

• Acción disolvente.

El agua es el líquido que más sustancias disuelve (disolvente universal), esta propiedad se debe a su capacidad para formar puentes de hidrógeno con otras sustancias, ya que estas se disuelven cuando interaccionan con las moléculas polares del agua. La capacidad disolvente es la responsable de dos funciones importantes para los seres vivos: es el medio en que transcurren la mayoría de las reacciones del metabolismo, y el aporte de nutrientes y la eliminación de desechos se realizan a través de sistemas de transporte acuoso.



• Fuerza de cohesión entre sus moléculas.

Los puentes de hidrógeno mantienen a las moléculas fuertemente unidas, formando una estructura compacta que la convierte en un líquido casi incompresible.

• Elevada fuerza de adhesión.

De nuevo los puentes de hidrógeno del agua son los responsables, al establecerse entre estos y otras moléculas polares, y es responsable, junto con la cohesión, de la capilaridad, a la cual se debe, en parte, la ascensión de la savia bruta desde las raíces hasta las hojas.

• Gran calor específico.

El agua absorbe grandes cantidades de calor que utiliza en romper los puentes de hidrógeno. Su temperatura desciende más lentamente que la de otros líquidos a medida que va liberando energía al enfriarse. Esta propiedad permite al citoplasma acuoso servir de protección para las moléculas orgánicas en los cambios bruscos de temperatura.

• Elevado calor de vaporización.

A $20^\circ C$ se precisan 540 calorías para evaporar un gramo de agua, lo que da idea de la energía necesaria para romper los puentes de hidrógeno establecidos entre las moléculas del agua líquida y, posteriormente, para dotar a estas moléculas de la energía cinética suficiente para abandonar la fase líquida y pasar al estado de vapor.

- **Elevada constante dieléctrica.**

Por tener moléculas bipolares, el agua es un gran medio disolvente de compuestos iónicos, como las sales minerales, y de compuestos covalentes polares como los glúcidos. Las moléculas de agua, al ser polares, se disponen alrededor de los grupos polares del soluto, llegando a desdoblarse los compuestos iónicos en aniones y cationes, que quedan así rodeados por moléculas de agua. Este fenómeno se llama solvatación iónica.

- **Bajo grado de ionización.**

El agua pura tiene la capacidad de disociarse en iones, por lo que en realidad se puede considerar una mezcla de:

Aqua molecular (H_2O)

Protones hidratados (H_3O^+), llamados también iones hidronio o iones hidrógeno, o simplemente H^* , e iones hidroxilo (OH^-)

De cada 107 moléculas de agua, sólo una se encuentra ionizada. Esto explica que la concentración de iones hidronio (H^+) y de los iones hidroxilo (OH^-) sea muy baja. Dados los bajos niveles de H^+ y de OH^- , si al agua se le añade un ácido o una base, aunque sea en poca cantidad, estos niveles varían bruscamente.

Propiedades Físicas Del Agua

Estado físico: sólida, líquida y gaseosa

Color: incolora

Sabor: insípida

Olor: inodoro

Densidad: 1 g./c.c. a 4°C

Punto de congelación: 0°C

Punto de ebullición: 100°C

Presión crítica: 217,5 atm.

Temperatura crítica: 374°C

Propiedades Químicas del Agua

Reacciona con los óxidos ácidos

Reacciona con los óxidos básicos

Reacciona con los metales

Reacciona con los no metales

Se une en las sales formando hidratos

Forman ácidos oxácidos.

Forman hidróxidos.

Algunos metales descomponen el agua en frío y otros lo hacen a temperatura elevada.

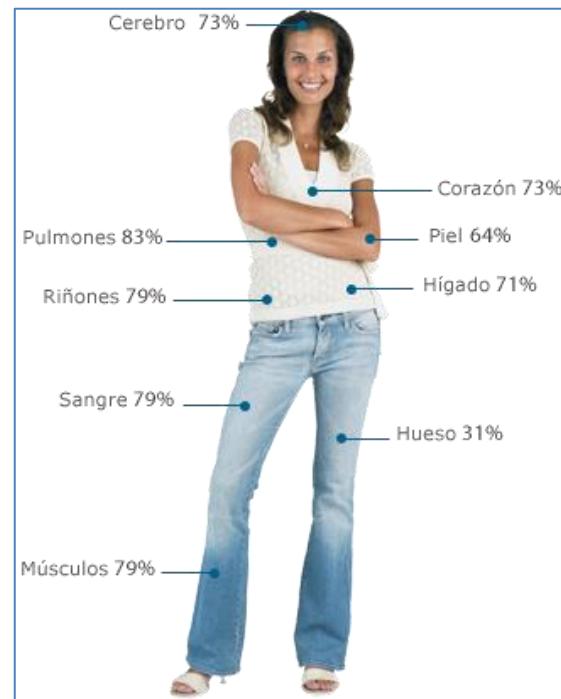
El agua reacciona con los no metales.

El agua forma combinaciones complejas con algunas sales, denominándose hidratos.

Funciones del agua

Las funciones del agua están íntimamente relacionadas con las propiedades anteriormente descritas, se podrían resumir en los siguientes puntos:

- En el agua de nuestro cuerpo tienen lugar las reacciones que nos permiten estar vivos. Forma el medio acuoso donde se desarrollan todos los procesos metabólicos que tienen lugar en nuestro organismo. Esto se debe a que las enzimas (agentes proteicos que intervienen en la transformación de las sustancias que se utilizan para la obtención de energía y síntesis de materia propia) necesitan de un medio acuoso para que su estructura tridimensional adopte una forma activa.
- Gracias a la elevada capacidad de evaporación del agua, podemos regular nuestra temperatura, sudando o perdiéndola por las mucosas, cuando la temperatura exterior es muy elevada es decir, contribuye a regular la temperatura corporal mediante la evaporación de agua a través de la piel.
- Posibilita el transporte de nutrientes a las células y de las sustancias de desecho desde las células. El agua es el medio por el que se comunican las células de nuestros órganos y por el que se transporta el oxígeno y los nutrientes a nuestros tejidos. Y el agua es también la encargada de retirar de nuestro cuerpo los residuos y productos de desecho del metabolismo celular.
- Puede intervenir como reactivo en reacciones del metabolismo, aportando hidrogeniones (H_3O^+) o hidroxilos (OH^-) al medio.



El agua es el principal e imprescindible componente del cuerpo humano. El ser humano no puede estar sin beberla más de cinco o seis días sin poner en peligro su vida. El cuerpo humano tiene un 75 % de agua al nacer y cerca del 60 % en la edad adulta. Aproximadamente el 60 % de este agua se encuentra en el interior de las células (agua intracelular). El resto (agua extracelular) es la que circula en la sangre y baña los tejidos.

En las reacciones de combustión de los nutrientes que tiene lugar en el interior de las células para obtener energía se producen pequeñas cantidades de agua. Esta formación de agua es mayor al oxidar las grasas - 1 gr. de agua por cada gr. de grasa -, que los almidones -0,6 gr. por gr., de almidón-. El agua producida en la respiración celular se llama agua metabólica, y es fundamental para los animales adaptados a condiciones desérticas. Si los camellos pueden aguantar meses sin beber es porque utilizan el agua producida al quemar la grasa acumulada en sus jorobas. En los seres humanos, la producción de agua metabólica con una dieta normal no pasa de los 0,3 litros al día.

Función bioquímica:

El agua es el medio en el que transcurren las reacciones metabólicas. Pero además participa activamente en muchas reacciones, siendo reactivo o producto de las mismas.

Por ejemplo, en las reacciones de hidrólisis enzimas llamadas hidrolasas, rompen enlaces en presencia de agua e incorporando a ambos lados del enlace roto los iones hidrógeno e hidroxilo procedentes del agua.

El agua se forma como producto en muchas reacciones del metabolismo como la respiración.

Función de transporte:

El papel del agua como vehículo de transporte es una consecuencia directa de su capacidad disolvente.

Por esta función se incorporan los nutrientes y se eliminan los productos de desecho a través de las membranas celulares o se distribuyen en el organismo por medio de la sangre y la linfa.

Función termorreguladora:

Los líquidos internos como la sangre tienden a mantener constante el equilibrio de temperaturas en el interior del cuerpo, calentando las partes más frías (piel) y enfriando aquellas más calientes (hígado, músculos).

También el sudor nos ayuda a refrigerarnos en verano o cuando hacemos ejercicio, al evaporarse refrigerando la superficie corporal.

Soluciones (o disoluciones) químicas.

Una solución es una mezcla de dos o más componentes, perfectamente homogénea ya que cada componente se mezcla íntimamente con el otro, de modo tal que pierden sus características individuales. Esto último significa que los constituyentes son indistinguibles y el conjunto se presenta en una sola fase (sólida, líquida o gas) bien definida.

Una solución que contiene agua como solvente se llama **solución acuosa**.

Si se analiza una muestra de alguna solución puede apreciarse que en cualquier parte de ella su composición es constante.

Las mezclas homogéneas que se presentan en fase sólida, como las aleaciones (acero, bronce, latón) o las que se hallan en fase gaseosa (aire, humo, etc.) no se les conoce como disoluciones.

Las mezclas de gases, tales como la atmósfera, a veces también se consideran como soluciones.

Las soluciones son distintas de los **coloides** y de las **suspensiones** en que las partículas del soluto son de tamaño molecular y están dispersas uniformemente entre las moléculas del solvente.

Las sales, los ácidos, y las bases se ionizan cuando se disuelven en el agua.

Características de las soluciones (o disoluciones):

- I) Sus componentes no pueden separarse por métodos físicos simples como decantación, filtración, centrifugación, etc.
- II) Sus componentes sólo pueden separarse por destilación, cristalización, cromatografía.
- III) Los componentes de una solución son **soluto** y **solvente**.

Soluto es aquel componente que se encuentra en menor cantidad y es el que se disuelve. El soluto puede ser sólido, líquido o gas, como ocurre en las bebidas gaseosas, donde el dióxido de carbono se utiliza como gasificante de las bebidas. El azúcar se puede utilizar como un soluto disuelto en líquidos (agua).

Solvente es aquel componente que se encuentra en mayor cantidad y es el medio que disuelve al soluto. El solvente es aquella fase en que se encuentra la solución. Aunque un solvente puede ser un gas, líquido o sólido, el solvente más común es el agua.
- IV) En una disolución, tanto el soluto como el solvente interactúan a nivel de sus componentes más pequeños (moléculas, iones). Esto explica el carácter homogéneo de las soluciones y la imposibilidad de separar sus componentes por métodos mecánicos.



Mayor o menor concentración

Ya dijimos que las disoluciones son mezclas de dos o más sustancias, por lo tanto se pueden mezclar agregando distintas cantidades: Para saber exactamente la cantidad de soluto y de solvente de una disolución se utiliza una magnitud denominada **concentración**.

Dependiendo de su **concentración**, las disoluciones se clasifican en **diluidas, concentradas, saturadas, sobresaturadas**.

Diluidas: si la cantidad de soluto respecto del solvente es pequeña. Ejemplo: una solución de 1 gramo de sal de mesa en 100 gramos de agua.

Concentradas: si la proporción de soluto con respecto del solvente es grande. Ejemplo: una disolución de 25 gramos de sal de mesa en 100 gramos de agua.

Saturadas: se dice que una disolución está saturada a una determinada temperatura cuando no admite más cantidad de soluto disuelto. Ejemplo: 36 gramos de sal de mesa en 100 gramos de agua a 20º C.

Si intentamos disolver 38 gramos de sal en 100 gramos de agua, sólo se disolvería 36 gramos y los 2 gramos restantes permanecerán en el fondo del vaso sin disolverse.

Sobresaturadas: disolución que contiene mayor cantidad de soluto que la permitida a una temperatura determinada. La sobresaturación se produce por enfriamientos rápidos o por descompresiones bruscas.

Ejemplo: al sacar el corcho a una botella de refresco gaseoso.

Modo de expresar las concentraciones. Ya sabemos que la concentración de las soluciones es la cantidad de soluto contenido en una cantidad determinada de solvente o solución. También debemos aclarar que los términos diluidos o concentrados expresan concentraciones relativas.

Las **unidades de concentración** en que se expresa una solución o disolución pueden clasificarse en **unidades físicas** y en **unidades químicas**.

Unidades físicas de concentración.

Las unidades físicas de concentración están expresadas en función del **peso** y del **volumen**, en forma porcentual, y son las siguientes:

- Tanto por ciento peso/peso $\%P/P = (\text{cantidad de gramos de soluto}) / (100 \text{ gramos de solución})$
- Tanto por ciento volumen/volumen $\%V/V = (\text{cantidad de cc de soluto}) / (100 \text{ cc de solución})$
- Tanto por ciento peso/volumen $\% P/V = (\text{cantidad de gr de soluto}) / (100 \text{ cc de solución})$

a) **Porcentaje peso a peso (% P/P)**: indica el peso de soluto por cada 100 unidades de peso de la solución.

$$\% \frac{P}{P} = \frac{\text{peso del soluto}}{\text{peso de la solución}} \cdot 100$$

b) **Porcentaje volumen a volumen (% V/V)**: se refiere al volumen de soluto por cada 100 unidades de volumen de la solución.

$$\% \frac{V}{V} = \frac{\text{volumen de soluto}}{\text{volumen de la solución}} \cdot 100$$

c) **Porcentaje peso a volumen (% P/V)**: indica el número de gramos de soluto que hay en cada 100 ml de solución.

$$\% \frac{P}{V} = \frac{\text{gramos de soluto}}{\text{ml de la solución}} \cdot 100$$

Solubilidad

La solubilidad mide la capacidad de una determinada sustancia para disolverse en un líquido.

Algunos líquidos, tales como agua y alcohol, pueden ser disueltos en cualquier proporción en otro solvente. Sin embargo, el azúcar tiene un límite de solubilidad ya que al agregar cierta cantidad adicional en una solución está dejará de solubilizarse, llamándose a esta solución saturada.

Es la proporción en que una cantidad determinada de una sustancia se disolverá en una cantidad determinada de un líquido, a una temperatura dada. En términos generales, es la facilidad con que un sólido puede mezclarse homogéneamente con el agua para proporcionar una solución química.

La **solubilidad** es la mayor cantidad de soluto (gramos de sustancia) que se puede disolver en 100 gramos (g). de disolvente a una temperatura fija, para formar una disolución saturada en cierta cantidad de disolvente.

Las sustancias no se disuelven en igual medida en un mismo disolvente. Con el fin de poder comparar la capacidad que tiene un disolvente para disolver un producto dado, se utiliza una magnitud que recibe el nombre de **solubilidad**.

La capacidad de una determinada cantidad de líquido para disolver una sustancia sólida no es ilimitada. Añadiendo soluto a un volumen dado de disolvente se llega a un punto a partir del cual la disolución no admite más soluto (un exceso de soluto se depositaría en el fondo del recipiente). Se dice entonces que está saturada.

Pues bien, la solubilidad de una sustancia respecto de un disolvente determinado es la concentración que corresponde al estado de saturación a una temperatura dada.

Las solubilidades de sólidos en líquidos varían mucho de unos sistemas a otros. Así a 20º C la solubilidad del cloruro de sodio (NaCl) en agua es 6 M (molar) y en alcohol etílico (C₂H₆O), a esa misma temperatura, es 0,009 M (molar). Cuando la solubilidad es superior a 0,1 M (molar) se suele considerar la sustancia como soluble en el disolvente considerado; por debajo de 0,1 M (molar) se considera como poco soluble o incluso como insoluble si se aleja bastante de este valor de referencia.

La solubilidad depende de la temperatura; de ahí que su valor vaya siempre acompañado del de la temperatura de trabajo. En la mayor parte de los casos, la solubilidad aumenta al aumentar la temperatura.

Factores que determinan la solubilidad

Solubilidad en líquidos: al elevar la temperatura aumenta la solubilidad del soluto gas en el líquido debido al aumento de choques entre moléculas contra la superficie del líquido. También ocurre lo mismo con la presión.

Solubilidad de líquidos en líquidos: Al aumentar la temperatura aumenta la solubilidad de líquidos en líquidos. En este caso la solubilidad no se ve afectada por la presión.

Solubilidad de sólidos en líquidos: la variación de solubilidad está relacionada con el calor absorbido o desprendido durante el proceso de disolución. Si durante el proceso de disolución se absorbe calor la solubilidad crece con el aumento de la temperatura, y por el contrario, si se desprende calor durante el proceso de disolución, la solubilidad disminuye con la elevación de temperatura. La presión no afecta a la solubilidad en este caso.

Unidades de medida

Puesto que la solubilidad es la máxima concentración que puede alcanzar un soluto, se medirá en las mismas unidades que la concentración. Es habitual medirla en gramos de soluto por litro de disolución (g/l) o en gramos de soluto por cada 100 cc de disolución (%).

Aunque la unidad de medida se parezca a la de la densidad, no es una medida de densidad. En la densidad, masa y volumen se refieren al mismo cuerpo. En la solubilidad, la masa es de soluto y el volumen es de la disolución, de la mezcla de soluto y disolvente.

Composición de los Líquidos Corporales.

El agua corporal proviene de:

- Ingestión (2100 ml)
- Metabolismo (200 ml)

Para un total de 2300 ml/día aproximadamente en el adulto, este valor se ve aumentado y disminuido dependiendo de la ingestión de agua la cual varía de acuerdo al clima, los hábitos o incluso el grado de actividad física.

Para mantener un equilibrio orgánico el agua está entrando pero a la vez saliendo del cuerpo, este último por medio de:

- Transpiración (350 ml/día)
- Respiración (350ml/día)
- Sudor (100 ml/día)
- Heces (100 ml/día)
- Orina (1400 ml/día)

Todos los anteriores valores pueden variar de acuerdo a procesos fisiológicos o patológicos. Si hacemos la sumatoria de ellos nos daremos cuenta que el total de salidas es igual al total de las entradas, siempre y cuando no haya ninguna alteración orgánica que lleve a retener o a eliminar más líquidos de lo normal por ejemplo en la ICC (insuficiencia cardíaca congestiva) se retienen líquidos produciendo edema, o por el contrario en las grandes quemaduras se pierden abundantes líquidos por la traspiración exagerada que se lleva a cabo por el daño del estrato corneo de la piel.

Distribución del agua corporal

La cantidad de agua que posee una persona depende de factores como:

- El peso
- El género → los hombres tienen más agua corporal (60% del peso) que las mujeres (50% del peso).
- La cantidad de tejido adiposo → entre más grasa corporal menos Agua corporal y a menor grasa mayor Agua corporal.
- El embarazo → el volumen del agua corporal aumenta por la mayor retención de sal y agua por los riñones.
- La edad → a mayor edad menor agua corporal o menor edad mayor agua corporal.

EDAD	%DE AGUA EN RELACION AL PESO
Lactante prematuro	80% del peso
3 meses	70% del peso
6 meses	60% del peso
1-2 años	59% del peso
11-16 años	58% del peso
Adulto	50-60% del peso
Adulto obeso	40-50% del peso

Compartimentos del líquido corporal. El agua se encuentra distribuida en el compartimento intracelular y el extracelular.

- Líquido intracelular (LIC): es el que se encuentra dentro de los 75 billones de células. Este líquido constituye el 40% del peso corporal.
- Líquido extracelular (LEC): constituye el 20% del peso corporal; dentro de este se encuentran:

El líquido intersticial: es el que está alrededor de las células.

El líquido intravascular: es el líquido que hace parte de la sangre o sea el plasma. El volumen sanguíneo medio de los adultos es el 7% del peso corporal, aproximadamente 5 litros, de estos el 60% es plasma y el 40% son eritrocitos.

El líquido transcelular: este está presente dentro de las cavidades como el líquido pericárdico, el pleural, el sinovial, etc.). Es aprox. 1 litros.

La cantidad total de agua en el ser humano en relación con su peso corporal va disminuyendo conforme aumenta la edad: en el recién nacido es de un 75%, en los niños de uno a doce meses de edad del 65% y, en los de edad comprendida entre uno y diez años, del 62%. A partir de esta edad, los cambios son mínimos hasta llegar a la edad adulta, en la que la relación es de un 60%, y en la ancianidad, en la que puede llegar a un 45%. El agua corporal está distribuida en dos grandes grupos:

- Líquido extracelular: repartido a su vez entre el líquido intersticial (que baña las células), plasmático y transcelular (líquido cefalorraquídeo, intraocular, pleural, peritoneal y sinovial). Estos líquidos están separados por la membrana capilar, que es permeable a todos los solutos plasmáticos y hace que su composición sea muy parecida. Sólo las proteínas aniónicas muestran una gran dificultad para salir, lo que implica mayor osmolaridad en el líquido plasmático. La difusión de solutos y gases entre el plasma y el intersticio se lleva a cabo a través de la pared capilar, permitiendo la llegada de nutrientes a las células y la retirada de productos de desecho de los tejidos.
- Líquido intracelular: presenta una composición muy diferente al extracelular, debido a que están separados por la membrana plasmática (Ver Tabla 1). Esta membrana semipermeable y muy selectiva al paso de sustancias (las moléculas con mayor liposolubilidad, menor tamaño y apolares la atraviesan con mayor facilidad), protege las células del exterior y regula el transporte de nutrientes a su interior y de desechos al exterior. La permeabilidad de la membrana también depende de las proteínas que la conforman (canales: por donde pueden pasar sustancias polares; transportadoras: proteínas que se unen a la sustancia a un lado de la membrana y la llevan al otro lado, donde la liberan).

IONES	Plasma mEq/l	Intersticio mEq/l	Intracelular mEq/l
Na ⁺	142	139	14
K ⁺	4	4	140
Ca ⁺⁺	4,5	4,8	0
Mg ⁺⁺	2	2	22
Cl ⁻	103	103	4
HCO ₃ ⁻	24	28	10
Fosfatos	5	5	11
Sulfatos	4	4	10
Proteínas	14	0	45

Mecanismos a través de los cuales el agua y los solutos pasan a través de la membrana celular.

El agua y los solutos se intercambian continuamente entre los distintos compartimentos a través de mecanismos pasivos y activos:

Transporte pasivo

Se realiza a favor del gradiente, sin consumo de energía, a través de varios procedimientos:

- Difusión: es el movimiento de partículas desde una zona de mayor concentración a una de menor concentración (Na⁺, K⁺, HCO₃⁻, Ca⁺⁺, O₂, CO₂, etc.) hasta que ambas concentraciones se igualan. A veces para facilitar la difusión de una molécula (p. ej.: glucosa), ésta necesita unirse a una proteína transportadora (la insulina facilita la entrada de la glucosa al interior de las células).
- Ósmosis: es el movimiento de un disolvente (H₂O) desde el lugar en el que está en mayor concentración hacia donde está en menor proporción. Una solución es isotónica cuando su concentración en sales es la misma que la del interior de la célula. Si se utilizase una solución hipotónica, que contiene menos sales, el agua se movería a favor del gradiente entrando en la célula e hinchándola. Por el contrario, al usar una hipertónica, que contiene más sales, el agua saldría de las células arrugándolas, para igualar el gradiente de concentración.
- Ultrafiltración: cuando el H₂O y algunos solutos (urea, creatinina) pasan a través de la membrana por efecto de una presión hidrostática, siempre desde el área de mayor presión a la de menor presión. Tiene lugar en los riñones y es debida a la presión arterial.

Transporte activo.

En contra del gradiente, por lo que necesita un gasto energético:

- **Bomba de Na+/K+:** la energía del ATP (adenosintrifosfato) empuja la sustancia para que cruce la membrana, manteniendo una baja concentración de Na⁺ en el interior de la célula y extrayéndolo en contra del gradiente de concentración. También mueve los iones K⁺ desde el exterior hasta el interior, pese a que la concentración intracelular de K⁺ es superior.
- **Endocitosis:** la membrana de la célula rodea la partícula para transportarla a través de ella.

Efecto de la temperatura en la solubilidad.

La solubilidad es la máxima cantidad de un soluto que se puede disolver en determinada cantidad de un disolvente a una temperatura específica. La temperatura afecta la solubilidad de la mayor parte de las sustancias.

En la mayor parte de los casos la solubilidad de una sustancia sólida aumenta con la temperatura. Aunque no se explica claro el signo de ΔH_{dissol} y la variación de la solubilidad con respecto de la temperatura. Ej el proceso de disolución de CaCl₂ es exotérmico mientras que el proceso de NH₄NO₃ Es endotérmico. Pero la solubilidad de ambos compuestos aumenta al incrementarse la temperatura.

Efecto de la presión en la solubilidad de los gases.

La presión externa no tiene influencia sobre la solubilidad de líquidos y sólidos, pero afecta enormemente la solubilidad de los gases.

LA LEY DE HENRY establece que la solubilidad de un gas en un líquido es proporcional a la presión del gas sobre la disolución:

$$\begin{aligned} c &\propto P \\ c &= kP \end{aligned}$$

C – concentración molar (mol/L) del gas disuelto

P- es la presión (en atmósfera) del gas sobre la disolución y para un gas determinado

k- es una constante que solo depende de la temperatura. Mol/L.atm

La cantidad de un gas que se disolverá en un disolvente depende de la frecuencia de colisión de las moléculas del gas contra la superficie del líquido y que queden atrapadas en la fase condensada.

Ejemplo, la solubilidad acuosa del N₂(g) a 0°C y 1 atmósfera es 23.54 mL por litros. Si se aumenta la solubilidad del N₂(g) a un valor de 100.0 mL N₂ por litros.) ¿Cuál sería la presión requerida?

$$\begin{aligned} c &\propto P \\ c &= kP \\ k &= \frac{c}{P_{\text{gas}}} = \frac{23.54 \text{ mL } N_2 / L}{1.00 \text{ atm}} = \frac{100.0 \text{ mL } N_2}{P_{N_2}} \end{aligned}$$

La presión de gas requerida :

$$P_{N_2} = (100 / 23.54) 1.00 \text{ atm} = 4.5 \text{ atm}$$

Ejemplo 2, la solubilidad del nitrógeno gaseoso en agua a 25 °C y 1 atm es 6.8 × 10⁻⁴ mol/L. ¿Cuál es la concentración (en molaridad) del nitrógeno disuelto en agua bajo condiciones atmosféricas? La presión parcial del nitrógeno gaseoso en la atmósfera es de 0.78 atm.

Resultado: 5.3 × 10⁻⁴ M

1er. Paso, calcular a k en la ecuación:

$$\begin{aligned} c &\propto P \\ c &= kP \\ k &= \frac{6.8 \times 10^{-4} \text{ mol/L}}{1 \text{ atm}} = 6.8 \times 10^{-4} \text{ mol/L.atm} \end{aligned}$$

2do. Paso, calcular la solubilidad del nitrógeno

$$\begin{aligned} c &\propto P \\ c &= kP \\ c &= (6.8 \times 10^{-4} \text{ mol/L.atm})(0.78 \text{ atm}) = 5.3 \times 10^{-4} \text{ M} \end{aligned}$$

CAPÍTULO 7 FLUIDOS Y HEMODINAMICA

Un fluido, como su nombre lo indica, es toda aquella sustancia que pude fluir. Así, todos los líquidos y todos los gases son fluidos, incluso se considera como tal los sólidos finamente pulverizados.

El movimiento de los fluidos es difícil de analizar ya que puede presentar un flujo laminar o flujo turbulento.

Ahora bien, en el cuerpo humano, el sostenimiento de un volumen de líquidos relativamente constante y de una composición estable de los líquidos corporales, es esencial para tener una buena homeostasis, es decir un buen equilibrio interno.

Algunos de los problemas clínicos más importantes se deben a alteraciones en los sistemas que mantienen constante el nivel de los líquidos corporales. En un adulto normal el total de agua representa aproximadamente el 60% de su peso corporal, este porcentaje pude cambiar con la edad, sexo y grado de obesidad, ya que conforme aumenta la edad, el porcentaje de líquido disminuye; esto se debe al incremento del peso corporal por grasa, la cual disminuye el porcentaje de agua, por esto las mujeres, que suelen tener más grasa que los varones, tienen menor cantidad de agua en el cuerpo.

A pesar de las constantes variaciones ambientales, los organismos tienden a mantener cierta estabilidad de sus condiciones internas. Por eso, si en un día caluroso y en otro muy frío, una persona mide su temperatura corporal, se dará cuenta de que en ambos casos ese valor será similar a pesar de las grandes variaciones de temperatura ambiental. A este mecanismo, por el cual los organismos conservan su medio interno en condiciones relativamente constantes y dentro de un rango adecuado, se le denomina homeostasis. Para los seres humanos es importante mantener cierto equilibrio , que involucra, entre otros parámetros, mantener un adecuado balance entre la cantidad de agua y sales minerales que se ingiere y la que se elimina; conservar bajos los niveles de sustancias de desecho que resultan del metabolismo y mantener la temperatura corporal dentro de rangos normales.

Homeostasis. El fenómeno del equilibrio de las funciones vitales se llama homeostasis, que es el conjunto de fenómenos de autorregulación que llevan al mantenimiento de la constancia en las propiedades y en la composición del medio interno de un organismo. La homeostasis fue descubierta por Claude Bernard en el siglo XIX, pero el término homeostasis fue acuñado por el fisiólogo estadounidense Walter Bradford Cannon (1871-1945), que propuso en 1932 las características o propiedades para la homeostasis, que luego fueron confirmadas en años sucesivos. Estas propiedades son cuatro, aunque se pueden ampliar a siete:

1. Sistema nervioso y endocrino: Importancia en el mantenimiento de los mecanismos de regulación.
2. Nivel tónico de actividad: Los agentes tanto del medio interno como del medio externo mantienen una moderada actividad que varía ligeramente hacia arriba o abajo, como rodeando un valor medio en un intervalo de normalidad fisiológica.
3. Controles antagónicos: Cuando un factor o agente cambia un estado homeostático en una dirección, existe otro factor o factores que tiende a contrarrestar al primero con efecto opuesto. Es lo que se llama retroalimentación negativa o "feed-back" negativo.
4. Señales químicas pueden tener diferentes efectos en diferentes tejidos corporales: Agentes homeostáticos antagonistas en una región del cuerpo, pueden ser agonistas o cooperativos en otras regiones corporales.
5. La homeostasis es un proceso continuo que implica el registro y regulación de múltiples parámetros.
6. La efectividad de los mecanismos homeostáticos varía a lo largo de la vida de los individuos.
7. Tolerancia: Es la capacidad que posee cada organismo de vivir en ciertos intervalos de parámetros ambientales, que a veces puede ser sobrepasada mediante la adaptación y la evolución.
8. Un fallo de los mecanismos homeostáticos produce enfermedad o la muerte. Las situaciones en las que el cuerpo no puede mantener los parámetros biológicos dentro de su rango de normalidad, surge un estado de enfermedad que puede ocasionar la muerte. Este término trasciende a la biología para hacer referencia a la característica de cualquier sistema, ya sea abierto o cerrado, que le permite regular el ambiente interno para mantener una condición estable. La estabilidad es posibilitada por distintos mecanismos de autorregulación y diversos ajustes dinámicos.



Homeostasis biológica.

Se denomina así al estado de equilibrio dinámico o al conjunto de mecanismos por el que todos los seres vivos tienden a alcanzar una estabilidad en las propiedades de su medio interno y por tanto de la composición bioquímica de los líquidos, células y tejidos, para mantener la vida, siendo la base de la fisiología. En pocas palabras es una tendencia a un equilibrio en el ambiente interno. Por lo tanto toda la organización estructural y funcional de los seres tiende hacia un equilibrio dinámico.

Los sistemas encargados de la homeostasis son el sistema endocrino y sistema nervioso que controlan y coordinan el funcionamiento de todos los aparatos y sistemas del organismo.

Factores que influyen en la homeostasis.

La homeostasis responde a cambios producidos en:

El medio interno: El metabolismo produce múltiples sustancias, algunas de ellas de deshecho que deben ser eliminadas. Para realizar esta función los organismos poseen sistemas de excreción. Por ejemplo en el hombre, el aparato urinario. Todos los seres vivos poseen mensajeros químicos como neurotransmisores y hormonas que regulan múltiples funciones fisiológicas. El medio interno está formado por los líquidos que rodean a las células (LEC): Líquido intersticial, sangre (plasma) y linfa. Estos fluidos contienen nutrientes y oxígeno.

El medio externo: La homeostasis más que un estado determinado, es el proceso resultante de afrontar las interacciones de los organismos vivos con el medio ambiente cambiante, cuya tendencia es hacia desorden o la entropía. La homeostasis proporciona a los seres vivos la independencia de su entorno mediante la captura y conservación de la energía procedente del exterior. La interacción con el exterior se realiza por sistemas que captan los estímulos externos como pueden ser los órganos de los sentidos o sistemas para captar sustancias o nutrientes necesarios para el metabolismo como puede ser el aparato respiratorio o digestivo.

Viscosidad.

La viscosidad es la oposición de un fluido a las deformaciones tangenciales. Un fluido que no tiene viscosidad se llama fluido ideal. En realidad todos los fluidos presentan algo de viscosidad.

En los líquidos, la viscosidad se observa en el pequeño rozamiento que existe entre sus capas adyacentes. Es una pequeña magnitud que le confiere al fluido sus peculiares características; así, por ejemplo, si se arrastra la superficie de un líquido con la palma de la mano, las *capas inferiores* no se moverán o lo harán mucho más lento que la superficie, ya que son arrastradas por efecto de la pequeña resistencia tangencial, mientras que las capas superiores **fluyen** con facilidad. Ejemplos, la viscosidad de la leche y el agua (líquidos con altas viscosidades no forman salpicaduras).

Cabe señalar que la viscosidad sólo se manifiesta en fluidos en movimiento, ya que cuando el fluido está en reposo adopta una forma tal en la que no actúan las fuerzas tangenciales que no puede resistir. Es por ello por lo que llenando un recipiente con un líquido, la superficie del mismo permanece plana, es decir, perpendicular a la única fuerza que actúa en ese momento, la gravedad, sin existir por tanto componente tangencial alguna.

Si la viscosidad fuera muy grande, el rozamiento entre capas adyacentes lo sería también, lo que significa que éstas no podrían moverse unas respecto de otras o lo harían muy poco, es decir, estaríamos ante un sólido. Si por el contrario la viscosidad fuera cero, estaríamos ante un super fluido que presenta propiedades notables como escapar de los recipientes aunque no estén llenos.

La viscosidad es característica de todos los fluidos, tanto líquidos como gases, si bien, en este último caso su efecto suele ser despreciable, están más cerca de ser fluidos ideales. Las variables que le afectan son la temperatura y la presión.

Es importante también conocer la densidad de una sustancia. La densidad es una propiedad de las sustancias y de los fluidos que reflejan la masa de la sustancia sobre la unidad de volumen, se representa con la letra (ρ) las unidades son kg/m^3 , gr/cm^3 , la fórmula que la describe es la siguiente: $\rho = m/V$.

Volumen específico: Se representa con la letra v , el volumen específico es una propiedad intensiva de la sustancia, sus unidades son mt^3/kg , su fórmula es la siguiente $v = V/M$ el volumen específico es lo inverso de la densidad de la sustancia $v = 1/\rho$



Propiedad extensiva: son aquellas que dependen de la cantidad de materia o sustancia que se considere. Son aquellas que dependen de la cantidad de materia o sustancia. Este es el caso del calor, peso, masa, energía, volumen, etc. Los casos típicos de los fluidos son.

Fluido ideal: Es aquel donde la viscosidad se puede considerar despreciable.

Fluido newtoniano: Es aquel donde la viscosidad se considera constante.

Fluido plástico de bingham: Es aquel en el cual es necesario un esfuerzo de corte inicial para que comience a fluir, ejemplo pinturas, aceite, etc.

Fluido dilatante: Este es el caso donde la viscosidad aumenta con la tasa de deformación.

Primera ley de Newton de la viscosidad: Establece que la fuerza por unidad de área es proporcional a la distancia Y . La constante de proporcionalidad μ se denomina viscosidad del fluido. Es decir el esfuerzo cortante que se transfiere en un fluido es directamente proporcional al gradiente negativo de la velocidad y esa proporcionalidad viene dada por una constante. $F/A = -\mu dv/dy = f/A = -\mu dv/dy$

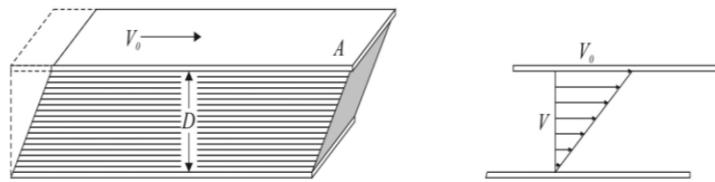
Se le denomina viscosidad cinemática: a la relación que existe entre viscosidad absoluta y la densidad $\nu = \mu/\rho$, sus unidades son cm^2/seg .

Influencia de la temperatura y la presión en la viscosidad: esta influencia es importante evaluar considerando separadamente el análisis en los gases y en los líquidos.

Calculo de la viscosidad.

Como ya indicamos, una propiedad general de un fluido es que a la aplicación de una fuerza tangencial que produce un flujo en el mismo, se le opone una fuerza proporcional al gradiente en la velocidad de flujo. Este fenómeno se conoce como viscosidad.

Consideremos dos placas paralelas de área A



separadas por una distancia D . Es conveniente imaginar que D es pequeña en comparación con cualquier dimensión de las placas para evitar el efecto de borde. Entre las placas hay sustancia fluida uniforme. Si una de las placas se deja en reposo mientras la otra se mueve con velocidad uniforme V_0 en una dirección paralela a su propio plano, en condiciones ideales el fluido sufre un movimiento deslizante puro y se crea un gradiente de velocidad de flujo de magnitud D/V_0 en el mismo.

Este es el ejemplo más sencillo de flujo laminar o flujo viscoso puro, en el que la inercia del fluido no juega un papel significativo en determinar la naturaleza de su movimiento. Para que se alcance un flujo laminar, la condición más importante que se debe cumplir es que la velocidad del flujo sea lenta. En el flujo laminar en un sistema con límites sólidos estacionarios, las trayectorias de cada elemento del fluido con masa infinitesimal no atraviesan ninguna de las superficies laminares estacionarias de la familia infinita de ellas que puede definirse en el sistema. En el ejemplo sencillo dado antes, estas superficies laminares son los infinitos planos paralelos a las placas. Cuando la velocidad del fluido crece, el flujo se hace turbulento y su momento lo lleva a través de esas superficies laminares en forma que se producen vórtices o remolinos.

El método más sencillo para medir viscosidades es mediante un viscosímetro de Ostwald (véase figura). En este tipo de viscosímetros, se determina la viscosidad de un líquido midiendo el tiempo de flujo de un volumen dado V del líquido en un tubo capilar bajo la influencia de la gravedad. Para un fluido virtualmente incompresible, como un líquido, este flujo está gobernado por la ley de Poiseuille de la forma:

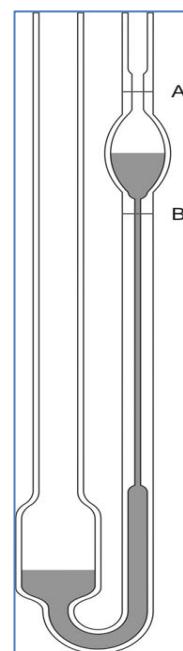
$$\frac{dV}{dT} = \frac{\pi \cdot r^4 (P_1 - P_2)}{8 \cdot n \cdot L}$$

donde dV/dt es la velocidad de flujo del líquido a lo largo de un tubo cilíndrico de radio r y de longitud L , y

$(P_1 - P_2)$ es la diferencia de presiones entre los dos extremos del tubo. Dado que $(P_1 - P_2)$ es proporcional a la densidad del líquido en estudio, se puede demostrar que para un volumen total dado de un líquido:

$$\frac{n}{P} = K \cdot t$$

donde t es el tiempo en que el menisco superior cae de la marca superior del viscosímetro a la inferior (de A a B) y K es una constante del aparato que debe determinarse por calibración con un líquido de viscosidad conocida (por ejemplo, agua).



La viscosidad sanguínea se puede definir cualitativamente como la resistencia al flujo a consecuencia de una fricción interna. Cuanto mayor es la resistencia al flujo, mayor es la viscosidad de la sangre.

Las diferentes técnicas de medición han permitido establecer ciertas características reológicas de la sangre. Esta presenta un comportamiento "pseudoplástico" es decir, su viscosidad aumenta a medida que disminuye su velocidad de flujo.

Se conoce también que la velocidad de la sangre aumenta cuando disminuye el diámetro del capilar en el que fluye. Así, cuando el diámetro del capilar se aproxima al de los hematíes, la viscosidad aparente de la sangre alcanza su valor mínimo. Este comportamiento muy particular de la sangre, está ligado a la deformabilidad de los eritrocitos. Cualquier aumento de la rigidez de los hematíes, aumenta también la viscosidad sanguínea en el ámbito del micro circulación.

Entonces a una determinada velocidad de flujo, la viscosidad de la sangre dependerá de:

- El hematocrito.
- Agregación eritrocitaria.
- Deformabilidad eritrocitaria.
- Viscosidad plasmática.

La hiperviscosidad sanguínea (viscosidad excesiva) es consecuencia principalmente de:

1. Un incremento del recuento de eritrocitos (hematocrito).
2. Un incremento de la agregación de los mismos.
3. Una reducción de la deformabilidad eritrocitaria.
4. Un aumento de la concentración de las proteínas plasmáticas, sobre todo del fibrinógeno, las globulinas y alteraciones de la albúmina.

La viscosidad es una buena medida de la facilidad con la que la sangre fluye y por ello resulta útil para diagnosticar algunas patologías como la policitemia (lo opuesto a la anemia), un trastorno por el cual un aumento de la cantidad de glóbulos rojos disminuye la entrega del oxígeno a tejidos y órganos, lo cual dificulta la circulación sanguínea.

La viscosidad de la sangre es un poco mayor que la del agua. Lo mismo pasa con la viscosidad del plasma sanguíneo.

La viscosidad cinemática se define como la viscosidad absoluta de un fluido dividido por su densidad. ($V = m / p$).

Cuando,

$$v = \text{viscosidad cinemática } m [s^{-1}]$$

$$m = \text{viscosidad dinámica } Nsm [s^{-2}]$$

$$\rho = \text{Densidad } kgm [m^{-3}]$$

La viscosidad cinemática está en función de la viscosidad dinámica, debido que su relación está dada como:

$$\text{Viscosidad cinemática} = (\text{Viscosidad dinámica}/\text{densidad fluido})$$

y se mide en unidades de área por tiempo, la más usada es Stoke (cm^2/seg)

Viscosidad

Fluido	Temperatura (°C)	Viscosidad (N.s/m²)
Glicerina	20	1.5
Aceite para motores	0	0.11
Aceite para motores	20	0.03
Sangre	37	4.0×10^{-3}
Agua	20	1.0×10^{-3}
Agua	90	0.32×10^{-3}
Gasolina	20	2.9×10^{-4}
Aire	20	1.8×10^{-5}
CO ₂	20	1.5×10^{-5}

Fluidos.

Se denomina así a un tipo de medio continuo formado por alguna sustancia entre cuyas moléculas hay una fuerza de atracción débil. Los fluidos se caracterizan por cambiar de forma sin que existan fuerzas restitutivas tendentes a recuperar la forma "original". Dicho de otra forma, es un conjunto de partículas que se mantienen unidas entre sí por fuerzas cohesivas débiles y/o las paredes de un recipiente; el término engloba a los líquidos y los gases. En el cambio de forma de un fluido la posición que toman sus moléculas varía, ante una fuerza aplicada sobre ellos, pues justamente fluyen. Los líquidos toman la forma del recipiente que los aloja, manteniendo su propio volumen, mientras que los gases carecen tanto de volumen como de forma propios. Las moléculas no cohesionadas se deslizan en los líquidos, y se mueven con libertad en los gases. Los fluidos están conformados por los líquidos y los gases, siendo los segundos mucho menos viscosos (casi fluidos ideales).

Un fluido es cualquier cosa que pueda derramarse si no está en un recipiente (a menos que sea lo suficientemente grande como para mantenerse unido por la gravedad). El agua es un fluido, y también lo es el aire. De hecho, todos los líquidos y gases son fluidos.

Las moléculas de un sólido están unidas, pero en un fluido, las moléculas están libres y pueden pasar una junto a la otra. Dinámica de fluidos, (también conocida como mecánica de fluidos), es la ciencia que estudia los movimientos de un fluido. Al movimiento de los fluidos se le conoce como, fluir.

La sangre es un fluido no newtoniano formado por plasma y varios componentes celulares: glóbulos rojos y blancos, plaquetas, etc. Su fluidez depende mucho de los glóbulos rojos; de su propiedad para agregarse formando rodillos y su gran capacidad para deformarse.

Los fluidos se dividen en dos subclases: los líquidos y los gases. Los líquidos se caracterizan por ocupar un volumen definido independiente del volumen del recipiente que lo contiene. Un gas, por otra parte, tiende a expandirse y a ocupar todo el volumen del recipiente que lo contiene. La compresibilidad del fluido es otra propiedad marcadamente distinta en los líquidos y en los gases. Un líquido es bastante incompresible y en la gran mayoría de las aplicaciones se puede suponer que su densidad es constante. Lo opuesto es cierto para los gases. Estos son sustancias muy compresibles y generalmente no se puede suponer que su densidad sea constante.

Propiedades de un fluido.

- Densidad: es la medida del grado de compactación de un material. Para un fluido homogéneo se define como la masa por unidad de volumen y depende de factores tales como su temperatura y la presión a la que está sometido. Sus unidades en el SI son: kg/m³. Los líquidos son ligeramente compresibles y su densidad varía poco con la temperatura o la presión. Para una masa dada, la presión, la temperatura y el volumen que ocupa se relacionan por medio de la ley de los gases: $pV = mRT$, donde R es la constante de los gases ideales y T la temperatura absoluta (grados Kelvin).
- Compresibilidad: En la mayoría de los casos, un líquido se podría considerar incompresible, pero cuando la presión cambia bruscamente, la compresibilidad se hace evidente e importante. Lo mismo ocurre si hay cambios importantes de temperatura. La compresibilidad se expresa mediante el módulo elástico de compresión.
- Viscosidad: es una medida de la resistencia del fluido al corte cuando el fluido está en movimiento. Se le puede ver como una constante de proporcionalidad entre el esfuerzo de corte y el gradiente de velocidad. Sus unidades en el SI son: kg s / m³. La viscosidad de un líquido decrece con el aumento de temperatura, pero en los gases crece con el aumento de temperatura. Esta diferencia es debido a las fuerzas de cohesión entre moléculas. Esta propiedad también depende de la presión.
- Tensión superficial: Una molécula dentro del líquido es atraída en todas direcciones por otras moléculas mediante fuerzas cohesivas. Cuando un líquido está en contacto con algún otro medio (aire, otro líquido, un sólido) se forma una superficie de contacto entre el líquido y el otro medio. Dentro del líquido, y lejos de su superficie de contacto, una molécula se encuentra en equilibrio: la suma de las fuerzas de atracción es cero. Sin embargo, en la superficie de contacto, la suma de estas fuerzas tiene como resultante una fuerza neta, perpendicular a la superficie y con sentido hacia el interior del líquido. Esta fuerza hacia el interior hace que la superficie de contacto se comporte como una membrana. Una de las consecuencias de la tensión superficial es la capilaridad.

Propiedades físicas del agua a 1 bar

Temperatura (°C)	Densidad (kg/m ³)	Módulo elasticidad ($\cdot 10^{-9}$ N/m ²)	Viscosidad cinemática ($\cdot 10^6$ m ² /s)	Tensión superficial (N/m)	Presión vapor (kPa)
0	999,8	1,98	1,785	0,0756	0,61
5	1000,0	2,05	1,519	0,0749	0,87
10	999,7	2,10	1,306	0,0742	1,23
15	999,1	2,15	1,140	0,0735	1,70
20	998,2	2,17	1,003	0,0728	2,34
25	997,0	2,22	0,893	0,0720	3,17

Fundamentos del flujo de fluidos.

La hidrodinámica es la parte de la física que estudia el movimiento de los fluidos. Este movimiento está definido por un campo vectorial de velocidades correspondientes a las partículas del fluido y de un campo escalar de presiones, correspondientes a los distintos puntos del mismo.

Es tal como su nombre lo dice, son fluidos que se mueven, como el aire dentro de un tubo cuando se sopla. Cuando se trata de líquidos pueden estar quietos en un recipiente y de sus propiedades se ocupa la hidrostática o moverse por ejemplo por una cañería, caso estudiado por la hidrodinámica. Un fluido en movimiento también puede ser el viento o el que recorre dentro del organismo al respirar, un río, una catarata o la sangre que bombea el corazón y recorre todo el cuerpo. Un fluido es una sustancia o medio continuo que se deforma continuamente en el tiempo ante la aplicación de una solicitud o tensión tangencial sin importar la magnitud de ésta. También se puede definir un fluido como aquella sustancia que, debido a su poca cohesión intermolecular, carece de forma propia y adopta la forma del recipiente que lo contiene.

Características

- La posición relativa de sus moléculas puede cambiar continuamente.
- Todos los fluidos son compresibles en cierto grado.
- Tienen viscosidad.
- Dependiendo de su viscosidad fluyen a mayor o menor velocidad. Mientras más viscoso fluye con menor velocidad, mientras menos viscoso fluye con mayor velocidad.
- Su viscosidad es independiente de la densidad.

Clasificación

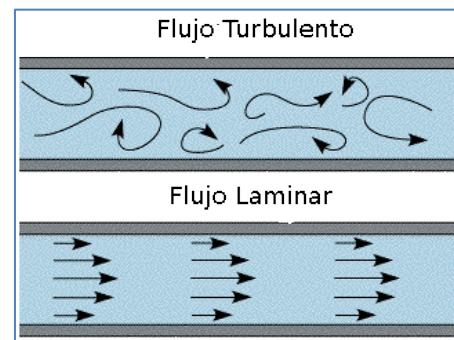
Los fluidos se pueden clasificar de acuerdo a diferentes características que presentan en:

- Newtonianos. (viscosidad constante)
- No newtonianos. (viscosidad variable).

Los flujos en los que la viscosidad de un fluido no es despreciable pueden ser de dos tipos, laminares o turbulentos. La diferencia básica entre los dos tipo de flujo fue drásticamente demostrada en 1883 por Osborne Reynolds (1842–1912), por medio de un experimento en que se inyectó un delgado chorro de tinta en medio del flujo de agua a través de un tubo transparente.

Cuando un fluido está en movimiento, el flujo se puede clasificar en dos tipos:

- a) Flujo estacionario o laminar si cada partícula de fluido sigue una trayectoria uniforme y estas no se cruzan, es un flujo ideal. Por ejemplo el humo de cigarrillo justo después de salir del cigarro es laminar. En el flujo estacionario la velocidad del fluido permanece constante en el tiempo. Sobre una velocidad crítica, el flujo se hace turbulento.
- b) Flujo turbulento es un flujo irregular con regiones donde se producen torbellinos. Por ejemplo el humo de cigarrillo en la parte superior alejada del cigarro es turbulento.



El flujo laminar se vuelve turbulento por efecto de la fricción que también está presente en los fluidos y surge cuando un objeto o capa del fluido que se mueve a través de él desplaza a otra porción de fluido. La fricción interna en un fluido es la resistencia que presenta cada capa de fluido a moverse respecto a otra capa. La fricción interna o roce de un fluido en movimiento se mide por un coeficiente de viscosidad. Por efecto de la viscosidad parte de la energía cinética del fluido se transforma en energía térmica, similar al caso de los sólidos.

Tipos de flujo.

Los tipos de fluidos según su comportamiento Reológicos son:

- 1) Newtonianos, hay proporcionalidad lineal entre el esfuerzo cortante y la velocidad de deformación.
- 2) No newtonianos, no hay proporcionalidad lineal entre el esfuerzo cortante y la velocidad de deformación. A su vez se dividen en:
 - a) Independientes del tiempo:
 - Sin esfuerzo umbral, pseudoplástico, se produce una disminución de su viscosidad, y de su esfuerzo cortante, con la velocidad de deformación.



Dilatantes, se produce un aumento de su viscosidad, y de su esfuerzo cortante, con la velocidad de deformación.

· Con esfuerzo umbral,

Plásticos, se comporta como un sólido hasta que sobrepasa un esfuerzo cortante mínimo (esfuerzo umbral) y a partir de dicho valor se comporta como un líquido.

b) Dependientes del tiempo:

· Tixotrópicos, se produce una disminución de la viscosidad al aplicar un esfuerzo cortante y recupera su viscosidad inicial tras un tiempo de reposo.

· Reopécticos, se produce un aumento de la viscosidad al aplicar un esfuerzo cortante y recupera su viscosidad inicial tras un tiempo de reposo.

3) Viscoelásticos, se comportan como líquidos y sólidos, presentando propiedades de ambos, y con propiedades tanto viscosas como elásticas.

Movimiento de fluidos.

El estudio del movimiento de los fluidos se puede realizar a través de la dinámica como también de la energía que estos tienen en su movimiento.

Una forma de estudiar el movimiento es fijar la atención en una zona del espacio, en un punto en un instante t , en el se especifica la densidad, la velocidad y la presión del fluido. En ese punto se examina lo que sucede con el fluido que pasa por él.

Al movimiento de un fluido se le llama "flujo" y dependiendo de las características de este se les puede clasificar en:

1. Flujo viscoso y no viscoso: los flujos viscosos son aquellos que presentan resistencia al avance. Todos los fluidos reales son viscosos.
2. Flujo incompresible y compresible: Los flujos incompresibles son aquellos en que la densidad ($=$ Masa/Volumen) prácticamente permanece constante.
3. Flujo laminar y turbulento: en el flujo laminar, el fluido se desplaza en láminas o capas paralelas. En el turbulento las partículas se mueven siguiendo trayectorias muy irregulares.
4. Flujo permanente: si las propiedades como la densidad, la velocidad, la presión no cambian en el tiempo en un punto del espacio, entonces se dice que el flujo es permanente, pudiendo cambiar de un punto a otro.

Hemodinámica.

La hemodinámica es aquella parte de la biofísica que se encarga del estudio de la dinámica de la sangre en el interior de las estructuras sanguíneas como arterias, venas, vénulas, arteriolas y capilares así como también la mecánica del corazón propiamente dicha mediante la introducción de catéteres finos a través de las arterias de la ingle o del brazo. Esta técnica conocida como cateterismo cardíaco permite conocer con exactitud el estado de los vasos sanguíneos de todo el cuerpo y del corazón.

Podemos definir la circulación de la sangre en el sistema arterial como la de un fluido real, no newtoniano, en régimen pulsátil en las grandes arterias y prácticamente estacionario y laminar en arteriolas y capilares. Este flujo es susceptible de desarrollar turbulencias de forma fisiológica en las bifurcaciones y, patológicamente, por efectos de estenosis.

Análisis elemental del flujo en tuberías.

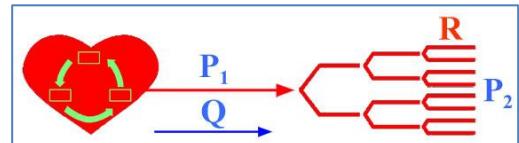
El método más común para transportar fluidos de un punto a otro es impulsarlo a través de un sistema de tuberías. Las tuberías de sección circular son las más frecuentes, ya que esta forma ofrece no sólo mayor resistencia estructural sino también mayor sección transversal para el mismo perímetro exterior que cualquier otra forma.

El flujo de fluidos en tubería, está siempre acompañado de rozamiento, consecuentemente, existe perdida de energía, en otras palabras, debe existir perdida de presión en el sentido del flujo.

Las pérdidas por fricción en tuberías son muy sensibles a los cambios de diámetro y rugosidad de las paredes. Para un caudal determinado y un factor de fricción fijo, la pérdida de presión por metro de tubería varía inversamente a la quinta potencia del diámetro.

Un fluido se desplaza en el interior de un tubo cuando la presión en el inicio es superior a la existente al final del tubo, moviéndose desde una zona de mayor presión a una de menor presión. El flujo o caudal depende directamente del gradiente o diferencia de presión entre esos dos puntos e inversamente de la resistencia.

La resistencia depende de las dimensiones del tubo y de la naturaleza del fluido, y mide las fuerzas de rozamiento o fricción entre las propias moléculas del fluido y entre éstas y las moléculas de la pared del tubo.



La velocidad con la que circula la sangre en el interior de un tubo es directamente proporcional al flujo e inversamente proporcional al área transversal del tubo.

El flujo o caudal (volumen/minuto) se define también como el volumen circulante por un segmento transversal del circuito en la unidad de tiempo: $v = \frac{Q}{\pi r^2}$

En la circulación sanguínea en regiones con curvaturas pronunciadas, en regiones estrechadas o en bifurcaciones, con valores por encima de 400, aparecen remolinos locales en las capas limítrofes de la corriente. Cuando se llega a 2000-2400 el flujo es totalmente turbulento. Aunque la aparición de turbulencias no es deseable por el riesgo que tienen de producir coágulos sanguíneos, se pueden utilizar como procedimientos diagnósticos, ya que mientras el flujo laminar es silencioso, el turbulento genera ruidos audibles a través de un estetoscopio.

La resistencia no puede medirse directamente por ser una magnitud compuesta, pudiendo obtenerse de la ecuación inicial al establecer un gradiente de presión entre dos puntos y medir el flujo que se establece:

$$\text{Resistencia} = \frac{\Delta P}{\text{Flujo}}$$

(mmHg. min/ml, URP → unidad de resistencia periférica hemodinámica).

Su magnitud depende de las dimensiones del tubo por donde circula el fluido, de su viscosidad y del tipo de flujo o corriente que se realice.

La resistencia periférica total es la suma de las resistencias vasculares. Los vasos sanguíneos en el sistema vascular constituyen una red en la que determinados segmentos se sitúan en serie y otros en paralelo. La resistencia varía dependiendo de la colocación de los vasos.

Uno de los factores que determina la resistencia al movimiento de los fluidos son las fuerzas de rozamiento entre las partes contiguas del fluido, las fuerzas de viscosidad.

Los fluidos newtonianos u homogéneos son los que muestran una viscosidad constante, como el agua, o las soluciones de electrolitos; por el contrario, los fluidos no newtonianos, o heterogéneos, presentan una viscosidad variable, es el caso de la sangre que se modifica dependiendo de las dimensiones del tubo y del tipo de flujo. Cuando la velocidad de la sangre se incrementa la viscosidad disminuye.

Así ha de tenerse en cuenta que la sangre no presenta una viscosidad constante. Al estar formada por células y plasma, las primeras son las responsables principales de la viscosidad sanguínea, y tanto el hematocrito como la velocidad del flujo y el diámetro del vaso modifican la viscosidad de la sangre. A altas velocidades, la viscosidad disminuye al situarse las células preferentemente en el eje central del vaso.

En flujos laminares que se desarrollan en tubos cilíndricos, se pueden deducir las relaciones entre la intensidad del flujo, el gradiente de presión y la resistencia o fuerzas de fricción que actúan sobre las capas de envoltura.

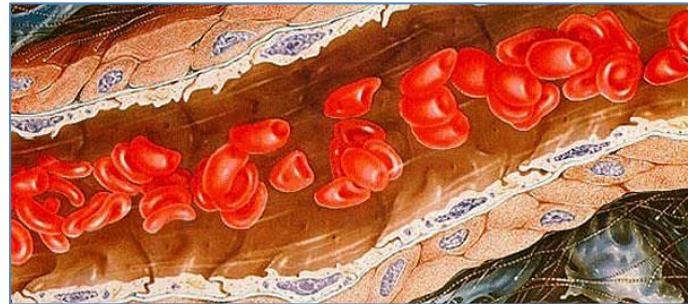
La Ley de Poiseuille (o de Hagen-Poiseuille) es una ecuación hemodinámica fundamental en la que se establece:

$$\text{Flujo} = \frac{\Delta P \cdot \pi \cdot r^4}{8 \cdot n \cdot l}$$

8 es el factor que resulta de la integración del perfil de la velocidad.

Debido a que la longitud de los vasos y la viscosidad son relativamente constantes, el flujo viene determinado básicamente por el gradiente de presión y por el radio. Si suponemos un vaso con un flujo de 1 ml/seg al aumentar el diámetro dos veces el flujo pasa a ser de 16 ml/seg, y si el diámetro aumenta cuatro veces el flujo pasará a ser 256 ml/seg. Por esta relación se puede justificar el papel preponderante que los cambios en el radio del conducto juegan en la regulación del flujo sanguíneo.

La ecuación de Poiseuille está formulada para flujos laminares de fluidos homogéneos con viscosidad constante, sin embargo, en los vasos sanguíneos estas condiciones no siempre se cumplen; si la velocidad del flujo es alta o si el gradiente de presión es elevado, se pueden generar remolinos o turbulencias que modifican el patrón del flujo. Al producirse turbulencias se necesitarán gradientes de presión mayores para mantener el mismo flujo.



La pared de los vasos sanguíneos está formada por una capa de células epiteliales, el endotelio, y cantidades variables de colágeno, elastina y fibras musculares lisas. La capacidad de deformación y recuperación de un vaso es un factor importante en la hemodinámica.

A través de la pared vascular se mide una diferencia de presión entre el interior y el exterior, denominada presión transmural. La presión intravascular se debe a la contracción cardíaca, así como a la distensión elástica de la pared. La presión exterior es la presión hidrostática de los líquidos intersticiales y presenta un valor próximo a cero. Si la presión exterior es superior a la del interior, el vaso se colapsa.

La presión transmural (según la ley de Laplace para cilindros huecos de extremos abiertos) dependerá del radio del cilindro "r"; del espesor de la pared "e"; y de la tensión parietal T o fuerza por unidad de longitud.

$$P_t = P_i - P_o = \frac{T \cdot e}{r}$$

Esta tensión parietal puede despejarse de la ecuación anterior,

$$T = \frac{(P_i - P_o)r}{e}$$

Siendo $P_i - P_o$ la presión transmural (P_t) o diferencia de presión entre el interior del vaso y el exterior; r el radio del vaso y, e , el espesor de la pared vascular. La tensión parietal se mide en N/m. Así a igual presión, la tensión parietal será tanto mayor cuanto mayor sea el radio y cuánto más delgada sea la pared.

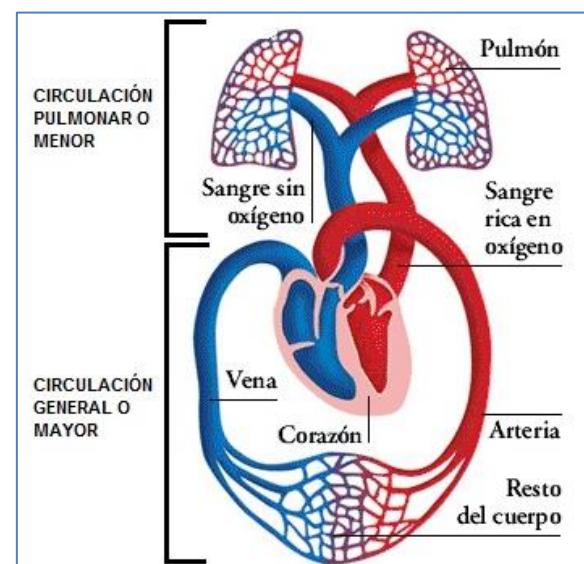
Las propiedades elásticas o de distensibilidad de los vasos sanguíneos dependen, tanto del número, como de la relación entre las fibras elásticas y colágenas que forman parte de su pared. Si se compara a la altura del mismo segmento vascular sistémico, las arterias son de 6 a 10 veces menos distensibles que las venas.

La capacidad de deformación y recuperación de un vaso puede medirse como la relación entre los cambios de volumen y presión en el interior del mismo. Esta propiedad se conoce con el nombre de elastancia o bien su inverso, la complianza. Cuando un vaso posee una pared fácilmente deformable su complianza es grande. Las arterias son vasos de complianza media a presiones fisiológicas; sin embargo, a presiones elevadas se vuelven rígidas y con complianzas cada vez menores.

Las venas son vasos que aunque menos deformables que las arterias presentan una gran capacidad a presiones bajas de acomodar volúmenes crecientes de sangre. Esto es debido a su morfología, ya que al pasar de secciones elípticas a secciones circulares incrementan su volumen, de ahí que sean descritos como vasos de capacitancia. En el rango de volúmenes y presiones fisiológicos del sistema vascular, las venas sistémicas son unas diez veces más distensibles que las arterias.

El volumen de sangre situado en cada uno de los segmentos del árbol circulatorio no es equitativo. De los aproximadamente 5 litros de sangre del aparato circulatorio, en situación de pie, un 84 % se sitúa en el circuito mayor, un 9 % en el circuito menor y un 7 % en el corazón. De la sangre alojada en la circulación mayor el 75% se sitúa en el sistema venoso, descrito ya como sistema de capacitancia o reservorio. La velocidad de la sangre depende del área total transversal de cada sección analizada. Así en aorta y grandes arterias, aunque el flujo es pulsátil la velocidad es alta (20 cm/s), va disminuyendo a nivel de las arteriolas alcanzando su valor más bajo en los capilares (0,03 cm/s), este valor permite que haya tiempo suficiente para los intercambios que han de realizarse en esta sección. En las venas se alcanzan velocidades menores que en el mismo segmento arterial debido a que la sección transversal venosa siempre es mayor que la arterial.

El principal segmento vascular donde se observa un mayor descenso de la presión corresponde al segmento arteriolar, ya que es en este punto donde se miden los mayores valores de resistencia.



Caudal.

En dinámica de fluidos, caudal es la cantidad de fluido que pasa en una unidad de tiempo. Normalmente se identifica con el flujo volumétrico o volumen que pasa por un área dada en la unidad de tiempo. Menos frecuentemente, se identifica con el flujo másico o masa que pasa por un área dada en la unidad de tiempo.

Si hablamos de caudal sanguíneo, debemos entender que el flujo sanguíneo es la cantidad de sangre que atraviesa la sección de un punto dado de la circulación en un período determinado. Normalmente se expresa en mililitros por minuto o litros por minuto, se abrevia Q.

El análisis de los factores que determinan el flujo sanguíneo es relativamente complejo ya que es un flujo pulsátil, que discurre por un circuito cerrado de tubos distensibles con múltiples ramificaciones y de calibre variable. Además el fluido circulante, la sangre, es un fluido pseudoplástico con propiedades no lineales y compuesto de líquido (plasma) y elementos formes (hematíes, leucocitos, plaquetas y otros). Esto explica que se recurra a modelos y simplificaciones que no siempre se pueden aplicar de manera directa.

El flujo sanguíneo global de la circulación de un adulto en reposo es de unos 5000 ml min⁻¹, cantidad que se considera igual al gasto cardíaco porque es la cantidad que bombea el corazón en la aorta en cada minuto. Corresponde al resultado de multiplicar el volumen de eyeción que el ventrículo expulsa en cada latido (unos 70 ml) por la frecuencia cardíaca (unos 75 latidos por minuto). El gasto cardíaco disminuye en posición sentado y de pie frente a su valor en decúbito, por el contrario, aumenta de manera importante con el ejercicio, con el aumento de la temperatura corporal y en los estados de ansiedad. Este aumento se produce sobre todo por el aumento de la frecuencia cardíaca más que por el del volumen sistólico.

Históricamente la medida del flujo sanguíneo no fue cosa fácil y esto explica que el flujo sanguíneo se utilice menos que otros parámetros cardiovasculares, como la presión arterial, más fáciles de medir. Clásicamente, el flujo se ha medido aplicando el principio de Fick a la dilución de un indicador químico o térmico. Esta situación está cambiando con la introducción de los medidores electromagnéticos y los de ultrasonidos mediante efecto Doppler que permiten medir el flujo sin abrir el vaso sanguíneo y con las técnicas de imagen con marcadores para medir el flujo en un determinado territorio.

Si la sangre se comportase como un fluido ideal, es decir sin viscosidad, se podría utilizar el teorema de Bernouilli y considerar que en cualquier punto del fluido situado a una altura h, con velocidad v y con presión absoluta p se cumpliría:

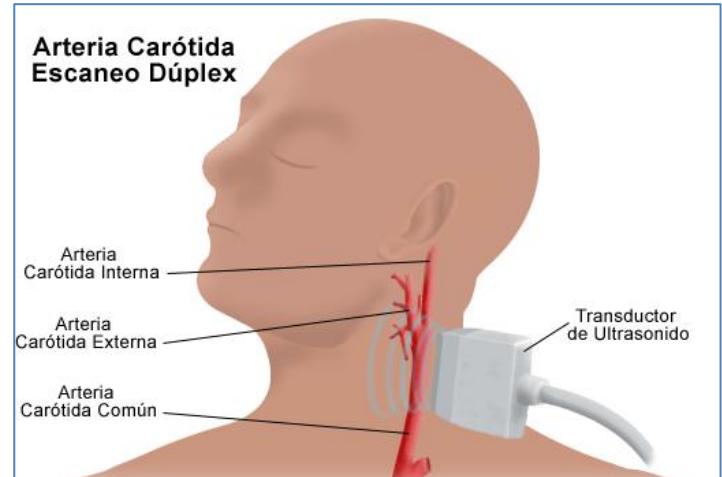
$$p/\rho g + v^2/2g + h = \text{constante} = \text{carga del fluido}$$

Dónde: p es la densidad del fluido y g es la aceleración de la gravedad

$p/\rho g$ es la altura piezométrica es decir la altura necesaria para producir la presión p. En el sistema circulatorio esta presión es producida por la sístole ventricular y resulta de la contracción de las fibras musculares sobre el fluido incompresible que es el volumen de sangre existente en el ventrículo al final del periodo de llenado ventricular.

$v^2/2g$ es la altura cinética es decir la altura necesaria para producir en caída libre la velocidad v a la que se mueven las partículas de fluido

h es la altura geométrica, este término es importante en el organismo ya que, mientras que en la posición de decúbito todo el sistema circulatorio está a una altura similar, en la posición de pie los miembros inferiores añaden a la presión intramural la que corresponde a una columna de más de un metro de altura y en los vasos pulmonares, cercanos a los vértices, hay que restar la presión que corresponde a una altura del orden de 30 cm lo cual es importante en un sistema de baja presión como el pulmonar.

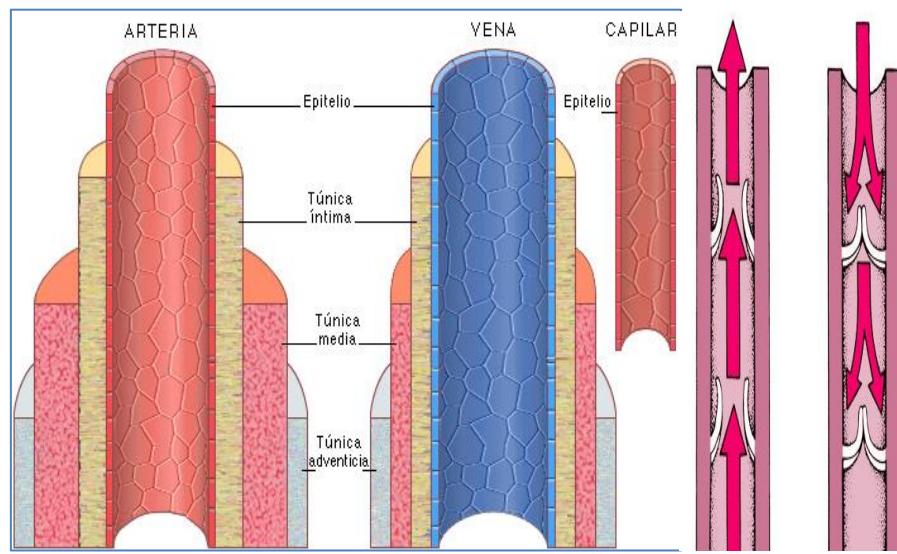


Vasos sanguíneos.

La circulación sanguínea en el ser humano es cerrada, ya que siempre circula por el interior de un extenso sistema de conductos: los vasos sanguíneos. Estos vasos son de tres tipos: Arterias, venas y capilares.

Las arterias son las que llevan la sangre que sale del corazón hacia las distintas partes del cuerpo.

Presentan una pared elástica y resistente, que les permite soportar la presión con la que la sangre sale del corazón. Al contraerse este, la sangre sale de golpe acumulándose en la arteria



que debido a ello se hincha. Las paredes de la arteria presionan a la sangre que no puede retroceder hacia el corazón porque unas válvulas, llamadas válvulas sigmoideas, se lo impiden, de modo que es empujada hacia delante, iniciándose así su recorrido. Si no fuese por esa presión la sangre no circularía.

Las venas transportan sangre desde los órganos hacia el corazón. Su pared es más fina y menos resistente que la de las arterias pues la sangre circula por ellas con menos presión.

En su interior presentan unas válvulas, llamadas válvulas venosas o semilunares que impiden el retroceso de la sangre.

Los capilares son vasos de grosor extremadamente fino (de ahí el nombre de capilares, dando a entender que son finos como cabellos).

Su pared está formada por una sola capa de células (llamada endotelio), que permite la filtración de los componentes de la sangre hacia las células y de los desechos de estas hacia la sangre. Todos los órganos poseen un sistema de capilares.

Las arterias, conforme se alejan del corazón, se van ramificando en otras más finas de modo que cuando llegan a los órganos ya son capilares. Estos se van uniendo dando lugar a vasos cada vez más gruesos, las venas, que devuelven la sangre al corazón.

Factores que influyen en el flujo sanguíneo.

El flujo sanguíneo depende directamente del gradiente de presión e inversamente de la resistencia del sistema al mismo. En el sistema cardiovascular, el flujo es igual al gasto cardíaco (ml/unidad de tiempo). El gradiente de presión es la diferencia entre la presión a la salida del ventrículo izquierdo y la aurícula derecha. La resistencia se calcula en las llamadas unidades de resistencia periférica (PRU). La resistencia de todo el aparato circulatorio es igual a 100 mmHg divididos entre el flujo (100 ml/s) o sea 1PRU.

Por lo que los factores que influyen en el flujo sanguíneo son los siguientes:

- La presión, dada por:

- Función miocárdica.
- Precarga y postcarga.
- Competencia valvular.
- Tono del vaso.
- Características del tejido.

- La resistencia, dada por:

- Viscosidad sanguínea.
- Estado metabólico.
- Longitud del vaso.
- Geometría del vaso: ramificación y estenosis.
- Características del vaso: impedancia elástica.

Ciclo cardíaco.

El funcionamiento eficiente del corazón requiere la contracción sincronizada de las células que constituyen el tejido muscular cardíaco para proporcionar un bombeo sanguíneo eficaz. La capacidad contráctil cardiaca está gobernada por un estímulo eléctrico que se origina en el propio corazón, y se propaga por todas las células del tejido cardíaco de forma progresiva y secuencialmente ordenada, activándolas eléctricamente. De forma casi simultánea, la activación eléctrica produce la contracción del músculo cardíaco. Alteraciones en la generación o conducción del estímulo eléctrico causan alteraciones en la contracción del tejido cardíaco que afectan en última instancia a la capacidad de bombeo del corazón, lo que da lugar a las distintas arritmias cardíacas. Así, el conocimiento de la actividad eléctrica cardíaca proporciona información detallada sobre el estado normal o anormal del corazón.

La actividad eléctrica del corazón tiene su origen en el movimiento de iones a través de la membrana excitable de sus células. Esta corriente iónica se transmite a las células vecinas a través de pequeños canales que comunican unas células con otras. Si este estímulo eléctrico es suficientemente intenso, las células vecinas se excitan, para posteriormente contraerse. Este proceso de excitación genera nuevas corrientes iónicas en las células recién activadas, que se transmiten a su vez a regiones adyacentes, iniciándose de esta forma ondas de excitación que se propagan por el tejido cardíaco, provocando su activación y contracción. En virtud de estas propiedades, el tejido cardíaco se constituye, por tanto, como un medio excitante, esto es, un sistema espacialmente distribuido en el que se transmite la información por medio de ondas que se propagan sin pérdidas.

Puede entenderse el ciclo cardíaco como el intervalo de tiempo comprendido entre dos latidos consecutivos, o como la secuencia de acontecimientos relacionados con la contracción y relajación repetida del corazón. Para llevar a cabo este procedimiento, el corazón está dotado de un sistema especializado de excitación y conducción, compuesto por los siguientes elementos:

Nodo SA. Es el origen del impulso eléctrico que despolariza el músculo cardíaco. El nodo sinoauricular (o nodo SA) es una pequeña cinta aplana y elíptica de músculo especializado, localizado en la parte anterosuperior de la aurícula derecha. Sus fibras conectan toda la región auricular, de forma que el impulso autogenerado se extiende inmediatamente a las aurículas, provocando su contracción.

Nodo AV. Localizado en la pared septal de la aurícula derecha, inmediatamente detrás de la válvula tricúspide, el nodo auriculoventricular (nodo AV) y sus fibras de conducción asociadas son responsables del retardo en la transmisión del impulso cardíaco de las aurículas a los ventrículos, lo cual permite que la sangre pase de las aurículas a los ventrículos antes de que comience la contracción de éstos. Este retardo total es de alrededor de 150 ms, aproximadamente una cuarta parte del cual se origina en las fibras de transición, pequeñas fibras que se conectan con las vías internodales auriculares con el nodo AV.

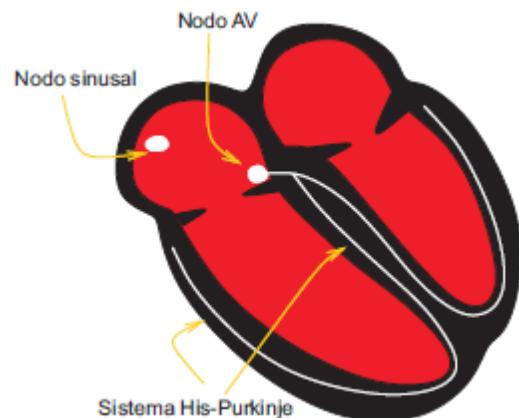
Sistema His-Purkinje. Es el sistema que conduce el impulso a lo largo de los ventrículos, para que así se contraigan al unísono. Sus fibras parten del nodo AV, siguiendo el haz de His, y penetran en los ventrículos. El haz de His se divide casi inmediatamente en dos ramas (la rama derecha y la rama izquierda), que se encuentra por debajo del endocardio. Cada una de estas ramas se extiende hacia abajo en dirección al ápex del ventrículo correspondiente, y se subdivide cada vez en ramas más pequeñas, hasta llegar a las fibras de Purkinje terminales. Desde el momento en que el impulso penetra en el haz de His, hasta que alcanza las terminaciones de las fibras de Purkinje transcurren aproximadamente 30 ms, por lo que el impulso cardíaco se difunde casi inmediatamente a toda la superficie endocárdica del músculo ventricular.

Origen de la señal cardíaca.

La autoexcitación es una propiedad característica de la mayor parte de las células cardíacas y consiste en la generación espontánea de impulsos eléctricos sin necesidad de estímulos externos. El origen del ciclo cardíaco está en la generación rítmica de impulsos eléctricos en el nodo SA, que recibe el nombre de marcapasos, desde el cual se propaga la excitación hacia el resto del miocardio.

Ritmidad cardíaca.

La ritmidad propia del corazón surge como consecuencia de un proceso de reexcitación, consistente en despolarizaciones repetitivas autoinducidas. Este proceso se articula en varios pasos:



Autoexcitación. Los iones de sodio tienden a difundirse hacia el interior de la membrana, resultando un flujo de cargas positivas que aumentan el potencial de membrana progresivamente. Cuando se alcanza el voltaje umbral, se abren los canales de sodio y calcio, iniciándose el potencial de acción.

Recuperación del potencial de reposo. Pocas milésimas de segundo después se inactivan las compuertas de los canales de sodio y calcio y se abren las del potasio, interrumpiendo el potencial de acción.

Hiperpolarización. Los canales de potasio se mantienen abiertos durante unas pocas décimas de segundo, lo que provoca que el voltaje interior de la membrana alcance valores muy negativos. Esta excesiva electronegatividad es conocida como hiperpolarización. Al mismo tiempo que la fibra cardíaca se encuentra hiperpolarizada comienza de nuevo el flujo entrante de iones de sodio, iniciándose así un nuevo ciclo.

Marcapasos del corazón.

Hay ocasiones en que el impulso originado en el nodo SA no alcanza al resto de las fibras cardíacas. En este caso, el corazón no detiene su actividad, y otra región asume el papel de marcapasos, aunque su ritmicidad no sea la misma que la del nodo SA. Normalmente, las regiones anatómicas del corazón que actúan como marcapasos adicionales son las fibras del haz de His y las fibras de Purkinje. En estas circunstancias se dice que el marcapasos del corazón se ha desplazado desde el nodo SA a un nuevo foco, que recibe el nombre de marcapasos ectópico.

Las fibras del haz de His, cuando no son estimuladas desde el exterior, descargan en un intervalo rítmico de 40 a 60 latidos por minuto, mientras que las fibras de Purkinje descargan con frecuencias entre 15 y 40 latidos por minuto. Estas frecuencias contrastan con la frecuencia normal del nodo SA, que es de 70 a 80 latidos por minuto. Es este hecho, la mayor frecuencia de generación de impulsos, el que hace que el nodo SA controle la ritmicidad del corazón. Cada vez que el nodo SA descarga su impulso, éste alcanza las fibras del nodo AV y las de Purkinje, despolarizando sus membranas excitables. A continuación, cuando todos estos tejidos se recuperan del potencial de acción, se encuentran hiperpolarizados, pero el nodo SA se recupera mucho antes que cualquiera de los otros dos y emite otro impulso antes de que ninguno de ellos haya alcanzado su umbral propio de autoexcitación. El nuevo impulso descarga nuevamente el nodo AV y las fibras de Purkinje. Este proceso se repetirá una y otra vez; salvo fallo, el nodo sinusal excitara constantemente estos otros tejidos potencialmente autoexcitables antes de que se produzca una auténtica autoexcitación de los mismos.

Como ya se indicó, el ciclo cardíaco son todos los eventos eléctricos y mecánicos que ocurren durante un período de contracción (sístole) y relajación del corazón. Ambos se refieren al ventrículo, porque es el que expulsa la sangre. Estos eventos incluyen la despolarización y repolarización del miocardio, la contracción (sístole) y la relajación (diástole) de las diferentes cavidades cardíacas, el cierre y apertura de válvulas asociado y la producción de ruidos concomitantes. Todo este proceso generalmente ocurre en menos de un segundo.

SÍSTOLE CARDÍACA: Comienza cuando se cierra la válvula auriculoventricular

- ▶ Período de contracción isovolumétrica
- ▶ Período de expulsión rápida
- ▶ Período de expulsión reducida

DIÁSTOLE CARDÍACA: comienza con el cierre válvula aórtica

- ▶ Relajación isovolumétrica:
- ▶ Período de lleno rápido
- ▶ Período de lleno lento o diástasis
- ▶ Sístole auricular (contracción de la aurícula): lo que ayuda al lleno, pero no es indispensable; el 80% del lleno se ha producido en las fases anteriores.

La válvula auriculoventricular se abre cuando la presión en la aurícula es superior a la del ventrículo y viceversa; lo mismo pasa con todas las válvulas. Las presiones en el ventrículo van de 0 a casi 120. Las presiones en las aurículas son bajas y con pocas diferencias. Las presiones en la aorta tienen variaciones, pero menores a las del ventrículo y son relativamente altas (de 80 a 120).

La presión máxima de la aorta se llama presión sistólica o máxima; durante la diástole baja la presión arterial, que llega a un mínimo llamada presión mínima o diastólica. Los valores normales son 80-120.

En la aurícula, la onda V se produce por el lleno de sangre de la aurícula; la onda C, por contracción del ventrículo, pues la válvula auriculoventricular proyecta hacia la aurícula. Lo que ocurre en el ventrículo derecho es igual al izquierdo, pero con presiones mucho menores.

Los ruidos cardíacos se producen por un cierre de las válvulas.

El período de diástole es más largo. La sístole dura 0,3 seg. y la diástole dura 0,5 seg., el lleno dura más que la expulsión. Cuando un individuo aumenta su frecuencia cardíaca, se empiezan a acortar estos períodos; se afecta más la diástole, porque se llena menos el ventrículo, con lo que hay menor fuerza de contracción y es menor el volumen expulsivo.

El período al final del lleno del ventrículo se llama volumen final de diástole (aprox. 140 ml) o volumen telediastólico. Toda la cantidad de sangre expulsada durante la sístole se llama volumen expulsivo o volumen sistólico (aprox. 70 ml). Por tanto, el corazón jamás queda vacío, queda con un volumen residual o volumen final de sístole, de aprox. 70 ml. El volumen residual es igual al final de diástole menos el expulsivo.

La presión venosa es muy parecida a la de la aurícula.

(La curva de presión/volumen da un área del trabajo cardíaco.)

GASTO CARDÍACO o débito cardíaco o volumen minuto cardíaco.

Es el volumen de sangre expulsado por el corazón en un minuto. Depende de la frecuencia cardíaca y del volumen expulsivo o sistólico:

$$GC = 70 \times 70 = 5 \text{ litros/minuto.}$$

No es constante, varía de acuerdo a las necesidades del organismo. Se puede aumentar aumentando la frecuencia o aumentando el volumen expulsivo (por mayor fuerza de contracción). El simpático aumentaba la frecuencia y aumenta la fuerza (volumen).

En el ejercicio el gasto cardíaco puede aumentar hasta a 30 litros por minuto. Hasta variaciones de 180 latidos por minuto se produce aumento de gasto cardíaco; cuando aumenta a más de 180 puede disminuir el gasto cardíaco, porque disminuye el ciclo cardíaco y el corazón se llena menos y se contrae menos (Starling).

El volumen expulsivo depende de la fuerza con que se contrae el corazón. La fuerza con que se contrae el corazón depende de la cantidad de sangre que llegue al ventrículo, por la relación tensión-longitud, es el volumen final de diástole o precarga. Al aumentar esta aumenta la tensión o el volumen expulsivo.

Otro factor que influye en la contracción del corazón es la disponibilidad de calcio; si hay más calcio, aumenta la fuerza del corazón; este factor se conoce como contractilidad, con efecto inótropo positivo y negativo.

La postcarga (carga contra la que tiene que trabajar el corazón, y un índice de eso es la presión en la aorta) también influye en la fuerza de contracción. Si en la aorta hay una presión media de 100 mmHg, al ventrículo le cuesta menos expulsar la sangre que cuando la aorta tiene una presión media de 150 mmHg. Si aumenta la postcarga, disminuye el volumen expulsivo.

La cantidad de sangre que le llega al corazón por unidad de tiempo se llama retorno venoso. En condiciones normales es igual al gasto cardíaco; esto se regula por la ley de Starling.

Función cardiaca

La función cardiaca está regulada por el sistema de conducción eléctrico que induce la despolarización y repolarización del tejido cardíaco, que a su vez produce la contracción de las cuatro cavidades cardíacas de forma coordinada. Esta contracción induce cambios de presión en las cuatro cavidades produciendo la apertura de las distintas válvulas cardíacas en determinados instantes de tiempo. Es un sistema complejo y altamente sincronizado en el que interviene la estimulación eléctrica, la función muscular cardíaca y el sistema valvular. El fallo de cualquiera de estos elementos produce disfunciones cardíacas de distinta naturaleza.

El sistema de conducción del corazón es el responsable de la estimulación del tejido cardíaco de forma regular produciendo los latidos cardíacos. Esta función es autónoma y no requiere la intervención directa del sistema nervioso central para la producción de su ritmo fundamental. El sistema de conducción está formado por un 1% de las fibras miocárdicas, que en el desarrollo embrionario, se convierten en células autorritmicas o autoexcitables. Estas células producen potenciales de acción espontáneos de forma continuada con una frecuencia característica. Los potenciales de acción cardíacos se propagan de forma rápida desde el nodo sinoauricular (SA) hasta el nodo auricoventricular (AV). Una vez llegado a este punto se produce una propagación lenta desde el AV hasta el haz de His que comunica eléctricamente las aurículas y los ventrículos y que está localizado en la parte superior del septo interventricular. A partir de aquí dos ramas propagan el potencial de acción hasta el ápex, desde donde es propagado muy rápidamente por las fibras de Purkinje a las diferentes partes de ambos ventrículos. El SA es el marcapaso del corazón y produce potenciales de acción a una frecuencia de 90 a 100 latidos/minuto. Todo este proceso produce periódicamente las siguientes fases: contracción auricular (o sístole auricular), contracción ventricular (o sístole ventricular), y un posterior periodo de relajación que corresponde con la repolarización de los ventrículos.

CAPÍTULO 8

BIOFÍSICA DE LAS MEMBRANAS

Membrana plasmática.

La membrana celular es la estructura fina que envuelve a la célula y separa el contenido de la célula de su entorno. Es la encargada de permitir o bloquear la entrada de sustancias a la célula. La membrana tiene doble capa de lípidos que contienen a las proteínas.

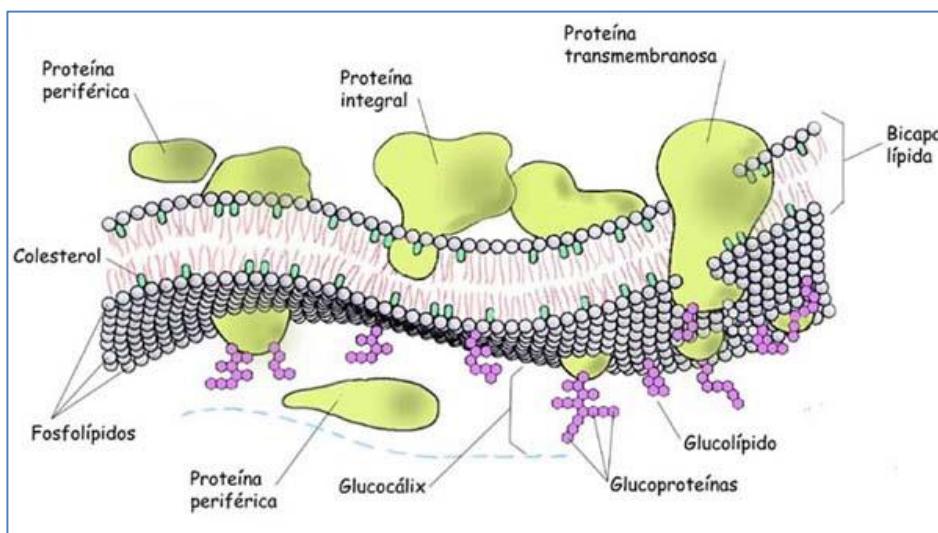
La membrana citoplasmática tiene un grosor de unos 75 Å (angstrom), vista al microscopio electrónico presenta entre dos capas oscuras una central más clara.

Muchas estructuras de la célula están formadas por membranas. Las membranas constituyen fronteras que permiten no sólo separar sino también poner en comunicación diferentes compartimentos en el interior de la célula y a la propia célula con el exterior. La membrana plasmática o citoplasmática es una estructura laminar que engloba a las células, define sus límites y contribuye a mantener el equilibrio entre el interior y el exterior celular.

Las membranas desempeñan un papel fundamental en la estructura y en la función de todas las células. Participa en una infinidad de procesos celulares creando así una barrera de permeabilidad selectiva para la mayoría de los solutos. Esta permeabilidad permite a la célula un intercambio de materia, energía e información con el medio extracelular. Además, en organismos eucariotas, los diferentes compartimentos celulares como son el núcleo, mitocondrias, cloroplastos, retículo plasmático y aparato de Golgi entre otros están igualmente delimitados por una membrana.

Estructura.

La estructura de todas las membranas biológicas es muy parecida. Las diferencias se establecen más bien al nivel de la función particular que tienen los distintos orgánulos formados por membranas; función que va a depender de la composición que tengan sus membranas. Este tipo de membranas se denomina, debido a esto, unidad de membrana o membrana unitaria.



Composición de la membrana.

En la composición química de la membrana intervienen diversas moléculas: lípidos, proteínas, colesterol y glúcidos principalmente. Los lípidos se encuentran dispuestos en forma de bicapa, mientras que las proteínas se disponen en forma irregular y asimétrica entre los mismos.

Estos componentes confieren un cierto grado de movilidad a la membrana dando lugar al modelo conocido como mosaico fluido.

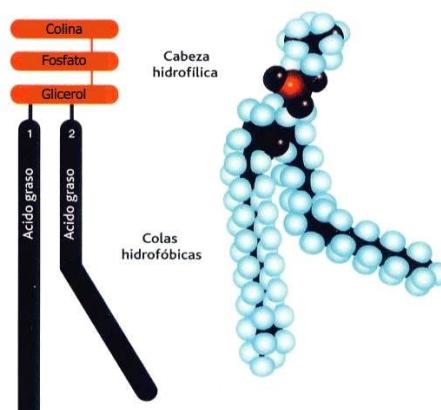
Fosfolípidos.

Cuando se observa la membrana plasmática a través de micrografías, es posible observar una estructura - densa - clara - densa. Básicamente, todas las células existentes parecen mostrar esta estructura de tres capas.

Los lípidos suponen aproximadamente el 50 % de la composición de la membrana plasmática en una gran mayoría de los seres vivos.

Los más importantes son los fosfolípidos, que se encuentran en todas las células, le siguen los glucolípidos, así como esteroides.

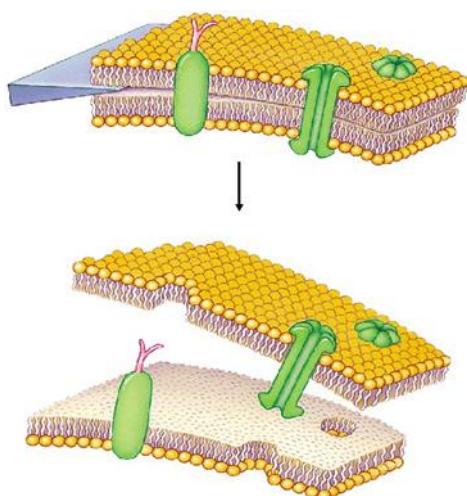
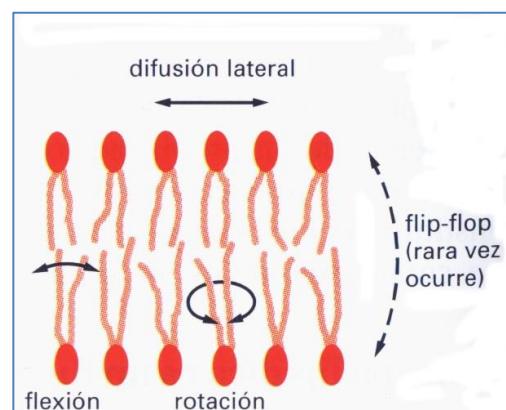
Estos últimos no existen o son escasísimos en las membranas plasmáticas de las células.



Los fosfolípidos poseen movilidad que son las siguientes:

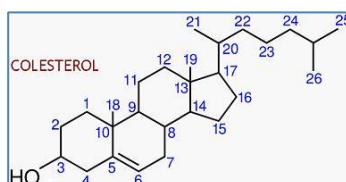
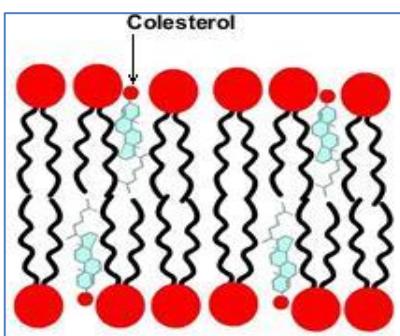
- Rotación: es como si girara la molécula en torno a su eje. Es muy frecuente y el responsable en parte de los otros movimientos.
- Difusión lateral: las moléculas se difunden de manera lateral dentro de la misma capa. Es el movimiento más frecuente.
- flip-flop: es el movimiento de la molécula lipídica de una monocapa a la otra gracias a unas enzimas llamadas flipasas. Es el movimiento menos frecuente, por ser energéticamente más desfavorable.
- Flexión: son los movimientos producidos por las colas hidrófobas de los fosfolípidos.

Los fosfolípidos al disponerse en bicapa, la separación de la bicapa produce una capa externa capa E y una capa interna capa P, en principio ambas capas están formadas por los mismos tipos de fosfolípidos sin embargo la abundancia de los mismos varía según la capa.



Los fosfolípidos son moléculas que poseen la cualidad de poseer dos regiones distintas respecto a sus propiedades, la cabeza del fosfolípido es de naturaleza Hidrófila (afín al agua) y se encuentra formada por una molécula de glicerol, un grupo fosfato y una sustancia nitrogenada. Esta estructura es de naturaleza polar por lo que resulta soluble en agua.

La otra región del fosfolípido se encuentra formada por dos cadenas de ácidos grasos y se representan como las "patas" de los fosfolípidos, esta región es más de naturaleza lipídica por lo que resulta insoluble en agua. Por tanto los fosfolípidos presentan la capacidad de tener dos regiones distintas en cuanto a su solubilidad. Característica que les permite al disponerse en una bicapa, representar una barrera química para el agua (y las sustancias solubles en ella).



Colesterol.

El nombre de «colesterol» procede del griego kole (bilis) y stereos (sólido), por haberse identificado por primera vez en los cálculos de la vesícula biliar por Chevreul quien le dio el nombre de «colesterina», término que solamente se conservó en el alemán (Cholesterin).

Es un lípido esteroide, constituida por cuatro anillos de carbono denominados A, B, C y D. En la molécula de colesterol se puede distinguir una cabeza polar constituida por el grupo hidroxilo y una cola o porción no polar formada por los anillos y los sustituyentes alifáticos unidos a estos.

En las membranas las moléculas de colesterol se encuentran intercaladas entre los fosfolípidos, y su función principal es la de regular la fluidez de la bicapa inmovilizando las colas hidrófobas próximas a la regiones polares.

El colesterol es un esterol que se encuentra en los tejidos corporales y en el plasma sanguíneo. Se presenta en altas concentraciones en el hígado, médula espinal, páncreas y cerebro.

Fórmula: C₂₇H₄₆O

Denominación de la IUPAC: (3β)-cholest-5-en-3-ol

Masa molar: 386,65 g/mol

Punto de fusión: 148 °C

Densidad: 1,05 g/cm³

Punto de ebullición: 360 °C

El hígado es el principal órgano productor de colesterol (10 % del total), siendo otros órganos importantes en la producción como el intestino, corteza suprarrenal, testículos y ovarios. La síntesis del colesterol se halla regulada sobre todo por la ingesta de colesterol en la dieta.

Proteínas.

Las proteínas de una membrana pueden asociarse a la bícapa lipídica de dos maneras: como proteínas periféricas en la superficie de la membrana o como proteínas integrales dentro de la bícapa lipídica.

Las proteínas periféricas suelen estar unidos a los grupos cargados (cabezas) de la bícapa lipídica por interacciones polares, electroestáticas o de ambos tipos. Se les puede separar con tratamientos suaves, como levar la fuerza iónica del medio. Las partículas cargadas que están presentes en cantidades relativamente altas en un medio de mayor fuerza iónica tienen más interacciones electroestáticas con los lípidos y las proteínas, de modo que "abrumen" las interacciones electroestáticas relativamente menos numerosas entre las proteínas y los lípidos.

Sus funciones son diversas. Casi todas, las funciones importantes de la membrana son las del componente proteínico. Las proteínas de transporte ayudan a pasar sustancias hacia el interior y el exterior de la célula, y las proteínas receptoras son importantes para la transferencia se señales extracelulares, como hormonas o neurotransmisores, hacia la célula.

Las proteínas de la membrana plasmática realizan funciones específicas (transporte, comunicación, uniones con otras células, etc.). Se puede realizar una primera clasificación con relación a los lípidos en:

1. Proteínas integrales: son aquellas que cruzan la membrana y aparecen a ambos lados de la bicapa. La mayor parte de estas proteínas son glicoproteínas (unidas a carbohidratos), en donde este carbohidrato de la molécula está siempre de cada al exterior de la célula
2. Proteínas periféricas: están no se extienden a lo ancho de la bicapa sino que están unidas a las superficies interna o externa de la misma y se separan fácilmente de la misma.

Las funciones que cumplen las proteínas de la membrana son las siguientes:

Como canales: son proteínas integrales (generalmente glicoproteínas) que actúan como poros por los que determinadas sustancias pueden entrar o salir de la célula

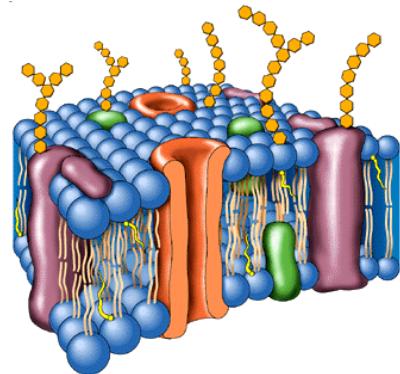
Como transportadoras: son proteínas que cambian de forma para dar paso a determinados productos.

Como receptores: Son proteínas integrales que reconocen determinadas moléculas a las que se unen o fijan. Estas proteínas pueden identificar una hormona, un neurotransmisor o un nutriente que sea importante para la función celular. La molécula que se une al receptor se llama ligando.

Como enzimas: estas pueden ser integrales o periféricas y sirven para catalizar reacciones a en la superficie de la membrana

Como anclajes del citoesqueleto: son proteínas periféricas que se encuentran en la parte del citosol de la membrana y que sirven para fijar los filamentos del citoesqueleto.

Como marcadores de la identidad de la célula: son glicoproteínas y glicolípidos características de cada individuo y que permiten identificar las células provenientes de otro organismo. Por ejemplo, las células sanguíneas tienen unos marcadores ABO que hacen que en una transfusión sólo sean compatibles con sangres del mismo tipo. Al estar hacia el exterior las cadenas de carbohidratos de glicoproteínas y glicolípidos forma una especie de cubierta denominada glicocalix.



Transporte de sustancias a través de la membrana plasmática.

La célula necesita sustancias para su metabolismo. Como consecuencia de éste se van a producir sustancias de desecho que la célula precisa eliminar. Así pues, a través de la membrana plasmática se va a dar un continuo transporte de sustancias en ambos sentidos. Según la dirección de este y el tipo de sustancia tendremos:

- Ingestión: Es la entrada en la célula de aquellas sustancias necesarias para su metabolismo.
- Excreción: Salida de los productos de desecho.
- Secreción: Si lo que sale no son productos de desecho sino sustancias destinadas a la exportación.

Los mecanismos de transporte a través de la membrana cumplen una función dinámica para mantener un medio interno tal que permita las reacciones bioquímicas necesarias para el mantenimiento de la vida. Una de las características principales de las membranas en este sentido es su permeabilidad selectiva.

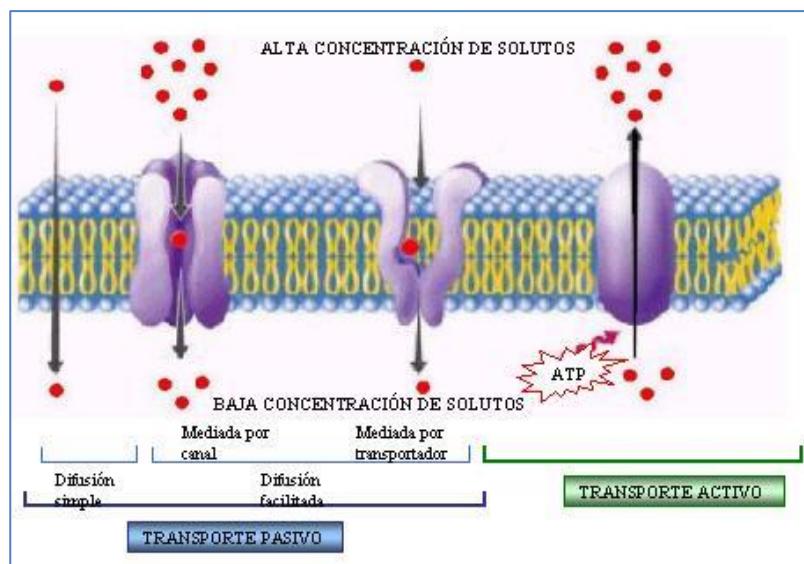
Transporte a través de la membrana.

Los mecanismos que permiten a las sustancias cruzar las membranas plasmáticas de las células son esenciales para la vida y la comunicación de las células.

Llamamos transporte celular al movimiento constante de sustancias en ambas direcciones, a través de la membrana.

Puede ser: Transporte pasivo y Transporte activo.

Transporte pasivo: es el movimiento de sustancias a través de la membrana celular que no requiere el uso de ningún tipo de energía, debido a que va a favor del gradiente de concentración o a favor de gradiente de carga eléctrica, es decir, de un lugar donde hay una gran concentración a uno donde hay menor. Es el intercambio de sustancias entre el interior y el exterior a través de la membrana celular o el movimiento de moléculas dentro de la célula. En sí, es el cambio de un medio de mayor concentración (medio hipertónico) a otro de menor concentración (un medio hipotónico).



Tipos de transporte pasivo:

Difusión.

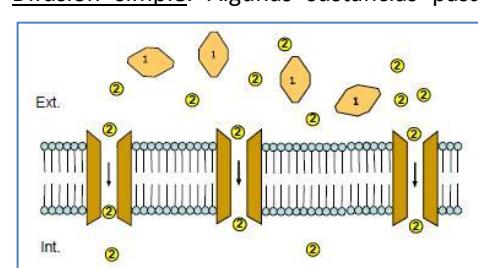
Es el movimiento libre de moléculas de soluto a través de la membrana, a favor del gradiente de concentración.

Factores que afectan la difusión a través de membranas.

A modo de resumen, se mencionan los siguientes:

- La permeabilidad de la propia membrana.
- La concentración del propio soluto al otro lado de la membrana.
- La diferencia de potenciales eléctricos entre uno y otro lado.
- La temperatura.
- La viscosidad del líquido en que se encuentra.
- La superficie de difusión.
- La magnitud del gradiente de concentración.

Difusión simple. Algunas sustancias pasan al interior o al exterior de las células a través de una membrana semipermeable, y se mueven dentro de éstas por difusión simple, siendo un proceso físico basado en el movimiento al azar. La difusión es el movimiento de átomos, moléculas o iones de una región de mayor concentración a una de menor concentración sin requerir gasto de energía. La difusión implica, no sólo el movimiento al azar de las partículas hasta lograr la homogénea distribución de las mismas sino también el homogéneo potencial químico del fluido, ya que de existir una membrana semipermeable que divida un fluido en dos de distintos potenciales químicos, se generará una presión osmótica desde el potencial químico mayor (ejemplo: solvente puro) hacia el menor (ejemplo: solvente y soluto) hasta que ambas particiones se equiparen o la presión hidrostática equilibre la presión osmótica.



Por lo que debemos entender es que las moléculas en solución están dotadas de energía cinética y, por tanto, tienen movimientos que se realizan al azar, y que la difusión consiste entonces, en la mezcla de estas moléculas debido a su energía cinética cuando existe un gradiente de concentración, es decir cuando en una parte de la solución la concentración de las moléculas es más elevada. La difusión tiene lugar hasta que la concentración se iguala en todas las partes y será tanto más rápida cuanto mayor sea energía cinética (que depende de la temperatura) y el gradiente de concentración y cuanto menor sea el tamaño de las moléculas.

Difusión facilitada. Proceso donde las moléculas pasan a través de la bicapa de fosfolípidos, con la ayuda de las proteínas de transporte. Estas proteínas canales pueden abrirse y cerrarse con el voltaje del ion, proveniente de un impulso del sistema nervioso, que pasa a través del axón.

Este canal permite el paso de moléculas más grandes que en el transporte activo ya que pasan a través de las proteínas atraídas por el ion que hace que entren en el citoplasma. Estas moléculas grandes suelen ser glucosa o aminoácidos. Sin embargo, debido a la naturaleza hidrófoba de los lípidos que componen las membranas de la célula sino fuera por la proteína de transporte las moléculas solubles en agua (glucosa, etc.) y los iones no podrían pasar a través de la membrana, ya que serían demasiado grandes. La proteína del transporte implicada es trans-membranal, es decir, atraviesa totalmente la membrana y está formada por un agujero en el medio que permite a las moléculas pasar a través de ella.

En comparación con transporte activo, la difusión facilitada no requiere energía (ATP) y además no va en contra del gradiente de concentración. La difusión facilitada puede ocurrir en poros y canales bloqueados. Los poros nunca se cierran, pero los canales bloqueados se abren y se cierran en respuesta a estímulos nerviosos. Las proteínas del transporte que participan en la difusión facilitada son similares a las enzimas. Las proteínas del transporte también tienen un límite de solutos que pueden transportar.

Ósmosis.

La ósmosis es un fenómeno físico relacionado con el movimiento de un solvente a través de una membrana semipermeable. Tal comportamiento supone una difusión simple a través de la membrana, sin "gasto de energía". La ósmosis del agua es un fenómeno biológico importante para el metabolismo celular de los seres vivos.

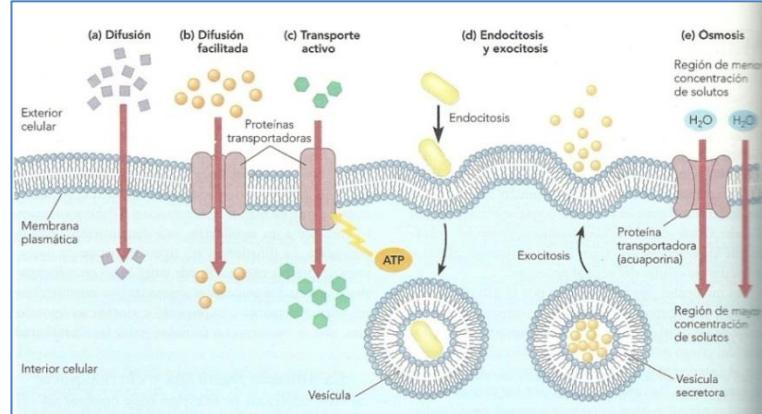
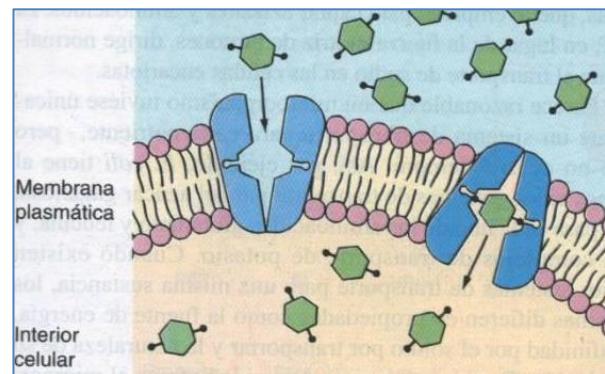
Se denomina membrana semipermeable a la que contiene poros o agujeros, al igual que cualquier filtro, de tamaño molecular. El tamaño de los poros es tan minúsculo que deja pasar las moléculas pequeñas pero no las grandes, normalmente del tamaño de micras. Por ejemplo, deja pasar las moléculas de agua, que son pequeñas, pero no las de azúcar, que son más grandes.

La presión osmótica puede definirse como la presión que se debe aplicar a una solución para detener el flujo neto de disolvente a través de una membrana semipermeable. La presión osmótica es una de las cuatro propiedades coligativas de las soluciones (dependen del número de partículas en disolución, sin importar su naturaleza). Se trata de una de las características principales a tener en cuenta en las relaciones de los líquidos que constituyen el medio interno de los seres vivos, ya que la membrana plasmática regula la entrada y salida de soluto al medio extracelular que la rodea, ejerciendo de barrera de control.

Cuando dos soluciones se ponen en contacto a través de una membrana semipermeable (membrana que deja pasar las moléculas de disolvente pero no las de los solutos), las moléculas de disolvente se difunden, pasando habitualmente desde la solución con menor concentración de solutos a la de mayor concentración. Este fenómeno recibe el nombre de ósmosis, palabra que deriva del griego osmos, que significa "impulso". Al suceder la ósmosis, se crea una diferencia de presión en ambos lados de la membrana semipermeable: la presión osmótica.

Comparación entre difusión y osmosis.

- Se denomina difusión simple al proceso por el cual se produce un flujo neto de moléculas a través de una membrana permeable sin que exista un aporte externo de energía. Este proceso, que en última instancia se encuentra determinado por una diferencia de concentración entre los dos medios separados por la membrana; no requiere de un aporte de energía debido a que su principal fuerza impulsora es el aumento de la entropía total del sistema.

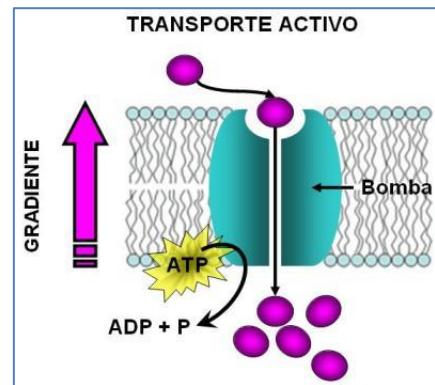


- La ósmosis es un fenómeno físico-químico relacionado con el comportamiento del agua —como solvente de una solución— ante una membrana semipermeable para el solvente (agua) pero no para los solutos.
- Tal comportamiento entraña una difusión simple transmembrana de agua, sin "gasto de energía". La ósmosis es un fenómeno biológico importante para la fisiología celular de los seres vivos.
- La difusión implica el movimiento al azar de moléculas individuales. La ósmosis es la difusión del agua a través de una membrana que permite el flujo de agua, pero inhibe el movimiento de la mayoría de solutos, se dice que esta membrana es selectivamente permeable. Las moléculas cruzan la membrana celular por difusión simple o son acarreados por proteínas que se encuentran atravesando la membrana.

Transporte activo: Las moléculas se mueven espontáneamente a través de la membrana en contra de un gradiente de concentración para partículas sin carga o en contra de un gradiente electro-químico para partículas cargadas. Este proceso requiere consumos de energía. Normalmente, las sustancias disueltas en forma de partículas con carga eléctrica llamadas iones tienden a difundirse o pasar pasivamente desde regiones de concentración alta a otras de concentración baja, de acuerdo con el gradiente de concentración. El transporte activo permite a la célula regular y controlar el movimiento de sustancias, transportándolas al interior o al exterior.

La célula utiliza transporte activo en tres situaciones:

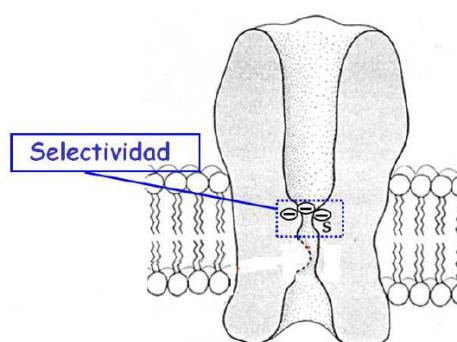
- Cuando una partícula va de punto bajo a la alta concentración.
- Cuando las partículas necesitan la ayuda que entra en la membrana porque son selectivamente impermeables.
- Cuando las partículas muy grandes incorporan y salen de la célula.



En la mayor parte de los casos este transporte activo se realiza a expensas de un gradiente de H^+ (potencial electroquímico de protones) previamente creado a ambos lados de la membrana, por procesos de respiración y por hidrólisis de ATP mediante ATP hidrolasas de membrana. El transporte activo varía la concentración intracelular y ello da lugar un nuevo movimiento osmótico de rebalanceo por hidratación.

Canales Iónicos.

Los canales iónicos son proteínas que atraviesan la membrana permitiendo el paso de iones a favor de su gradiente de potencial electroquímico. Estructuralmente, los canales conforman un poro que provee de un ambiente energéticamente favorable para que los iones los atraviesen. Están constituidos por regiones hidrofóbicas en contacto con las cadenas hidrocarbonadas de los lípidos, y por regiones hidrofílicas encerradas en el interior y protegidas del ambiente hidrofóbico, que interactúan con los iones, permitiendo así, el paso de los mismos de un lado al otro de la membrana. Estas regiones hidrofílicas conforman lo que se conoce como el poro del canal.



El poro de cada canal tiene, aunque no siempre, una secuencia de aminoácidos que selecciona el pasaje preferencial de un ión respecto de otro, en función de sus cargas y de la disposición espacial de los mismos. A estas regiones se las conoce como filtros de selectividad. Así, aquellos canales con filtros de selectividad conformados por aminoácidos cargados positivamente serán canales aniónicos, mientras que aquellos conformados por aminoácidos cargados negativamente serán canales catiónicos. A la vez, algunos canales catiónicos, permitirán el paso preferencial de un catión respecto de otro, lo que también se aplica para los canales aniónicos. Por ejemplo, los canales conocidos como canales de K^+ , permiten preferencialmente el paso del K^+ respecto de otros cationes como el Na^+ o el Ca^{2+} , y los canales de Cl^-

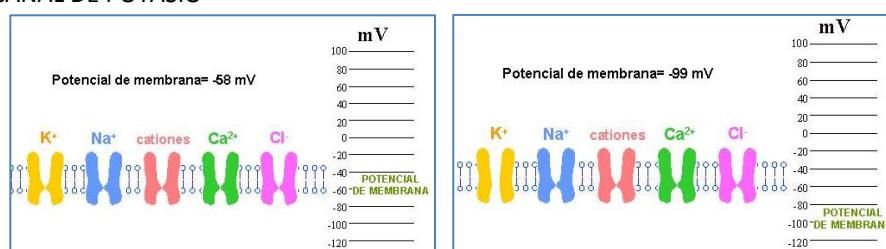
permiten el paso preferencial de este anión respecto de otros. A esta capacidad de seleccionar de modo preferencial el pasaje de un ión respecto de otro se lo conoce como permeabilidad selectiva o perm-selectividad iónica. Es de destacar que no existen canales exclusivos para un sólo ión, si bien algunos canales tienen una perm-selectividad tan alta para un ión respecto de otro, que se los puede considerar casi exclusivos. Sin embargo, existe una amplia variedad de canales que son no selectivos, es decir que son permeables a una gran variedad de iones (por ejemplo, existen canales catiónicos no selectivos que permiten el pasaje prácticamente idéntico de Na^+ y K^+).

Los canales se pueden encontrar:

- Cerrados: no permitiendo el paso de los iones, pero son susceptibles de ser abiertos en respuesta a un estímulo.
- Abiertos (o activados): permitiendo el paso de los iones.
- Inactivados: cerrados y no susceptible de abrirse en respuesta a un estímulo.

Normalmente, los canales están abiertos o cerrados. Pero algunas sustancias (generalmente toxinas o fármacos) se fijan de modo irreversible o reversible a los canales inactivándolos. Los canales iónicos se clasifican en canales iónicos operados por voltaje y canales iónicos operados por receptor, según sean modulados por cambios del voltaje de la membrana (potenciales de acción) o por la llegada de algún mensajero. En ambos casos, la forma del canal cambia para dejar pasar o impedir el paso de cada uno de los iones que controlan.

CANAL DE POTASIO

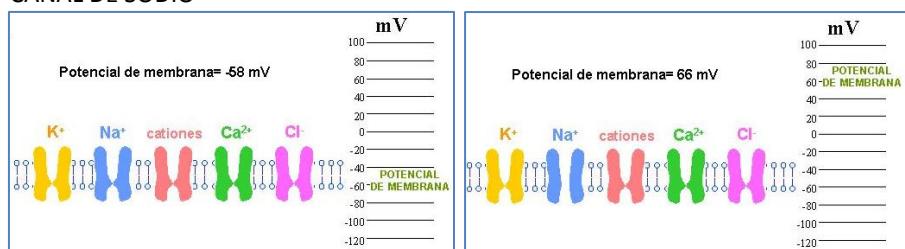


Tiende a salir por gradiente de concentración. Esto extrae cargas eléctricas positivas del interior de la célula, y deja el potencial de ésta más negativo. El potencial de equilibrio del potasio es de aproximadamente -100 mV, y cuando aumenta la permeabilidad a este ión el potencial de la membrana se acerca a este potencial de equilibrio.

Cuando se abre el canal de potasio el potencial de la membrana se hace más negativo (hiperpolarización).

El potasio está más concentrado en el interior de la célula, por ese motivo cuando se abren canales de potasio este ion

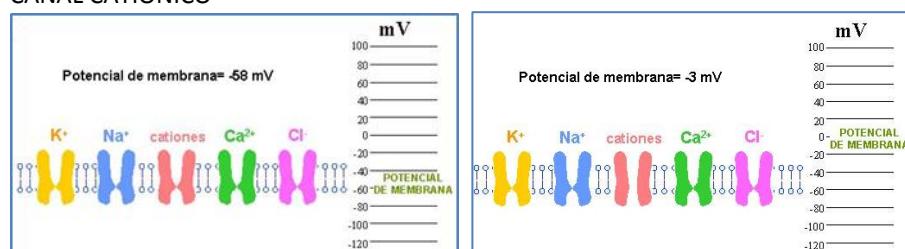
CANAL DE SODIO



La apertura del canal de sodio lleva el potencial de membrana a un valor muy positivo (+66 mV). El sodio tiende a entrar en la célula por gradiente de concentración y por atracción electrostática, con lo que introduce en la célula cargas

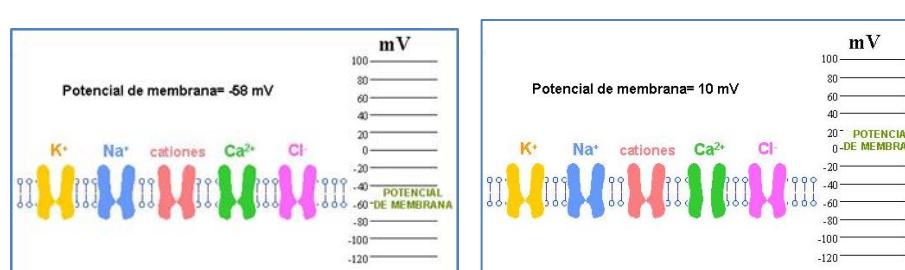
positivas y produce despolarización. Durante el potencial de acción, la apertura de los canales de sodio dependientes de voltaje hace que el potencial de la membrana se haga positivo (+30 mV), aunque en este caso queda algo más bajo que el potencial de equilibrio del sodio, porque los canales están abiertos durante un tiempo muy corto y no da tiempo a que se equilibren las cargas.

CANAL CATIÓNICO



En muchas células existen canales catiónicos inespecíficos, que permiten el paso de todos los iones positivos (sodio, potasio, calcio) y excluyen a los negativos. Estos canales también producen despolarización. Cuando se abren estos canales se produce al mismo tiempo entrada de sodio y salida de potasio, pero la entrada de sodio es mayor que la salida de potasio, y se produce una entrada neta de cargas positivas en la célula, lo que produce despolarización. Cuando se abren estos canales el potencial de la membrana tiende a 0 mV, que está aproximadamente en el punto medio entre el potencial de equilibrio del sodio y del potasio.

abren estos canales se produce al mismo tiempo entrada de sodio y salida de potasio, pero la entrada de sodio es mayor que la salida de potasio, y se produce una entrada neta de cargas positivas en la célula, lo que produce despolarización. Cuando se abren estos canales el potencial de la membrana tiende a 0 mV, que está aproximadamente en el punto medio entre el potencial de equilibrio del sodio y del potasio.

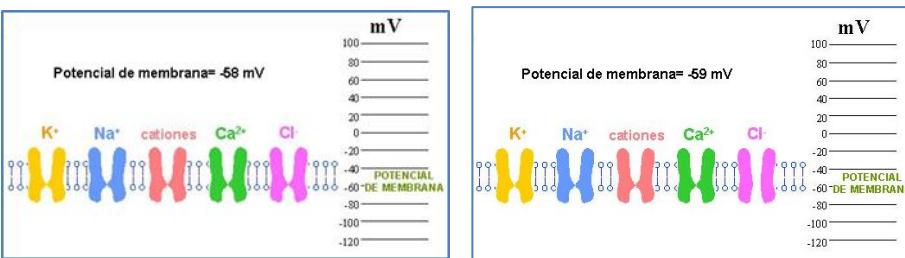


CANAL DE CALCIO

El calcio está más concentrado fuera de la célula que dentro,

por ese motivo este ión tiende a entrar en la célula, y los canales de calcio producen despolarización cuando se abren, lo mismo que sucedía con los canales de sodio. La despolarización que producen los canales de calcio es menos acentuada que la producida por los canales de sodio, porque la concentración extracelular de calcio (3 mM) no es tan grande como la concentración extracelular de sodio (145 mM). Estos canales de calcio, además de producir despolarización, hacen que aumente la concentración intracelular de calcio, lo que constituye una señal para la activación de muchas funciones celulares.

CANAL DE CLORO



La apertura del canal de cloro cambia muy poco el potencial de la membrana. Esto es debido a que el potencial de equilibrio del cloro está muy cerca del potencial de reposo. El cloro es un ión negativo, y el potencial negativo de la membrana tiende

a impedir la entrada en la célula de este ión. Esta fuerza electrostática se equilibra casi exactamente con el gradiente de concentración, que tiende a introducir cloro en la célula. Cuando se abren canales de cloro no se produce entrada ni salida neta de este ión y el potencial de membrana casi no se modifica. Sin embargo los canales de cloro tienen un importante efecto sobre el mecanismo de la transmisión sináptica. Cuando se activa al mismo tiempo el canal de cloro y el canal catiónico o el canal de sodio, la despolarización que se produce es menor que cuando el canal de cloro está cerrado. Durante la despolarización se produce la entrada en la célula de cargas negativas por el canal de cloro, lo que equilibra la entrada de cargas positivas (sodio) por el otro canal. Es decir, el canal de cloro atenúa el efecto excitador de otros canales.

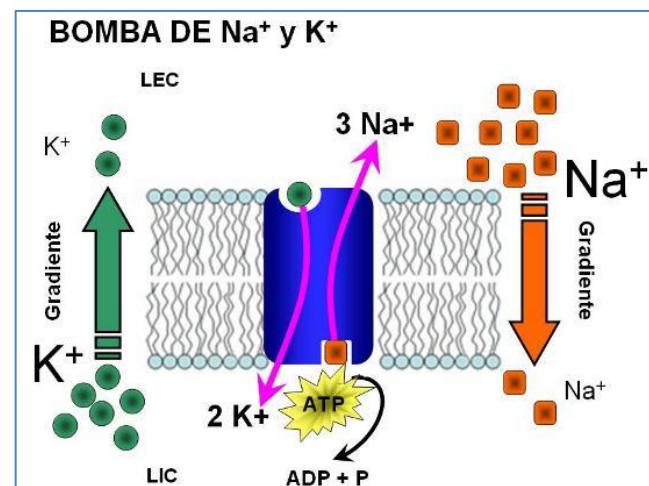
Por este motivo ciertos neurotransmisores inhibidores como el GABA o la glicina actúan activando canales de cloro en la membrana de las neuronas.

Existen varios transportes activo como pero la más mencionada es la Bomba de Sodio – Potasio.

Bomba de Sodio y Potasio. La bomba de sodio y potasio cumple un rol muy importante en la producción y transmisión de los impulsos nerviosos y en la contracción de las células musculares. El sodio tiene mayor concentración fuera de la célula y el potasio dentro de la misma. La proteína transmembrana “bombea” sodio expulsándolo fuera de la célula y lo propio hace con el potasio al interior de ella. Este mecanismo se produce en contra del gradiente de concentración gracias a la enzima ATPasa, que actúa sobre el ATP con el fin de obtener la energía necesaria para que las sustancias puedan atravesar la membrana celular.

Los procesos que tienen lugar en el transporte son:

- Unión de tres Na^+ a sus sitios activos.
- Fosforilación de la cara citoplasmática de la bomba que induce a un cambio de conformación en la proteína. Esta fosforilación se produce por la transferencia del grupo terminal del ATP a un residuo de ácido aspártico de la proteína.
- El cambio de conformación hace que el Na^+ sea liberado al exterior.
- Una vez liberado el Na^+ , se unen dos iones de K^+ a sus respectivos sitios de unión de la cara extracelular de las proteínas.
- La proteína se desfosforila produciéndose un cambio conformacional de ésta, lo que produce una transferencia de los iones de K^+ al citosol.



Las composiciones del líquido extracelular e intracelular son las siguientes:

Cuando el medio externo celular es hipotónico con respecto al medio interno, se produce entrada de agua hacia el interior de la célula, lo que ocasiona:

- Aumenta del volumen celular
- Disminución de la presión osmótica en el interior celular

Cuando el contenido celular es isotónico con respecto al medio externo, no se produce intercambio de agua entre ambos lados de la membrana. En la bomba sodio y potasio el ATP (adeninosin trifosfato) actúa como un transportador de intercambio antiporte (transferencia simultánea de dos solutos en diferentes direcciones) que hidroliza ATP (función ATPasa). Es una ATPasa de transporte tipo P, es decir, sufre fosforilaciones reversibles durante el proceso de transporte. Está formada por dos subunidades, alfa y beta, que forman un tetrámero integrado en la membrana. La subunidad alfa está compuesta por ocho segmentos transmembrana y en ella se encuentra el centro de unión del ATP que se localiza en el lado citósico de la membrana (Tiene un peso molecular de aproximadamente 100.000 daltons). También posee dos centros de unión al potasio extracelulares y tres centros de unión al sodio intracelulares que se encuentran accesibles para los iones en función de si la proteína está fosforilada.

La subunidad beta contiene una sola región helicoidal transmembrana y no parece ser esencial para el transporte ni para la actividad, aunque podría realizar la función de anclar el complejo proteico a la membrana lipídica.

Podemos observar en la tabla de arriba, que las concentraciones de sodio son mayores en el exterior, pero el potasio se encuentra en menores cantidades en relación a lo que se presenta en el interior. En el líquido extracelular hay igualmente una mayor cantidad de cloro mientras que el fosfato y proteínas son mayores en el interior. Estas diferencias son importantes para la transmisión de señales nerviosas que permiten activar la bomba de sodio-potasio.

	Líquido extracelular	Líquido intracelular
Sodio (Na ⁺)	142mEq/L	10 mEq/L
Potasio (K ⁺)	4mEq/L	140 mEq/L
Calcio (Ca ⁺⁺)	2.4mEq/L	0.0001 mEq/L
Magnesio (Mg ⁺⁺)	2mEq/L	58 mEq/L
Cloro (Cl ⁻)	103mEq/L	4 mEq/L
HCO ₃	8mEq/L	10 mEq/L
Fosfato	4mEq/L	75 mEq/L
SO ₄	1mEq/L	2 mEq/L
Glucosa	90mg/dl	0 a 20 mg/dl
Aminoácidos	30mg/dl	200 mg/dl??
Colesterol		
Fosfolípidos	0.5g/dl	2 a 95 g/dl
Grasa neutra		
PO ₂	35mm Hg	20 mm Hg??
PCO ₂	46mmHg	50 mm Hg??
pH	7.4	7.0
Proteínas	2g/dl (5mEq/L)	16g/dl (40 mEq/L)

Potencial de Membrana.

Es una diferencia de potencial, o de carga eléctrica, entre el interior y el exterior de todas las células del organismo.

Recordemos que los principales “transportadores” de carga en la conducción de corrientes eléctricas en los sistemas biológicos son los iones.

El Potencial de membrana es el resultado de una carga eléctrica distribuida irregularmente a través de la membrana.

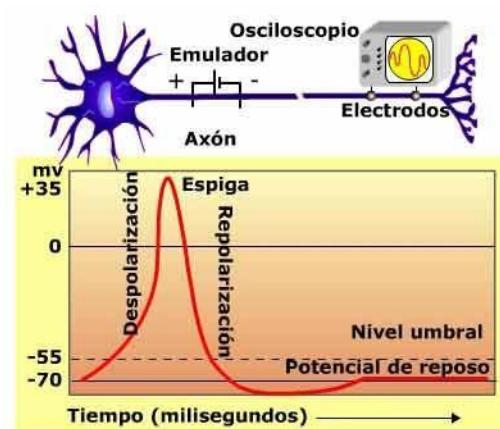
También debemos recordar que el potencial de membrana es de signo negativo: En el espacio intracelular la carga es negativa con respecto al espacio extracelular, mismo que se modifica en función del tipo celular.

¿Cómo se origina el potencial de membrana? Indicaremos que son cuatro “Actores” Principales:

- Permeabilidades selectivas: Canales iónicos.
- Concentraciones iónicas trans-membrana.
- Gradientes químico y eléctrico.
- Bombeo iónico.

La membrana celular está bañada tanto en su interior como en su exterior por líquidos salinos. Existe una alta concentración de:

- Potasio intracelular



Cuando el axón se depolariza hasta -55 mv
Aproximadamente, se inicia el potencial de acción.

- Sodio extracelular

Canales iónicos: la Membrana celular es una especie de "piel" (formada por fosfolípidos que "rechazan" al agua y a los iones solubles en ella) con "poros". Estos poros son proteínas específicas asociadas a la membrana que "abren" el camino a aquellas sustancias "no deseadas" por la membrana (iones y agua) de manera tal que puedan cruzarla.

Estos poros proteicos trans-membrana se denominan canales iónicos pasivos y son selectivos. La permeabilidad selectiva de la membrana se debe a la existencia de estos canales iónicos.

Debido a la gran cantidad de canales de K y a la baja cantidad de canales de Na, las células presentan una alta permeabilidad al Potasio y una baja permeabilidad al Sodio.

¡La permeabilidad de la membrana al K es 40 veces superior a la del Na!

El Potencial de membrana está "ordenado" por cambios de la concentración trans-membrana del ión más permeable:

¡El Potencial de membrana en reposo es un potencial del POTASIO!

Una de las consecuencias de la alta permeabilidad de la membrana al K es que el potencial de membrana es muy sensible a cambios en la concentración extracelular del K.

Gradientes químico-eléctricos: Los iones (partículas con carga eléctrica) están en un movimiento constante en el agua. Este movimiento aumenta desde las regiones de mayor concentración a las de menor concentración del ión. Cada ión está impulsado por una fuerza de gradiente de concentración (o químico) en un sentido y por una fuerza eléctrica en el sentido inverso.

Por ejemplo el Potasio (que tiene una alta concentración intracelular y una baja concentración extracelular) tiende a salir de la célula hacia el exterior por una gradiente de concentración (o químico).

Pero a medida que el potasio se acumula en el líquido extracelular se genera un campo eléctrico positivo que comienza a rechazarlo hacia el interior de la célula por un gradiente eléctrico.

Llegará un momento en que ambos gradientes se equilibrarán entre sí y la cantidad de K que sale (por gradiente de concentración) será igual a la cantidad que entra (por gradiente eléctrico). A este momento (que sólo ocurre teóricamente) se lo denomina Potencial de Equilibrio (PE) del K. El potencial de equilibrio es un estado (para cada ión) en el cual las fuerzas de los gradientes químico y eléctrico son iguales y opuestas por lo que el movimiento neto del ión se interrumpe.

Bombeo iónico: El Na y el K son activamente distribuidos a ambos lados de la membrana por efecto de las Bombas de Na/K. Estas bombas son Proteínas de la Membrana que gastan ATP (ATPasas) para el transporte activo de iones.

Las Bombas "exportan" Na e "importan" K (en contra de sus gradientes de concentración) a la célula. De esta manera mantienen los gradientes de concentración del Na y del K "garantizando" una alta concentración intracelular de K y una alta concentración extracelular de Na.

El potencial de membrana en reposo sería el resultado de:

La acción de los canales iónicos, por los cuales tienden a salir de la célula los iones de K y a entrar los iones de Na sin ningún gasto de energía.

Como también de la acción de las bombas que transportan contra gradiente, con gasto de energía, al K hacia el interior de la célula y al Na hacia el exterior. El resultado final genera una diferencia de potencial entre el interior y el exterior de la célula que se denomina potencial de membrana.

Esta diferencia de potencial se basa en una distribución de iones trans-membrana asimétrica que es el requisito indispensable para la generación de señales bioeléctricas.

En resumen y tomando como ejemplo una célula de neuronal, mientras no esté enviando una señal, se dice que está en "reposo". Al estar en reposo, su interior es negativo con relación al exterior. Aunque las concentraciones de los diferentes iones tratan de balancearse a ambos lados de la membrana, no lo logran debido a que la membrana celular sólo deja pasar algunos iones a través de sus canales (canales iónicos). En el estado de reposo, los iones de potasio (K^+) pueden atravesar fácilmente la membrana, mientras que para los iones de cloro (Cl^-) y de sodio (Na^+) es más difícil pasar. Las moléculas proteicas, cargadas negativamente (A^-), en el interior de la neurona no pueden atravesar la membrana. Además de estos canales selectivos, existe una bomba que utiliza energía para sacar 3 iones de sodio por cada 2 iones de potasio que bombea al interior de la neurona. Finalmente, cuando estas fuerzas se balancean, y se mide la diferencia entre el voltaje del interior y el del exterior de la célula, se obtiene el potencial de reposo. El potencial de la membrana en reposo de una neurona es de aproximadamente -70 mV (mV=milivoltio), es decir que el interior de la neurona tiene 70 mV menos que el exterior. En el estado de reposo hay relativamente más iones de sodio en el exterior de la neurona, y más iones de potasio en su interior.

Potencial de Acción.

El potencial de acción es una explosión de actividad eléctrica creada por una corriente despolarizadora. Esto significa que un evento (estímulo) hace que el potencial de reposo llegue a 0 mV. Cuando la despolarización alcanza cerca de -55 mV se produce un potencial de acción. Este es el umbral. Si no se alcanza este umbral crítico, no se producirá el potencial de acción. De igual forma, cuando se alcanza el umbral siempre se produce un potencial de acción estándar. No existen potenciales grandes o pequeños, todos los potenciales son iguales. Por lo tanto, si no se alcanza el umbral o se produce un potencial de acción completo; este es el principio del "TODO O NADA".

La "causa" del potencial de acción es el intercambio de iones a través de la membrana celular. Primero, un estímulo abre los canales de sodio. Dado que hay algunos iones de sodio en el exterior, y el interior de la neurona es negativo con relación al exterior, los iones de sodio entran rápidamente. Recuerde que el sodio tiene una carga positiva, así que la célula (ejemplo: neurona) se vuelve más positiva y empieza a despolarizarse. Los canales de potasio demoran un poco más en abrirse; una vez abiertos el potasio sale rápidamente de la célula, revirtiendo la despolarización. Más o menos en este momento, los canales de sodio empiezan a cerrarse, logrando que el potencial de acción vuelva a -70 mV (repolarización).

En realidad el potencial de acción va más allá de -70 mV (hiperpolarización), debido a que los canales de potasio se quedan abiertos un poco más. Gradualmente las concentraciones de iones regresan a los niveles de reposo y la célula vuelve a -70 mV.

Todas las células poseen potencial de reposo pero no todas son capaces de generar un potencial de acción. Las células excitables que generan potenciales de acción son:

- •Neuronas. Células nerviosas.
- •Células musculares. Músculo liso (vísceras internas, útero, uréteres e intestino), músculo estriado (músculo esquelético y del corazón).
- •Células sensoriales. Preceptores de la vista y del oído.
- •Células secretoras. Glándulas salivares, parótida.
- •Células relacionadas con el sistema Endocrino. Adenohipófisis, islote de Langerhans (insulina)

El hepatocito no requiere de un potencial de acción. Las células las podemos estimular de forma:

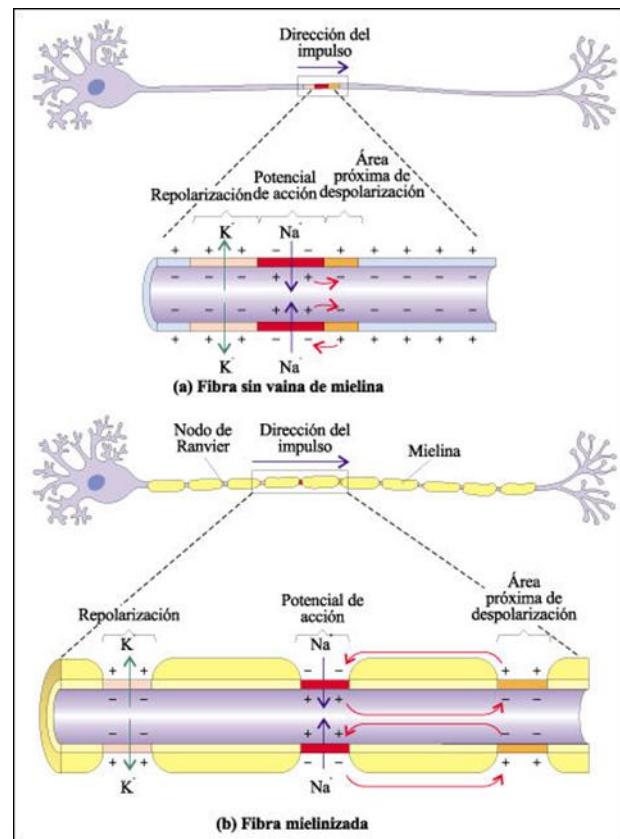
- •Mecánica. Punzón
- •Química. Con un neurotransmisor
- •Eléctrica. Es la más parecida a la fisiología y mide exactamente la intensidad del estímulo que estamos aplicando a esa célula.

El potencial de acción de la fibra nerviosa dura de alrededor de unos 2 msg, en la fibra muscular esquelética también son excitables, es similar al potencial reacción pero tienen mayor amplitud 5 msg.

El potencial de acción en la fibra muscular cardiaca tiene características distintas, posee una gran meseta y su amplitud es mucho mayor 200 msg.

Propagación del potencial de acción. El potencial de acción se auto propaga en su pico, cuando el interior de la membrana en la región activa es comparativamente positivo, los iones cargados positivamente se mueven desde esta región al área adyacente (ejemplo: dentro del axón), que todavía es comparativamente negativa., la cual comienza a hacerse menos negativa. Como resultado, el área adyacente se despolariza o, sea, se hace menos negativa. Esta despolarización abre los canales de Na^+ activos y regulados por voltaje, que permiten que los iones Na^+ entren precipitadamente.

El incremento resultante en la concentración interna de iones Na^+ despolariza la siguiente área contigua de la membrana, haciendo que sus canales iónicos de Na^+ se abran y permitan que el proceso se repita. Como consecuencia



de este proceso de renovación, que se repite a lo largo de toda la membrana, ejemplo, el axón -un conductor muy pobre de la corriente eléctrica- es capaz de conducir un impulso nervioso a una distancia considerable sin que cambie en absoluto la intensidad. El impulso nervioso se mueve en una sola dirección porque el segmento del axón situado "detrás" del sitio donde se produjo el potencial de acción tiene un período refractario breve durante el cual sus canales iónicos de Na^+ no se abrirán; así, el potencial de acción no puede retroceder.

Normalmente es unidireccional ya que el segmento situado detrás del potencial de acción nuevo, se encuentra en un período refractario absoluto lo que le impide retroceder.

El potencial de acción responde a la ley de todo o nada, el potencial para que tenga lugar necesita de un estímulo líminal -estímulo umbral- (estímulo cuya intensidad es suficiente como para provocar una respuesta) que llegue al punto crítico donde se dispara de esa célula.

- Despolarización lenta. -70 mV hasta -55 mV
- Despolarización rápida. -55 mV hasta +35 mV.
- Repolarización rápida. +35 mV 2/3 del descenso
- Repolarización lenta (hasta -70 mV)
- Hiperpolarización. -70 mV hasta -75 mV.

Características del potencial de acción.

- a. Umbral de Excitación: Este concepto se refiere a la intensidad mínima que debe tener un estímulo para ser capaz de generar un potencial de acción. De acuerdo a esto existen 3 clases de estímulos según su intensidad:
 - Estímulo Umbral, es aquel que tiene la intensidad mínima necesaria para generar un potencial de acción.
 - Estímulo Subumbral, tiene una intensidad inferior al mínimo necesario para generar un potencial de acción.
 - Estímulo Supraumbral, tiene una intensidad mayor al mínimo necesario y también es capaz de generar potencial de acción.

El umbral de excitación está en relación al potencial de reposo de la célula (ejemplo: neurona), así un estímulo umbral para vencer un potencial de -70 mV va a ser subumbral para otra neurona que tiene un potencial de -80 mV.

La hiperpolarización implica aumentar el umbral de excitación por lo que se hace más difícil de estimular.

- b. Ley del todo o nada: Una vez desencadenado un potencial de acción en cualquier punto de la membrana el proceso de despolarización viaja por toda la membrana siempre y cuando, las condiciones sean las adecuadas, o simplemente, no se hace en absoluto. Una vez que se genera este potencial de acción tiene la misma duración y amplitud que si se inicia por un estímulo umbral o supraumbral. Es decir no por aumentar la intensidad del estímulo aumenta también el potencial de acción.
- c. Conducción del Impulso: En las neuronas que carecen de vaina de mielina se habla de una conducción continua porque el potencial de acción va despolarizando toda la membrana neuronal. Sin embargo, las neuronas con vaina de mielina presentan una conducción saltatoria. Esto se produce porque la vaina se comporta como un excelente aislante que reduce el flujo de iones a través de la membrana en unas 5000 veces. Los iones sólo pueden fluir a través de los nódulos de Ranvier y por tanto los potenciales se pueden producir sólo en los nódulos. La conducción saltatoria tiene valor por 2 razones: al hacer que la despolarización se conduzca entre nódulos el potencial de acción se hace más rápido, entre 5 y 50 veces. En segundo lugar ahorra energía a la neurona, porque sólo se despolarizan los nódulos.

Factores que afectan la Conducción del impulso nervioso: Si bien es cierto que el potencial de acción obedece a la ley de Todo o Nada, la velocidad de transmisión, de las fibras nerviosas es variable pero independiente de la fuerza del estímulo, La velocidad del impulso nervioso se determinada por los siguientes factores:

- Presencia de Vaina de Mielina: hace más rápido el potencial de acción. Las fibras amielínicas conducen a 0,25 m/seg y las mielínicas hasta 100 m/seg.
- Diámetro del Axón: a mayor diámetro mayor es la velocidad de conducción.
- Temperatura: cuando las fibras nerviosas están a mayor temperatura conducen el impulso nervioso a mayor velocidad, cuando están frías conducen el impulso a velocidad inferior.

CAPÍTULO 9

BIOFÍSICA DE LA ELECTRICIDAD



La palabra electricidad tiene su origen etimológico en el término griego elektron que se traduce como "ámbar" por el científico inglés William Gilbert quien en el siglo XVI habló de "eléctrico" para mencionar los fenómenos de cargas de atracción que descubrieron ya los griegos. La electricidad es una propiedad física manifestada a través de la atracción o del rechazo que ejercen entre sí las distintas partes de la materia. El origen de esta propiedad se encuentra en la presencia de componentes con carga negativa (electrones) y otros con carga positiva (protones).

Por otra parte, es el nombre que recibe una clase de energía que se basa en dicha propiedad física y que se manifiesta tanto en movimiento (corriente) como en estado de reposo (estática).

Como fuente energética, la electricidad puede usarse para la iluminación o para producir calor, como ejemplos. En la

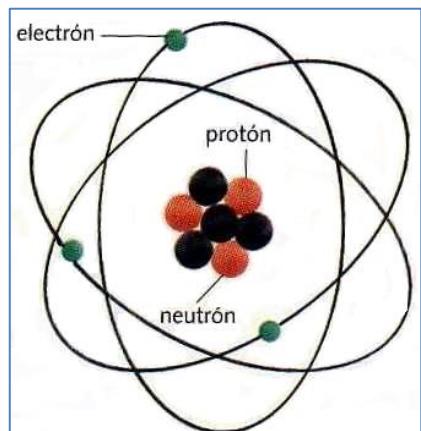
naturaleza se produce esta energía en las tormentas, cuando la transferencia energética que se produce entre una parte de la atmósfera y la superficie del planeta provocando una descarga de electricidad en forma de rayo. La electricidad natural también se halla en el funcionamiento biológico y permite el desarrollo y la actividad del sistema nervioso.

Más allá de estos fenómenos naturales, el ser humano se ha dedicado a generar electricidad para poner en marcha todo tipo de máquinas, artefactos y sistemas de transporte.

Hoy la electricidad es fundamental pues gracias a la misma se llevan a cabo un sinfín de tareas y se tiene la posibilidad de disfrutar de aplicaciones que facilitan y hacen mejor la calidad de vida. Así, se tiene iluminación y posibilidades de hacer uso de una serie de dispositivos tales como lavadoras, frigoríficos, televisores, ordenadores o sistemas de aire acondicionado, etc.

Está claro que la electricidad se ha convertido en un elemento indispensable en este sentido y ello ha traído consigo graves consecuencias. En concreto, nos referimos al hecho de que la necesidad que tenemos de la misma para desarrollar nuestro día a día ha supuesto que la misma se tenga que producir masivamente para satisfacer la demanda que existe en todo el mundo. Un hecho que perjudica notablemente el medio ambiente.

Todo lo que existe en el mundo está formado por partículas invisibles, llamadas átomos. Estos átomos están formados a su vez por partículas aún más pequeñas llamadas electrones, protones y neutrones. Son los electrones los que proporcionan lo que llamamos electricidad. Para la electricidad no disponemos de un órgano sensorial especial. Es una forma de energía, como la mecánica o la calorífica, y se percibe en las transformaciones energéticas.



Historia de la electricidad.

Para poder comprender mejor la electricidad, es necesario conocer la historia de cómo fue descubierta por algunos científicos hace ya miles de años, para ello, recomiendo dar una lectura al anexo "electricidad".

Son muchos los avances que en materia de electricidad se han realizado hasta el momento, así como de sus posteriores aplicaciones en otras tecnologías. Pero lo que no sería exagerado es que se dijera que la civilización actual volvería a un estado casi primitivo de no existir la comprensión y la aplicación de esta forma de energía. Imaginemos nuestra propia vida sin electricidad. No habría luz eléctrica, ni teléfono; en las comunicaciones no existiría ningún aparato que no fuera la imprenta, es decir, no habría la televisión, los teléfonos celulares, las comunicaciones por microondas, Internet, cine, etc.; si no habrían automóviles, mucho menos aviones, submarinos como los conocemos hoy. La medicina retrocedería a sus orígenes, sin rayos X, resonancia magnética, ecografías, cirugías por láser, etc. El mundo de la alimentación sufriría un gran ataque sin la refrigeración. Sin satélites de comunicación ni computadoras,

la meteorología sería incapaz de predecir huracanes o fenómenos naturales. Si no hay automóviles, tampoco habría máquinas de construcción. ¿Habrá edificios, puentes, túneles? Tal vez los hubiese pero muy pocos.

La electricidad se ha convertido en el tipo de energía que tiene el más amplio consumo en el mundo ya que se puede transportar, regular y controlar con más facilidad que cualquier otra forma de energía y además sus aplicaciones son múltiples y variadas.

La energía eléctrica ha llegado a ser tan indispensable que tiene influencia directa en la vida moderna. Sin la ayuda de la electricidad se puede decir que la vida sería casi imposible, no sólo en las ciudades grandes, sino también en comunidades más pequeñas porque sus habitantes necesitan electricidad para la iluminación, el transporte, el trabajo, en el hogar, etc.

La electricidad es un poderoso auxiliar de la medicina por sus grandes aplicaciones, mismas que se mencionan a continuación:

- Los rayos X que permiten realizar radioscopias y radiologías para observar y fotografiar los órganos internos.
- La producción de rayos infrarrojos y ultravioletas utilizados en la terapéutica.
- Los electrocardiogramas que registran los movimientos del corazón.
- El microscopio electrónico que permite estudiar mejor los microorganismos productores de enfermedades.
- Los electroencefalogramas que registran las tensiones encefálicas.

Electrostática.

La electrostática es el estudio de los efectos de las cargas eléctricas en reposo y de los campos eléctricos que no cambian con el tiempo. Aunque es la más simple de las situaciones del electromagnetismo, es fundamental para comprender los modelos electromagnéticos más complicados. La explicación de muchos fenómenos naturales (como los relámpagos) y los principios de varias aplicaciones industriales (como los osciloscopios, las impresoras de chorro de tinta...) se basan en la electrostática.

Cuando un cuerpo posee igual número de electrones y de protones, se dice que es eléctricamente neutro. Cuando dos cuerpos se frotan entre sí, una cantidad de electrones de un cuerpo pasa al otro. El cuerpo que pierde electrones queda cargado positivamente, ya que queda con exceso de protones, y el que recibe queda cargado negativamente.

Existe un principio de conservación de la carga eléctrica, estas cargas no se crean ni desaparecen, sino que solamente se pueden trasladar de un cuerpo a otro o de un lugar a otro en el interior del cuerpo dado.

La electricidad estática es un fenómeno que se debe a una acumulación de cargas eléctricas en un objeto. Esta acumulación puede dar lugar a una descarga eléctrica cuando dicho objeto se pone en contacto con otro.

La electricidad estática se produce cuando ciertos materiales se frotan uno contra el otro, como lana contra plástico o las suelas de zapatos contra la alfombra, donde el proceso de frotamiento causa que se retiren los electrones de la superficie de un material y se reubiquen en la superficie del otro material que ofrece niveles energéticos más favorables, o cuando partículas ionizadas se depositan en un material, como por ejemplo, ocurre en los satélites al recibir el flujo del viento solar y de los cinturones de radiación de Van Allen.

La electricidad estática se utiliza comúnmente en la xerografía, en filtros de aire, y algunas pinturas de automoción. Los pequeños componentes de los circuitos eléctricos pueden dañarse fácilmente con la electricidad estática. Los fabricantes usan una serie de dispositivos antiestáticos para evitar los daños.

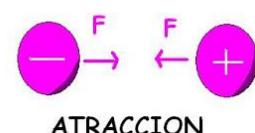
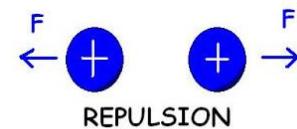
Principios de la electrostática:

- a. Todos los cuerpos se electrizan por frotamiento bajo determinadas circunstancias. Por ejemplo, vidrio con seda; el vidrio cede electrones; a esta electricidad se le llama vítreo o positiva; la seda gana electrones, a esta electricidad se le denomina resinoso o negativa.
- b. Cuando se frotan dos cuerpos, se electrizan simultáneamente con cantidades de electricidad contrarias y equivalentes.
- c. Cuando la electricidad se desplaza fácilmente a través de la masa de un cuerpo, se dice que ese cuerpo es conductor (metales, el cuerpo humano, el aire húmedo, etc.); cuando se electrizan fácilmente, impidiendo el desplazamiento de electricidad a través de él, se dice que es aislador o dieléctrico (porcelana, vidrio, goma, madera seca, etc.).

Acciones entre cargas eléctricas

1º Cuerpos cargados con electricidad del mismo signo, se repelen.

2º Cuerpos cargados con electricidad de signo contrario, se atraen.



Fuerza.

Existe una acción recíproca entre las cargas debido a que cada uno crea en el espacio que lo rodea un campo electrostático, y éste actúa sobre la carga con una fuerza determinada. El físico francés Charles Coulomb, a finales del siglo XVIII, hizo un estudio cuantitativo sobre dichas fuerzas. Después de varios experimentos llegó al enunciado denominado Ley de Coulomb:

"La fuerza (F) de atracción o repulsión entre dos cargas eléctricas puntuales es directamente proporcional al producto de las magnitudes de las cargas q₁ y q₂ e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia (d) entre ellas, y dirigida a lo largo de la línea que une a estas cargas".

Matemáticamente:

$$F = k \frac{q_1 \cdot q_2}{d^2}$$

La fuerza F es mayor cuanto mayores sean las cargas q₁ o q₂ y disminuye cuando la separación (d) entre ellas aumenta.

k es una constante de proporcionalidad, cuyo valor depende del medio en el cual se encuentran las cargas y del sistema de unidades escogido, k se denomina constante electrostática o dieléctrica de cada sustancia.

F está expresada en Newton.

d está en metros

q

Carga eléctrica.

La carga eléctrica es una magnitud física característica de los fenómenos eléctricos, es una propiedad de todos los cuerpos, cualquier trozo de material puede adquirir carga eléctrica.

Conocemos que toda materia está formada por átomos, que a su vez están constituidos por un núcleo y una corteza (órbitas) En el núcleo se encuentra muy firmemente unidos los protones y los neutrones. Los protones tienen carga positiva y los neutrones no tienen carga. Alrededor del núcleo se encuentran las órbitas donde se encuentran girando sobre ellas los electrones, estos tienen carga negativa. Normalmente, todos los objetos que nos rodean se encuentran eléctricamente neutros, debido a que se hallan en equilibrio estas cargas.

Ambas cargas, la de los protones (positivos) y la de los electrones (negativas) son iguales, aunque de signo contrario.

Por lo tanto, se dice que la carga eléctrica elemental, es la del electrón. El electrón es la partícula elemental que lleva la menor carga eléctrica negativa que se puede aislar. Como la carga de un electrón resulta extremadamente pequeña se toma en el S.I. (Sistema Internacional) para la unidad de Carga eléctrica el Coulomb que equivale a $6,24 \times 10^{18}$ electrones, y la carga del electrón es $1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$ (Coulomb).

Corriente eléctrica.

La corriente eléctrica es el movimiento ordenado de cargas. Al cerrarse el circuito eléctrico, el exceso de electrones que hay en el polo negativo de la fuente de tensión trata de compensarse dirigiéndose al polo positivo. A los portadores de carga (electrones) en movimiento a través del conductor eléctrico se les denomina corriente eléctrica. El sentido de la corriente es el movimiento desde el polo positivo al polo negativo.

La corriente eléctrica como hemos visto, es el movimiento de electrones a través de un conductor. Los primeros científicos que estudiaron la electricidad pensaron que lo que se trasladaba no eran los electrones (cargas negativas), si no los protones (cargas positivas), y por esta razón creyeron que el sentido de la corriente era del polo positivo al negativo.

Como conclusión cabe destacar que existen dos sentidos diferentes de corriente:

- Partiendo del polo positivo hacia el negativo, que es el sentido convencional de la corriente.
- Partiendo del polo negativo hacia el positivo, que es el sentido real de la corriente.

Ambos sentidos se dan como válidos, aunque se debe saber que el real es el sentido electrónico (del polo negativo al positivo).

Efectos de la Corriente Eléctrica.

Efecto calorífico. Los hilos conductores se calientan al pasar por ellos la corriente eléctrica. Este efecto se aprovecha en radiadores, cocinas eléctricas y, en general, en todos los electrodomésticos utilizados como sistemas de calefacción. Sin embargo, este efecto tiene también consecuencias negativas, puesto que, al calentarse, los hilos disipan energía. En una bombilla de incandescencia esto eleva el consumo energético.

Efecto químico. La corriente eléctrica puede inducir cambios químicos en las sustancias. Esto se aprovecha en una pila, que produce electricidad a partir de cambios químicos, o en galvanotecnia, la técnica empleada para recubrir de metal una pieza.

Efecto luminoso. En una lámpara fluorescente, el paso de corriente produce luz.

Efecto magnético (electromagnetismo). Es el más importante desde el punto de vista tecnológico. Una corriente eléctrica tiene efectos magnéticos (es capaz de atraer o repeler un imán). Por otra parte, el movimiento relativo entre un imán y una bobina (un hilo metálico arrollado) se aprovecha en las máquinas eléctricas para producir movimiento o para generar electricidad.

Intensidad de la Corriente Eléctrica.

Se denomina intensidad de corriente eléctrica a la carga eléctrica que pasa a través de una sección del conductor en la unidad de tiempo. En el Sistema Internacional de Unidades se expresa en C·s⁻¹ (culombios partido por segundo), unidad que se denomina amperio.

Si la intensidad es constante en el tiempo se dice que la corriente es continua; en caso contrario, se llama variable. Si no se produce almacenamiento ni disminución de carga en ningún punto del conductor, la corriente es estacionaria.

Se mide con un galvanómetro que, calibrado en amperios, se llama amperímetro y en el circuito se coloca en serie con el conductor cuya intensidad se desea medir. El valor I de la intensidad instantánea será:

$$I = \frac{dq}{qt}$$

Si la intensidad permanece constante, en cuyo caso se denota I_m , utilizando incrementos finitos de tiempo se puede definir como:

$$I = \frac{\Delta q}{\Delta t}$$

Si la intensidad es variable la fórmula anterior da el valor medio de la intensidad en el intervalo de tiempo considerado.

Según la ley de Ohm, la intensidad de la corriente es igual al voltaje dividido por la resistencia que oponen los cuerpos:

$$I = \frac{V}{R}$$

Unidades de la Corriente Eléctrica.

De acuerdo con la ecuación no es más que el cociente entre una unidad de carga eléctrica (Coulomb) y una unidad de tiempo (s). Se ha venido en llamar a esta unidad Ampere (A).

Un Ampere, es la corriente que circula, cuando por la sección transversal del conductor atraviesa la carga de un 1 Coulomb en cada segundo.

Frecuentemente son utilizados sub.-múltiplos del Amperio tales como el miliamperio (mA) y el microamperio (A).

Corriente Continua.

La corriente continua (CC en español, en inglés DC, de Direct Current) es el flujo continuo de electrones a través de un conductor entre dos puntos de distinto potencial. En la corriente continua sus cargas eléctricas circulan siempre en la misma dirección. Aunque comúnmente se identifica la corriente continua con la corriente constante (por ejemplo la suministrada por una batería), es continua toda corriente que mantenga siempre la misma polaridad.

Corriente Alterna.

Se denomina corriente alterna (abreviada CA en español y AC en inglés, de Altern Current) a la corriente eléctrica en la que la magnitud y dirección varían cíclicamente. La forma de onda de la corriente alterna más comúnmente utilizada es la de una onda sinusoidal, puesto que se consigue una transmisión más eficiente de la energía. Sin embargo, en ciertas aplicaciones se utilizan otras formas de onda periódicas, tales como la triangular o la cuadrada.

Genéricamente, la corriente alterna se refiere a la forma en la cual la electricidad llega a los hogares y a las empresas. Sin embargo, las señales de audio y de radio transmitidas por los cables eléctricos, son también ejemplos de corriente

alterna. En estos usos, el fin más importante suele ser la transmisión y recuperación de la información codificada (o modulada) sobre la señal de la CA.

Campo eléctrico.

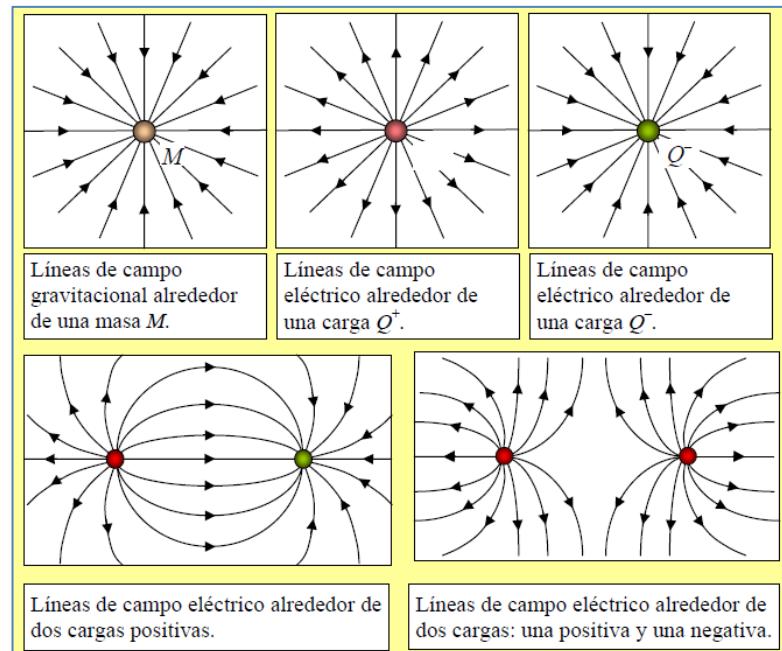
Un concepto de gran importancia en el marco del tema que estamos tratando es el de campo eléctrico. La esencia de la noción de campo consiste en atribuirle propiedades al espacio. En otras palabras, diremos que en el espacio que rodea a una o más cargas existe un campo eléctrico, y para cada punto de dicho espacio definiremos una intensidad del campo eléctrico, la cual señala lo que le ocurriría a una pequeña carga colocada en él. Esta intensidad del campo eléctrico en un punto la designamos con la letra E y una flecha de dirección encima, correspondiendo al cociente entre la fuerza eléctrica que actúa sobre una carga de prueba q_0 (positiva, por convenio) y el valor de dicha carga, es decir:

$$\bar{E} = \frac{\bar{F}}{q_0}.$$

Esta magnitud es vectorial (igual que la fuerza), y posee la dirección y sentido de la fuerza eléctrica que actúa sobre una carga positiva. Su unidad en el Sistema Internacional es el newton/coulomb. Que la carga de prueba q_0 sea pequeña significa que no altera significativamente a las cargas que generan el campo eléctrico ni tampoco al campo en dicho espacio. Haciendo una analogía, la expresión anterior opera como un termómetro que pretende medir la temperatura en un punto de cierto ambiente: esperamos que el termómetro que usemos para ello no afecte demasiado la temperatura de dicho lugar.

En el caso mecánico hay un concepto análogo que nos es muy familiar: el de intensidad del campo gravitacional (g). Corresponde a $g = \frac{F_g}{m}$ en que m es la masa de un cuerpo pequeño y F_g su peso o la fuerza de gravedad que actúa sobre él.

Ambos campos (el eléctrico y el gravitacional) guardan una serie de similitudes. Pueden ser representados por líneas con flechas que, en el caso del campo eléctrico, señalan el sentido de la fuerza que actúa sobre cargas eléctricas positivas. La figura ilustra las líneas de campo para diferentes situaciones.



Potencial eléctrico o voltaje

Otro concepto de gran importancia y utilidad es el de potencial eléctrico. El potencial eléctrico V de un punto del espacio es, en relación a otro (definido como de potencial cero $V = 0$), igual a la razón entre la energía E que se requiere para transportar una carga de prueba q_0 (sin que cambie su energía cinética) y el valor de dicha carga, es decir:

$$V = \frac{E}{q_0}$$

Se trata de una magnitud escalar cuya unidad en el Sistema Internacional es el volt = joule/coulomb. Es importante que no confundir los símbolos con que se representa la energía (E) y la intensidad de campo eléctrico (E).

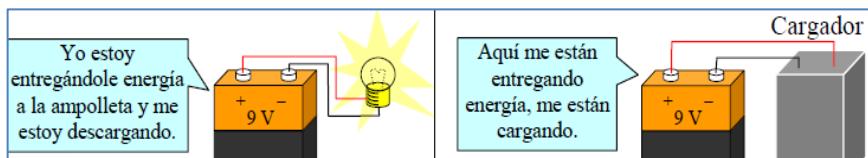
La diferencia de potencial entre dos puntos del espacio en que exista un campo eléctrico no depende de E ni de q_0 y, en general, tampoco depende de la trayectoria por donde se traslade esta carga.

Hay muchos dispositivos que proporcionan diferencias de potencial eléctrico; es decir, mueven las cargas que están libres de hacerlo, proporcionando energía. Esto es lo que hace una pila eléctrica o batería cuando enciende la luz de una linterna. En cambio, cuando recargamos una pila o batería, hacemos la operación opuesta: se entrega energía al sistema.

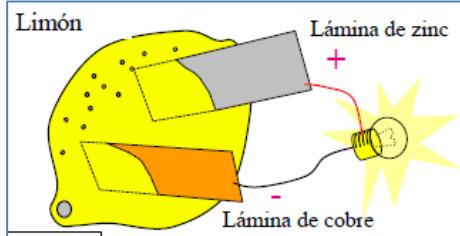
¿Qué significa entonces que entre los contactos de una batería eléctrica exista una diferencia de potencial de, por ejemplo, 9 volt?

La pregunta tiene dos respuestas posibles:

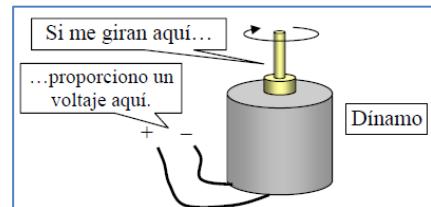
- La batería proporciona 9 joule de energía por cada coulomb de carga eléctrica que haga circular por el circuito al que se conecte.
- Para cargar la batería es necesario suministrarle 9 joule por cada coulomb de carga que se haga circular por ella.



Alejandro Volta (1745 – 1827) fue conocido por haber inventado la pila eléctrica o pila voltaica. Hay muchas versiones modernas de ella en el mercado y las empleamos con frecuencia para proporcionarles energía eléctrica a linternas, relojes, calculadoras, etc. Ellas transforman energía química en eléctrica. Esto es también lo que ocurre entre una lámina de cobre y una de zinc (bien limpias) enterradas en un limón, como se muestra en la figura de abajo. En efecto, si haces el experimento podrás apreciar la aparición de una diferencia de potencial al conectar las láminas a un voltímetro. Incluso podrás encender una ampolleta pequeña. La diferencia de potencial que proporciona en estas circunstancias un limón es de 1,5 volt.

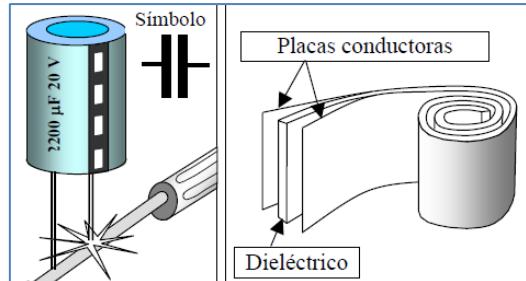


Otro artefacto importante que produce el mismo efecto, es decir, proporcionar un potencial eléctrico o voltaje, es la dinamo. Este es un dispositivo que convierte la energía mecánica en eléctrica. Su aspecto es el de un motor; más aún, ciertos motores, como los que usan juguetes a pila, se comportan como dinamos, es decir, al girar su eje producen un voltaje entre sus contactos, según se ilustra en la figura.



Condensadores eléctricos

Los condensadores eléctricos, consisten en dos láminas conductoras paralelas separadas por un aislante o dieléctrico (aire, papel mica, etc.). Su importancia radica en que tienen la capacidad de almacenar energía eléctrica. Ellos están presentes en variados circuitos eléctricos y electrónicos. Hay muchos tipos diferentes, pero los podemos clasificar en fijos y variables. Los primeros suelen presentar aspectos como el que se presenta en la figura, que corresponde a un condensador electrolítico. Su forma cilíndrica se debe a que las láminas, en este caso separadas por un papel, están enrolladas del modo que se sugiere en la figura. El símbolo genérico con que se representa, es fácil de recordar si se sabe cómo están hechos.



Este dispositivo es peligroso si no se maneja correctamente. Si en un condensador electrolítico, como el que se ilustra en la figura, se sobrepasa el voltaje que especifica el fabricante o si se conecta con la polaridad invertida (el fabricante señala la polaridad de sus contactos), puede explotar y dañar a quien lo está manipulando. Al condensador se le puede aplicar un voltaje máximo de 20 volt. Si se carga con una batería de unos 12 volt, se puede descargar uniendo sus contactos con un conductor, como el destornillador que se muestra en la figura. Con esto, se aprecia una espectacular chispa que pone en evidencia la capacidad del dispositivo de almacenar energía.

Propiedades eléctricas de los materiales.

La capacidad de los materiales para conducir la electricidad depende de su estructura y de la interacción de los átomos que los componen.

Cuando un material sólido puede conducir la electricidad, lo hace desde sus capas de electrones más externas. Los materiales sólidos conductores por excelencia son los metales, como el cobre, que poseen un único electrón en su última capa electrónica. En el caso de los semiconductores, es necesaria una inducción para arrancar electrones. El otro tipo de materiales sólidos en los que no es posible arrancar electrones son los llamados aislantes.

Los mecanismos de conducción eléctrica son muy diferentes en los llamados superconductores y en los líquidos. Los superconductores conducen la electricidad a muy bajas temperaturas en un estado cuántico macroscópico. En los líquidos, la conducción de la electricidad se realiza a través de electrolitos y la corriente es producida por el desplazamiento de átomos o moléculas completas ionizadas positivas o negativas.

Los mecanismos microscópicos de conducción eléctrica son diferentes en los materiales superconductores y en los líquidos. En los primeros, a muy bajas temperaturas y como consecuencia de fenómenos cuánticos, los electrones no interaccionan con los átomos desplazándose con total libertad (resistividad nula). En los segundos, como en los electrólitos de las baterías eléctricas, la conducción de corriente es producida por el desplazamiento de átomos o moléculas completas ionizadas de modo positivo o negativo. Los materiales superconductores se usan en imanes superconductores para la generación de elevadísimos campos magnéticos.

En todos los materiales sometidos a campos eléctricos se modifican, en mayor o menor grado, las distribuciones espaciales relativas de las cargas negativas (electrones) y positivas (núcleos atómicos). Este fenómeno se denomina polarización eléctrica y es más notorio en los aisladores eléctricos debido a la ausencia de apantallamiento del campo eléctrico aplicado por los electrones libres.

Conductividad eléctrica y resistividad.

La conductividad eléctrica es la propiedad de los materiales que cuantifica la facilidad con que las cargas pueden moverse cuando un material es sometido a un campo eléctrico. La resistividad es una magnitud inversa a la conductividad, aludiendo al grado de dificultad que encuentran los electrones en sus desplazamientos, dando una idea de lo buen o mal conductor que es. Un valor alto de resistividad indica que el material es mal conductor mientras que uno bajo indicará que es un buen conductor.

Generalmente la resistividad de los metales aumenta con la temperatura, mientras que la de los semiconductores disminuye ante el aumento de la temperatura.

Los materiales se clasifican según su conductividad eléctrica o resistividad en conductores, dieléctricos, semiconductores y superconductores.

•Conductores eléctricos. Son los materiales que, puestos en contacto con un cuerpo cargado de electricidad, transmiten ésta a todos los puntos de su superficie. Los mejores conductores eléctricos son los metales y sus aleaciones. Existen otros materiales, no metálicos, que también poseen la propiedad de conducir la electricidad, como son el grafito, las soluciones salinas (por ejemplo, el agua de mar) y cualquier material en estado de plasma. Para el transporte de la energía eléctrica, así como para cualquier instalación de uso doméstico o industrial, el metal más empleado es el cobre en forma de cables de uno o varios hilos. Alternativamente se emplea el aluminio, metal que si bien tiene una conductividad eléctrica del orden del 60% de la del cobre es, sin embargo, un material mucho menos denso, lo que favorece su empleo en líneas de transmisión de energía eléctrica en las redes de alta tensión. Para aplicaciones especiales se utiliza como conductor el oro.

•Dieléctricos. Son los materiales que no conducen la electricidad, por lo que pueden ser utilizados como aislantes. Algunos ejemplos de este tipo de materiales son vidrio, cerámica, plásticos, goma, mica, cera, papel, madera seca, porcelana, algunas grasas para uso industrial y electrónico y la baquelita. Aunque no existen materiales absolutamente aislantes o conductores, sino mejores o peores conductores, son materiales muy utilizados para evitar cortocircuitos (forrando con ellos los conductores eléctricos, para mantener alejadas del usuario determinadas partes de los sistemas eléctricos que, de tocarse accidentalmente cuando se encuentran en tensión, pueden producir una descarga) y para confeccionar aisladores (elementos utilizados en las redes de distribución eléctrica para fijar los conductores a sus soportes sin que haya contacto eléctrico). Algunos materiales, como el aire o el agua, son aislantes bajo ciertas condiciones pero no para otras. El aire, por ejemplo, es aislante a temperatura ambiente pero, bajo condiciones de frecuencia de la señal y potencia relativamente bajas, puede convertirse en conductor.

La conductividad se designa por la letra griega sigma minúscula (σ) y se mide en siemens por metro, mientras que la resistividad se designa por la letra griega rho minúscula (ρ) y se mide en ohms por metro ($\Omega \cdot m$, a veces también en $\Omega \cdot mm^2/m$).

RESISTENCIA ELÉCTRICA: Se denomina resistencia a la dificultad que presenta un material al paso de la corriente eléctrica. Un material será más resistente que otro cuando existiendo una diferencia de potencial igual entre los extremos de los dos materiales en uno habrá más corriente eléctrica que lo atraviese que el otro.

Dicha dificultad responde a que los núcleos de los átomos del material resistente atraen a los electrones que se desplazan a través suyo. Como cada material tiene distintas características

La electricidad en la medicina.

La electricidad es un fenómeno físico que tiene su origen en las cargas eléctricas. Tiene una estrecha relación con algunos avances y nuevos tratamientos que hoy en la actualidad se utilizan en la medicina para curar algunas enfermedades. La utilización de los rayos X, que permiten capturar parte del cuerpo que a simple vista no se pueden observar, como por ejemplo la estructura ósea, también se tiene a las radiografías, entre otras cosas, es por esto que en la medicina se utiliza la electricidad, pues ayuda a tratar las enfermedades.

Sin embargo el cuerpo humano también tiene electricidad, el corazón y el cerebro funcionan por impulsos eléctricos. El uso de la electricidad para tratar dolores de cabeza, parálisis, epilepsia y otras muchas dolencias se remonta a la Antigua Roma, donde se utilizaban peces con forma de manta (rayas) que poseen un agujón con el que liberan descargas eléctricas, a partir de esto es cuando algunos físicos importantes empiezan a realizar aportaciones significativas sobre la utilización de la electricidad en la medicina, tal es el caso de Wilhelm Conrad Röntgen.

La electricidad y las ciencias médicas tienen una estrecha relación iniciada en dos descubrimientos que dan inicio a los estudios de electrofisiología bajo términos médicos. Por una parte, está la invención de la botella de Leyden y por otra, la construcción de máquinas electrostáticas, permitieron observar el efecto motor de las descargas eléctricas en el organismo.

En 1749, en París, el abate Mollet hace el primer experimento con una descarga eléctrica a Luis XV. Estos son los primeros intentos en la aplicación médica de la electricidad. Pero no es sino hasta 1780 cuando Galvani descubrió que la corriente eléctrica excitaba los nervios motores. Este descubrimiento dio origen a largas discusiones sobre la relación entre las propiedades de los nervios y la electricidad.

Luigi Galvani, anatomista italiano, observó, por primera vez, que una descarga eléctrica sobre las patas de una rana muerta producía contracciones de los músculos afectados.

Una inspección posterior lo llevó a creer que la estimulación se producía cuando el músculo tocaba simultáneamente dos metales distintos. Galvani pensó que la electricidad producida se generaba en el músculo, observación que resultó errónea, aunque no sería él quien descubriera el error. Veinte años más tarde, en 1800, Alessandro G. Volta supuso lo contrario, es decir, que era el contacto entre metales distintos lo que generaba la electricidad. Esta idea fue el comienzo de una gran revolución en el tema, que tendrá notables resultados, en otras áreas, como es el caso de la radiología. En Chile, el pionero en relacionar medicina y electricidad fue Ramón Araya Echeverría, quien en 1882 publica un texto llamado "La Electroanestesia (1877-1882)", el que tenía como objetivo mostrar que la electricidad funcionaba como anestesia, siendo un antecesor al uso de la electricidad en psiquiatría.

El otro avance médico en electricidad se da en radiología, cuando, en 1895 se toma la primera radiografía en Europa, por el investigador alemán Wilhem Roentgen.

El 22 de marzo de 1896, los profesores de la Universidad de Chile Arturo Salazar y Luis Zegers sacan la primera radiografía, llegando a ser una de las primeras tomadas en América Latina.

Efectos físicos en la fisiología humana de la corriente eléctrica.

Para que la electricidad produzca algún efecto en el organismo, este debe entrar a formar parte de un circuito eléctrico. Para que circule una corriente eléctrica tienen que existir cuando menos dos conexiones entre el cuerpo y una fuente de tensión externa. La magnitud de la corriente depende de la diferencia de potencial entre las conexiones y la resistencia eléctrica del cuerpo. La mayor parte de los tejidos del cuerpo contienen un elevado porcentaje de agua; en consecuencia resulta aceptablemente un buen conductor eléctrico. La parte del organismo que se sitúa entre los dos puntos de contacto eléctrico constituye un conductor volumétrico no homogéneo, en el cual la distribución del flujo de corriente viene determinada por la conductividad local del tejido. Cuando la corriente es aplicada al tejido vivo, a través de un par de electrodos, la distribución espacial de esta es virtualmente desconocida, a causa de las diferentes resistividades de los tejidos y fluidos y de sus arreglos particulares. No existe un método simple para realizar mediciones exactas de distribución de la densidad de corriente en tejido anisotrópico. Los tejidos vivos poseen diferentes propiedades eléctricas en direcciones diferentes; por lo que, una exacta especificación de la distribución local de corriente, necesita del conocimiento de la resistividad y gradiente de voltaje a lo largo de los tres ejes. La medición práctica de estas cantidades es una tarea formidable, nada fácil, no obstante puede hacerse una estimación basada en la resistividad de varios tejidos y fluidos. Por otra parte muchas muestras biológicas, reportadas en la literatura, se han medido sin tener en cuenta suficientemente los errores debido a la polarización de los electrodos. Debemos apuntar además que el tejido sin vida presenta una resistividad menor que el tejido vivo. En la Tabla se muestra una lista algunos valores representativos de resistividad.

MUESTRA	RESISTIVIDAD (Ω/cm)
Sangre	150
Plasma	63
Fluido de la espina cerebral	1270
Pulmón	370
Cerebro	580
Grasa	2500

El efecto de la densidad de corriente sobre los tejidos y fluidos no ha sido suficientemente investigado. La mayoría de los fluidos del cuerpo no son simples electrolitos, si no, suspensiones de células y grandes moléculas. La magnitud en la cual estos fluidos y sus componentes son afectados por la corriente, aún debe ser investigados en mayor detalle y profundidad.

Las corrientes de estimulación se emplean durante el diagnóstico para comprobar el comportamiento de los músculos y los nervios. La estimulación de corriente se usa principalmente para tratar enfermedades de músculos esqueléticos, desorden del flujo sanguíneo y dolores de causas diversas. Algunas formas especiales de tratamiento incluyen los electroshock usados en psiquiatría y la combinación de corrientes de estimulación con ultrasonido. En el sentido más amplio, la terapia con estimulación de corriente debe incluir los circuitos marcapasos y desfibriladores. Estos han sido áreas de investigación en los últimos años, la estimulación con frecuencias medias en nervios, músculos lisos y el desarrollo de nuevas posibilidades de aplicación, como por ejemplo el tratamiento de espasmos.

El propósito de todo esto es realizar mediciones para el diagnóstico sobre músculos y nervios es con el fin de establecer la extensión y localización de cualquier lesión y determinar los parámetros para el seguimiento del tratamiento.

El uso de corrientes de estimulación en la terapia y el diagnóstico, se basa en el hecho de que, la despolarización de las células y los nervios puede inducirse, con la aplicación externa de energía eléctrica. En parte la migración de iones dentro del campo eléctrico es también utilizada. La despolarización de una célula ocurre cuando el potencial a través de la membrana es repentinamente disminuido, lo cual puede ser logrado por el gradiente de voltaje producido sobre la membrana, a causa de una corriente de densidad local adecuada. Los efectos selectivos locales son debido a la heterogeneidad del flujo del campo eléctrico dentro del tejido. En correspondencia con la compleja estructura del tejido, el curso de la corriente en relación con el tiempo, juega un importante papel. Así, el dispositivo estimulador tendrá un conjunto de parámetros a incluir entre los cuales deben estar: intensidad de corriente, tiempo de utilización y dirección de la corriente.

Aplicación con corriente directa (galvanización).

La corriente directa fluyendo a través del cuerpo efectúa un cambio en el ordenamiento iónico. Los efectos básicos así producidos son:

Electrólisis. El cuerpo es un conductor de segundo orden. La corriente es iónica. Así la migración de iones es el efecto básico de la así llamada galvanización.

Electroforésis. Moléculas orgánicas no-disociadas, células individuales, bacterias, etc. Tienen cargas de frontera positiva y van hacia al cátodo (catodoforésis).

Electroósmosis. En sistemas que contienen cargas superficiales en que, las moléculas asociadas están localmente fijas, puede ocurrir un corrimiento de fluido a través de las membranas. Al conectar y desconectar la corriente esta debe cambiar de valor suavemente a fin de evitar efectos de estimulación motores o sensoriales. Su magnitud dependerá de la sensibilidad individual y también del área de contacto de los electrodos ($50-200 \mu\text{cm}^2$).

El tratamiento con corriente directa tiene efectos sobre las fibras motoras, manifestándose en un crecimiento de la excitabilidad a los estímulos exógenos y endógenos. El efecto ocurre en la región del cátodo. Así mismo hay efecto sobre las fibras nerviosas sensoriales, reduciendo su excitabilidad, particularmente en el mejoramiento del dolor. Este efecto ocurre en la región del ánodo.

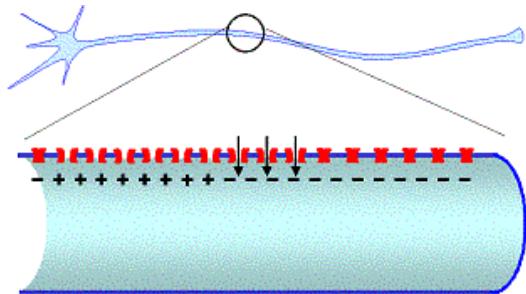
El efecto en las fibras nerviosas vaso motoras es el principal campo de aplicación de la galvanización, consistente en un aumento del flujo de sangre a causa de la vaso dilatación. Este efecto se manifiesta en las regiones superficiales y profundas (piel y músculos).

Otra aplicación demostrada es el transporte de drogas a regiones profundas a través de la piel intacta. No obstante este método no es de uso generalizado debido a que establecer la apropiada dosificación es un problema, por los efectos lógicos de una combinación de droga más estímulo eléctrico ambos insuficientemente estudiados.

Especialización celular en la conducción eléctrica.

Todas las células tienen una carga eléctrica negativa en su interior. Esta carga eléctrica se debe a la diferencia de concentración de sales entre el interior de la célula y el exterior de la misma, y el proceso es lejanamente parecido al que se produce en una pila, como las que ponemos en la radio. En la pila, hay en su interior una solución de sales, estas reaccionan con el metal de la cubierta, y esto produce el movimiento de cargas eléctricas que alimenta a la radio cuando la encendemos. En el caso de la célula, el potasio que hay en su interior tiende a salir de la célula (porque está más concentrado dentro que fuera, y tiende a moverse a donde la concentración es menor), pero como el potasio tiene carga eléctrica positiva esto deja el interior de la célula con un exceso de cargas negativas. Este movimiento de cargas produce un voltaje o diferencia de potencial, igual que el que se produce entre los polos de una pila pero unas 20 veces menor.

Esta carga eléctrica existe en todas las células, pero además, algunas células han desarrollado la capacidad de usar la carga eléctrica para transmitir señales. Esas células se denominan excitables, son las únicas que pueden producir potenciales de acción, e incluyen fundamentalmente a las células nerviosas y a las musculares. El potencial de acción es como un cortocircuito de la membrana. Si en una pila conectamos el polo positivo con el negativo, la pila se descarga y desaparece la diferencia de potencial entre los polos. En la membrana de las células excitables sucede algo parecido, durante el potencial de acción se abren canales en la membrana que permiten el paso de corriente, de manera que entran cargas positivas, y neutralizan la carga negativa en el interior, con lo que la diferencia de potencial que había en reposo desaparece. Esas cargas se propagan al siguiente segmento de la membrana, y de este al siguiente, por lo que el cortocircuito, es decir, el potencial de acción, se propaga con mucha rapidez a lo largo de la fibra nerviosa. En un tiempo muy corto (una milésima de segundo) los canales se cierran, la carga negativa reaparece, y la fibra queda en situación de enviar otra señal.



Células Excitables.

Las células excitables engloban el grupo celular con propiedades eléctricas complejas que permiten realizar procesos que involucran desde la contracción muscular, hasta el aprendizaje. Estas células son capaces recibir y generar una respuesta eléctrica. Dentro de estos grupos celulares se pueden mencionar las neuronas y las células musculares (lisas, esqueléticas y cardíacas). Si bien estas células no son intrínsecamente buenos conductores de la electricidad, han desarrollado mecanismos elaborados para generar señales eléctricas basadas sobre el flujo de iones a través de sus membranas plasmáticas. Por lo habitual, en un estado basal poseen un diferencial de potencial con el líquido extracelular y el principal agente que otorga resistencia a este circuito es la membrana plasmática. La diferencia de potencial en reposo varía según los diferentes tipos celulares pero su principio es básicamente el mismo, la membrana plasmática otorga resistencia a tres condiciones generales:

Distinta permeabilidad de la membrana para la difusión de iones: Un ejemplo de ellos es que la membrana plasmática es impermeable al Na^+ ; pero si posee canales de K^+ que permiten que este se mueva sin dificultad a través de ella (canales de K^+ sin compuerta), esta propiedad de la membrana de mantener el flujo de iones de forma diferencial ayuda a la mantención del potencial de reposo de la membrana, manteniendo una concentración de K^+ relativamente elevada en el interior de la célula y una concentración de Na^+ mayor en la superficie externa o medio extracelular. El movimiento de K^+ es fundamental en la mantención del diferencial de voltaje y es quizás el principal determinante de esta diferencia, para el funcionamiento de estas células es muy importante que el K^+ se mantenga mayormente concentrado dentro de la célula que fuera de ella.

Aniones con carga negativa atrapados en la célula: Muchos aniones negativos son macromoléculas sintetizadas por la propia célula y son demasiado grandes para salir de ella a través de la membrana plasmática. Por tanto quedan atrapados en su interior y son atraídos a la superficie interna de la membrana por las cargas positivas acumuladas inmediatamente por fuera de la célula. Un ejemplo claro de esto son las proteínas, polifosfatos orgánicos, ácidos nucleicos, etc. La mayoría de estos están cargados negativamente a un pH fisiológico.

Procesos de transporte iónico: Un ejemplo claro de esto lo constituye la ATPasa de $\text{Na}^+ \text{ K}^+$ (bombea de forma activa tres iones de Na^+ fuera de la célula e introduce dos iones de K^+ al interior de la célula). Este transporte se realiza en contra del gradiente de concentración por tanto implica un gasto de energía en forma de ATP. El bombeo activo de Na^+ fuera de la célula se hace tan rápido como este ingresa a la célula. Este proceso puede ser alterado cuando se ve comprometido el nivel de O_2 celular o la producción de ATP generando un desbalance entre el medio interno y el externo o por inhibidores de la ATPasa. Otros agentes importantes en la mantención de esta diferencia de potencial en reposo lo constituyen los canales iónicos presentes en la superficie de la membrana (dependientes de ligando, dependientes de voltaje, sin compuerta, mecánicos, etc.)

Comportamiento eléctrico del corazón.

El funcionamiento eficiente del corazón requiere la contracción sincronizada de las células que constituyen el tejido muscular cardiaco para proporcionar un bombeo sanguíneo eficaz. La capacidad contráctil cardiaca está gobernada por un estímulo eléctrico que se origina en el propio corazón, y se propaga por todas las células del tejido cardiaco de forma progresiva y secuencialmente ordenada, activándolas eléctricamente. De forma casi simultánea, la activación eléctrica produce la contracción del músculo cardiaco.

La actividad eléctrica del corazón tiene su origen en el movimiento de iones a través de la membrana excitible de sus células. Esta corriente iónica se transmite a las células vecinas a través de pequeños canales que comunican unas

células con otras. Si este estímulo eléctrico es suficientemente intenso, las células vecinas se excitan, para posteriormente contraerse. Este proceso de excitación genera nuevas corrientes iónicas en las células recién activadas, que se transmiten a su vez a regiones adyacentes, iniciándose de esta forma ondas de excitación que se propagan por el tejido cardíaco, provocando su activación y contracción. En virtud de estas propiedades, el tejido cardíaco se constituye, por tanto, como un medio excitible, esto es, un sistema espacialmente distribuido en el que se transmite la información por medio de ondas que se propagan sin pérdidas.

El corazón está formado en su mayor parte por el tejido muscular cardíaco conocido como miocardio. La parte interna del miocardio se denomina endocardio, y recubre las cavidades del corazón; la parte externa es conocida como epicardio. Todo el corazón, y parte de los vasos que salen de él, están revestidos por el pericardio, que es una película que recubre el corazón, lo mantiene en su lugar y permite su movimiento mediante la secreción de un líquido que lubrica la cavidad. Las células musculares miocárdicas (miocitos) están dispuestas longitudinalmente formando fibras musculares alargadas, las cuales, a su vez, se unen lateralmente en forma de paquetes cilíndricos llamados fascículos. La agrupación de varios fascículos constituye el músculo cardíaco. Las propiedades de los miocitos confieren al corazón su funcionamiento básico, dado que:

En primer lugar, se contraen ante estímulos de naturaleza eléctrica, debido a la presencia de finos filamentos constituidos por proteínas contráctiles (actina y miosina) intercalados con las células musculares.

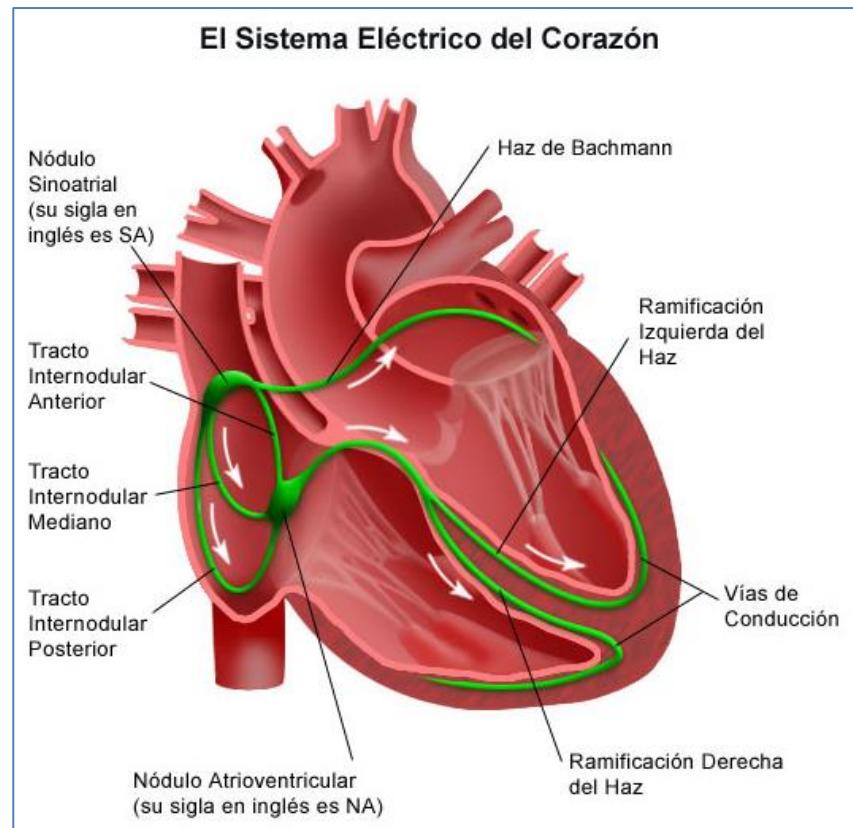
En segundo lugar, tienen la capacidad de transmitir impulsos eléctricos a las células adyacentes de forma que un impulso eléctrico generado en una región del miocardio se propaga a las células vecinas.

Los miocitos que componen una fibra muscular están conectados en serie entre sí, de tal manera que se favorece la propagación del impulso eléctrico en la dirección del eje de la fibra muscular. Se dice, por tanto, que el músculo cardíaco es un *sincitio*, esto es, un agrupamiento de miocitos conectados eléctricamente en el cual cualquier excitación sobre una de estas células se propaga lateralmente por las células vecinas, alcanzando finalmente a todas las que forman parte de este sistema.

En el corazón se distinguen claramente dos sincitios, el auricular y el ventricular, que se encuentran separados por un tejido fibroso que los rodea y aísla eléctricamente. Así, un impulso eléctrico sólo puede viajar del primero al segundo a través un sistema de conducción especializado, el nodo auriculoventricular (o nodo AV). Esta división funcional permite que el impulso eléctrico contraiga las aurículas simultáneamente para, un poco después, contraer los ventrículos. De esta forma, se coordina eficientemente el bombeo de sangre a los pulmones y vasos periféricos. Para producir esta contracción eficaz, existe un sistema de generación y conducción del impulso eléctrico que recorre el corazón.

El sistema de conducción eléctrico del corazón coordina la contracción de las aurículas y los ventrículos para lograr la máxima eficacia. El latido se inicia con un impulso eléctrico en el nodo sinusal o sinoauricular (SA). Se trata de una estructura formada por un grupo de células que tiene la capacidad específica de crear impulsos eléctricos. El nódulo SA, que está controlado por el sistema nervioso autónomo, funciona como un marcapasos natural.

Situado en la parte superior de la aurícula derecha, el nodo sinusal marca el compás del latido de forma regular, como si de un metrónomo se tratara, y la contracción correcta de las cámaras del corazón. Esta contracción se produce



gracias a unas células cardíacas llamadas miocitos (en inglés). Estas células están altamente especializadas y se encargan de la conducción de los impulsos eléctricos, así como de la contracción mecánica del corazón.

La contracción del músculo cardíaco se diferencia de la del músculo esquelético en dos aspectos: es involuntaria y sigue la ley del "todo o nada", es decir o se contraen a pleno rendimiento o no lo hace para nada.

Músculo cardíaco

Las fibras cardíacas, compuestas por células largas y cilíndricas, se unen con otras ramas para crear una red interconectada perfecta, que permite trasmisir rápidamente los impulsos eléctricos del corazón. El músculo cardíaco, un tipo de músculo que solo se encuentra en el corazón, se contrae de forma espontánea, sin la necesidad de recibir señales del cerebro y, lo más impresionante, sin cansarse.

La señal eléctrica viaja hasta otro punto: el nódulo auriculoventricular (nodo AV), situado entre las aurículas y los ventrículos. Allí el impulso eléctrico se hace más lento. Activa primero las cavidades superiores del corazón, -las aurículas-, y después los ventrículos. El nodo AV retiene las descargas eléctricas: retarda su transmisión hasta que las aurículas se han contraído por completo y los ventrículos se han llenado de sangre durante la fase llamada diástole. Para enviar después el torrente sanguíneo a los pulmones y al resto del organismo.

Este nodo actúa como un marcapasos, pero con una frecuencia inferior (40-50 x'), cuando falla el nódulo sinusal o la transmisión del impulso. También puede "filtrar" el número de impulsos si llegan de manera muy rápida. Esta facultad se aprovecha en el tratamiento de arritmias para reducir la frecuencia con la medicación adecuada.

La señal eléctrica llega al haz de His. Es una especie de cable de fibras musculares en medio del corazón, que recorre el tabique interauricular. Esta estructura une los dos nódulos y se distribuye por las paredes del corazón a modo de "hilo eléctrico". El nódulo actúa como la llave de encendido; el haz es el hilo conductor y el encendido equivale a la contracción.

El haz de His se divide en dos ramas de conducción a derecha e izquierda de cada ventrículo. Estas son vías muy rápidas. Las fibras de Purkinje, situadas debajo del endocardio, distribuyen el impulso a las células del endocardio. Después la señal continúa por el epicardio para llegar a los ventrículos haciendo que se contraigan. Seguidamente, los ventrículos se relajan y comienza de nuevo el proceso con un nuevo latido que se produce en el nódulo sinusal.

Aspectos básicos del nódulo sinoatrial.

También llamado nódulo sinoauricular (abrev. SA) o de Keith y Flack, es una de las estructuras que compone el sistema de conducción del corazón; recibe el nombre común de marcapasos del corazón. Normalmente, es donde se origina el impulso eléctrico que da origen a un latido cardíaco. Se encuentra ubicado en el subepicardio antero-lateral en los 2/3 superiores del surco terminal en la unión de la aurícula derecha, bajo la desembocadura de la vena cava superior.

Es una estructura fusiforme desde el punto de vista morfológico siendo su tamaño proporcional al tamaño del corazón variando entre 5mm a 30 mm con una media de 15 mm de extensión por 5 mm de grosor variando de 1,5mm a 5mm. Se encuentra formado por un conjunto de células (células P, células Transicionales y células de Purkinje) en íntima relación con fibras del sistema nervioso autónomo y fibras colágenas.

El registro osciloscópico de los potenciales de acción de las células de este nodo muestran dos características importantes:

Ausencia de fase de reposo: Después de la repolarización, en la fase 4, el potencial de membrana no se mantiene estable, sino que asciende lentamente, hasta que al llegar a los -40 milivoltios, comienza espontáneamente una nueva fase de excitación.

Baja velocidad en la fase de excitación: La entrada masiva de iones de sodio en el interior de la célula no es tan rápida como en las demás células cardiacas, sino que la fase de despolarización se instaura lentamente.

El cambio de potencial tiene una velocidad de 1-2 voltios/segundo, frente a los 100-200 voltios/segundo en otras células.

Esta forma del potencial de membrana explica el automatismo de las células del marcapasos sinusal. No es necesaria la llegada de un estímulo para provocar el cambio de la permeabilidad de la membrana a los iones, sino que dicha permeabilidad al sodio primero y al potasio se instaura espontánea y cíclicamente a un ritmo de 60 a 100 veces por minuto.

Aunque el nódulo sinoauricular funciona automáticamente, su funcionamiento está regulado por el sistema nervioso autónomo.

Se conoce que el impulso eléctrico viaja desde el nódulo sinusal hasta el nódulo auriculoventricular (nódulo AV o nódulo atrioventricular), donde se retrasan los impulsos durante un breve instante, y continúa por la vía de conducción a través del haz de His hacia los ventrículos. El haz de His se divide en la rama derecha y en la rama izquierda, para llevar el estímulo eléctrico a los dos ventrículos.

Vías internodales.

Entre el nódulo sino auricular y el siguiente nódulo el auriculo ventricular existe vías de conducción especializadas llamadas vías, que se han denominado

- Fascículos de Bachman o anterior
- Wenkebach o medio
- Torel o posterior

Que conducen el impulso nervioso a una velocidad mayor de lo que sería conducido por las propias fibras auriculares. Transmiten el potencial acción a la masa auricular a una velocidad de 1 m/seg.

Nódulo auriculoventricular.

Conocido también como atrioventricular o como nódulo de Aschoff-awara (en latín Nodus atrioventricularis), está localizado en el atrio derecho del corazón, y se comunica con el nódulo sinusal a través de tres fibras internodales compuestas de músculo cardíaco especializado en la conducción de impulsos.

Se sabe que el nódulo sinusal es el marcapasos del corazón ya que crea un estímulo rítmico de autoexcitación, que provoca que el corazón se contraiga de 60 a 100 veces por minuto.

De fallar el nódulo sinusal, esta función recae sobre el nódulo de Aschoff-Tawara, que lo haría normalmente con una frecuencia de 40 a 60 estímulos por minuto, que harán que el corazón se contraiga con esta frecuencia.

Es un grupo de células que son una parte del sistema de control eléctrico del corazón. Ayudan en la coordinación de la frecuencia cardíaca. La ubicación es entre las aurículas y los ventrículos del corazón. Están presentes en el septo interauricular del corazón cerca de la abertura de seno coronario. La ubicación es en el centro del triángulo de Koch. Este triángulo está formado por la válvula tricúspide, seno coronario y el tabique interauricular.

La función comienza cuando se recibe un impulso eléctrico desde el nodo SA. Este último inicia el impulso eléctrico que llega al nodo AV primero. El ritmo de las contracciones del corazón se encuentra en el nodo AV. Retrasa el impulso de unos 0,12 segundos. Este retraso es muy importante ya que ayuda a las aurículas a expulsar la sangre en los ventrículos antes de la contracción de los ventrículos. El retraso también ayuda en la protección de los ventrículos de arritmia auricular (tipo de arritmia). La tasa de contracción es de aproximadamente 40 a 60 veces / minuto.

Haz de His.

A continuación del nódulo AV se encuentra el haz de His que se divide a nivel subendocárdico en dos ramas que se propagan una a cada lado del tabique interventricular. Estas ramas del haz de His se arborizan en una compleja red de fibras de conducción denominada Fibras de Purkinje. La velocidad del sistema de conducción ventricular es de 1 a 4 m/s de manera que la activación de la región subendocárdica es casi inmediata en toda la superficie.

Todas las células cardíacas tienen la propiedad de generar dipolos eléctricos cuando reciben la señal de activación (despolarización) y también cuando, tras su contracción, regresan al estado de reposo (repolarización). Estos dipolos eléctricos son los que se registran utilizando la máquina electrocardiográfica y las posiciones de electrodos que se detallan a continuación.

CAPÍTULO 10

BIOFÍSICA DE LAS RADIACIONES

Se denomina radiación, a la emisión de energía al espacio libre u otro medio como agua, aire, gas, etc., en forma de ondas o partículas.

Las radiaciones se emiten básicamente de dos maneras: en forma de partículas o corpúsculos y electromagnéticas. A su vez, pueden ser ionizantes o no ionizantes.

Las radiaciones en forma de partículas tienen relación directa con el movimiento de electrones, protones y neutrones, los cuales forman parte natural de los átomos. Estas radiaciones son características, por ejemplo de la radioactividad, donde se emiten dos tipos de radiaciones: Alfa y beta.

Radiación Alfa: emitida por partículas alfa, compuestas por dos protones y dos neutrones, ellas tienen bajo nivel de penetración en tejidos (aproximadamente 100 micras).

Radiación beta: Emitida por partículas beta y que a su vez es de dos tipos: electrón negativo y electrón positivo o positrón. Estas tienen alto poder de penetración en superficies y tejidos (aproximadamente 1000 micras).

Una tercera radiación, se emite de los núcleos radioactivos es la radiación gamma que es electromagnética, no particulada como las anteriores. Los rayos gamma se irradian como fotones o cuantos de energía y pueden penetrar fácilmente hasta 30 cm de tejido o varias pulgadas de plomo.

Los rayos gamma son el nivel de energía más alto de lo que se conoce comúnmente como espectro electromagnético que se expresa como "ondas" y se describe a continuación:

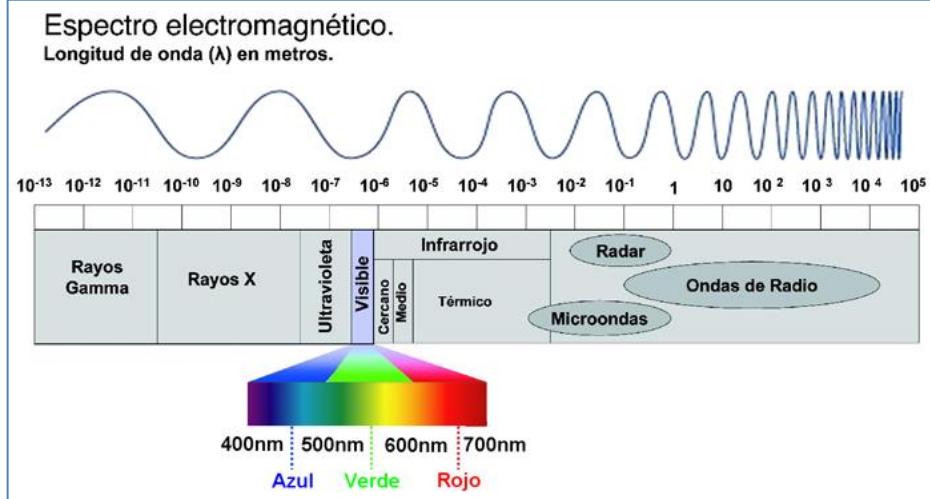
El espectro electromagnético.

La luz se puede definir como radiación electromagnética, una forma de energía radiante. Hay varios tipos de ondas electromagnéticas, incluyendo los rayos ultravioleta, rayos infrarrojos, ondas de radio, los rayos-X entre otras.

Del espectro total, sólo percibimos una pequeña parte, la que llamamos luz visible. Cada tipo de radiación tiene su longitud de onda característica. La longitud de onda quiere decir la distancia, en la dirección de propagación de una onda electromagnética periódica, entre dos puntos consecutivos con la misma fase en un instante de tiempo.

La longitud de onda se expresa en metros. Las divisiones decimales del metro más utilizadas son: el micrómetro $1 \mu\text{m} = 10^{-6} \text{ m}$; el nanómetro $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$. Aquí consideramos el nanómetro como unidad de medida, que por tanto corresponde a una milmillonésima de metro.

En la figura de abajo se muestra la región de luz visible y las tres regiones en que la energía de ultravioleta, luz azul e infrarrojos pueden causar daño al ojo humano. Sin embargo, existen longitudes de onda más cortas que el ultravioleta (rayos X, rayos gamma, rayos cósmicos) o más largas que las del infrarrojo (ondas de radio, microondas, etc.), no visibles y que complementan el espectro. Entre más corta sea la longitud de la onda mayor probabilidad de penetración posee.



Radiaciones ionizantes:

"Se conocen bajo este nombre a las radiaciones electromagnéticas o corpusculares capaces de producir iones, directa o indirectamente, a su paso a través de la materia y comprende las radiaciones emitidas por los aceleradores de partículas, las substancias radiactivas (alfa y beta), los rayos gamma, rayos X, así como los neutrinos (partículas atómicas de las cuales aún no se conoce suficientemente). Las radiaciones ionizantes son aquellas capaces de emitir electrones orbitales, procedentes de átomos ordinarios eléctricamente neutros, que dejan tras sí iones de carga positiva. Los electrones así proyectados pueden causar a su vez nueva ionización por interacción con otros átomos neutros. Las radiaciones ionizantes, algunas

de naturaleza corpuscular, otras electromagnéticas, son las que encuentran mayor aplicabilidad en la ciencia y la industria.

Radio toxicidad.

Se denomina así a la capacidad de penetración de las partículas o rayos son proporcionales a sus energías. Las partículas beta (β) son aproximadamente 100 veces más penetrantes que las partículas alfa (α) que son más pesadas y se mueven con más lentitud. Pueden ser detenidas por una placa de aluminio con un espesor de 0.3 cm. Pueden quemar la piel gravemente, aunque no alcanzar a llegar a los órganos internos. Las partículas alfa tienen baja capacidad de penetración y no pueden dañar o penetrar la piel. Sin embargo pueden dañar los tejidos internos sensibles en caso de que sean inhaladas.

Los rayos gamma de alta energía tienen gran poder de penetración y dañan gravemente tanto la piel como los órganos internos. Viajan a la velocidad de la luz y pueden ser detenidos por capas gruesas de concreto o plomo.

El tipo de radiaciones Rayos X y Rayos Gamma (γ) con una vida corta causan graves daños e incluso la muerte a quienes se ven expuestos a su efecto. Sus efectos mas conocidos son la mutación del ADN y en el núcleo de la célula, interferencia en los procesos de división celular, inician la descomposición de muchos compuestos orgánicos, afecta perjudicialmente los mecanismos de proteínas y aminoácidos; destruye el tejido del cuerpo y ataca la médula ósea, principal fuente de glóbulos rojos.

El efecto de la radiación es inversamente proporcional al área corporal irradiada, esto es: a mayor área irradiada, menor tolerancia. Así mismo, depende del tiempo total de la exposición a la radiación y de si es o no fraccionada. Adicionalmente, el tiempo de radiación induce un mayor o menor daño biológico.

Los efectos biológicos a largo plazo más frecuentes son la inducción de leucemias u otro tipo de cáncer, formación de cataratas y acortamiento de la vida.

Los efectos hereditarios de la radiación, provienen de las mutaciones inducidas en las células germinales. La mayoría de los daños genéticos pueden resultar de la irradiación fetal, principalmente de las etapas tempranas del embarazo. Una gran variedad de efectos en las extremidades presentados en el nacimiento, se asocian con radiaciones ionizantes. Es importante resaltar que las alteraciones genéticas no necesariamente se manifiestan en la primera generación.

Dosis de radiación.

Para poder medir las radiaciones ionizantes y el daño biológico producido es necesario disponer de magnitudes y unidades adecuadas. A continuación se describen las más frecuentemente utilizadas, expresadas en el sistema internacional (SI) y sus equivalentes en el cegesimal.

Actividad (A). Se define como el número de transformaciones nucleares producidas en el radionúclido por unidad de tiempo. La unidad de medida es el Bequerel (Bq). En el sistema cegesimal es el Curio (Ci)

$$1 \text{ Bq(SI)} = 2,7 \times 10^{-11} \text{ Ci (Cegesimal)}$$

La actividad va decreciendo con el tiempo a una velocidad que se expresa mediante el periodo de semidesintegración (T) del radionúclido (tiempo al cabo del cual la actividad se ha reducido a la mitad).

Dosis absorbida (D). Se define como la cantidad de energía cedida por la radiación a la materia o absorbida por ésta. La unidad de medida es el Gray (Gy).

$$1 \text{ Gy(SI)} = 100 \text{ rads (Cegesimal)}$$

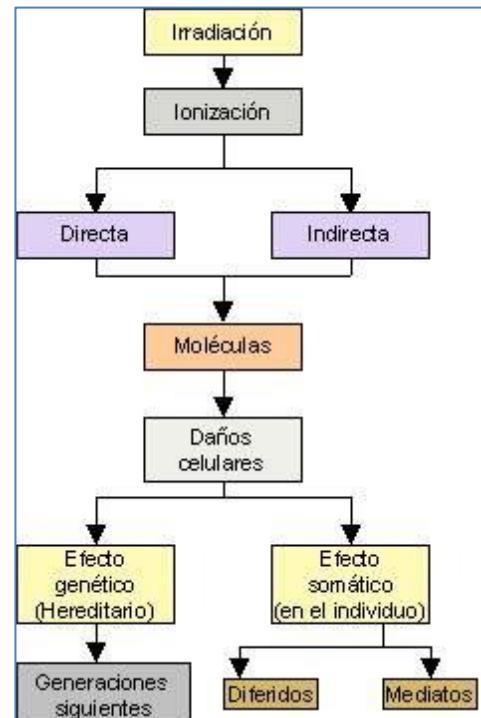
Dosis equivalente (H). Se define como el producto de la dosis absorbida (D), el factor de calidad (Q) y el producto de los demás factores modificantes (N), que tienen en cuenta las características de la radiación y la distribución de los radionúclidos.

$$D. \text{ equiv.} = D. \text{ abs} \times Q \times N$$

La unidad de medida es el Sievert (Sv)

$$1 \text{ Sv(SI)} = 100 \text{ Rems (Cegesimal)}$$

El valor de Q es 10 para la radiaciones a y 1 para el resto de las citadas, mientras que N se considera normalmente igual a 1.



Es necesario identificar el lugar de absorción al referirse a la dosis, esto obedece a que altas dosis pueden aplicarse a una pequeña parte del cuerpo en una sesión de terapia, pero una vigésima parte de esta radiación puede llegar a ser mortal si se aplica a la totalidad del cuerpo.

La efectividad biológica de la radiación ionizante no puede medirse con exactitud, ya que varía según la parte del cuerpo irradiado, el tipo de radiación, la distribución en profundidad de la radiación, y muchos otros factores como el sexo y la edad del individuo.

La comisión internacional de protección radiológica (C.I.P.R.) es el organismo internacional encargado de regular sobre el particular.

La dosis admisible o dosis máxima total acumulada de irradiación por los trabajadores expuestos, referida al cuerpo entero, gónadas, órganos hematopoyéticos y cristalinos, no excederán el valor máximo admisible calculado con la siguiente fórmula:

$$D = 5(N-18)$$

en la que D es la dosis en los tejidos expresada en Rems y N es la edad del trabajador expresada en años.

La dosis admisible o dosis máxima total acumulada se refiere a la cantidad de radiación máxima a la que se puede exponer el trabajador durante su vida transcurrida. Por ejemplo, para un trabajador de 26 años, la dosis admisible es:

$$D = 5(26-18) = 40 \text{ Rems}$$

Esta cantidad se refiere a la dosis máxima que puede recibir un trabajador de 26 años en su vida transcurrida pero no representa el límite de exposición del trabajador a fuentes ionizantes.

Si la dosis acumulada no excede el valor máximo admisible hallado en la anterior fórmula, un trabajador podrá recibir en un trimestre una dosis que no exceda 3 Rems en el cuerpo entero, las gónadas, los órganos hematopoyéticos y cristalinos. Esta dosis de 3 Rems puede recibirse una vez al año, pero debe evitarse en lo posible en mujeres en edad de procrear.

Guía para la Exposición a Radiaciones Ionizantes (según C.I.P.R.)	
Tipo de Exposición	Pauta
<i>Dosis efectiva</i>	
a) En un año	50 mSv (milisievert) ²
b) En un promedio de 5 años	20 mSv por año
<i>Dosis equivalente anual en :</i>	
a) Lentes de los ojos	150 mSv
b) Piel ³	500 mSv
c) Manos y pies	500 mSv

² 10 mSv = 1 Rem

³ La limitación sobre la dosis efectiva provee suficiente protección contra los efectos estocásticos y aplica a la piel de la cara. La dosis de 500 mSv es un promedio sobre cualquier área de 1 cm² de piel sin tener en cuenta el área expuesta. Este límite adicional es necesario para proteger contra determinados efectos de exposición localizada.

por los medios instrumentales, tales como los dosímetros.

Así, por ejemplo, analizando el caso anterior, para un trabajador de 26 años que durante su vida haya sido expuesto a una dosis acumulada de 13 Rems –asumiendo una exposición baja promedio de 0.5 Rems por año durante su vida–, ya que su dosis admisible es de 40 Rems, puede admitir una exposición de máxima 5 Rems en un año y tolerar una dosis de 3 Rems por trimestre sin que exceda los 5 Rems en un año. Hay que tener en cuenta que CIPR no recomienda una exposición mayor a 2 Rems por año en un período de cinco años, es decir 20 Rems máximo en una década, para no exceder la dosis admisible.

En ningún caso la dosis admisible indica tolerancia o admisión a exposiciones superiores a 5 Rems por año y solo sirve como parámetro de comparación contra la dosis acumulada del trabajador.

Isótopos.

Los isótopos de un elemento contienen el mismo número de electrones y de protones, pero difieren de los átomos en su número de neutrones. Recordemos que un átomo está constituido por un pequeño núcleo muy denso (protones y neutrones) rodeado por nubes de electrones a distancias relativamente grandes del núcleo. El neutrón es una partícula sin carga, con masa ligeramente mayor que la del protón. Esta diferencia de masa en el núcleo causa inestabilidad lo cual produce su desintegración espontánea con la consiguiente liberación de energía Los isótopos

Los trabajadores cuya exposición se haya venido ajustando a la dosis máxima admisible de 0.3 Rems semanales (valor fijado por el C.I.P.R.), y que de esta manera hayan acumulado una dosis superior a la permitida por la fórmula, no deberán quedar expuestos a dosis superiores a 5 Rems anuales hasta que la dosis acumulada en un momento dado resulte inferior a la

permitida por la fórmula.

“La determinación de la dosis de exposición, para los trabajadores, deberá ser efectuada como mínimo, una vez al mes.” Esto puede llevarse a cabo gracias a los reportes arrojados

pueden clasificarse por su radio toxicidad en muy alta como el ^{243}Am (amarecio) y ^{241}Am , alta toxicidad como el ^{137}Cs (cesio) y moderada toxicidad como el ^7Be (berilio). Un isótopo de ^{137}Cs puede emitir radiaciones beta o gamma y tener una vida media de 30 años; El tiempo de vida media está definido como el periodo al cabo del cual el material pierde la mitad de su actividad.

Las radiaciones ionizantes pueden aparecer bien como emisión de materiales radiactivos (sean estos naturales ó creados artificialmente), bien generadas mediante equipamiento eléctrico. En la siguiente tabla se recogen algunas de las aplicaciones de los materiales radiactivos:

UTILIZACIÓN	ISÓTOPOS RADIACTIVOS
Telegammaterapia	Cobalto-60
Radioterapia (alta intensidad)	Iridio-192
Radioterapia (baja intensidad)	Cesio-137, Iridio-192
Irradiación de productos sanguíneos	Cobalto-60, Cesio-137
Irradiación industrial	Cobalto-60, Cesio-137
Medidas de espesor	Cobalto-60, Kripton-85, Cesio-137, Americio-241
Medidas de nivel	Cobalto-60
Medidas de humedad y densidad	Americio, Berilio, Cesio-137
Radiografías industriales	Cobalto-60, Iridio-192
Ánalisis por fluorescencia de rayos X	Hierro 55, Americio 241, Plutonio 238
Cromatografía en fase gaseosa	Níquel 63, Tritio (Hidrógeno 3)
Detectores de humo, pararrayos radiactivos	Americio 241

En el caso de la generación de energía eléctrica en centrales nucleares, en que se usa habitualmente Urano como material generador de energía, se obtienen como productos residuales una larga colección de isótopos radiactivos, que emiten todos los tipos de radiaciones ionizantes.

En Medicina se utilizan las radiaciones ionizantes esencialmente en tres ámbitos: Radiodiagnóstico (RX), Medicina Nuclear y Laboratorios (radiación gamma, radiación beta y radiación alfa), y Radioterapia (radiación gamma (Co-60, Ir-192, Cs-137), radiación X (en aceleradores de electrones trabajando en régimen de rayos X), radiación beta y alfa, e incluso neutrones y núcleos pesados). En general para tratamientos se usa radiación con partículas masivas ó Rem de energías más altas, y para diagnóstico Rem de menores energías.

Además aparecen radiaciones ionizantes en aceleradores de partículas de alta energía, reactores de fusión, procedimientos de datación de materiales (C-14), generadores de neutrones ó pilas de larga duración (Pu-238 para funcionamiento de equipos sin posible reposición energética), etc.

Efectos dañinos de las radiaciones ionizantes en un organismo vivo.

Se deben principalmente a la energía absorbida por las células y los tejidos que la forman. Esta energía es absorbida por ionización y excitación atómica, produce descomposición química de las moléculas presentes.

A menos de 100 mSv (milisieverts), no se espera ninguna respuesta clínica. Al aumentar la dosis, el organismo va presentando diferentes manifestaciones hasta llegar a la muerte. La dosis letal media es aquella a la cual cincuenta por ciento de los individuos irradiados mueren, esta es 4 Sv (4000 mSv). En ocasiones pueden aplicarse grandes dosis de radiación a áreas limitadas (como en la radioterapia), lo que provoca solo un daño local.

Cuando la radiación ionizante incide sobre un organismo vivo, las reacciones a nivel celular son principalmente en las membranas, el citoplasma y el núcleo. La interacción en las membranas produce alteraciones de permeabilidad, lo que hace que puedan intercambiar fluidos en cantidades mayores de lo normal.

La célula no muere pero sus funciones de multiplicación no se llevan a cabo. En el caso que la interacción sea en el citoplasma, cuya principal sustancia es el agua, al ser ésta ionizada se forman radicales inestables. Algunos de estos radicales tenderán a unirse para formar moléculas de agua y moléculas de hidrógeno (H), las cuales no son nocivas para el citoplasma. Otros se combinan para formar peróxido de hidrógeno (H_2O_2), el cual si produce alteraciones en el funcionamiento de las células.

La situación más crítica se presenta cuando se forma el hidronio (H_3O^+), el cual produce envenenamiento. Cuando la radiación ionizante llega hasta el núcleo de la célula, puede producir alteraciones de los genes e incluso rompimiento de los cromosomas, provocando que cuando la célula se divida lo haga con características diferentes a la célula original.

Las células pueden sufrir aumento o disminución de volumen, muerte, un estado latente, mutaciones genéticas y cáncer. Estas propiedades radiativas se pueden volver benéficas, es el caso de la radioterapia que utiliza altas dosis

de radiación para eliminar tejidos malignos en el cuerpo. Sin embargo, por la naturaleza de la radiactividad, es inevitable afectar otros órganos sanos cercanos.

El daño a las células germinales resultará en daño a la descendencia del individuo. Se pueden clasificar los efectos biológicos en somáticos y hereditarios. El daño a los genes de una célula somática puede producir daño a la célula hija, pero sería un efecto somático no hereditario. Un daño genético es efecto de mutación en un cromosoma o un gen, esto lleva a un efecto hereditario solamente cuando el daño afecta a una línea germinal. El síndrome de la irradiación aguda es el conjunto de síntomas que presentan las personas irradiadas de manera intensa en todo el cuerpo. Consiste en náusea, vómito, anorexia, pérdida de peso, fiebre y hemorragia intestinal.

Los efectos de la radiactividad en partes locales pueden ser eritema o necrosis de la piel, caída del cabello, necrosis de tejidos internos, la esterilidad temporal o permanente, la reproducción anormal de tejidos como el epitelio del tracto gastrointestinal, el funcionamiento anormal de los órganos hematopoyéticos (medula ósea y bazo), o alteraciones funcionales del sistema nervioso y de otros sistemas.

Los efectos generales de las radiaciones sobre el ser humano son los siguientes:

Cantidad Efecto

- 0mSv-250mSv Ninguna lesión detectable.
- 0,5Sv (500mSv) Posibles alteraciones de la sangre, pero ninguna lesión grave. Ningún otro efecto detectable.
- 1Sv Náuseas y fatiga con posibles vómitos. Alteraciones sanguíneas marcadas con restablecimiento diferido. Probable acortamiento de la vida. Ninguna incapacitación.
- 2Sv Náuseas y vómitos en las primeras veinticuatro horas. A continuación un periodo latente de una semana, caída del cabello, pérdida del apetito, debilidad general y otros síntomas como irritación de garganta y diarrea. Posible fallecimiento al cabo de dos a seis semanas de una pequeña fracción de los individuos irradiados. Restablecimiento probable de no existir complicaciones a causa de poca salud anterior o infecciones. Posible incapacitación.
- 4Sv Náuseas y vómitos al cabo de una a dos horas. Tras un periodo latente de una semana, caída del cabello, pérdida del apetito y debilidad general con fiebre. Inflamación grave de boca y garganta en la tercera semana. Síntomas tales como palidez, diarrea, epistaxis y rápida atenuación hacia la cuarta semana. Algunas defunciones a las dos a seis semanas. Mortalidad probable del cincuenta por ciento.
- 6Sv Náuseas y vómitos al cabo de una a dos horas. Corto periodo latente a partir de la náusea inicial. Diarrea, vómitos, inflamación de boca y garganta hacia el final de la primera semana. Fiebre y rápida extenuación y fallecimiento incluso en la segunda semana. Fallecimiento probable de todos los individuos irradiados.

Clasificación de las fuentes de radiación utilizadas en Medicina

Fuente	Aplicaciones
Generadores de radiaciones	Radiodiagnóstico
	Radioterapia con rayos X
	Radioterapia con aceleradores
Fuentes encapsulada	Braquiterapia (Ir-192, Cs-137)
	Teleterapia (Co-60, Cs-137)
	Fuente de energía para marcapasos
Fuentes no encapsuladas	Radiofármacos
	Radioínmunoanálisis
	Estudios morfológicos y funcionales
	Investigación.

Fuentes de radiaciones ionizantes en medicina.

Las radiaciones ionizantes comenzaron a aplicarse en la Medicina bien pronto tras su descubrimiento, y desde entonces su crecimiento y desarrollo ha sido paralelo al avance de la Medicina, permitiendo un mejor conocimiento de la anatomía y fisiología, tanto normal como patológica, de los organismos vivos. Su contribución a la investigación, al diagnóstico y al tratamiento ha sido de tal magnitud que hoy no podemos concebir la práctica clínica sin su presencia. No obstante, ya pesar de estar suficientemente comprobado el beneficio que su uso comporta, debido a los efectos biológicos adversos que se pueden derivar de su utilización, ésta debe realizarse siguiendo un conjunto de normas que limiten en lo posible el riesgo asociado a su aplicación.

Hoy en día, la exposición a las radiaciones derivada de sus usos en Medicina es, después de la proveniente de fuentes naturales, la que supone, con mucho, la mayor contribución a la dosis total recibida por el hombre, tanto a nivel individual como colectivo, variando ésta con el grado de industrialización, de tal forma que, en determinados países, la dosis procedente de fuentes médicas se aproxima sensiblemente a la que tiene su origen en el fondo radiactivo natural.

Las aplicaciones de las radiaciones en Medicina, como en las restantes áreas de la ciencia y la tecnología, se basan en la doble interacción de la radiación con la materia.

- Aplicaciones basadas en la acción de las radiaciones sobre la materia, es decir, en las alteraciones físicas, químicas y biológicas inducidas en los sistemas materiales por la acción de la radiación. Son aplicaciones encuadradas en este grupo la radioterapia y la esterilización de material médico.

- Aplicaciones que aprovechan la acción de la materia sobre las radiaciones.

La materia provoca fenómenos de absorción y dispersión de la radiación que con ella interacciona, fenómenos que dependen tanto de la naturaleza de la radiación incidente como de ciertas características propias de la materia, tales como espesor, densidad y naturaleza. La detección y medida de la radiación transmitida permiten obtener información acerca de las propiedades referidas. En este grupo de aplicaciones debemos encuadrar fundamentalmente las imágenes médicas.

- Utilización de átomos radiactivos como trazadores. En este tipo de aplicaciones, el radio nucleido se mezcla o incorpora a una sustancia para seguir su curso o comportamiento en sí mismo. En este grupo incluimos el uso de moléculas marcadas en radioinmunoanálisis, la autorradiografía celular, etc.

Habitualmente, la exposición a las radiaciones ionizantes de origen médico es dividida en tres categorías bien diferenciadas: radiodiagnóstico, radioterapia y uso de radioisótopos en medicina nuclear.

- Radiodiagnóstico. La obtención de imágenes mediante la medida de la atenuación que sufre un haz de fotones de rayos X al atravesar las estructuras corporales fue la primera de las aplicaciones de las radiaciones a la Medicina.

En las últimas décadas, los avances basados en el uso de detectores sin película, que dan información acerca del número de fotones que chocan sobre un elemento sensible, y el uso de algoritmos sofisticados de procesamiento de datos han revolucionado la calidad, seguridad y eficacia del diagnóstico por imagen, aumentando asimismo su alcance e indicaciones.

Son las exploraciones de cateterismo, la radiología intervencionista y la cirugía ortopédica los procedimientos de radiodiagnóstico que suponen una exposición más alta, tanto para pacientes como para operadores.

No por muy repetido debemos dejar de mencionar aquí que deben ser desterradas de nuestro arsenal diagnóstico las exploraciones de escopia sin intensificador de imagen por la elevada dosis de radiación que supone para el paciente y para el médico, así como limitar el resto de las exploraciones a sus indicaciones precisas.

Otro procedimiento que ha demostrado tener un rendimiento que no justifica su utilización rutinaria es la práctica de radiografías de tórax en los reconocimientos médicos periódicos preventivos.

Por último, la Resonancia Magnética Nuclear (RMN) utiliza fotones para la formación de las imágenes, pero estos fotones se encuentran en las frecuencias de las ondas de radio y no en las de las radiaciones ionizantes, y, por tanto, como hasta ahora parecen indicar las evidencias acumuladas, se trata de un procedimiento, si no inocuo, sí infinitamente menos perjudicial que el empleo de radiaciones ionizantes. Esto, junto a su resolución, la capacidad de distinguir entre tejidos sanos y enfermos, su versatilidad a la hora de elegir las proyecciones y los planos de corte y la incipiente posibilidad de realizar estudios funcionales, llevará, cuando se solucionen los problemas de costes, a sustituir a gran parte de las actuales técnicas basadas en los rayos x.

- Radioterapia. En este tipo de aplicaciones se aprovecha el poder destructivo que las radiaciones ionizantes ejercen sobre las células vivas, limitándose su utilización en el momento actual casi exclusivamente al campo de la oncología. Dada la mayor radiosensibilidad de la célula neoplásica por su gran velocidad de reproducción y en general su elevado grado de indiferenciación, las células sanas que se ven alcanzadas por la radiación sufren un daño menor, resultando posible, mediante una adecuada distribución de la radiación en el espacio y en el tiempo, la destrucción del

tumor, sin causar daños irreparables al tejido sano circundante. En este campo se utiliza una gran diversidad de fuentes en función de la naturaleza del tumor, su localización, extensión, etc., clasificándose sus procedimientos en dos categorías: la braquiterapia y la teleterapia con haces de radiación.

En la braquiterapia, la fuente radiactiva encapsulada se sitúa en contacto con el tumor con el fin de concentrar en él la mayor dosis posible, con escasa irradiación del tejido sano. Antiguamente las fuentes estaban constituidas por el radionúcleido natural Radio-226, pero, dados sus enormes inconvenientes en lo referente a la protección radiológica, ha sido sustituido por placas de Estroncio-90 en equilibrio con Ytrio-90 en terapia superficial; fuentes de Cesio-137 o Cobalto-60 en terapia endocavitaria, y alambres y horquillas de aleaciones de platino con Iridio-192 en terapia intersticial.

Cuando el tamaño, localización y extensión no hacen factible la utilización de la braquiterapia, se acude a la utilización de haces de radiación externos, abarcando su gama los equipos de rayos X, las fuentes encapsuladas de Cesio-137 y Cobalto-60 y los aceleradores de partículas.

- Uso de radioisótopos en medicina nuclear. Podemos hablar de dos grandes grupos de aplicaciones: el diagnóstico y la terapéutica con radionúcleidos en forma de fuentes no encapsuladas.

En el terreno diagnóstico, aprovechando la posibilidad de detectar isótopos radiactivos introducidos en el organismo, se estudian gran cantidad de órganos y funciones.

Se suelen utilizar Tecnecio-99m, Galio-67, Talio-201, Iodo-131, etc., ya sea de forma pura o bien marcando determinadas moléculas. Mención especial merece la Tomografía por Emisión de Positrones (TEP), que, a través de la detección de la aniquilación de un positrón emitido por determinados isótopos (Carbono-14, Oxígeno-15 o Flúor-18) y un electrón presente en las estructuras a estudiar, permite el análisis cinético de procesos fisiológicos y bioquímicos, incluyendo volumen y flujo sanguíneo, consumo de oxígeno y sustratos, es decir, grado de actividad. El elevado coste de estas instalaciones hace que hasta la fecha no se haya generalizado su empleo, quedando restringido a unos pocos centros hospitalarios en todo el mundo.

Las técnicas *in vitro* que utilizan radioisótopos poseen un amplio campo de aplicaciones en clínica e investigación.

El radioinmunoanálisis conjuga la gran sensibilidad de la detección radiactiva con la especificidad de las reacciones antígeno-anticuerpo y posibilita el análisis cualitativo y cuantitativo de una gran variedad de sustancias: hormonas, tóxicos, fármacos, en los fluidos corporales.

Suelen utilizarse como radionúcleidos marcadores el Iodo-125, Cromo-51, Hidrógeno-3 y Carbono-14.

Las aplicaciones terapéuticas constituyen la llamada radioterapia metabólica, que se basa en la acumulación de una sustancia radiactiva no encapsulada en el órgano o región a tratar con el fin de depositar allí la dosis de radiación. Las aplicaciones más características residen en el tratamiento de los hipertiroidismos y de neoplasias tiroideas con Iodo-131.

Radiaciones no ionizantes.

Son aquellas que no poseen suficiente energía para arrancar un electrón del átomo, es decir, no son capaces de producir ionizaciones.

Estas radiaciones se pueden clasificar en dos grandes grupos:

- Radiaciones electromagnéticas. A este grupo pertenecen las radiaciones generadas por las líneas de corriente eléctrica o por campos eléctricos estáticos. Otros ejemplos son las ondas de radiofrecuencia, utilizadas por las emisoras de radio y las microondas utilizadas en electrodomésticos y en el área de las telecomunicaciones.

- Radiaciones ópticas. Pertenece a este grupo los rayos infrarrojos, la luz visible y la radiación ultravioleta.

El Sol emite radiaciones a lo largo de todo el espectro electromagnético, desde el infrarrojo hasta el ultravioleta. No toda la radiación solar alcanza la superficie de la Tierra, porque las ondas ultravioletas más cortas son absorbidas por los gases de la atmósfera, fundamentalmente por el ozono.

Tipos de radiación emitida por el Sol.

- Infrarroja. Esta parte del espectro está compuesta por rayos invisibles que proporcionan el calor que permite mantener la Tierra caliente.

- Visible. Esta parte del espectro, que puede detectarse con nuestros ojos, nos permite ver y proporciona la energía a las plantas para producir alimentos mediante la fotosíntesis.

- Ultravioleta. No podemos ver esta parte del espectro, pero puede dañar nuestra piel si no está bien protegida, pudiendo producir desde

Índice UV	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11 ó mayor
	Bajo	Moderado			Alto	Muy alto	Extremado				

quemaduras graves hasta cáncer de piel.

La Radiación Ultravioleta.

La radiación ultravioleta (UV) es una radiación electromagnética cuya longitud de onda va aproximadamente desde los 400 nm, el límite de la luz violeta, hasta los 15 nm, donde empiezan los rayos X. El exceso de los rayos UV puede tener consecuencias graves para la salud, ya que es capaz de provocar cáncer, envejecimiento y otros problemas de la piel como quemaduras. Además puede causar cataratas y otras lesiones en los ojos y puede alterar el sistema inmunitario. Los niños deben aprender a cuidarse del sol porque la exposición excesiva durante la infancia y juventud puede provocar cáncer de piel más adelante.

El Índice UV es una unidad de medida de los niveles de radiación ultravioleta relativos a sus efectos sobre la piel humana. Este índice puede variar entre 0 y 16 y tiene cinco rangos.

Cuanto menor es la longitud de onda de la luz ultravioleta, más daño puede causar a los seres vivos, pero también es más fácilmente absorbida por la capa de ozono. Existen tres tipos de radiación ultravioleta, que tienen distinta energía o longitud de onda: UVA, UVB y UVC. La mayoría de la radiación UV que llega a la tierra es del tipo UVA (mayor longitud de onda), con algo de UVB.

Fuentes de radiación ultravioleta

Luz solar. La mayor exposición de origen profesional a la RUV la experimentan quienes trabajan al aire libre, bajo la luz del sol.

La energía de la radiación solar está muy atenuada por la capa de ozono de la Tierra, que limita la RUV terrestre a longitudes de onda superiores a 290-295 nm. La energía de los rayos de corta longitud de onda (UVB), más peligrosos, de la luz solar depende considerablemente de su trayectoria oblicua en la atmósfera, y varía con la estación y la hora del día (Sliney 1986 y 1987; OMS 1994).

Fuentes artificiales. Entre las fuentes artificiales más importantes de exposición humana están las siguientes:

Soldadura al arco industrial. La principal fuente de exposición potencial a la RUV es la energía radiante de los equipos de soldadura al arco. Los niveles de RUV en torno al equipo de soldadura al arco son muy altos y pueden producirse lesiones oculares y cutáneas graves en un tiempo de tres a diez minutos de exposición a distancias visuales cortas, de unos pocos metros. La protección de los ojos y la piel es obligatoria.

Lámparas de RUV industriales/en el lugar de trabajo. Muchos procesos industriales y comerciales, tales como el curado fotoquímico de tintas, pinturas y plásticos, requieren la utilización de lámparas que emiten una radiación intensa en la región del UV. Aunque la probabilidad de exposición perjudicial es baja gracias al empleo de blindajes, en algunos casos puede producirse exposición accidental.

Lámparas de luz negra. Las lámparas de luz negra son lámparas especializadas que emiten predominantemente en la región del UV, y por lo general se utilizan para pruebas no destructivas con polvos fluorescentes, para la autenticación de billetes de banco y documentos, y para efectos especiales en publicidad y discotecas. No plantean ningún riesgo de exposición considerable para los humanos (excepto en ciertos casos para la piel fotosensibilizada).

Tratamiento médico. Las lámparas de RUV se utilizan en medicina para diversos fines de diagnóstico y terapéuticos. Normalmente, las fuentes de UVA se utilizan en aplicaciones de diagnóstico. Los niveles de exposición del paciente varían considerablemente según el tipo de tratamiento, y las lámparas UV empleadas en dermatología requieren una utilización cuidadosa por parte del personal.

Lámparas RUV germicidas. La RUV con longitudes de onda en el intervalo de 250–265 nm es la más eficaz para esterilización y desinfección dado que corresponde a un nivel máximo en el espectro de absorción del ADN. Como fuente UV se utilizan con frecuencia tubos de descarga de mercurio de baja presión, ya que más del 90% de la energía radiada se emite en la línea de 254 nm. Estas fuentes suelen denominarse "lámparas germicidas", "lámparas bactericidas" o simplemente "lámparas UVC". Se utilizan en hospitales para combatir la infección por tuberculosis, y también en el interior de cabinas microbiológicas de seguridad para inactivar los microorganismos del aire y de las superficies. Es esencial una instalación adecuada de las mismas y el uso de protección ocular.

Bronceado cosmético. En ciertas empresas hay camas solares en las que los clientes pueden broncearse por medio de lámparas especiales que emiten principalmente en la región del UVA, aunque también algo en la del UVB. El uso habitual de una cama solar puede contribuir considerablemente a la exposición cutánea anual de una persona al UV; asimismo, el personal que trabaja en salones de bronceado puede resultar expuesto a bajos niveles. El uso de medios de protección ocular tales como gafas de seguridad o gafas de sol debería ser obligatorio para el cliente, y dependiendo de la disposición del establecimiento incluso el personal puede necesitar protectores oculares.

Alumbrado general. Las lámparas fluorescentes son de uso habitual en el lugar de trabajo y también hace tiempo que se utilizan en el entorno doméstico. Estas lámparas emiten pequeñas cantidades de RUV y solo contribuyen en un pequeño porcentaje a la exposición anual de una persona a la radiación UV.

Las lámparas de tungsteno halógenas cada vez se utilizan más en el hogar y en el lugar de trabajo para diversos fines de alumbrado y exhibición. Las lámparas halógenas sin apantallar pueden emitir niveles de RUV suficientes para causar graves lesiones a cortas distancias. Colocando sobre ellas filtros de vidrio se eliminaría este riesgo.

La radiación infrarroja.

La radiación infrarroja es la parte del espectro de radiación no ionizante comprendida entre las microondas y la luz visible.

Es parte natural del entorno humano y por lo tanto las personas están expuestas a ella en pequeñas cantidades en todas las situaciones de la vida diaria, por ejemplo en el hogar o durante las actividades recreativas realizadas al sol. No obstante, puede producirse una exposición muy intensa debido a ciertos procesos técnicos en el lugar de trabajo.

Muchos procesos industriales implican el curado térmico de distintos tipos de materiales. Normalmente, las fuentes de calor utilizadas o el propio material calentado emiten niveles tan altos de radiación infrarroja que un gran número de trabajadores corren el riesgo de resultar expuestos.

Las longitudes de onda de la radiación infrarroja (IR) están comprendidas entre 780 nm y 1 mm. Según la clasificación de la Comisión Internacional de Iluminación (CIE), esta banda se subdivide en IRA (de 780 nm a 1,4 μm), IRB (de 1,4 μm a 3 μm) e IRC (de 3 μm a 1 mm). Tal subdivisión se ajusta de manera aproximada a las características de absorción dependiente de la longitud de onda de la IR en el tejido y a los diferentes efectos biológicos resultantes.

La cantidad y la distribución temporal y espacial de la radiación infrarroja se expresan mediante diferentes magnitudes y unidades radiométricas. Debido a las propiedades ópticas y fisiológicas, especialmente del ojo, normalmente se hace una distinción entre fuentes "puntuales", es decir, pequeñas, y fuentes "extendidas". El criterio para esta distinción es el valor en radianes del ángulo (α) medido en el ojo, subtendido por la fuente. Este ángulo puede calcularse como un cociente, dividiendo la dimensión D_1 de la fuente luminosa por la distancia de visión r . Las fuentes extendidas son aquéllas que subtienden un ángulo de visión en el ojo mayor que α_{\min} , cuyo valor es normalmente de 11 miliradianes. Para todas las fuentes extendidas hay una distancia de visión en que α es igual a α_{\min} ; a distancias de visión mayores se puede tratar la fuente como puntual. En lo que a protección contra la radiación óptica se refiere, las magnitudes más importantes relativas a las fuentes extensas son la *radiancia* (L , expresada en $\text{W m}^{-2}\text{sr}^{-1}$) y la *radiancia integrada en el tiempo* (LP en $\text{J m}^{-2}\text{sr}^{-1}$), que expresan el "brillo" de la fuente.

A efectos de valorar el riesgo para la salud, las magnitudes más importantes relativas a las fuentes puntuales o extensas, a distancias de la fuente tales que $\alpha < \alpha_{\min}$, son la *irradiancia* (E , expresada en W m^{-2}), que es equivalente al concepto de tasa de dosis de exposición, y la *exposición radiante* (H , en J m^{-2}), que equivale al concepto de dosis de exposición.

Fuentes y exposición.

La exposición a la IR se debe a diversas fuentes naturales y artificiales. La emisión espectral de estas fuentes puede limitarse a una sola longitud de onda (como en el láser) o distribuirse sobre una amplia banda de longitudes de onda.

En general, los diferentes mecanismos que intervienen en la generación de radiación óptica son los siguientes:

- excitación térmica (radiación del cuerpo negro);
- descarga gaseosa,
- amplificación de la luz por emisión estimulada de radiación (láser), siendo el mecanismo de descarga gaseosa menos importante en la banda de IR.

La emisión de las fuentes más importantes utilizadas en numerosos procesos industriales se debe a excitación térmica y puede determinarse de modo aproximado utilizando las leyes físicas de la radiación del cuerpo negro si se conoce la temperatura absoluta de la fuente. La emisión total (M , en Vm^{-2}) de un cuerpo negro radiante se expresa mediante la ley de Stefan-Boltzmann:

$$M(T) = 5,67 \times 10^{-8} T^4$$

y depende de la cuarta potencia de la temperatura (T , en K) del cuerpo radiante. La distribución espectral de la radiancia se expresa mediante la ley de radiación de Planck:

$$L_\lambda = \frac{2c^2 h}{\lambda^5 (c \frac{hc}{kT} - 1)}$$

c = velocidad de la luz

h = constante de Planck

k = constante de Boltzmann

y la longitud de onda de la emisión máxima (λ_{max}) se expresa según la ley de Wien, por medio de la siguiente ecuación:

$$\lambda_{\text{max}} = \frac{2898 \times 10^{-3}}{T}$$

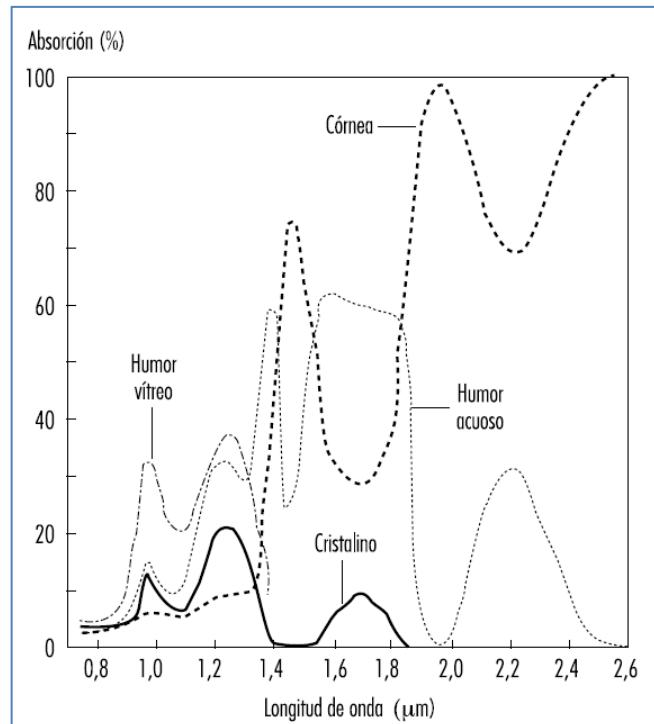
Muchos de los láseres utilizados en procesos médicos e industriales emiten niveles muy altos de IR. En general, comparada con otras fuentes de radiación, la radiación láser posee algunas características inusuales que pueden influir en el riesgo consecutivo a una exposición, tales como los impulsos de muy corta duración o una irradiancia extremadamente alta. Por lo tanto, la radiación láser se trata con detalle más adelante en este capítulo.

Diferentes fuentes de IR, población expuesta y niveles de exposición aproximados.

Fuente	Aplicación o población expuesta	Exposición
Luz solar	Trabajadores a la intemperie, agricultores, trabajadores de la construcción, marineros, público en general	500 Wm ⁻²
Lámparas de filamento de tungsteno	Población y trabajadores en general	10 ⁵ –10 ⁶ Wm ⁻² sr ⁻¹
Lámparas de filamento de tungsteno halogenado	Alumbrado general, secado de tintas y pinturas (Véase lámparas de filamento de tungsteno)	50–200 Wm ⁻² (a 50 cm) Sistemas de copia (fijación), procesos generales (secado, cocción, retracción, reblandecimiento)
Diodos fotoemisores (p. ej., diodo de GaAs)	Juguetes, electrónica de consumo, tecnología de transmisión de datos, etc.	10 ⁵ Wm ⁻² sr ⁻¹
Lámparas de arco de xenón	Proyectores, simuladores solares, luces de exploración	10 ⁷ Wm ⁻² sr ⁻¹
Operadores de cámaras de impresión, trabajadores de laboratorios ópticos, artistas de variedades		
Hierro en fusión	Horno de acero, trabajadores de acerías	10 ⁵ Wm ⁻² sr ⁻¹
Baterías de lámparas de infrarrojos	Calentamiento y secado industriales	10 ³ a 8-10 ³ Wm ⁻²
Lámparas de infrarrojos en hospitales	Incubadoras	100–300 Wm ⁻²

Absorción espectral de los medios oculares.

Por regla general, la radiación óptica no penetra a mucha profundidad en el tejido biológico. Por lo tanto, los principales objetivos de una exposición a IR son la piel y los ojos. En la mayoría de condiciones de exposición el principal mecanismo de interacción de la IR es térmico. Sólo los impulsos de muy corta duración que pueden producir los láseres, aunque no se tratan aquí, pueden originar también efectos termomecánicos. Con la radiación IR no son de prever efectos debidos a ionización o a la rotura de enlaces químicos, dado que la energía de las partículas, al ser inferior a 1,6 eV aproximadamente, es demasiado baja para causar tales efectos. Por la misma razón, las reacciones fotoquímicas sólo revisten importancia a longitudes de onda cortas en las regiones visible y ultravioleta del espectro. Los distintos efectos de la IR para la salud, dependientes de la longitud de onda, se deben principalmente a las propiedades ópticas de los tejidos, dependientes también de la longitud de onda que presenta el tejido: por ejemplo, la absorción espectral de los medios oculares.



Efectos sobre el ojo

En términos generales, el ojo está bien adaptado para autoprotegerse frente a la radiación óptica del entorno natural. Además, está protegido fisiológicamente contra lesiones por fuentes de luz intensa, como el sol o las lámparas de alta intensidad, mediante una respuesta de aversión que limita la duración de la exposición a una fracción de segundo (0,25 segundos aproximadamente).

La IRA afecta principalmente a la retina, debido a la transparencia de los medios oculares. Además, cuando se mira directamente a una fuente puntual o a un haz láser, la capacidad de enfocar en la región de la IRA hace la retina mucho más susceptible de sufrir daños que ninguna otra parte del cuerpo. Se considera que, con períodos de exposición cortos, el calentamiento del iris por absorción de radiación visible o IR próxima conduce a la formación de opacidades en el cristalino. Al aumentar la longitud de onda, a partir de 1 μm aproximadamente, aumenta también la absorción por los medios oculares. Por lo tanto, se considera que la absorción de radiación IRA por el cristalino y el iris pigmentado influye en la formación de opacidades de cristalino. Las lesiones del cristalino se atribuyen a longitudes de onda inferiores a 3 μm (IRA e IRB).

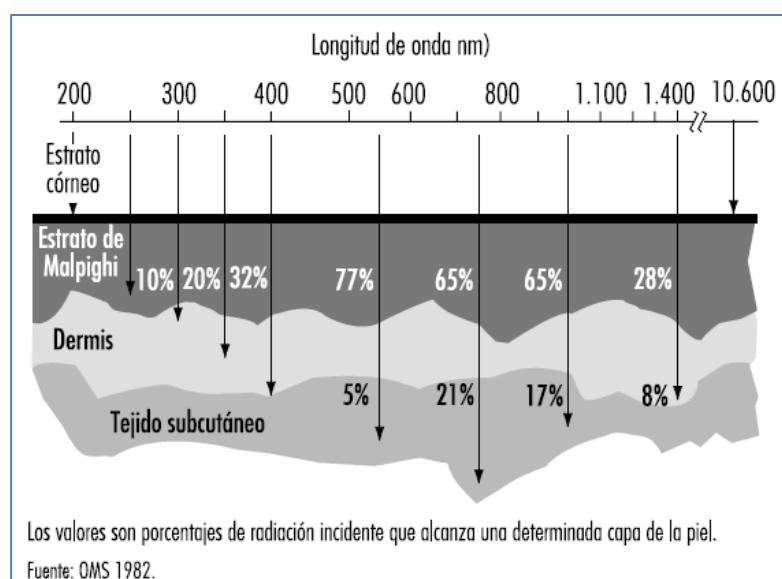
El humor acuoso y el cristalino presentan una absorción especialmente elevada de la radiación infrarroja de longitud de onda superior a 1,4 μm .

En la región IRB e IRC del espectro, los medios oculares se vuelven opacos a causa de la elevada absorción por el agua que contienen. En esta región, la absorción se produce principalmente en la córnea y el humor acuoso. Por encima de 1,9 μm , el único medio realmente absorbente es la córnea. La absorción de radiación infrarroja de larga longitud de onda por la córnea puede elevar la temperatura del interior del ojo debido a la conducción térmica. Gracias a la rápida renovación de las células superficiales de la córnea cabe esperar que cualquier daño que se limite a la capa externa de esta última sea temporal. En la banda de IRC, la exposición puede provocar en la córnea quemaduras similares a las de la piel. No obstante, las quemaduras de la córnea no son muy probables dada la reacción de aversión que desencadena la sensación dolorosa provocada por una exposición intensa.

Efectos sobre la piel

La radiación infrarroja no penetra en la piel a mucha profundidad, por lo que la exposición de la piel a una IR muy intensa puede producir efectos térmicos de distinta intensidad e incluso quemaduras graves. Los efectos sobre la piel dependen de las propiedades ópticas de ésta, tales como la profundidad de penetración en función de la longitud de onda. Particularmente, a longitudes de onda más largas, una exposición extensa puede provocar un gran aumento de temperatura local y quemaduras. Debido a las propiedades físicas de los procesos de transporte térmico en la piel, los valores umbral para estos efectos dependen del tiempo. Por ejemplo, una irradiación de 10 kW m^{-2} puede causar una sensación dolorosa al cabo de 5 segundos, mientras que una exposición de 2 kW m^{-2} no producirá la misma reacción en períodos de duración inferior a 50 segundos aproximadamente.

Si la exposición se prolonga durante períodos muy largos, incluso con valores muy inferiores al umbral de dolor, el cuerpo humano puede sufrir una elevada carga térmica, en especial si la exposición abarca la totalidad del cuerpo como por ejemplo delante de acero fundido. Esto puede provocar un desequilibrio del sistema de termorregulación, en otro caso fisiológicamente bien equilibrado. El umbral de tolerancia de tales exposiciones depende de las diferentes condiciones individuales y ambientales, tales como la capacidad individual del sistema de termorregulación, el metabolismo del cuerpo durante la exposición o la temperatura ambiente, la humedad y el movimiento del aire (velocidad del viento). En ausencia de trabajo físico puede tolerarse una exposición de 300 W m^{-2} como máximo durante ocho horas en determinadas condiciones ambientales, pero este valor disminuye a 140 W m^{-2} aproximadamente durante el trabajo físico pesado.



Luz y radiación infrarroja.

La luz y la energía radiante infrarroja (IR) son dos formas de radiación óptica que, junto a la radiación ultravioleta, constituyen el espectro óptico. Dentro de este espectro, las distintas longitudes de onda tienen potenciales considerablemente diferentes para ocasionar efectos biológicos, por lo cual el espectro óptico puede subdividirse aún más.

El término luz debería reservarse para las longitudes de onda de energía radiante comprendidas entre 400 y 760 nm, que provocan una respuesta visual en la retina. La luz es el componente esencial de la emisión de las lámparas de iluminación, las pantallas de visualización y una gran variedad de dispositivos de alumbrado. A pesar de la importancia de la iluminación para la visión, algunas fuentes de luz pueden producir reacciones fisiológicas indeseadas, tales como discapacidad y molestias por deslumbramiento, parpadeo y otras formas de estrés ocular debido a un diseño ergonómico deficiente de las tareas del lugar de trabajo. La emisión de luz intensa es también un efecto secundario potencialmente peligroso de algunos procesos industriales, como la soldadura al arco.

La radiación infrarroja (RIR, longitudes de onda de 760 nm a 1 mm) se denomina también comúnmente radiación térmica (o calor radiante), y es emitida por todos los objetos calientes (motores calientes, metales en fusión y otras fuentes de calor en fundiciones, superficies termo tratadas, lámparas eléctricas incandescentes, sistemas de calefacción radiantes, etc.). Es emitida asimismo por una gran variedad de equipos eléctricos, como motores, generadores y transformadores eléctricos y diversos equipos electrónicos.

La radiación infrarroja es uno de los factores que contribuyen al estrés por calor. Niveles elevados de temperatura y humedad ambientales y un bajo grado de circulación del aire pueden combinarse con el calor radiante y producir estrés por calor con el potencial riesgo de lesiones por calor. En ambientes más frescos, las fuentes de calor radiante molestas o mal diseñadas también pueden producir malestar, siendo ésta una consideración ergonómica a tener en cuenta.

Existen al menos cinco tipos distintos de riesgos para el ojo y la piel debidos a fuentes de luz intensa y radiación IR, y es preciso comprender cada uno de ellos para elegir las medidas protectoras. Además de los riesgos potenciales que presenta la radiación ultravioleta (RUV) de algunas fuentes de luz intensa, hay que tener en cuenta los siguientes:

1. Lesión térmica de la retina, que puede producirse a longitudes de onda de 400 nm a 1400 nm. Normalmente el peligro de este tipo de lesión solo lo plantean los láseres, una fuente de arco de xenón muy intensa o un hongo nuclear. La quemadura local de la retina produce un punto ciego (escotoma).
2. Lesión fotoquímica de la retina por luz azul (riesgo asociado principalmente con la luz azul de 400 nm a 550 nm de longitud de onda). Esta lesión se denomina comúnmente fotorretinitis por "luz azul" y una forma especial de ella recibe el nombre de retinitis solar debido a la fuente que la produce. La retinitis solar recibió en tiempos la denominación de "ceguera de los eclipses" con la correspondiente "quemadura retiniana". Sólo en los últimos años se ha descubierto que la fotorretinitis obedece a un mecanismo de lesión fotoquímico consecutivo a la exposición de la retina a longitudes de onda cortas del espectro visible, concretamente la luz violeta y azul. Hasta el decenio de 1970 se creía que obedecía a un mecanismo de lesión térmico. En contraste con la luz azul, la radiación IRA es muy poco eficaz como productora de lesiones retinianas.
3. Riesgos térmicos para el cristalino en la región del infrarrojo próximo (asociados con longitudes de onda de 800 nm a 3.000 nm aproximadamente) con potencial formación de catarata por calor industrial. La exposición media de la córnea a la radiación infrarroja de la luz solar es del orden de 10 W/m^2 . En comparación con esto se ha notificado que trabajadores del vidrio y el acero expuestos a irradiancias infrarrojas del orden de 0,8 a 4 kW/m^2 diariamente durante 10 a 15 años han desarrollado opacidades lenticulares. Estas bandas espectrales contienen IRA e IRB. La guía de la Conferencia Americana de Higienistas Industriales del Gobierno (ACGIH) sobre exposición a la IRA de la parte anterior del ojo es una irradiancia total ponderada en función del tiempo de 100 W/m^2 para duraciones de exposición superiores a 1.000 s (16,7 min).
4. Lesión térmica de la córnea y la conjuntiva (a longitudes de onda de 1.400 nm a 1 mm aproximadamente). Este tipo de lesión se limita casi exclusivamente a la exposición a radiación láser.
5. Lesión térmica de la piel. Aunque rara vez se debe a fuentes convencionales, puede producirse en todo el espectro óptico.

Fuentes de radiación óptica.

Luz solar

La mayor exposición laboral a la radiación óptica se debe a la exposición a los rayos del sol de los trabajadores que realizan su actividad al aire libre. El espectro solar abarca desde la región de corte de la capa de ozono estratosférica, alrededor de los 290-295 nm en la banda del ultravioleta, hasta unos 5.000 nm (5 μm) en la banda del infrarrojo. La radiación solar puede alcanzar un nivel de hasta 1 kW/m² durante los meses de verano y puede provocar estrés por calor, dependiendo de la temperatura ambiente y de la humedad.

Fuentes artificiales

Las principales fuentes artificiales de exposición humana a la radiación óptica son las siguientes:

1. Soldadura y corte. Normalmente los soldadores y sus compañeros están expuestos no solo a una intensa radiación UV, sino también a intensa radiación visible e IR emitida por el arco. En casos aislados estas fuentes han producido lesiones agudas en la retina. En estos entornos es obligatoria la protección ocular.
2. Industrias del metal y fundiciones. La fuente más importante de exposición visible e infrarroja son las superficies de metal fundido y de metal caliente en las industrias del acero y el aluminio y en las fundiciones. La exposición de los trabajadores varía normalmente entre 0,5 y 1,2 kW/m².
3. Lámparas de arco. Muchos procesos industriales y comerciales, por ejemplo aquellos en que se utilizan lámparas de curado fotoquímico, emiten intensa luz visible de onda corta (azul) así como radiación UV e IR. Aunque la probabilidad de exposición perjudicial es baja debido al apantallado, en algunos casos puede producirse exposición accidental.
4. Lámparas infrarrojas. Estas lámparas emiten predominantemente en el intervalo del IRA y suelen utilizarse para tratamiento por calor, secado de pintura y otras aplicaciones afines. No suponen ningún riesgo de exposición significativo para los humanos, ya que el malestar producido por la exposición limita ésta a un nivel seguro.
5. Tratamiento médico. En medicina se utilizan lámparas de infrarrojos para diversos fines diagnósticos y terapéuticos. Las exposiciones del paciente varían considerablemente según el tipo de tratamiento y las lámparas de IR requieren una utilización cuidadosa por parte del personal.
6. Alumbrado general. Las lámparas fluorescentes emiten muy poca radiación infrarroja y generalmente no son lo suficientemente brillantes para entrañar un riesgo potencial para los ojos. Las lámparas incandescentes de tungsteno y de tungsteno-halógeno emiten una fracción considerable de su energía radiante en la región del infrarrojo. Además, la luz azul emitida por las lámparas de tungsteno-halógeno puede entrañar un riesgo para la retina si una persona mira al filamento. Afortunadamente la respuesta de aversión del ojo a la luz brillante previene lesiones agudas incluso a cortas distancias. Este riesgo debería minimizarse o eliminarse colocando filtros "de calor" de vidrio sobre estas lámparas.
7. Proyectores y otros dispositivos ópticos. En los proyectores de exploración, proyectores cinematográficos y otros dispositivos colimadores de haces luminosos se utilizan fuentes de luz intensa que pueden entrañar un riesgo para la retina con el haz directo a distancias muy cortas.

Láseres.

Un láser es un dispositivo que produce energía radiante electromagnética coherente dentro del espectro óptico comprendido entre la zona final del ultravioleta y el infrarrojo lejano (submilimétrico).

El término láser es en realidad un acrónimo de light amplification by stimulated emission of radiation (amplificación de la luz por emisión estimulada de radiación). Aunque el proceso láser fue predicho teóricamente por Albert Einstein en 1916, la primera demostración de un láser conseguido con éxito no tuvo lugar hasta 1960. En los últimos años, los láseres han encontrado múltiples aplicaciones, desde el laboratorio de investigación hasta el entorno industrial, médico y de oficinas, así como en obras de construcción e incluso en el ámbito doméstico. En numerosas aplicaciones, tales como reproductores de videodiscos y sistemas de comunicación por fibra óptica, la salida de energía radiante del láser está confinada, no existe ningún riesgo para la salud del usuario y éste puede no advertir siquiera la presencia de un láser incorporado en el producto. Sin embargo, en algunas aplicaciones médicas, industriales o en investigación la energía radiante emitida por el láser es accesible y puede suponer un riesgo potencial para los ojos y la piel.

Puesto que el proceso láser (denominado a veces "laseo") puede producir un haz de radiación óptica (es decir energía radiante ultravioleta, visible o infrarroja) fuertemente colimado un láser, al contrario que en la mayoría de los riesgos que se presentan en el lugar de trabajo, puede suponer un riesgo a considerable distancia. Quizás sea esta característica más que ninguna otra la que ha suscitado las especiales preocupaciones manifestadas por trabajadores y expertos en salud y seguridad en el trabajo. No obstante, los láseres pueden utilizarse sin peligro si se adoptan medidas apropiadas para controlar el riesgo. Existen normas de ámbito mundial para la utilización segura de los

láseres, la mayoría de ellas "armonizadas" entre sí. En todas estas normas se utiliza un sistema de clasificación de riesgos que agrupa los productos láser en cuatro amplias categorías según la potencia o energía de salida del láser y su capacidad para producir daño. Después se aplican medidas de seguridad acordes con la clasificación de riesgo.

Los láseres operan a longitudes de onda discretas y aunque la mayoría son monocromáticos (es decir, emiten una sola longitud de onda o un solo color) no es infrecuente que un láser emita varias longitudes de onda discretas. Por ejemplo, el láser de argón emite varias líneas diferentes en la región del ultravioleta próximo y en la región visible del espectro, a pesar de estar diseñado en general para emitir solamente una línea verde (una sola longitud de onda) de 514,5 nm y/o una línea azul de 488 nm. Al considerar los riesgos potenciales para la salud, siempre es esencial establecer la longitud o longitudes de onda de salida.

Todos los láseres tienen tres componentes fundamentales:

1. un medio activo (un sólido, líquido o gas) que define las longitudes de onda de emisión posibles;
2. una fuente de energía (por ejemplo, corriente eléctrica, lámpara de bombeo o reacción química),
3. una cavidad resonante con acoplador de salida (generalmente dos espejos).

La mayoría de los sistemas láser utilizados en la práctica fuera del laboratorio de investigación tienen también un sistema de transmisión del haz, por ejemplo una fibra óptica o un brazo articulado con espejos para dirigir el haz hacia una estación de trabajo, y lentes focalizadoras para concentrarlo sobre un material a soldar, etc. En un láser, átomos o moléculas idénticos se llevan a un estado excitado mediante la energía suministrada por la lámpara de bombeo. Cuando los átomos o moléculas se encuentran en un estado excitado, un fotón ("partícula" de energía luminosa) puede estimular a un átomo o molécula excitados para que emitan un segundo fotón de la misma energía (longitud de onda) que viaja en fase (radiación coherente) en la misma dirección que el fotón estimulante. Con ello se ha amplificado al doble la luz emitida. Este mismo proceso repetido en cascada hace que se forme un haz luminoso que se refleja hacia delante y hacia atrás entre los espejos de la cavidad resonante.

Al ser uno de estos espejos parcialmente transparente, una parte de la energía luminosa abandona la cavidad resonante y dando lugar a la emisión del haz láser. Aunque en la práctica los dos espejos paralelos suelen estar curvados para producir una situación de resonancia más estable, el principio básico es el mismo para todos los láseres. A pesar de que en el laboratorio de física se han hecho demostraciones con varios miles de líneas láser diferentes (es decir, longitudes de onda láser discretas características de diferentes medios activos), tan solo unas veinte de ellas se han desarrollado comercialmente hasta ser de uso común en la tecnología cotidiana. Se han desarrollado y publicado guías y normas de seguridad en relación con los láseres, que abarcan básicamente todas las longitudes de onda del espectro óptico a fin de incluir tanto las líneas láser actualmente conocidas como los futuros láseres.

Las normas actuales sobre seguridad de los láseres vigentes en todo el mundo siguen el método de agrupar los productos láser en clases de riesgo. En general, el esquema se basa en la agrupación en cuatro grandes clases de riesgo, de la 1 a la 4. Los láseres de clase 1 no pueden emitir radiación láser potencialmente peligrosa y no suponen ningún riesgo para la salud. Las clases 2 a 4 entrañan un riesgo creciente para los ojos y la piel. Este sistema de clasificación es útil porque se prescriben medidas de seguridad para cada clase de láser. Las clases superiores requieren medidas de seguridad más estrictas.

La clase 1 se considera un grupo sin riesgo, "seguro para la vista". La mayoría de los láseres totalmente confinados (por ejemplo, los registradores láser de discos compactos) son de clase 1. Un láser de clase 1 no requiere ninguna medida de seguridad.

La clase 2 corresponde a los láseres visibles que emiten una potencia muy baja, la cual no sería peligrosa ni siquiera aunque el haz penetrase en el ojo humano con toda su potencia y se enfocase sobre la retina. La respuesta de aversión natural del

Tipo de láser	Principales longitudes de onda	Límite de exposición
Fluoruro de argón	193 nm	3,0 mJ/cm ² durante más de 8 h
Cloruro de xenón	308 nm	40 mJ/cm ² durante más de 8 h
Argón ionizado	488.514,5 nm	3,2 mW/cm ² durante más de 0,1 s
Vapor de cobre	510. 578 nm	2,5 mW/cm ² durante más de 0,25 s
Helio, neón	632,8 nm	1,8 mW/cm ² durante más de 10 s
Vapor de oro	628 nm	1,0 mW/cm ² durante más de 10 s
Criptón ionizado	568.647 nm	1,0 mW/cm ² durante más de 10 s
Neodimio-YAG	1.064 nm 1.334 nm	5,0 µJ/cm ² durante 1 ns a 50 µs No MPE para t < 1 ns, 5 mW/cm ² durante 10 s
Dióxido de carbono	10–6 µm	100 mW/cm ² durante 10 s
Monóxido de carbono	≈5 µm	Hasta 8 h, superficie limitada 10 mW/cm ² durante >10 s para la mayor parte del cuerpo

Todas las normas/directrices contienen valores EMP a otras longitudes de onda y duraciones de exposición.

Nota: Para convertir EMP en mW/cm² a mJ/cm², multiplicar por el tiempo de exposición t en segundos. Por ejemplo, el MPE para He-Ne o argón a 0,1 s es de 0,32 mJ/cm².

Fuente: Norma ANSI Z-136.1 (1993); valores TLV de la ACGIH (1995) y Duchene, Lakey y Repacholi (1991).

ojo a la contemplación de fuentes de luz muy brillante lo protege contra lesiones de retina si la energía que entra en él es insuficiente para dañar la retina dentro del tiempo de respuesta de aversión. Dicha respuesta consiste en el reflejo de parpadeo (de 0,16 a 0,18 segundos aproximadamente), la rotación del ojo y el movimiento de la cabeza cuando se produce la exposición a esa luz tan brillante. Las normas de seguridad actuales definen de modo conservador una duración de la respuesta de aversión de 0,25 segundos. Por lo tanto, los láseres de clase 2 tienen una potencia de salida igual o inferior a 1 miliwatio (mW), que corresponde al límite de exposición admisible para 0,25 segundos. Son ejemplos de esta clase 2 los punteros láser y algunos láseres de alineación.

Algunas normas de seguridad contemplan también una subcategoría de la clase 2 denominada "clase 2A". La contemplación de los láseres de clase 2A no es peligrosa durante un tiempo máximo de 1.000 s (16,7 minutos). La mayoría de los lectores láser utilizados en puntos de venta (cajas de supermercados) y de los lectores de inventario son de la clase 2A.

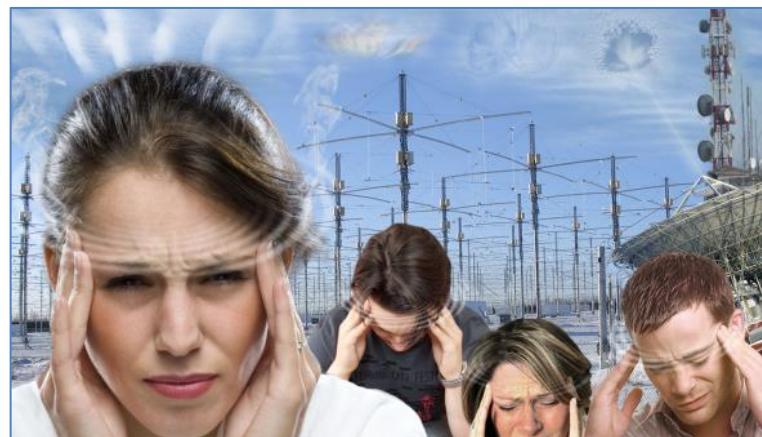
Los láseres de la clase 3 presentan un riesgo para la vista, dado que la respuesta de aversión no es lo bastante rápida para limitar la exposición de la retina a un nivel momentáneamente seguro y también pueden producirse daños en otras estructuras del ojo (por ejemplo, la córnea y el cristalino). Normalmente la exposición accidental no entraña riesgos para la piel: son ejemplos de láseres de clase 3 numerosos láseres de investigación y telémetros láser militares. La clase 3 tiene una subcategoría especial, denominada "clase 3A" (el resto de los láseres de clase 3 se denominan "clase 3B"). Los láseres de la clase 3A tienen una potencia de salida comprendida entre una y cinco veces los límites de emisión accesible (AEL) para la clase 1 o la clase 2, pero con una irradiancia de salida no superior al límite de exposición profesional correspondiente a la clase inferior. Son ejemplos de esta clase numerosos instrumentos láser de alineación y topografía. Los láseres de clase 4 pueden entrañar riesgo de incendio, riesgo considerable para la piel o riesgo de reflexión difusa. Casi todos los láseres quirúrgicos y los de procesado de materiales utilizados para soldadura y corte son de clase 4 si no están confinados.

Todos los láseres con una potencia de salida media superior a 0,5 W son de clase 4. Si un láser de alta potencia de clase 3 o clase 4 está totalmente confinado de manera que la energía radiante peligrosa no sea accesible, el sistema láser total podría ser de clase 1. El láser más peligroso, situado dentro de una carcasa se denomina láser interno o encapsulado.

Los requisitos sobre vigilancia médica de los trabajadores que utilizan láseres varían de unos países a otros, en función de la normativa local sobre medicina en el trabajo. Hubo un tiempo, cuando el uso de los láseres estaba restringido a los laboratorios de investigación y era poco lo que se sabía sobre sus efectos biológicos, en que era completamente normal que todos los trabajadores que utilizaban láseres se sometieran periódicamente a un reconocimiento oftalmológico general completo, con fotografía del fondo de ojo (retina). No obstante, al principio del decenio de 1970 se cuestionó la validez de esta práctica, ya que los hallazgos clínicos eran casi siempre negativos y se advirtió claramente que tales exploraciones solo servían para descubrir lesiones agudas detectables subjetivamente. Esto indujo al grupo de trabajo sobre láseres de la OMS, reunido en Don Leaghreigh, Irlanda, en 1975, a pronunciarse en contra de tales programas de vigilancia y a promover la comprobación de la función visual. A partir de entonces, la mayoría de los grupos nacionales de la salud en el trabajo ha rebajado continuamente las exigencias de reconocimiento médico. Hoy día los reconocimientos oftalmológicos completos sólo se exigen con carácter universal en caso de lesión ocular por láser o de sospecha de sobreexposición y generalmente se requiere una exploración de la función visual antes de desempeñar un puesto de trabajo. En algunos países se requieren exploraciones adicionales.

Radiofrecuencia y microondas.

La radiación de radiofrecuencia (RF), energía electromagnética y microondas se utiliza en diversas aplicaciones en la industria, comercio, medicina e investigación, así como en el hogar. En la gama de frecuencia de 3 a 3 x 108 kHz (es decir, 300 GHz) encontramos aplicaciones muy conocidas tales como las emisiones de radio y televisión, comunicaciones (telefonía de larga distancia, telefonía móvil, radiocomunicación), radar, calentadores dieléctricos, calentadores de inducción, fuentes de alimentación conmutadas y monitores de ordenador.



La radiación RF de alta potencia es una fuente de energía térmica que comporta todas las implicaciones conocidas del calentamiento para los sistemas biológicos, incluyendo quemaduras, cambios temporales y permanentes en la reproducción, cataratas y muertes. En la amplia gama de las radiofrecuencias, la percepción cutánea del calor y el dolor térmico no son indicadores de detección fiables, ya que los receptores térmicos están situados en la piel y no perciben fácilmente el calentamiento profundo del cuerpo originado por estos campos. Es necesario establecer límites de exposición como protección contra estos efectos adversos para la salud de la exposición a los campos de radiofrecuencia.

Los trabajadores de los campos de la comunicación y el radar sólo están expuestos en la mayoría de las situaciones a campos de baja intensidad. No obstante, la exposición de los trabajadores que tienen que trepar a torres de FM/TV puede ser intensa, por lo que se requieren precauciones de seguridad. La exposición también puede ser considerable cerca de armarios de transmisión que tienen los enclavamientos anulados y las puertas abiertas.

Una de las aplicaciones más tempranas de la energía de RF fue la diatermia de onda corta. Para ésta suelen utilizarse electrodos sin blindaje, con el consiguiente riesgo de formación de campos de dispersión intensos.

Recientemente han empezado a utilizarse campos de RF en unión de campos magnéticos estáticos en la resonancia magnética (RM). Puesto que la energía de RF utilizada es de baja intensidad y el campo casi siempre está totalmente confinado en la cámara de alojamiento del paciente, los niveles de exposición para los operarios son despreciables.

El uso de radioteléfonos personales está aumentando rápidamente, con el aumento consiguiente del número de estaciones base, a menudo situadas en zonas públicas. No obstante, la exposición del público a estas estaciones es baja. Normalmente los sistemas funcionan a frecuencias cercanas a los 900 MHz o 1,8 GHz y utilizan tecnología analógica o digital. Los terminales son radiotransmisores pequeños de baja potencia que se sostienen muy cerca de la cabeza cuando se utilizan. Parte de la energía radiada por la antena es absorbida por la cabeza. Cálculos numéricos y mediciones realizados en cabezas simuladas indican que los valores de SAR pueden ser del orden de algunos W/kg. Actualmente ha aumentado la preocupación pública por el riesgo que puedan suponer los campos electromagnéticos para la salud y se han dedicado varios programas de investigación a estudiar esta posibilidad. Están en curso varios estudios epidemiológicos en relación con el uso de teléfonos móviles y el cáncer cerebral. Hasta ahora solo se han publicado los resultados de un estudio con animales, concretamente ratones transgénicos expuestos una hora diaria durante 18 meses a una señal similar a la que se utiliza en la comunicación móvil digital. Al finalizar los experimentos, 43 de 101 animales expuestos presentaban linfomas, frente a 22 de 100 en el grupo de control de exposición simulada. El incremento era estadísticamente significativo ($p > 0,001$).

No es fácil interpretar estos resultados como relevantes para la salud humana, por lo que será necesario seguir investigando.

Las microondas son una forma de energía electromagnética, similares a las ondas de luz o de radio y que ocupan una parte del espectro electromagnético de la energía. En nuestra era tecnológica moderna, las microondas se usan para emitir señales telefónicas de larga distancia, programas de televisión e información de ordenadores a través de la Tierra o a un satélite en el espacio. Sin embargo, a la mayoría, las microondas no son más familiares como fuente de energía para cocinar alimentos.

Las microondas están dentro de una gama de frecuencia de 300 MHz (longitud de onda 1 m) a 300 GHz (longitud de onda de 1 mm).

Son ejemplos de la aplicación de éstas ondas:

Aeronáutica:	Comunicaciones:	Medicina:	Uso doméstico:	Investigación:
- tripulación de aviones - lanzamiento de misiles.	- televisión - telemetría - sistema satelital - radionavegación	- diatermia	- hornos y calentadores	- meteorología - física nuclear

La exposición a la radiación tiene en cuenta la intensidad y tipo de emisión; las características del medio y del objeto expuesto (tales como tamaño, forma, orientación, propiedades eléctricas, etc.).

La cantidad y localización de la energía absorbida por un cuerpo expuesto a la radiación de microondas dependerán del tamaño del cuerpo y de la longitud de onda de la radiación, así como también de la posición del primero en el campo de la radiación. En general, las ondas más cortas se absorben en superficie, mientras que las de mayor longitud producen un calentamiento más profundo. Cuando la longitud o el grosor de una parte del cuerpo son ligeramente inferiores a la longitud de onda de la radiación, se producen formas muy complicadas de dispersión y absorción. La radiación de microondas se absorbe de manera tan irregular que pueden formarse puntos calientes. Algunos autores consideran que los efectos de estas radiaciones no son sólo térmicos, sino que puede actuar de alguna forma sobre el sistema nervioso.

La interacción de cierta radiación electromagnética con cuerpos conductores produce calor. Este hecho es utilizado por la medicina para realizar "diatermia". Terapia que consiste en la aplicación de emisiones controladas de radiofrecuencias y microondas para calentar distintos tejidos. Es utilizado en tratamientos de tejidos cancerosos, cuyas células son sensibles a temperaturas en un rango de 42º y 43º C. Los aparatos utilizados deben ser testeados para evitar "escapes" de campos electromagnéticos que provoquen lesiones irreversibles.

Los equipos de alta potencia como radares pueden someter a sus operadores a riesgos de incidencia de tumores malignos.

El establecimiento de 1 mW/cm² como valor máximo de fuga contribuiría a controlar las exposiciones laborales o domésticas.

Efectos celulares y tisulares de la radiación.

Las roturas ocasionadas por la radiación en el DNA, se observan en los estudios citogenéticos como alteraciones cromosómicas:

Las radiaciones pueden ser responsables de mutaciones causadas por delecciones e inversiones cromosómicas.

La rotura simple de dos cromosomas da lugar a dos fragmentos con centrómero y dos sin él. Así, si estos se unen entre sí pueden aparecer translocaciones, cromosomas acéntricos y cromosomas dicéntricos. Si se produce una lesión doble en el mismo cromosoma, se podrá formar un cromosoma en anillo. Todas estas posibilidades son incompatibles con futuras mitosis (llevan a la pérdida genética con muerte celular y no pueden migrar de forma adecuada en la mitosis).

La velocidad de respuesta a la radiación en un tejido no está relacionada con los resultados finales observados. El efecto de la radiación sobre un tejido depende de varios factores. Así la intensidad del efecto dependerá de la dosis administrada y de las características celulares de las unidades que componen el tejido. La velocidad en su aparición, dependerá de la cinética propia de ese tejido.

Intensidad:

Dosis: a mayor dosis más probabilidad de afectar blancos.

Propiedades intrínsecas celulares:

- Radiosensibilidad, oxígeno, fase celular.
- Factores defensivos: reparación

Latencia:

Tiempo de expresión del daño inducido por la radiación.

Tejidos estáticos: elementos formes perennes, por ejemplo neuronas.

Tejidos de crecimiento: elementos con baja capacidad de reproducción. Los elementos hijos perduran, por ejemplo hígado y pulmón.

Tejidos de renovación: elementos con alta capacidad de reproducción. Los elementos hijos se eliminan. Por ejemplo mucosas y piel, sangre, intestino y tejido gonadal.

Tejidos neoplásicos: elementos con alta capacidad de reproducción. Los elementos hijos perduran (las células hijas no se mueren sino que permanecen indiferenciadas).

Efectos de la radiación sobre los tejidos de renovación:

Tejido hematopoyético: La DLM en tejido aproximada es de 150-200 cGy. A partir de 2000 cGy, disminuye la producción sanguínea en la médula ósea apareciendo diferentes síndromes: infeccioso, anémico y hemorrágico.

Epitelio intestinal: La DLM será de 500 cGy. La pérdida de células epiteliales va a provocar pérdida de agua y electrolitos produciendo náuseas, vómitos y diarreas.

Epitelio escamoso: La DLM es de 300 cGy. Los efectos de la radiación se caracterizan por inflamación, eritema, lisis y necrosis. La afectación producida será la radiodermitis, que al principio es seca (eritema) pero a medida que el epitelio se descama se vuelva húmeda (vesículas), con exudado de suero sanguíneo.

Tejido gonadal:

- Testículo: DLM 700 cGy
- Ovario: DLM 300 cGy

Los valores de DLM son referidos a las células que componen los tejidos, orientando hacia las diferencias de efecto observadas en unos u otros.

Efectos de la radiación sobre los tejidos estáticos:

Los tejidos estáticos muestran sus efectos a largo plazo (los efectos no desaparecen, son crónicos). Son tejidos sin capacidad de regeneración. Las lesiones letales no pueden suplirse con nuevas células por lo que su supervivencia depende de la reparación de las lesiones subletales.

Las dosis límite son las siguientes:

	Dosis	Efecto clínico	Latencia
SNC	60 Gy	Necrosis	8-15 meses
Tiroides	70 Gy	alteración funcional	7-10 meses
Pulmón	15-20 Gy	Fibrosis	3-6 meses
Hígado	30 Gy	Necrosis	8-10 meses
Riñón	30 Gy	Nefritis	6-8 meses
M. espinal	45 Gy	Mielitis	8-14 meses
Hueso	75-80 Gy	Necrosis	12 meses

Síndromes de irradiación corporal total:Central:

Este síndrome, con dosis entre 10-100 Gy tiene una latencia de 1-6 horas

Los síntomas que aparecen son obnubilación, náuseas, vómitos, convulsiones, coma, edema cerebral, necrosis

Mortalidad: 100% en 24-48 horas

Digestivo:

Este síndrome se produce con dosis entre 5-10 Gy y tiene una latencia de 24 horas

La sintomatología es la siguiente: náuseas, vómitos, diarreas, hemorragia digestiva, shock...

Mortalidad: 50% en 5-7 días

A este síndrome se le suman los efectos del síndrome hematológico

Hematológico:

Se produce con dosis entre 2.5-5 Gy y tiene una latencia de 5 días

Aparece un cuadro infeccioso-hemorrágico y sepsis

Mortalidad: 25%

Efectos estocásticos y no estocásticos de la radiación:

No estocásticos: efectos inmediatos cuya gravedad depende de la dosis.

Estocásticos: efectos cuya frecuencia depende de la dosis, carcinogénesis y mutaciones.

Mutaciones y cambios genéticos:

Toda radiación aumenta la tasa de mutaciones, tanto dominantes, como recesivas y ligadas al sexo. La radiación no produce mutaciones específicas, sino un incremento de las ya conocidas: 0.25×10^7 mutaciones/locus/cGy.

Dosis doble: cantidad de radiación que incrementa al doble el número de mutaciones espontáneas esperadas en una población: 2000 mSv en 30 años.

Máximo permitido:

En personal expuesto: 50 mSv/año. 150 mSv/30 años.

En personal no expuesto: 5 mSv/año. 15 mSv/30 años.

Carcinogénesis:

Cuando se afectan genes relacionados con moléculas que intervienen en el ciclo celular se producen tumores. La carcinogénesis puede aparecer con exposiciones globales (por ejemplo Hiroshima) o con exposiciones parciales (por ejemplo Fluoroscopia). Los tumores que más frecuentemente aparecen son leucemias y entre los tumores sólidos, pulmón y mama.

Efectos biológicos sobre el embrión y el feto

Periodo de preimplantación (1-10 semanas): Con dosis altas (>15 Rems en ratones) se produce la muerte del huevo. Con dosis menores no hay efectos visibles en el parto.

Periodo de organogénesis y desarrollo (3 meses): Desarrollo anómalo y/o ausencia de varios órganos. El efecto es preponderante sobre el SNC (microcefalia, oligofrenia). Si la anomalía es muy importante, se producirá la muerte al nacer.

Periodo fetal (> 3 mes): Aquí el feto tolerará dosis más altas. La muerte fetal se produce sólo con exposiciones a dosis muy altas. No se producen malformaciones congénitas ni muerte fetal, pero los efectos pueden aparecer más tarde.

Alteraciones SNC: microcefalia, oligofrenia.

En general, recibiendo dosis en el primer trimestre superiores a 10 cGy (por ejemplo una urografía intravenosa o un scanner abdominal) el riesgo es significativo y se justifica el aborto preventivo.

CAPÍTULO 11

BIOFÍSICA DEL SONIDO Y LA AUDICIÓN

Sonido.

El sonido es producido por una serie de variaciones de presión, en forma de vibraciones, que se propagan en los sólidos, los líquidos y en los gases. Si arrojamos una piedra a un estanque, podremos observar cómo las ondas que se producen se propagan en círculos alrededor del punto donde cayó la piedra. Lo mismo ocurre cuando golpeamos un vaso lleno de agua con una cuchara, ésta hace vibrar el vidrio que a su vez hace vibrar al agua, también hace vibrar al aire circundante hasta que las ondas vibratorias llegan a nuestro oído y son interpretadas como un sonido.

El sonido es una onda mecánica. La velocidad del sonido varía de acuerdo al medio en que se propague, su velocidad en el aire es de 340 m/s, en el agua 1500 m/s. Desde el punto de vista físico, el sonido se caracteriza por la longitud de onda, su amplitud y su frecuencia.

Longitud de onda: Es la distancia medida desde un punto en una onda hasta la parte equivalente de la siguiente, por ejemplo desde la cima de un pico hasta el otro.

Frecuencia: Es la cantidad de ondas enteras que pasan por un punto fijo en un segundo.

La velocidad, se mide en Metros/segundos, la frecuencia en ciclos por segundos o Hz y la longitud de onda en metros.

Por ejemplo: Si tiramos una piedra en el agua y la onda viaja a un metro por segundo y oscila 5 veces por segundo, tenemos que cada onda tiene 20cm.

$$1\text{metro/segundo} = 5 \text{ ciclos/segundos} * \lambda \quad L=1/5 \text{ metros} = L=0,2 \text{ metros} = 20\text{cm}$$

Para una frecuencia de 2,4Ghz es de 12,5 cm y para 5,8GHz es de 5,1cm.

Las ondas también tienen una propiedad denominada amplitud que es la distancia desde el medio de la onda hasta su pico (desde una longitud de onda a otra).

Desde el punto de vista psicofísico el sonido se caracteriza por su volumen (que corresponde a la intensidad), su tono (que corresponde a la longitud de onda o frecuencia) y por el timbre (que corresponde al conjunto de frecuencias que forman el sonido).

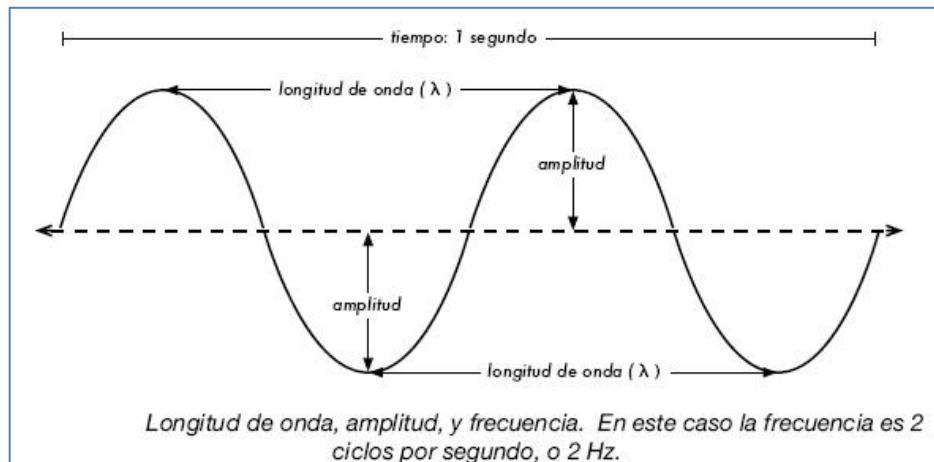
No todas las ondas sonoras pueden ser percibidas por el oído humano, el cual es sensible únicamente a aquellas cuya frecuencia está comprendida entre los 20 y los 20 000 Hz. En el aire dichos valores extremos corresponden a longitudes de onda que van desde 16 metros hasta 1,6 centímetros respectivamente. En general se trata de ondas de pequeña amplitud.

El oído es capaz de distinguir unos sonidos de otros porque es sensible a las diferencias que puedan existir entre ellos en lo que concierne a alguna de las tres cualidades que caracterizan todo sonido y que son la intensidad, el tono y el timbre. Aun cuando todas ellas se refieren al sonido fisiológico, están relacionadas con diferentes propiedades de las ondas sonoras.

Intensidad

La intensidad o volumen del sonido depende de la energía en la onda sonora. La intensidad de una onda sonora es proporcional al cuadrado de su frecuencia y al cuadrado de su amplitud y disminuye con la distancia al foco. El oído humano es capaz de percibir un gran intervalo de intensidades de sonido; la diferencia entre un sonido apenas audible y un sonido que produce dolor puede ser de hasta 1014 veces en su amplitud. Debido a la extensión de este intervalo de audibilidad, para expresar intensidades sonoras se emplea una escala cuyas divisiones son potencias de diez y cuya unidad de medida es el decibelio (dB). Esto significa que una intensidad acústica de 10 decibelios corresponde a una energía diez veces mayor que una intensidad de cero decibelios; una intensidad de 20 dB representa una energía 100 veces mayor que la que corresponde a 0 decibelios y así sucesivamente.

El nivel de referencia de presión acústica Ps, adoptado universalmente, es el correspondiente al umbral de audición humano, es decir, 2×10^{-4} bar, equivalente a 0db SPL (Sound Pressure Level o Nivel de Presión Sonora).



Con todos estos datos podemos crear una tabla aproximada para ver la magnitud de todos estos valores. Intensidad sonora de diversas fuentes.

<i>Estudio de grabación vacío</i>	0 db
<i>Murmullo a tres metros</i>	10 db
<i>Paso de las hojas de un libro</i>	10 db
<i>Susurro a un metro</i>	20 db
<i>Dormitorio tranquilo de día</i>	25 db
<i>Calle sin tráfico</i>	30 db
<i>Conversación a tres metros</i>	45 db
<i>Orquesta de cuerda y viento</i>	60 db
<i>Despertador a 40 cm</i>	80 db
<i>Calle con mucho tráfico</i>	90 db
<i>Maquinaria industrial ruidosa</i>	100 db
<i>Umbrales del dolor</i>	120 db
<i>Avión a reacción a 200m</i>	140 db
<i>Cohete espacial a unos 3.000m</i>	200 db

Cuando una onda sonora de tales características alcanza la membrana sensible del tímpano, produce en él vibraciones que son transmitidas por la cadena de huesecillos hasta la base de otra membrana situada en la llamada ventana oval, ventana localizada en la cóclea o caracol. El hecho de que la ventana oval sea de 20 a 30 veces más pequeña que el tímpano da lugar a una amplificación que llega a aumentar entre 40 y 90 veces la presión de la onda que alcanza al tímpano. Esta onda de presión se propaga dentro del caracol a través de un líquido viscoso hasta alcanzar otra membrana conectada a un sistema de fibras fijas por sus extremos a modo de cuerdas de arpa, cuyas deformaciones elásticas estimulan las terminaciones de los nervios auditivos. Las señales de naturaleza eléctrica generadas de este modo son enviadas al cerebro y se convierten en sensación sonora. Mediante este proceso el sonido físico es convertido en sonido fisiológico.

Tono

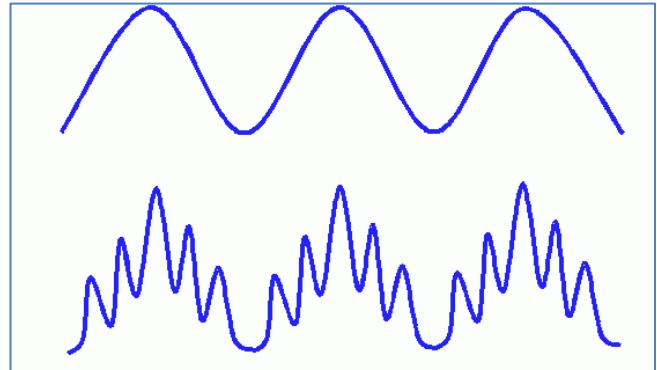
La longitud de onda se refiere al número de oscilaciones de la onda sonora por unidad de tiempo. Entre mayor número de veces oscila la onda por segundo decimos que tiene una frecuencia mayor, y entre mayor sea la frecuencia más agudo será el tono que percibimos. El tono es entonces la cualidad del sonido mediante la cual le asignamos un lugar en la escala musical, permitiendo, por tanto, distinguir entre los tonos graves y los agudos. Por ejemplo, el sonido de un timbal es un tono grave (también denominado como bajo) en comparación con el de las cuerdas delgadas del violín que produce tonos típicamente agudos. El tono que percibimos está relacionado con la frecuencia del sonido y se mide en Hertz (Hz).

Un Hz equivale a una frecuencia de uno por segundo. Nuestro oído es capaz de detectar frecuencias desde 20 Hz hasta cerca de 22,000 Hz. Como veremos adelante, la percepción del tono no depende únicamente de la frecuencia sino también de la intensidad y de las posibles combinaciones de tonos que se dan a nivel coclear.

Timbre

El timbre es una propiedad más compleja, permite identificar al generador de un sonido; por ejemplo, un violín y un piano pueden tocar la misma nota, sin embargo, distinguimos claramente la diferencia entre ellos. El timbre se debe a que la frecuencia fundamental de un sonido va acompañada de otras frecuencias que son múltiplos de la misma y que se denominan armónicos. El timbre es la cualidad del sonido que nos permite distinguir claramente la voz de una persona o identificar el sonido de un instrumento musical.

El timbre, como ya mencionamos, resulta del hecho de que los sonidos están compuestos por conjuntos de ondas con diferentes frecuencias que son característicos de cada fuente sonora.



Forma de las ondas de dos sonidos con el mismo tono pero distinto timbre

Velocidad del sonido.

La velocidad del sonido es la velocidad de propagación de las ondas mecánicas longitudinales, producidas por variaciones de presión del medio. Estas variaciones de presión generan en el cerebro la sensación del sonido.

La velocidad de propagación de la onda sonora depende de las características del medio en el que se realiza dicha propagación y no de las características de la onda o de la fuerza que la genera.

A parte del interés del estudio del propio sonido, su propagación en un medio puede servir para estudiar algunas propiedades de dicho medio de transmisión.

Aunque la velocidad del sonido no depende del tono (frecuencia) ni de la longitud de onda de la onda sonora, sí es importante su atenuación. Este fenómeno se explica por ley cuadrática inversa, que explica que cada vez que se aumenta al doble la distancia a la fuente sonora, la intensidad sonora disminuye.

La velocidad del sonido varía dependiendo del medio a través del cual viajen las ondas sonoras.

La velocidad del sonido varía ante los cambios de temperatura del medio. Esto se debe a que un aumento de la temperatura se traduce en que aumenta la frecuencia con que se producen las interacciones entre las partículas que transportan la vibración y este aumento de actividad hace que aumente la velocidad.

Por ejemplo. Sobre una superficie nevada, el sonido es capaz de desplazarse atravesando grandes distancias. Esto es posible gracias a las refracciones producidas bajo la nieve, que no es medio uniforme. Cada capa de nieve tiene una temperatura diferente. Las más profundas, donde no llega el sol, están más frías que las superficiales. En estas capas más frías próximas al suelo, el sonido se propaga con menor velocidad.

En general, la velocidad del sonido es mayor en los sólidos que en los líquidos y en los líquidos, mayor que en los gases.

La tabla que se presenta a continuación, muestra los diferentes resultados obtenidos en investigaciones hechas acerca de la velocidad del sonido en diferentes medios.

Velocidades de propagación del sonido en diferentes medios.

Medio gaseoso (0°C)	v (m/s)	Medio líquido (20°C)	v (m/s)	Medio sólido	v (m/s)
Aire (0°C)	331	Agua	1.480	Aluminio	5.100
Aire (20°C)	340	Alcohol	1.160	Vidrio	5.340
Oxígeno	317	Agua de mar	1.533	Acero	5.130
Hidrógeno	1.286	Benceno	1.320	Poliestireno	1.840
Helio	972	Ácido acético	1.170	Plomo	1.322
Dióxido de carbono	259	Acetona	1.190	Madera	1.400-4.500
Vapor de agua (100°C)	405	Aceite de silicona	800	Hormigón	4.200-5.200

La velocidad del sonido tiene dos componentes básicas que son, la longitud de onda (λ) y la frecuencia (F), y para entender bien el fenómeno debemos conocer estos dos elementos.

La longitud de onda tiene que ver con lo siguiente: Cuando el tono o frecuencia sube o baja, el tamaño de la onda varía. Cuando el tono o frecuencia baja, la longitud de onda se alarga y cuando sube es más pequeña. Existe una fórmula para averiguar el tamaño de una onda. La fórmula es:

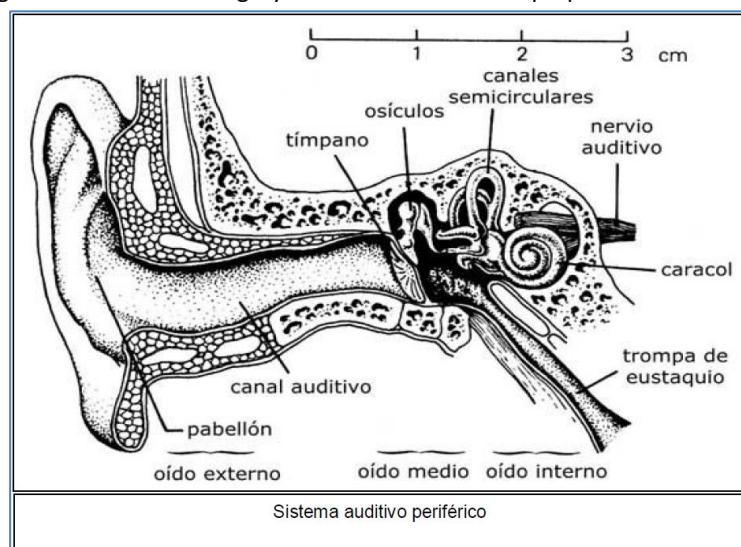
$$\lambda = \frac{V}{F}$$

Audición.

Los órganos sensoriales permiten la percepción del ambiente que nos rodea. Dentro de ellos, la audición es uno de los sentidos más importantes para la comunicación humana y animal y para el desarrollo del lenguaje y la socialización.

El oído es un órgano especializado en recibir ondas sonoras, transmitir y traducir tales ondas en señales eléctricas que llegan al sistema nervioso central.

El oído externo está compuesto por el pabellón, que concentra las ondas sonoras en el conducto, y el conducto auditivo externo



que desemboca en el tímpano. El canal auditivo externo tiene unos 2,7 cm. de longitud y un diámetro promedio de 0,7 cm. Por sus características anatómicas éste tiene una frecuencia de resonancia natural entre los 4.500 Hz y los 5.000 Hz.

El oído medio está lleno de aire y está compuesto por el tímpano (que separa el oído externo del oído medio), los osículos (martillo, yunque y estribo) y la trompa de Eustaquio.

El tímpano es una membrana que es puesta en movimiento por la onda que la alcanza. Sólo una parte de la onda que llega al tímpano es absorbida, la otra es reflejada. Se llama impedancia acústica a esa tendencia del sistema auditivo a oponerse al pasaje del sonido. Su magnitud depende de la masa y elasticidad del tímpano y de los osículos y la resistencia friccional que ofrecen.

Los osículos (martillo, yunque y estribo) tienen como función transmitir el movimiento del tímpano al oído interno a través de la membrana conocida como ventana oval. Dado que el oído interno está lleno de material líquido, mientras que el oído medio está lleno de aire, debe resolverse un desajuste de impedancias que se produce siempre que una onda pasa de un medio gaseoso a uno líquido. En el pasaje del aire al agua en general sólo el 0,1% de la energía de la onda penetra en el agua, mientras que el 99,9% de la misma es reflejada. En el caso del oído ello significaría una pérdida de transmisión de unos 30 dB.

El oído interno resuelve este desajuste de impedancias por dos vías complementarias:

1. En primer lugar la disminución de la superficie en la que se concentra el movimiento. El tímpano tiene un área promedio de 69 mm^2 , pero el área vibrante efectiva es de unos 43 mm^2 . El pie del estribo, que empuja la ventana oval poniendo en movimiento el material líquido contenido en el oído interno, tiene un área de $3,2 \text{ mm}^2$. La presión (fuerza por unidad de superficie) se incrementa en consecuencia en unas 13,5 veces.
2. Por otra parte, el martillo y el yunque funcionan como un mecanismo de palanca y la relación entre ambos brazos de la palanca es de 1,31: 1. La ganancia mecánica de este mecanismo de palanca es entonces de 1,3, lo que hace que el incremento total de la presión sea de unas 17,4 veces ($13,5 \times 1,3$).

El valor definitivo va a depender del área real de vibración del tímpano. Además, los valores pueden ser superiores para frecuencias entre los 2.000 Hz y los 5.000 Hz, debido a la resonancia del canal auditivo externo. En general entre el oído externo y el tímpano se produce una amplificación de entre 5 dB y 10 dB en las frecuencias comprendidas entre los 2.000 Hz y los 5.000 Hz, lo que contribuye de manera fundamental para la zona de frecuencias a la que nuestro sistema auditivo es más sensible.

Los músculos en el oído medio (el tensor del tímpano y el stapedius) pueden influir sobre la transmisión del sonido entre el oído medio y el interno. Como su nombre lo indica, el tensor del tímpano tensa la membrana timpánica aumentando su rigidez, produciendo en consecuencia una mayor resistencia a la oscilación al ser alcanzada por las variaciones de presión del aire.

El stapedius separa el estribo de la ventana oval, reduciendo la eficacia en la transmisión del movimiento. En general responde como reflejo, en lo que se conoce como reflejo acústico o reflejo timpánico. Ambos músculos cumplen una función primordial de protección, especialmente frente a sonidos de gran intensidad. Lamentablemente esta acción no es instantánea de manera que no protegen a nuestro sistema auditivo ante sonidos repentinos de muy alta intensidad, como pueden ser los estallidos o impulsos.

Además se fatigan muy rápidamente y pierden eficiencia cuando nos encontramos expuestos por largo rato a sonidos de alta intensidad.

También el aire que llena el oído



medio es puesto en movimiento por la vibración del timpano, de manera que las ondas llegan también al oído interno a través de otra membrana, la ventana redonda. No obstante la acción del aire sobre la ventana redonda es mínima en la transmisión de las ondas con respecto a la del estribo sobre la ventana oval. De hecho, ambas ventanas suelen moverse en sentidos opuestos, funcionando la ventana redonda como una suerte de amortiguador de las ondas producidas dentro del oído interno.

La trompa de Eustaquio comunica la pared anterior del oído medio con la cavidad nasal (parte superior de la faringe) y por su intermedio con el aire exterior. Una de sus funciones es mantener un equilibrio de presión a ambos lados del timpano. Para una adecuada vibración del timpano, la presión atmosférica en el oído externo debe ser igual a la del oído medio, de lo contrario, se producirá un abombamiento o retracción de la membrana timpánica. Esto se regula gracias a un adecuado funcionamiento de la trompa de Eustaquio, que además de permitir el drenaje de secreciones, impide el paso de estas al oído medio. La trompa se abre con la deglución y bostezo (músculos periestafilinos).

Cualquier elemento extraño, como líquido o pus, que obstaculicen el movimiento libre del sistema tímpanohuesecillos u obstruya la trompa de Eustaquio puede alterar la transmisión de la onda sonora. La depuración (clearance) de las secreciones del oído medio se efectúa por el movimiento de los cilios de la mucosa tubaria.

En el oído interno es donde se realiza la definitiva transformación en impulsos eléctricos. El laberinto óseo es una cavidad en el hueso temporal que contiene el vestíbulo, los canales semicirculares y la cóclea (o caracol). Dentro del laberinto óseo se encuentra el laberinto membranoso, compuesto por el sáculo y el utrículo (dentro del vestíbulo), los ductos semicirculares y el ducto coclear. Este último es el único que cumple una función en la audición, mientras que los otros se desempeñan en nuestro sentido del equilibrio.

Las rampas vestibular y timpánica están llenas de perilinfa (cuya composición es muy similar a la del líquido extracelular).

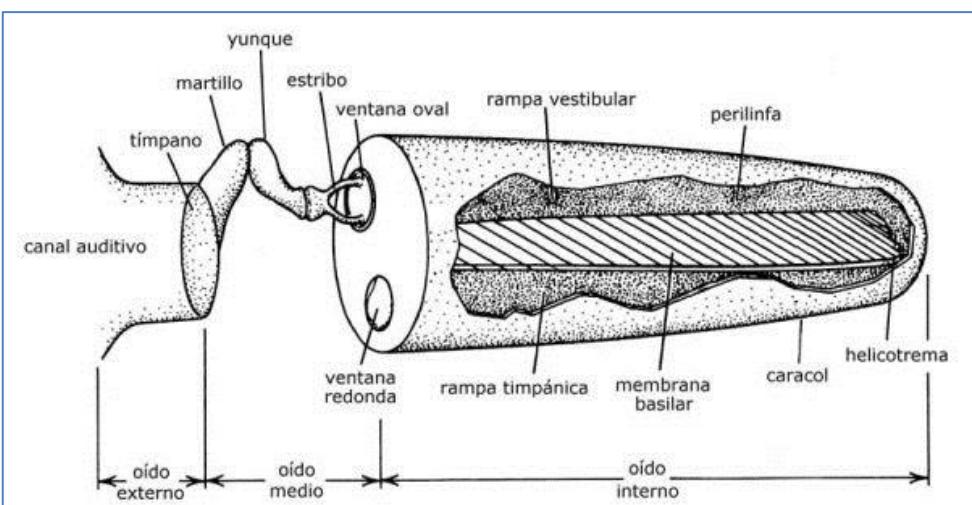
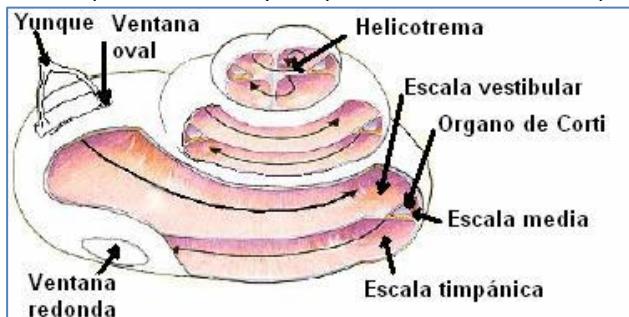
Las tres rampas son, en resumen, sacos llenos de líquido incompresible.

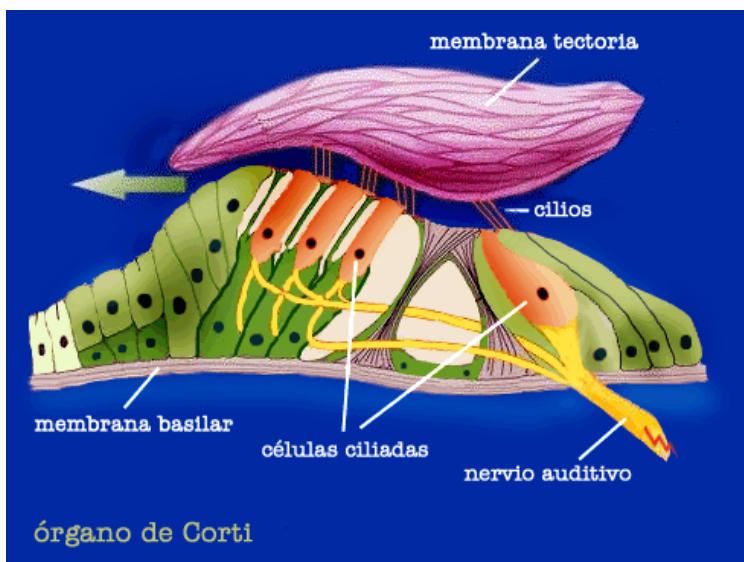
La cóclea (o caracol) es un conducto casi circular enrollado en espiral unas 2,75 veces sobre sí mismo, de unos 35 mm de largo y unos 1,5 mm de diámetro como promedio. El ducto coclear divide a la cóclea en dos secciones, la rampa vestibular y la rampa timpánica.

La cóclea está dividida a lo largo por la membrana basilar y la membrana de Reissner.

Sobre la membrana basilar se encuentra el órgano de Corti, donde se ubican los receptores auditivos, las células ciliares o pilosas (CP); que son de dos tipos, externas e internas (CPE y CPI), denominadas así de acuerdo a su localización con respecto al modiolo (eje de la cóclea); se disponen en 4 hileras (3 externas y 1 interna) y se llaman pilosas porque en su superficie tienen estereocilios de actina, también poseen un cinocilio, de mayor longitud que los estereocilios.

Hay alrededor de 20.000 CPE y 3.500 CPI en cada oído. Las CP se orientan en forma variable, pero todas exponen sus cilios hacia la rampa media; por encima de ellas se ubica la membrana tectorial.





La membrana basilar no llega hasta el final de la cóclea dejando un espacio para la intercomunicación del fluido entre la rampa vestibular y la timpánica, llamado helicotrema que tiene aproximadamente unos 0,3 mm 2 de superficie.

Micromecánica coclear.

La pregunta es, ¿Qué ocurre cuando el estribo golpea sobre la ventana oval? La secuencia de acciones sucesivas que se desarrollan puede enumerarse así:

1. Cuando el estribo se desplaza, mueve a la perilinfa de la rampa vestibular.
2. El movimiento de la perilinfa genera movimientos en la membrana de Reissner.
3. El movimiento de la membrana de Reissner se transmite a la endolinfa de la rampa media y por lo tanto a la membrana basilar
4. La membrana basilar transmite el movimiento a la perilinfa de la rampa timpánica y al tímpano secundario en la ventana redonda.
5. Cuando se mueve la membrana basilar, las células pilosas son desplazadas hacia la membrana tectorial y sus cilios chocan contra ésta.
6. En reposo el potencial de membrana de las células pilosas es de unos 60 mV. Debido al roce mecánico, los cilios de las células pilosas se deforman generando cambios en la tensión de la membrana plasmática, lo cual modifica la conductancia de los canales de K+ sensibles a la distensión, provocando cambios en el potencial de membrana de las células pilosas. Debido a que el K+ predomina en endolinfa cuando los canales se abren fluye al interior de la célula produciendo una despolarización de la membrana celular. Esto a su vez, abre canales de Ca2+ sensibles a voltaje y con la entrada de Ca2+ a la célula se libera un neurotransmisor en la sinapsis con la primera neurona aferente. En cuanto a la naturaleza del neurotransmisor liberado, existe evidencia de que es glutamato.
7. Cuando los estereocilios se inclinan en la dirección contraria se produce el cierre de los canales abiertos.
8. La entrada de Ca2+, además de desencadenar la liberación del neurotransmisor (glutamato), estimula la apertura de canales de K+ sensibles a Ca2+, los cuales se encuentran también predominantemente en su superficie basolateral, en contacto con perilinfa; como el potencial electroquímico favorece la salida de K+ en este sitio porque la concentración de este ion es más elevada en el interior de la célula que en la perilinfa, el K+ fluye al exterior de la célula y esta tiende a repolarizarse por este efecto.
9. Además, también por acción de la entrada de calcio se activa una bomba de Ca2+ que utiliza energía (gasto de ATP) para transportar este ion desde el interior de la célula hacia el exterior, en contra de su gradiente.
10. En las CPE particularmente, el de Ca2+ tiene otro efecto adicional, porque puede activar la fosforilación de ciertas proteínas del citoesqueleto para estimular el movimiento celular, como parte del proceso de transducción de la señal como se explicará más adelante.

Un factor muy importante en el mecanismo que permite la apertura o cierre de estos canales en respuesta a los cambios en la tensión de la membrana, es la relación que existe entre estereocilios vecinos, los cuales están unidos entre sí por estructuras de tejido conectivo que forman puentes de unión, los cuales hacen que si uno de ellos se mueve en una dirección los demás deban hacerlo también.

Cada CPI puede estar en contacto con varias fibras aferentes (divergencia), de modo que las 3.500 CPI existentes contactan con aproximadamente 20.000 fibras aferentes primarias. Por otro lado, varias CPE contactan con una sola fibra aferente, de modo que 20.000 CPE están en contacto con solamente 1.000 fibras aferentes primarias (convergencia).

Tonotopía.

¿Cómo discrimina el órgano de Corti la frecuencia de la onda sonora? Cuando el estribo golpea sobre la ventana oval y se transmite la onda a perilinfa y endolinfa, la membrana basilar vibra sinusoidalmente. Pero la amplitud de la vibración irá en aumento a medida que se aleja de la ventana oval, hasta llegar a un punto en el cual la deformación será máxima. De modo que la amplitud de la vibración y, por ende, la transmisión de la energía de la onda al fluido de la rampa timpánica será máxima en dicho punto.

A partir de esa región, la onda no puede propagarse eficientemente y la amplitud de la vibración se atenúa muy rápidamente a medida que se acerca al helicotrema. Las ondas sonoras al ser transmitidas al oído interno se comportan como una “onda viajera”, es decir, una onda determinada producirá preferencialmente movimiento de un segmento de la membrana basilar, de acuerdo a su frecuencia.

Sonidos de diferentes frecuencias estimulan zonas diferentes del órgano de Corti. Cuando un sonido complejo posee una combinación de frecuencias, como es lo usual, cada una de ellas estimulará una parte específica de la MB. En otras palabras, la cóclea realiza un análisispectral de los sonidos.

Sonidos de frecuencias altas producen vibración de la membrana basilar cercana a la base y los de frecuencias bajas hacen vibrar la membrana basilar cercana al ápice.

Esto se debe a que las características de la membrana basilar son diferentes en cada segmento. Esta vibración selectiva de acuerdo a la frecuencia del sonido es conocida como tonotopía.

A partir del movimiento de la membrana basilar que deforma las células ciliares del órgano de Corti se generarían patrones característicos de cada sonido que los nervios acústicos transmiten al cerebro para su procesamiento.

¿Por qué la membrana basilar tiene zonas con distintas frecuencias naturales de resonancia?

La tonotopía se debe a que membrana basilar es: más angosta, gruesa y rígida en la base de la cóclea y es más ancha, delgada y flexible cerca del helicotrema.

Cuanto menor sea la frecuencia, mayor será la distancia que viaje la onda a lo largo de la membrana antes de ser atenuada, y viceversa.

De esta forma, la membrana basilar dispersa las distintas componentes de una señal de espectro complejo en posiciones bien definidas respecto a la ventana oval.

Intensidad sonora y nivel de intensidad.

El sistema auditivo determina el volumen al menos de 2 formas:

1. Conforme el sonido se hace más fuerte, aumenta la amplitud de la vibración de la membrana basilar y las células ciliadas, de modo que estas últimas excitan las terminaciones nerviosas con más rapidez.
2. A medida que la amplitud de la vibración aumenta hace que se estimule más cantidad de células ciliadas a los márgenes de la porción resonante de la membrana basilar, lo que produce una sumatoria de estímulos, es decir, la transmisión a través de muchas fibras nerviosas en vez de unas pocas.

Por lo tanto, la magnitud del movimiento de la membrana basilar dependerá de la intensidad del sonido que originó la onda.

Originalmente el umbral de audibilidad había sido definido como la mínima presión necesaria para percibir un sonido senoidal de 1 kHz. La presión necesaria para ello es de 2×10^{-5} N/m² (o una intensidad de 1×10^{-12} W/m²), valor tomado además como referencia para la determinación de valores absolutos. La unidad utilizada para medir el nivel de intensidad relativa son los decibeles (dB).

El sonido más débil que puede detectar el oído humano sano tiene una amplitud de 20 millonésimas de Pascal (20 µPa), unas 5.000 millones de veces menor que la presión atmosférica normal.

Un cambio de presión de 20 µPa es demasiado pequeño. Sorprendentemente, el oído humano puede tolerar presión sonora más de un millón de veces más alta (hasta 100 Pa). Así, si midiéramos el sonido en Pascales, terminaríamos con unas cantidades enormes e inmanejables. Para evitar esto se utiliza otra escala, el decibelio.

Tipos de ruidos.

TIPO DE RUIDO	EJEMPLO	DEFINICION
Continuo Constante	Ventilación	El nivel de presión sonora no fluctua con el tiempo
Continuo pero intermitente	Compresor	Idem, pero fluctua en un margen moderado
Transitorio	Avión	Fluctua en períodos aislados
Fluctuante no periódico	Ambiente Industrial	Totalmente aleatorio, con grandes variaciones
Impulsivo repetitivo	Prensa	Golpes repetidos análogos
Impulsivo simple	Disparo	Golpes aislados

Tipos de ruido en función de la frecuencia

TIPO	EJEMPLO	DEFINICION
Tono puro	Sibato	Presenta una componente en frecuencia característica (una única componente senoidal)
Armónicos	Nota musical	Presenta componentes senoidales múltiples
Ruido en banda ancha	Maquinaria	Presenta espectro continuo
Ruido Rosa		Ruido en banda ancha con igual amplitud en cada banda de frecuencia
Ruido Blanco		Ruido en banda ancha con igual amplitud en cada frecuencia discreta

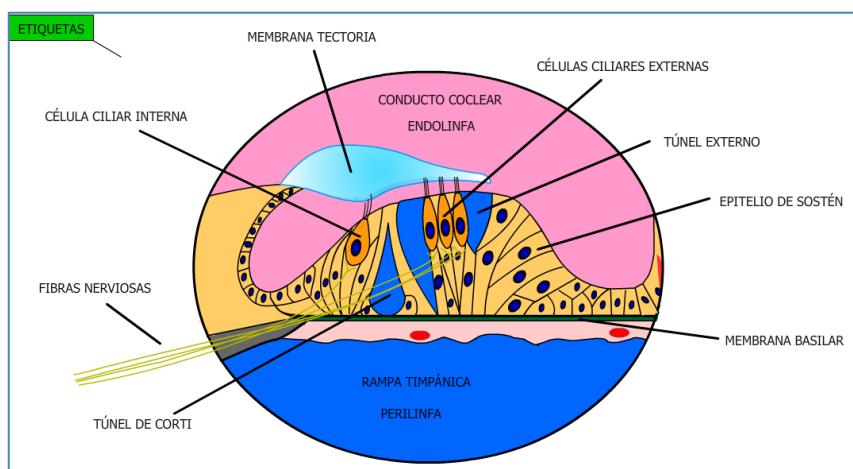
Mecanismos de transducción del sonido.

El proceso de transducción o conversión de señal mecánica a electroquímica se desarrolla en el órgano de Corti, situado sobre la membrana basilar.

Las vibraciones de la membrana basilar hacen que ésta se mueva en sentido vertical. A su vez la membrana tectorial, ubicada sobre las células ciliares (los transductores), vibra igualmente; sin embargo, dado que los ejes de movimiento de ambas membranas son distintos, el efecto final es el de un desplazamiento "lateral" de la membrana tectorial con respecto a la membrana basilar.

Como resultado, los cilios de las células ciliares externas se "doblan" hacia un lado u otro (hacia la derecha).

En el caso de las células internas, aun cuando sus cilios no están en contacto directo con la membrana tectorial, los desplazamientos del líquido y su alta viscosidad (relativa a las dimensiones de los cilios) hacen



que dichos cilios se doblen también en la misma dirección.

Para entender el mecanismo de transducción hay que tener en cuenta una serie de datos. Las células ciliares están bañadas en su zona apical por la endolinfa que tiene un potencial de + 80 mV (potencial endoclear) debido a la diferencia de concentración en potasio y sodio con respecto a la perilinfa (mayor potasio y menor sodio que en la perilinfa). Esto supone una diferencia de potencial de la célula con respecto a la endolinfa de -140 mV.

En su zona basal, están en contacto con la perilinfa con la que mantienen una diferencia de potencial de -60 mV. Esta diferencia de potencial endolinfa-perilinfa genera una corriente que explica la actividad tónica de estas células en condiciones de reposo.

Las células ciliadas tienen en su ápice un conjunto de estereocilios. Los de las células internas en forma de escalera y los de las externas en forma de V. Todas tienen un cinocilio en su extremo (al parecer las maduras no) y cada uno de los estereocilios se encuentra unido al otro mediante una conexión de tipo proteico denominada conexión en punta. Cuando los estereocilios se mueven hacia el cinocilio se despolariza la célula y cuando se mueven en dirección contraria se hiperpolariza (potencial receptor).

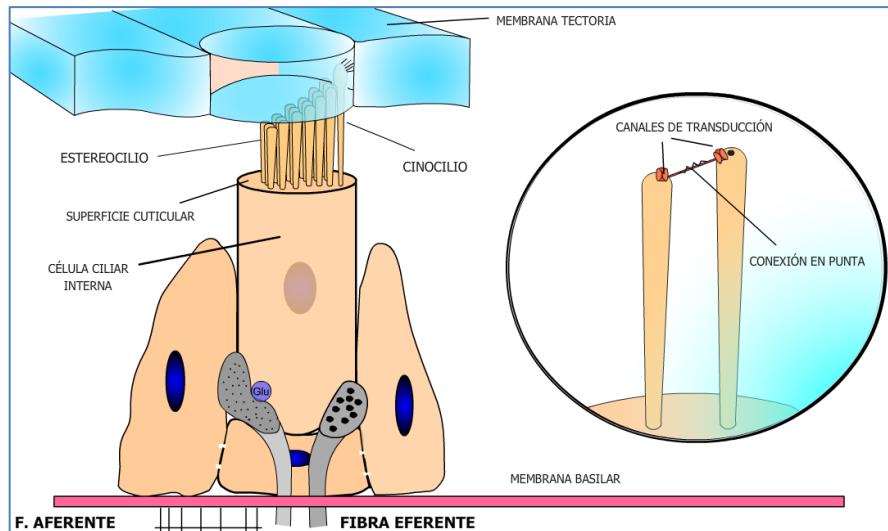
A mayor inclinación mayor despolarización o hiperpolarización. Cada célula responde de forma máxima a una frecuencia determinada (frecuencia característica). Los límites de frecuencia e intensidades que excitan a una célula ciliar representan su campo receptor. Cuando se produce la oscilación en la membrana basilar, los estereocilios se inclinan con respecto a la membrana tectoria del órgano de Corti en uno u otro sentido según el tipo de oscilación. Su inclinación hacia el cinocilio supone la apertura de canales inespecíficos de potasio y calcio en el estereocilio y la entrada masiva de potasio dada su alta concentración en la endolinfa, generándose la despolarización de la célula y el potencial receptor. La entrada de potasio abre también canales de calcio voltaje dependiente en la membrana basolateral de la célula y se produce la liberación del neurotransmisor (glutamato). La inclinación en dirección contraria al cinocilio cierra los canales de potasio y la célula se hiperpolariza.

Durante este proceso, el canal del estereocilio más alto desciende gracias a la miosina intracelular, liberándose la tensión. Cuando se alcanza el reposo, el canal desplazado vuelve cerrado a su posición original, mediante la actuación de dicho motor molecular.

Cuando cesa la activación, los iones de potasio intracelulares son expulsados para alcanzar de nuevo el potencial de reposo. Estos iones expulsados son transportados por las células de sostén hacia la estría vascular, gracias a que estas células tienen uniones estrechas que favorecen dicho proceso. En la estría vascular el potasio vuelve a la endolinfa.

Las células ciliares internas son las responsables de generar el potencial generador que origina los potenciales de acción correspondientes en las fibras nerviosas primarias. Las células ciliares externas se encargan de modular la información que transmiten las internas pues aumentan la amplitud y claridad del sonido y mejoran las respuestas discriminatorias de éstas. Responsable de esta función parecen ser las proteínas contráctiles que poseen actina, miosina y prestina las cuales y al parecer más la prestina modifican con su contracción la longitud de las células. Estas contracciones son responsables de la resonancia mecánica y determinan que cada segmento del órgano espiral responda o sintonice con una frecuencia diferente.

Las células ciliares externas parecen ser las responsables de las emisiones otoacústicas, sonidos producidos en la cóclea de tipo espontáneo o provocado por estímulos sonoros y que posiblemente se deban a contracciones rítmicas de estas células.



Infrasonidos

Podemos definir los infrasonidos como las vibraciones de presión cuya frecuencia es inferior a la que el oído humano puede percibir; es decir entre 0 y 20 Hz. Pero, debido a que la mayoría de los aparatos electroacústicos utilizan una frecuencia entre 20 y 30 Hz, consideraremos también como infrasonidos a toda vibración con una frecuencia por debajo de los 30 Hz.

Dentro de la teoría de los infrasonidos abarcamos las vibraciones de los líquidos y las de los gases pero no la de los sólidos. Éstas últimas, gracias a sus aplicaciones y su problemática, se han convertido en una ciencia aparte llamada vibraciones mecánicas.

Veamos algunas características de los infrasonidos:

- Emisión en forma de ondas esféricas.
- Son difíciles de concentrar.
- Menor absorción que a altas frecuencias, aunque ésta dependerá de la temperatura del gas en el que viajan, el peso molecular del mismo y la dirección del viento.
- Los emisores existentes suelen ser de mala calidad.

Debido a una menor atenuación, los infrasonidos pueden llegar más lejos que las demás ondas. Esto es utilizado para la detección de grandes objetos a grandes distancias como montañas o el fondo marino.

Infrasonidos producidos por fuentes naturales. En una situación cualquiera, puede ocurrir que aparezcan infrasonidos de gran intensidad cuyas causas pueden ser muchas y muy variadas (a menudo desconocidas) como pueden ser la superficie mar enfurecido, ciclones, terremotos, movimientos de la ionosfera producidos por rayos cósmicos o meteoritos, etc.

Cabe destacar entre las ondas generadas aquellas cuya frecuencia ronda 1 Hz ya que se propagan sin casi perder energía. Un ejemplo de ellas ocurrió en la erupción del volcán Krakatoa cuando una onda de infrasonidos dio varias veces la vuelta al mundo. Otros ejemplos de infrasonidos producidos por fuentes naturales son la caída de un meteorito en un bosque de Siberia en 1908 y el viento en un hospital de Copenhague, que provocaba reacciones en los enfermos.

Infrasonidos producidos por fuentes artificiales. Una fuente artificial importante en la generación de infrasonidos es una cámara de combustión, lo cual se convierte en un grave problema. Se cree que la causa de este fenómeno radica en el fenómeno de la resonancia, el cual veremos con más detalle en el apartado de generación de ultrasonidos. Otros ejemplos de fuentes infrasónicas artificiales son los motores de cohetes y, como ejemplo particular, la explosión de un artefacto en la Primera Guerra Mundial. Caso curioso el de este último ya que se pudo apreciar una onda sonora en un radio de los 100 primeros kilómetros y más allá de los 200 sin que entre los 100 y los 200 hubiera sonido alguno. Pasemos a explicar este fenómeno: Una explosión genera tanto onda sonora audible como infrasonidos. La onda sonora llegó hasta los 100 kilómetros (de allí no pasó por atenuación) pero el infrasonido siguió viajando tanto horizontalmente como hacia arriba (onda esférica). Esta última se reflejó en la ozonosfera y se sumó a la que se transmitió en la horizontal dando una mayor intensidad y generando de nuevo una onda sonora apreciable por el ser humano.

Efectos de los infrasonidos

No se conoce mucho acerca de los posibles daños producidos por los infrasonidos. Nos limitaremos a exponer los efectos fisiológicos de los mismos. En función del nivel de intensidad de las ondas infrasónicas, los efectos se pueden dividir en cuatro regiones:

- Infrasonidos con una intensidad superior a 180 dB: provocan desgarro de los alvéolos pulmonares e, incluso, la muerte.
- Infrasonidos con una intensidad comprendida entre 140 y 150 dB: (ejemplo: lanzamiento de cohetes). Con un tiempo de exposición menor a dos minutos, su efecto es casi nulo para personas en buen estado físico.
- Infrasonidos con una intensidad comprendida entre 120 y 140 dB: Después de mucho tiempo expuesto a estas ondas aparecen perturbaciones fisiológicas y fatiga. Ejemplos pueden ser un automovilista o un aviador cuyos vehículos son fuentes artificiales de infrasonidos.
- Infrasonidos con una intensidad menor a 120 dB: No se conoce muy bien su acción a estos niveles pero una exposición de unos pocos minutos (unos 30 más o menos) no produce daño alguno.

Cabría pensar que los infrasonidos afectan principalmente al oído; pues bien, esto no es así. Los infrasonidos, especialmente los de baja intensidad, tienen efectos fisiológicos que pueden ser muy serios puesto que afectan al sistema nervioso o se transmiten a través del mismo. Pueden ir acompañados de ruido audible, señales luminosas,

variaciones de temperatura y otros factores internos del organismo. En general, la respuesta del organismo ante el infrasonido depende de:

- Los componentes que forman dicho estímulo.
- La combinación de estos dentro del estímulo.
- La constitución del organismo.
- La reacción o decisión del receptor.

Debido a todas estas dependencias, es muy difícil conocer los efectos de los infrasonidos. Para ello, se deberían reforzar los niveles de los infrasonidos y mantener invariables los demás componentes del conjunto. Como podemos imaginar, esto es algo complicado de conseguir.

De todas formas es bien conocido el efecto de los infrasonidos en el equilibrio y en el movimiento de los seres humanos. Una intensidad de 140 dB puede provocar una pérdida de equilibrio o incluso a más baja intensidad teniendo en cuenta los defectos del oído. Por otro lado, también se sabe que la generación de infrasonidos de alta intensidad provocada por grandes masas en movimiento (instalaciones industriales), afecta tanto a personas como a edificios.

Las consecuencias de una exposición a la onda infrasónica con suficiente intensidad dependen de la frecuencia de la ondas y del tiempo de exposición. Según la frecuencia podemos encontrarnos con los siguientes síntomas:

- 0,1 - 10 Hz: Deficiencias de movimiento.
- 1 - 100 Hz: Dificultad de respiración y habla.
- 4 - 100 Hz: Resonancias en el cuerpo.
- 4 - 800 Hz: Pérdida de visión.
- 2 - 1000 Hz: Bajo rendimiento en el trabajo.

Existen infinidad de efectos que se cree que pueden estar relacionados con los infrasonidos, por ejemplo, en general, durante una fuerte tormenta (generadora de infrasonidos), el rendimiento en el trabajo es menor que en un día soleado. De la misma forma, se han hecho estudios en temas tan variados como los accidentes automovilísticos o el fracaso escolar, llegando a la conclusión de que la exposición a los infrasonidos de una cierta intensidad influía en estas situaciones.

Finalizamos se destaca un par de frecuencias "críticas". La primera de ellas es la de 7 Hz que, según fuentes consultadas, impide todo trabajo intelectual. Por otro lado, la frecuencia de 12 Hz no precisa de un excesivo nivel de intensidad y un largo tiempo de exposición para que provoque malestar.

Se ha visto, pues, que los infrasonidos no son inofensivos. De hecho, los estudios de las ondas infrasónicas suelen ser secretos y restringidos puesto que infrasonidos a ciertas frecuencias y amplitudes pueden constituir el llamado ruido negro que puede causar la muerte de las personas. En la mayoría de las investigaciones, dado que no se sabe exactamente el tipo de onda sonora que se va a producir se suelen utilizar robots manejados a distancia y aislados.

Aplicaciones de los infrasonidos.

La principal aplicación de los infrasonidos es la detección de objetos. Esto se hace debido a la escasa absorción de estas ondas en el medio, a diferencia de los ultrasonidos, como veremos. Por ejemplo una onda plana de 10 Hz se absorbe cuatro veces menos que una onda de 1000 Hz en el agua. El inconveniente es que los objetos a detectar deben ser bastante grandes ya que, a tales frecuencias, la longitud de la onda es muy grande lo cual limita el mínimo diámetro del objeto. Como ejemplo diremos que un infrasonido de 10 Hz tiene una longitud de onda de 34 m en el aire, luego los objetos a detectar deben tener un tamaño del orden de 20 m en el aire y 100 m en el agua.

La comunicación de los elefantes. Ejemplo de aplicaciones de las ondas ultrasónicas se encuentran en el mundo animal y la comunicación entre individuos de una misma especie. El ejemplo más representativo y más importante lo tenemos en los elefantes. La evolución ha hecho que estos animales emitan infrasonidos, dado que estos no se ven afectados cuando atraviesan gigantescas selvas y llanuras y les permite comunicarse a grandes distancias. Así, las hembras pueden avisar a los machos de que se encuentren lejos de ellas, que ya están listas para aparearse, o un grupo puede avisar a otro donde pueden encontrar alimentos. Se ha comprobado que las comunicaciones acústicas de este tipo permiten localizar con gran precisión la fuente de la señal, tanto en tiempo como espacio.

¿Cómo es posible que los elefantes aprecien los infrasonidos? La clave está en la distancia entre sus oídos: Los animales con cabezas pequeñas, que por tanto tienen los oídos más cercanos, pueden oír sonidos de frecuencias más altas que aquellos con oídos más separados; esto se debe esencialmente a las longitudes de onda ya que percibimos sonidos con longitudes de onda del tamaño de nuestro cuerpo aproximadamente. A partir de esto, dado que los infrasonidos tienen longitudes de onda grandes, podemos concluir que los elefantes pueden oír y producir este tipo de ondas sonoras debido a que poseen una cavidad bucal y craneal bastante grande.

Los elefantes se agrupan en familias que son coordinadas a través de infrasonidos en varios kilómetros a la redonda. Algunas de estas llamadas, las más fuertes (116 dB y una frecuencia entre 12 y 35 Hz), comunican la necesidad de reproducirse tanto de machos como de hembras, las cuales pueden ser contestadas por individuos alejados hasta cuatro kilómetros. Pero no sólo lo utilizan para la reproducción sino también para acordar la hora de amamantar a las crías o el recorrido de un paseo.

Futuras aplicaciones del infrasonido. Los investigadores del infrasonido están interesados en sonidos de 10 Hz y más bajos (hasta 0,001 Hz). De hecho, este rango de frecuencias es el mismo que utilizan los sismógrafos para monitorear terremotos o los sensores infrasónicos para descubrir las señales acústicas provenientes de las explosiones. Debido a que tanto volcanes, tornados, turbulencias como meteoros, producen infrasonido, se podría detectar dichas ondas y prevenir algún desastre natural.

En un futuro no muy lejano se construirán estaciones de infrasonidos con el fin de resolver, por ejemplo, los problemas de falsas alarmas. Otras técnicas acústicas se pueden utilizar en el campo de la medicina, por ejemplo en relación con la enfermedad de los huesos u osteoporosis. Esto último se está desarrollando en la actualidad y todavía no presenta una interpretación clara. Veremos que los ultrasonidos tienen más aplicación en este campo.

Ultrasonidos

Los ultrasonidos son aquellas ondas sonoras cuya frecuencia es superior al margen de audición humano, es decir, 20 KHz aproximadamente. Las frecuencias utilizadas en la práctica pueden llegar, incluso, a los gigahertzios. En cuanto a las longitudes de onda, éstas son del orden de centímetros para frecuencias bajas y del orden de micras para altas frecuencias.

Propagación de ultrasonidos

Las ondas producidas, hacen vibrar el medio, lo cual es coherente con el concepto de onda sonora. Los generadores se diseñarán con el objetivo de radiar la mayor cantidad de potencia acústica posible: se usará la frecuencia de resonancia, como ya hemos visto.

La posterior transmisión de estas ondas depende, en gran medida, del medio. Cada medio tiene una impedancia distinta, lo cual hace variar la velocidad de propagación entre otras variables. Es importante darse cuenta de que medios con impedancias muy distintas provocan grandes reflexiones, aspecto a tener en cuenta. Por otro lado, es fundamental evitar el aire en la transmisión puesto que una capa de este gas podría anular la propagación de la onda ultrasónica, dada la alta atenuación que proporciona.

Existen las llamadas ondas de dilatación (longitudinales), que hacen variar el volumen del material a través del cual se propagan; y ondas de distorsión (transversales), que no provocan variación en el volumen aunque los límites del medio pueden ser modificados. Una combinación de ambas son las llamadas ondas de superficie, a las que ya hemos hecho mención. Simplemente se trata de ondas que viajan a una distancia muy pequeña de la superficie del medio.

Veamos una tabla resumen:

Tipo de onda	Gas	Líquido	Sólido	Movimiento de partícula	Aplicación
Longitudinal	Sí	Sí	Sí	Compresión y relajación a lo largo del eje de propagación	Pruebas, mediciones,...
Transversal	No	Muy poco	Sí	Desplazamiento perpendicular al eje de propagación	Pruebas, soldadura, resonancia,...
Superficie	No	No	Sí	Elíptico con alta atenuación por debajo de la superficie	Pruebas de superficie para partes con difícil acceso.

Fenómenos ondulatorios típicos, tales como la reflexión, refracción y difracción tienen lugar, en ondas ultrasónicas, de manera análoga a otros tipos de ondas. Ahora hay que tener en cuenta que la longitud de onda es muy pequeña, lo cual tiene efectos apreciables en fenómenos como la difracción. En general, este tipo de ondas pueden considerarse como planas, con propagación rectilínea debido al pequeño valor de su longitud de onda; la energía, por tanto, no puede desplazarse a través de discontinuidades (esta propiedad se suele utilizar para localizar pequeños objetos).

Efectos de los ultrasonidos

Los ultrasonidos tienen multitud de aplicaciones prácticas pero antes es necesario estudiar los diferentes efectos que tienen.

Efectos físicos

Quizá el efecto físico más importante es la denominada cavitación. Este fenómeno se produce en los líquidos y su causa no es únicamente el ultrasonido. La idea es que la onda, si tiene amplitudes grandes, provoca variaciones de presión. Todo líquido tiene un punto llamado tensión de vapor; cuando nos situamos por debajo de dicho valor de presión, el líquido pasa a estado gaseoso, lo que genera bolsas de vapor (cavidades). Las burbujas viajan hacia una

región de mayor presión y chocan entre sí. Cuando esto ocurre, la presión aumenta muchísimo, llegando incluso a los 800 MPa y también la temperatura (5000°C). Como podemos imaginar, esto es algo tremadamente peligroso puesto que puede destruir superficies de contención, tuberías y demás. La cavitación depende de muchos aspectos:

- Frecuencia. A mayores frecuencias, el tiempo dado a la burbuja para que crezca y afecte al sistema es pequeño, por lo que el efecto de la cavitación es menor.
- Viscosidad. Cuanto más viscoso es un líquido, menor es el efecto de la cavitación.
- Temperatura. Cuanto mayor es la temperatura, la cavitación tiene lugar para intensidades acústicas menores.
- Presión externa. El aumento de este factor provoca una mayor violencia en la colisión de las burbujas.
- Intensidad. En general, a mayor intensidad ultrasónica, mayor es el efecto de este fenómeno.

Este efecto es de vital importancia en submarinos y en máquinas hidráulicas, donde puede ocasionar serios destrozos. Sin embargo, la cavitación también tiene ciertas aplicaciones de interés, actualmente en desarrollo, como es la llamada "Super-Cavitación", consistente en que los proyectiles lanzados por un submarino viajen dentro de una burbuja de aire, consiguiendo mayor velocidad.

Otro efecto interesante es el llamado efecto calorimétrico. La clave está en utilizar un ultrasonido a 4 MHz. A esta frecuencia, la energía sonora se convierte en calor mediante una relación definida.

También puede ocurrir que cuando una onda ultrasónica intensa incida sobre una superficie de separación entre un líquido y el aire se lance hacia arriba un chorro de líquido y se produce una fina niebla.

Efectos químicos

Los efectos químicos que producen los ultrasonidos son, generalmente, derivados del fenómeno de cavitación del que ya hemos hablado. Ya hemos hablado de los aumentos de presión y temperatura. Desde el punto de vista químico, podemos hablar de un fenómeno electrolítico, puesto que en las cavidades aparecen cargas eléctricas iguales y opuestas en extremos contrarios. Además, la energía desprendida de las burbujas cuando chocan produce determinadas reacciones químicas.

Efectos biológicos

Se ha comprobado que los ultrasonidos altamente energéticos afectan a la vida de pequeños animales, como los peces. Los efectos son variaciones del ritmo cardíaco, fiebre, destrucción de la capacidad reproductora, etc. Parece que la causa fundamental de esto radica, nuevamente, en el fenómeno de la cavitación y la formación de burbujas en el interior de los cuerpos.

Efectos médicos

Este tipo de efectos han sido ampliamente estudiados puesto que, varios métodos de análisis y tratamiento dentro del campo de la Medicina se realizan con ultrasonidos. Veamos los efectos médicos fundamentales:

- Diagnosis. Este efecto se basa en los fenómenos de reflexión que permiten localizar variaciones en los tejidos, así como medir el flujo sanguíneo. Se utilizan frecuencias entre 1 MHz y 15 MHz. A mayor frecuencia, se ha comprobado que la resolución es mejor pero la absorción es mayor, por lo que la profundidad de penetración en el tejido es menor. Es necesario llegar a un compromiso, situado actualmente en torno a los 2,5 MHz. La idea de funcionamiento es la siguiente: Cuando una onda ultrasónica incide sobre una superficie de separación entre dos medios, se produce una reflexión y una refracción. La forma en la que esto se produce y la cantidad de energía que se refleja y transmite depende de las impedancias acústicas de los medios. La clave está en hacer incidir una onda ultrasónica estrecha sobre un tejido perpendicularmente. De esta forma, el eco también viajará en la misma dirección que la onda incidente. Si se generó el ultrasonido mediante un cristal piezoelectrónico, la onda reflejada actuará sobre el cristal, produciendo en el mismo nuevos potenciales. Estos potenciales pueden ser amplificados y representados en la pantalla de un osciloscopio, ya sea de forma monodimensional (sistemas tiempo-amplitud) o bidimensional (exploración de una porción del cuerpo, de derecha a izquierda o de arriba a abajo).
- Terapia. Quizá la principal técnica de terapia con ultrasonidos es la llamada litotricia. Consiste en la aplicación de ondas ultrasónicas para la destrucción de cálculos que se forman en el riñón, la vejiga o la vesícula biliar. Otras técnicas son usadas para tratar la tendinitis muscular cuando existen calcificaciones (para disolverlas).

Aplicaciones de los ultrasonidos

Numerosos son los factores que intervienen en los ultrasonidos y son claves para el estudio de sus aplicaciones: frecuencia, potencia radiada, duración de las radiaciones, pérdidas en el medio, etc. También hay que considerar los efectos sobre el medio: desplazamiento de las partículas, presión acústica, etc. Veamos las principales aplicaciones de los ultrasonidos.

Guiado y sondeo. Una de las principales aplicaciones de los ultrasonidos es la que tiene que ver con los sensores para guiado y sondeo. Aquí es donde entra en juego el tema de acústica submarina, aplicado en el sondeo del fondo del mar, navegación de submarinos, detección de bancos de pescado, etc.

Este uso de los ultrasonidos a modo de radar es utilizado por animales, concretamente por los murciélagos, cuyo sentido del oído está muy desarrollado, llegando incluso a escuchar frecuencias cercanas a los 100 KHz. La idea es que estos animales emiten pulsos ultrasónicos que rebotan en los objetos de alrededor. Los ecos son procesados y el murciélagos puede llegar a tener una verdadera visión tridimensional del ambiente.

Cuando pensamos en este tipo de aplicaciones quizás nos viene a la mente la idea de la acústica submarina. Sin embargo, se dan muchas aplicaciones en el guiado de robots con navegación autónoma. El funcionamiento genérico es bastante simple: se trata de emitir pulsos ultrasónicos y contar el tiempo que tardan en regresar. De este modo, conociendo la velocidad de propagación, se puede estimar la distancia recorrida por la onda (ida y vuelta al obstáculo).

Aplicaciones en la medicina.

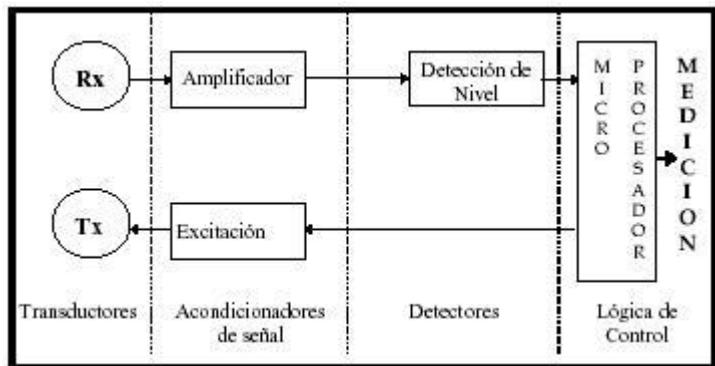
Diagnosis. La técnica más conocida, sin ninguna duda, es la ecografía. La idea, una vez más, es inyectar ultrasonidos a través de la piel en el organismo del paciente (baja intensidad, en torno a unos pocos miliwatos). Estos se reflejan a medida que vayan pasando de unos medios a otros y los ecos son procesados para mostrarlos finalmente por pantalla.

Todos hemos visto cómo los médicos aplican un gel sobre la piel antes de producir los ultrasonidos, pues bien, este gel no es más que un material que sirve a modo de acople de impedancias para evitar la reflexión excesiva del ultrasonido en la propia superficie de la piel. Dado que lo que se está emitiendo son pulsos ultrasónicos, en la práctica se habla de métodos diagnósticos del eco pulsado, los cuales pueden ser de cinco tipos:

- Scan A: Sistema de eco pulsado compuesto por un generador, que simultáneamente estimula el transmisor y el generador de barrido, y un receptor, que recoge los ecos devueltos.
- Scan B: Se trata simplemente de una agrupación de líneas A y se utiliza para representar una sección anatómica del paciente.
- Modo M: Se utiliza para estudiar movimientos de órganos, especialmente del corazón (ecocardiogramas). Un registro de tiempo-posición representa cómo varía una línea de eco A en función del tiempo.
- Técnica real time: Simplemente se trata de obtener imágenes en modo B a una tasa del orden de 40 por segundo. En ese caso, el ojo humano percibe una imagen en movimiento.
- Técnicas Doppler: Cuando el haz sonoro rebota en una superficie inmóvil, la frecuencia del haz reflejado es la misma que la del haz transmitido, pero si la superficie se mueve, el ultrasonido reflejado tendrá diferente frecuencia que el emitido (efecto Doppler). Esto se puede analizar para estudiar dicho movimiento.

Lo más novedoso en esta materia es la creación de ecografías tridimensionales, que se caracterizan por ser imágenes con una calidad realmente impresionante y en color. En la figura se puede ver un ejemplo. Este tipo de ecografías ayudan a la detección precoz de malformaciones y defectos genéticos.

Los ultrasonidos también poseen propiedades terapéuticas. Científicos de universidades británicas sugieren que la energía de estas ondas se pueda usar para que aumente la cantidad de medicamento que puede entrar en las células.



La base está en que los ultrasonidos crean poros en las membranas celulares que regulan de algún modo la entrada de fármacos en la célula. Otras investigaciones se centran en el control del flujo sanguíneo cerebral, lo cual sería de gran ayuda a los médicos para prevenir crisis en este órgano.

Ultrasonidos en cirugía. Los ultrasonidos en cirugía permiten, a diferencia del láser, desagregar los tejidos sin quemar excesivamente. Sin embargo, su precisión es muy inferior a la del láser y su manipulación más problemática. El principio es la cavitación por concentración de la onda sobre una pequeña superficie.

La acción de los ultrasonidos sobre los tejidos vivos es bien conocida desde hace tiempo. En la cirugía de la celulitis, es necesario licuar las células grasas haciéndolas resonar al contacto de una sonda en cuyo extremo se suministra una potencia de 4 a 6 vatios/mm². Se produce una emulsión de los cuerpos y de la membrana que componen la célula, licuando el conjunto que puede ser aspirado o drenado. El extremo de la sonda tiene una superficie muy pequeña y por lo tanto es difícil tratar importantes volúmenes rápidamente. Los ultrasonidos además tienen un efecto analgésico, antiinflamatorio y vasodilatador.

Los ultrasonidos son sonidos (vibraciones mecánicas) que tienen una frecuencia por encima del nivel audible. Al igual que el sonido, los ultrasonidos viajan a través de un medio con una velocidad definida y en forma de una onda, pero, a diferencia de las electromagnéticas, la onda del sonido es un disturbio mecánico del medio mediante el cual se transporta la energía del sonido. El diagnóstico por ultrasonidos depende del medio físico en el que el sonido se propaga y de cómo las ondas ultrasónicas interaccionan con los materiales biológicos que atraviesan, especialmente con las estructuras de los tejidos blandos del cuerpo humano.

Las frecuencias en Mhz que se emplean en las aplicaciones diagnósticas se generan y detectan por el "efecto piezoeléctrico". Los materiales piezoeléctricos se llaman transductores porque son capaces de relacionar energía eléctrica y mecánica: en los cristales piezoeléctricos, las cargas eléctricas están colocadas de tal manera que reaccionan a la aplicación de un campo eléctrico para producir un campo mecánico, y viceversa. El efecto piezoeléctrico se produce si se aplica un campo eléctrico al transductor, el cual puede así generar y detectar ondas ultrasónicas.

El diagnóstico por ultrasonidos se basa en la detección de los ecos que provienen del interior del organismo. Debido a la atenuación progresiva del sonido, se produce una reducción progresiva de la amplitud de los ecos que se originan en las estructuras profundas, haciendo más difícil su detección. La atenuación del sonido durante su propagación se debe a desviación de la onda del sonido, y a la pérdida de energía o absorción.

CAPÍTULO 12

BIOFISICA DE LA OPTICA Y LA VISIÓN

Óptica.

Es la ciencia que estudia cómo emiten luz los cuerpos luminosos, cómo ésta se propaga en los distintos medios y es absorbida por los cuerpos. La óptica, en sentido amplio, estudia las imágenes, incluidos actualmente los procesos digitales para crearlas.

Es una de las ciencias más antiguas; los romanos, por ejemplo, utilizaban lentes para mejorar o cambiar lo que veían. Desde tiempo inmemorial el hombre ha estudiado los colores, la visión, la deformación de lo que vemos; se ha preguntado por el color del cielo y por fenómenos como el arco iris o por qué los objetos sumergidos en agua se ven deformados...

A pesar de que intuitivamente es fácil saber qué es la luz, es difícil proporcionar una definición completa y rigurosa. De modo elemental, la luz es la onda electromagnética que produce un estímulo visual al llegar al ojo. La frecuencia de esta radiación es mayor que las de radio y su longitud de onda es menor. Esta definición, obviamente, es muy limitada, ya que el receptor de la luz no es necesariamente el ojo.

La Óptica ha sido uno de los motores fundamentales de la ciencia y la tecnología contemporáneas: de ella y de los experimentos que genera nacieron el láser, la teoría de la relatividad, la fibra óptica, entre otros.

La Óptica ha sido definida como la parte de la Física que estudia los fenómenos relacionados con la propagación de la radiación electromagnética en un rango determinado del espectro, denominado rango de frecuencias ópticas.

Este rango, habitualmente descrito en la escala equivalente de longitudes de onda, incluye tres franjas (o, genéricamente, espectros): el ultravioleta (desde 10 nm hasta 390 nm), el visible (desde 390 nm hasta 760 nm) y el infrarrojo (desde 760 nm hasta 1mm).

Dentro del espectro visible, conjunto de frecuencias a las que es sensible el sistema visual humano, se denominan colores a ciertas subfranjas particulares:

- Rojo: desde 650 nm hasta 760 nm
- Naranja: desde 590 nm hasta 650 nm
- Amarillo: desde 570 nm hasta 590 nm
- Verde: desde 490 nm hasta 570 nm
- Azul: desde 420 nm hasta 490 nm
- Violeta: desde 390 nm hasta 420 nm

Desde el punto de vista físico, la luz es una onda electromagnética. Según el modelo utilizado para la luz, se distingue entre las siguientes ramas, por orden creciente de precisión (cada rama utiliza un modelo simplificado del empleado por la siguiente):

- La óptica geométrica: Trata a la luz como un conjunto de rayos que cumplen el principio de Fermat. Se utiliza en el estudio de la transmisión de la luz por medios homogéneos (lentes, espejos), la reflexión y la refracción.
- La óptica ondulatoria: Considera a la luz como una onda plana, teniendo en cuenta su frecuencia y longitud de onda. Se utiliza para el estudio de difracción e interferencia.
- La óptica electromagnética: Considera a la luz como una onda electromagnética, explicando así la reflectancia y transmitancia, y los fenómenos de polarización y anisotropía.
- La óptica cuántica u óptica física: Estudio cuántico de la interacción entre las ondas electromagnéticas y la materia, en el que la dualidad onda-corpúsculo desempeña un papel crucial.

Fenómenos ondulatorios.

Las propiedades de las ondas se manifiestan a través de una serie de fenómenos que constituyen lo esencial del comportamiento ondulatorio. Así, las ondas rebotan ante una barrera, cambian de dirección cuando pasan de un medio a otro, suman sus efectos de una forma muy especial y pueden salvar obstáculos o bordear las esquinas.

El estudio de los fenómenos ondulatorios supone la utilización de conceptos tales como periodo, frecuencia, longitud de onda y amplitud, y junto a ellos el de frente de onda, el cual es característico de las ondas bi y tridimensionales.

Se denomina frente de ondas al lugar geométrico de los puntos del medio que son alcanzados en un mismo instante por la perturbación.

Las ondas que se producen en la superficie de un lago, como consecuencia de una vibración producida en uno de sus puntos, poseen frentes de onda circulares. Cada uno de esos frentes se corresponden con un conjunto de puntos del medio que están en el mismo estado de vibración, es decir a igual altura. Debido a que las propiedades del medio, tales como densidad o elasticidad, son las mismas en todas las direcciones, la perturbación avanza desde el foco a

igual velocidad a lo largo de cada una de ellas, lo que explica la forma circular y, por tanto, equidistante del foco, de esa línea que contiene a los puntos que se encuentran en el mismo estado de vibración.

Las ondas tridimensionales, como las producidas por un globo esférico que se infla y desinfla alternativamente, poseen frentes de ondas esféricos si el foco es puntual y si el medio, como en el caso anterior, es homogéneo.

Reflexión y refracción de las ondas

la reflexión es el fenómeno en el que la luz (o cualquier onda) se devuelve hacia el mismo medio material del que provenía al enfrentarse a la interfaz (frontera imaginaria entre dos medios materiales de distintas características) entre dos medios materiales distintos.

Refracción es el cambio de dirección que experimenta una onda al pasar de un medio material a otro. Solo se produce si la onda incide oblicuamente sobre la superficie de separación de los dos medios y si estos tienen índices de refracción distintos. La refracción se origina en el cambio de velocidad de propagación de la onda.

Cuando una onda alcanza la superficie de separación de dos medios de distinta naturaleza se producen, en general, dos nuevas ondas, una que retrocede hacia el medio de partida y otra que atraviesa la superficie límite y se propaga en el segundo medio. El primer fenómeno se denomina reflexión y el segundo recibe el nombre de refracción.

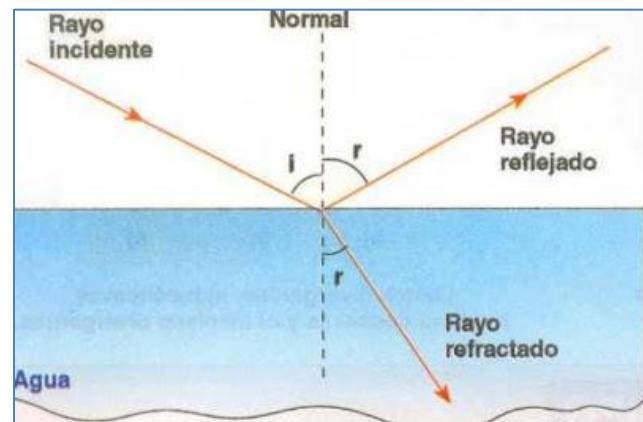
En las ondas monodimensionales como las producidas por la compresión de un muelle, la reflexión lleva consigo una inversión del sentido del movimiento ondulatorio. En las ondas bi o tridimensionales la inversión total se produce únicamente cuando la incidencia es normal, es decir, cuando la dirección, en la que avanza la perturbación es perpendicular a la superficie reflectante. Si la incidencia es oblicua se produce una especie de rebote, de modo que el movimiento ondulatorio reflejado cambia de dirección, pero conservando el valor del ángulo que forma con la superficie límite.

En el caso de las ondas sonoras, la reflexión en una pared explica el fenómeno del eco. Si la distancia a la pared es suficiente, es posible oír la propia voz reflejada porque el tiempo que emplea el sonido en ir y volver permite separar la percepción de la onda incidente de la reflejada. El oído humano sólo es capaz de percibir dos sonidos como separados si distan uno respecto del otro más de 0,1 segundos, de ahí que para que pueda percibiese el eco la superficie reflectiva debe estar separada del observador 17 metros por lo menos, cantidad que corresponde a la mitad de la distancia que recorre el sonido en el aire en ese intervalo de tiempo ($17 \text{ m} = 340 \text{ m/s} \cdot 0,1 \text{ s}/2$).

En los espacios cerrados, como las salas, el sonido una vez generado se refleja sucesivas veces en las paredes, dando lugar a una prolongación por algunos instantes del sonido original. Este fenómeno se denomina reverberación y empeora las condiciones acústicas de una sala, puesto que hace que los sonidos anteriores se entremezclen con los posteriores. Su eliminación se logra recubriendo las paredes de materiales, como corcho o moqueta, que absorben las ondas sonoras e impiden la reflexión.

El fenómeno de la refracción supone un cambio en la velocidad de propagación de la onda, cambio asociado al paso de un medio a otro de diferente naturaleza o de diferentes propiedades. Este cambio de velocidad da lugar a un cambio en la dirección del movimiento ondulatorio. Como consecuencia, la onda refractada se desvía un cierto ángulo respecto de la incidente.

La refracción se presenta con cierta frecuencia debido a que los medios no son perfectamente homogéneos, sino que sus propiedades y, por lo tanto, la velocidad de propagación de las ondas en ellos, cambian de un punto a otro. La propagación del sonido en el aire sufre refracciones, dado que su temperatura no es uniforme. En un día soleado las capas de aire próximas a la superficie terrestre están más calientes que las altas y la velocidad del sonido, que aumenta con la temperatura, es mayor en las capas bajas que en las altas. Ello da lugar a que el sonido, como consecuencia de la refracción, se desvíe hacia arriba. En esta situación la comunicación entre dos personas suficientemente separadas se vería dificultada. El fenómeno contrario ocurre durante las noches, ya que la Tierra se enfriá más rápidamente que el aire.



La difracción

Las ondas son capaces de traspasar orificios y bordear obstáculos interpuestos en su camino. Esta propiedad característica del comportamiento ondulatorio puede ser explicada como consecuencia del principio de Huygens y del fenómeno de interferencias.

Así, cuando una fuente de ondas alcanza una placa con un orificio o rendija central, cada punto de la porción del frente de ondas limitado por la rendija se convierte en foco emisor de ondas secundarias todas de idéntica frecuencia. Los focos secundarios que corresponden a los extremos de la abertura generan ondas que son las responsables de que el haz se abra tras la rendija y bordee sus esquinas. En los puntos intermedios se producen superposiciones de las ondas secundarias que dan lugar a zonas de intensidad máxima y de intensidad mínima típicas de los fenómenos de interferencias.

Ambos fenómenos que caracterizan la difracción de las ondas dependen de la relación existente entre el tamaño de la rendija o del obstáculo y la longitud de onda. Así, una rendija cuya anchura sea del orden de la longitud de la onda considerada, será completamente bordeada por la onda incidente y, además, el patrón de interferencias se reducirá a una zona de máxima amplitud idéntica a un foco. Es como si mediante este procedimiento se hubiera seleccionado uno de los focos secundarios descritos por Huygens en el principio que lleva su nombre.

Lentes.

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

Una lente que es delgada en comparación con su diámetro tendrá un punto focal más distante (es decir, una mayor longitud focal) que una gruesa, será más fácil de fabricar y sufrirá menos aberración cromática y aberración esférica. En lo práctico, para reducir estas y otras distorsiones, se emplean combinaciones de lentes, conocidas como lentes compuestas.

Tipos de lentes.

Las lentes, según la forma que adopten pueden ser convergentes o divergentes.

Las lentes convergentes (o positivas) son más gruesas por su parte central y más estrecho en los bordes. Se denominan así debido a que unen (convergen), en un punto determinado que se denomina foco imagen, todo haz de rayos paralelos al eje principal que pase por ellas.

Entre las distintas formas de uso que se dan a las lentes, estas pueden ser:

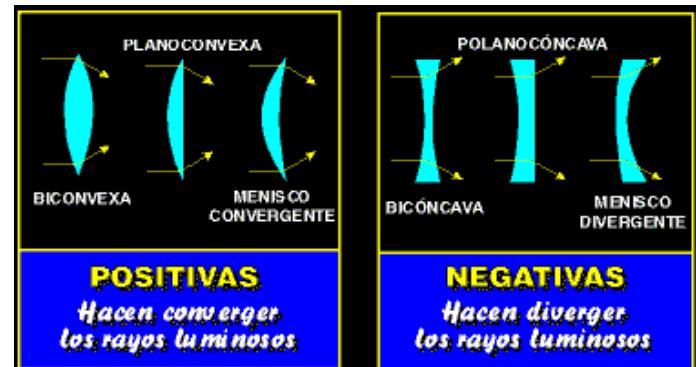
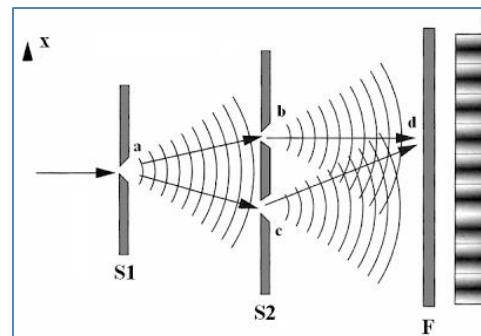
Lente antirreflectante. Lente con un recubrimiento que reduce las reflexiones de su superficie. Cuando la luz atraviesa la frontera entre el aire y vidrio o al revés, se refleja más o menos un 4-5%. Mediante el recubrimiento de la lente con una fina capa de material como fluoruro de magnesio, proceso denominado tratamiento antirreflectante, la reflexión se reduce hasta un 1-2%. Un único recubrimiento solo afecta a la luz de una longitud de onda particular. Para mejorar la transmisión en todo el espectro visible, las lentes deben ser recubiertas con varias capas de materiales diferentes.

Lente bicóncava. Lente con dos superficies cóncavas, de manera que es más fino en el centro que en los bordes. Estos lentes son siempre lentes divergentes, y los objetos vistos a través de ellas parecen más pequeños.

Lente biconvexa. Lente con dos superficies convexas, de manera que esta abombada en el centro. Uno lupa de aumento simple es un ejemplo típico. Una lente biconvexa es siempre una lente convergente.

Lente convergente. Lente que es más gruesa en su centro que en sus bordes, de manera que la luz paralela que la atraviesa converge hacia un foco; también conocida como lente positiva. Uno lupa es un ejemplo. Uno lente convergente produce una imagen real: una que puede ser observada proyectada sobre una pantalla.

Lente de Campo. La lente de un ocular más alejado del ojo del observador.



Lente de transferencia. Lente utilizada para transferir un haz de luz de un lugar a otro; también conocida como lente de retardo. Por ejemplo, existen o menudo lentes de transferencia en los telescopios de DallKirkham o de Maksutov cuya función es la de hacer accesible el punto focal, que de otra manera estaría dentro del telescopio.

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

Lente gravitacional. Efecto en el que los rayos de luz son doblados por el campo gravitacional de un objeto masivo, como una galaxia o agujero negro. El Sol produce un ligero efecto de lente gravitacional, si bien a escalas cosmológicas el efecto se hace patente en la formación de imágenes dobles o múltiples de una galaxia o quasar distante por un objeto situado en primer plano (como, por ejemplo, en la Cruz de Einstein). También pueden ocurrir efectos de lente más complicados, incluyendo la formación de anillos de Einstein, arcos luminosos y microlentes.

Lente ocular. La lente de un ocular que está más próxima al ojo del observador.

Lente planocóncava. Lente que tiene una cara plana y otra cara cóncava; es una lente divergente.

Lente planoconvexa. Lente que tiene una cara plana y otra cara convexa; otro término para la lente convergente.

Lente positiva. Otro término para la lente convergente.

Visión

El ser humano se relaciona con el mundo exterior a través de los sentidos, es decir, a través de la visión, audición, olfato, gusto y tacto, todos ellos de suma importancia para nuestra vida de relación.

La visión, obtenida a través del II par craneano, nervio óptico, III, IV y VI par, nervios oculomotores y es uno de los sistemas de transducción sensible a cierta parte del espectro de ondas electromagnéticas.

Como fenómeno biológico comprende los siguientes pasos:

- refracción de la luz por los medios dióptricos del ojo para formar la imagen en la retina.
- procesos fotoquímicos retinianos: que transforman la energía lumínica en energía química; la que a su vez es transformada en impulsos nerviosos que llevan las imágenes a las áreas corticales correspondientes.
- integración a la interpretación de la información a nivel cortical: la que las transforma en sensaciones de color, forma, dimensión, movimiento y ubicación.

Ahora para que haya visión es necesario contar con:

- Un ojo anatómica y funcionalmente normal
- Una vía óptica intacta.
- Luz.

Con respecto a la luz podemos decir que son radiaciones electromagnéticas detectables por el ojo humano con longitudes de onda que oscilan entre 400 y 780 nm, que están la retina produciendo sensaciones luminosas.

Estas radiaciones electromagnéticas son de diferentes colores, lo que está determinado por sus diferentes longitudes de onda que se extienden desde los 10nm (luz ultravioleta) hasta los más de 10.000 nm (ondas herzianas). Por su parte la luz blanca es una mezcla de las diferentes longitudes de onda del espectro visible.

Para decir que contamos con un ojo anatómica y funcionalmente normal éste debe estar constituido por una membrana resistente, blanca, no transparente llamada esclerótica, que forma una esfera de aproximadamente 24mm de diámetro. Se continúa en la parte anterior con la córnea que es un tejido transparente y con diferente curvatura, tiene un diámetro aproximado de 12 mm y un índice de refracción de 1,38.

La esclerótica envuelve a un tejido muy vascularizado llamado coroides y cuya función es nutrir a la retina, que se encuentra por dentro de ella. En la parte anterior del ojo, la coroides forma unos pliegues, los procesos ciliares, de donde parten los ligamentos suspensoriales del cristalino.

El cristalino, formado por láminas concéntricas, está envuelto por una cápsula membranosa muy delgada al cual se fijan los ligamentos suspensoriales procedentes de los procesos ciliares. Es biconvexo por lo actúa como una lente biconvexa y su índice de refracción es de 1,41.

Por delante del cristalino la coroides se continúa con una membrana opaca, de distinto color según la persona, el iris, que posee un orificio en su parte central denominado niña o pupila. El diámetro de ésta varía de acuerdo a la intensidad de la luz incidente (la dilatación normal de la pupila oscila entre 2 a 5 mm.), debido a la acción de las fibras musculares contenidas en el iris, de ésta manera el iris cumple una función de diafragma regulando la cantidad de luz que penetra en el ojo.

Entre el iris y el cristalino existe un pequeño espacio denominada cámara posterior y entre el iris y la cara posterior de la córnea se encuentra la cámara anterior; ambas cámaras están llenas de un líquido el humor acuoso, que es formado

continuamente por los procesos ciliares hacia la cámara posterior pasando luego a través de la pupila hacia la cámara anterior, y de ahí es drenado continuamente a nivel del ángulo formado por el iris y la córnea hacia un sistema de venas. El volumen de humor acuoso es responsable de la presión intraocular existente que hace que el ojo conserve su forma esférica, normalmente su valor oscila entre los 15 a 20 mmHg. Mantenidos por el equilibrio dinámico entre la formación y drenaje del humor acuoso. Y su índice de refracción es de 1,33.

La retina se encuentra por dentro de la coroides y se halla aplicada por encima de ésta, es una fina membrana constituida por tejido nervioso por excelencia y en elle se encuentran los conos y bastones, células fotorreceptoras. Estas células nerviosas sensibles a la luz, hacen sinapsis con otras células nerviosas llamadas células bipolares y que están contenidas en el espesor de la retina y hacen sinapsis a su vez con las células ganglionares que dan inicio a la vía óptica, que también están situadas en el espesor de la retina y cuyos axones se reúnen en un solo haz para formar en nervio óptico, el cuál abandona el ojo por el polo posterior del mismo.

Existe por último una cavidad por dentro de la retina, limitada por ésta en toda su extensión menos en la parte anterior donde está limitada por la cara posterior del cristalino. Esta cavidad está llena de humor vítreo que es una masa gelatinosa transparente cuyo índice de refracción es de 1,34.

Todos estos medios transparentes con distintos índices de refracción:

- Córnea: 1,38
- Humor acuoso: 1,33
- Cristalino: 1,40
- Humor vítreo: 1,34

Actúan como un sistema de lentes cuyo fin es formar la imagen sobre la retina; la cuál es perfectamente nítida, real e invertida y por supuesto menor respecto al objeto.

Si sumamos algebraicamente el poder de todas las superficies refringentes del ojo, vemos que el poder refringente total corresponde a unas 59 dioptrías.

Así llamamos Ojo reducido a la simplificación de la óptica de un ojo normal mediante el uso de una única lente de 59 dioptrías situada a 17mm. Por delante de la retina; es de 59 dioptrías porque ese es el valor al que arribamos si sumamos algebraicamente el poder de todas las superficies refringentes del ojo.

Esto simplifica los cálculos con respecto a la óptica ocular.

Recordar que:

Potencia O o poder dióptrico de una lente: es la inversa de la distancia focal. Y la distancia focal es la distancia que queda entre el centro óptico y el foco principal.

Dioptría: es una unidad de potencia y es la que corresponde a una lente con una distancia focal de un metro.

Con respecto a la vía óptica decimos que tiene su origen aparente en la porción anteroexterna del quiasma óptico, desde donde se dirige hacia el agujero óptico que atraviesa para penetrar en la cavidad orbitaria y alcanzar el globo ocular, en el que se introduce por un punto ubicado 3mm por dentro y 1mm por debajo de su polo posterior, yendo a terminar en la retina a nivel de las gruesas células ganglionares de la misma. La vía óptica se compone de una neurona receptora periférica, constituida por las células bipolares que ocupa la parte media de la retina, una de cuyas prolongaciones recoge las impresiones luminosas de los conos y de los bastoncitos, y la otra termina por arborizaciones libres alrededor de las gruesas células ganglionares, cuyas fibras constituyen el nervio óptico propiamente dicho que, después de atravesar el quiasma, se continúa por medio de las cintillas ópticas que van a terminar en el cuerpo geniculado externo, en el pulvinar del tálamo óptico y en el tubérculo cuadrigémino anterior y desde donde se dirigen finalmente hacia la corteza del lóbulo occipital, condensándose en un haz que ocupa la parte posterior de la cápsula interna, denominado radiaciones ópticas de Gratiolet, que finaliza en los labios de la cisura calcarian que constituye el centro cortical de la visión.

Es de hacer notar que al llegar al quiasma las fibras de cada nervio óptico se entrecruzan parcialmente en dicha formación, de modo tal que cada una de las mitades correspondientes a la porción nasal de cada retina pasa a la cintilla óptica del lado opuesto, mientras que las que corresponden a la mitad temporal siguen directamente su trayecto por la cinta óptica del mismo lado.

También el contingente de fibras del nervio óptico que provienen de la mácula lútea, denominado fibras maculares, se entrecruza parcialmente en el quiasma, de manera que para cada retina hay fibras maculares directas y cruzadas. Así cada cintilla reúne las fibras correspondientes a mitades homónimas de la retina, es decir, derechas o izquierdas.

Es importante poder aplicar éstos conceptos anatómicos que brevemente se ha repasado, junto con los conceptos físicos de la exploración clínica del paciente y tratar de comprender desde allí que es lo que le sucede, Si existe solución a ese problema y si la hay cuál sería.

Esa exploración de la visión en el paciente comprende 4 pasos a saber:

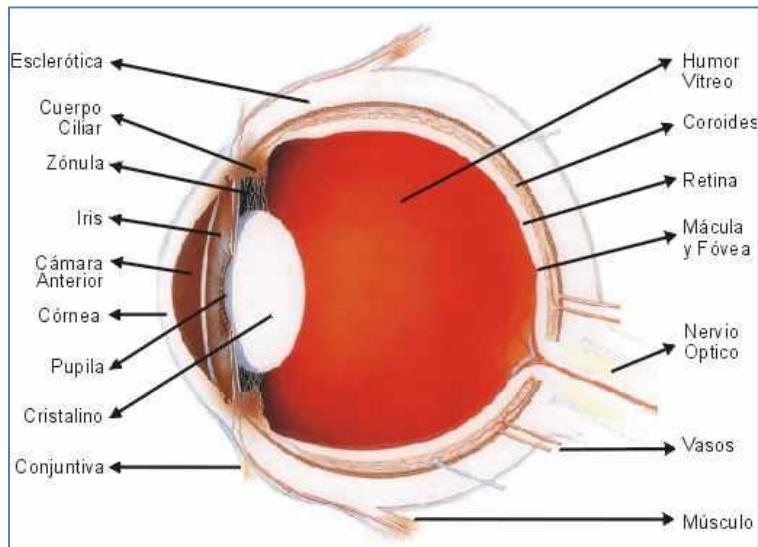
- Examen de la agudeza visual.
- Examen de la visión de los colores.
- Examen del campo visual.
- Examen del fondo de ojo: pues aquí está situada la cabeza del nervio óptico, que viene a ser la única parte del sistema nervioso que puede verse directamente en su estructura anatómica en el vivo.

Estructura del globo ocular.

El globo ocular es un órgano aproximadamente esférico que presenta tres capas concéntricas, de fuera a adentro:

Capa externa o fibrosa: Es la Capa de sostén del ojo y se compone de:

Esclerótica: Es la capa más externa del globo ocular, una membrana de tejido conjuntiva fibroso, dureza considerable (resistente), de color blanco opaco, provista de vasos sanguíneos y que forma el blanco del ojo. Es transparente en su parte anterior, conocida entonces como córnea. Se encarga de refractar («doblar») los rayos luminosos hacia el cristalino y constituye las cinco sextas partes posteriores de la superficie del globo ocular. Posee dos orificios, uno posterior para el paso del nervio óptico y otro anterior cubierto por la córnea.



Córnea: Forma la parte anterior de la cubierta externa del ojo; a través suyo se pueden ver el iris y la pupila. Supone la sexta parte de la superficie del ojo, no tiene vasos y es transparente para permitir el paso de la luz en su trayecto hacia la retina. La córnea se continúa con la esclera en la unión o limbo esclerocorneal. El grado de curvatura de la córnea determina en parte el enfoque de las imágenes sobre la retina, y varía en las diferentes personas.

Capa media o vascular (uvea). En esta capa vascular y altamente pigmentada se diferencian tres zonas de atrás hacia adelante: la coroides, el cuerpo ciliar y el iris.

Coroides: Es una membrana localizada entre la esclerótica y la retina, es más delgada que la esclerótica, está constituida por tejido fibroso; su coloración es marrón oscura a causa del pigmento negro que contiene y a los abundantes vasos sanguíneos. Este pigmento oscuro, absorbe la luz y así evita la reflexión de los rayos luminosos hacia el exterior. Presenta los mismos orificios de la esclerótica pero en el interior forma un disco vertical de color variable, el iris, en cuyo centro está la pupila. Forma la mayor parte de la capa media y tapiza gran parte del interior de la esclerótica. Se continúa por delante con el cuerpo ciliar. Contiene numerosos plexos venosos y capas de capilares, responsables de la nutrición de las capas adyacentes de la retina. La coroides está firmemente unida a la retina, pero puede despegarse fácilmente de la esclerótica.

Cuerpo ciliar: Conecta la coroides con el iris. Presenta pliegues en su superficie interna denominados procesos ciliares, que segregan humor acuoso, un líquido que llena y nutre el segmento anterior del ojo, por delante del cristalino. El cuerpo ciliar contiene el músculo ciliar cuya contracción permite el abombamiento de cristalino por relajación de las fibras zonulares o ligamento suspensorio con el fin de poder enfocar sobre la retina los objetos cercanos. El cristalino es una estructura con forma de lente biconvexa, como una lenteja, se encuentra por detrás; es el ligamento que une la cápsula a los procesos ciliares.

El iris: La zona más anterior de la coroides es el iris, un disco opaco con un orificio central denominado pupila o niña del ojo; está situado entre la córnea y el cristalino. El iris contiene fibras musculares de dos tipos; hay fibras dispuestas en discos concéntricos que disminuyen el tamaño de la pupila cuando incide una luz muy intensa. También posee fibras radiales, ordenadas del centro a la periferia que al contraerse ante una intensidad débil de luz, aumentan el tamaño de la pupila y permiten así el paso de más luz hacia el interior del ojo. La pupila posee cantidades variables de pigmento, que determinan el color de los ojos. El iris divide el segmento anterior del globo ocular (entre la córnea y el cristalino) en cámara anterior y posterior. Volver

Capa interna o retina. La retina o capa nerviosa del globo ocular es una delicada membrana, es la principal responsable del fenómeno visual. Se encuentra entre la coroides y el humor vítreo.

La Retina: La retina se compone de dos capas: una capa externa de células pigmentadas y una capa nerviosa interna; es sensible a la luz. Aunque la capa pigmentada se fija firmemente a la coroides, su inserción en la capa nerviosa no es tan firme. Así el desprendimiento de retina es en realidad una separación de la capa pigmentada de la capa nerviosa. La capa nerviosa de la retina termina a nivel del borde posterior del cuerpo ciliar, en un borde dentado, denominado ora serrata. Se forma por la expansión del nervio óptico una vez que atraviesa las dos capas anteriores (punto ciego: insensible a la luz). Próximo al punto ciego, en el extremo del eje antero-posterior del ojo, la retina presenta la mancha lútea (amarilla) que es el punto más impresionable por la luz. La estructura de la retina es sumamente compleja; está constituida por 10 capas, de las cuales se destaca la de conos y bastones. Los bastones contienen una sustancia, coloreada, llamada púrpura retiniana; los conos constituyen la mancha amarilla.

Principios físicos de la visión.

En general, los ojos funcionan como unas cámaras fotográficas sencillas. La lente del cristalino forma en la retina una imagen invertida de los objetos que enfoca y la retina se corresponde con la película sensible a la luz.

El enfoque del ojo se lleva a cabo debido a que la lente del cristalino se aplana o redondea; este proceso se llama acomodación. En un ojo normal no es necesaria la acomodación para ver los objetos distantes, pues se enfocan en la retina cuando la lente está aplana gracias al ligamento suspensorio. Para ver los objetos más cercanos, el músculo ciliar se contrae y por relajación del ligamento suspensorio, la lente se redondea de forma progresiva. Un niño puede ver con claridad a una distancia tan corta como 6,3 cm.

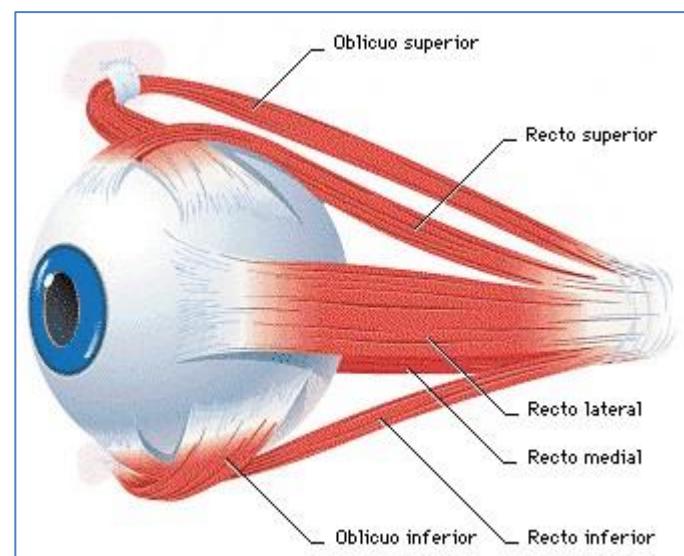
Al aumentar la edad del individuo, las lentes se van endureciendo poco a poco y la visión cercana disminuye hasta unos límites de unos 15 cm a los 30 años y 40 cm a los 50 años. En los últimos años de vida, la mayoría de los seres humanos pierden la capacidad de acomodar sus ojos a las distancias cortas. Esta condición, llamada presbiopía, se puede corregir utilizando unas lentes convexas especiales. Las diferencias de tamaño relativo de las estructuras del ojo originan los defectos de la hipermetropía o presbicia y la miopía o cortedad de vista.

Debido a la estructura nerviosa de la retina, los ojos ven con una claridad mayor sólo en la región de la fóvea. Las células con forma de conos están conectadas de forma individual con otras fibras nerviosas, de modo que los estímulos que llegan a cada una de ellas se reproducen y permiten distinguir los pequeños detalles.

Por otro lado, las células con forma de bastones se conectan en grupo y responden a los estímulos que alcanzan un área general (es decir, los estímulos luminosos), pero no tienen capacidad para separar los pequeños detalles de la imagen visual. La diferente localización y estructura de estas células conducen a la división del campo visual del ojo en una pequeña región central de gran agudeza y en las zonas que la rodean, de menor agudeza y con una gran sensibilidad a la luz. Así, durante la noche, los objetos confusos se pueden ver por la parte periférica de la retina cuando son invisibles para la fóvea central.

El mecanismo de la visión nocturna implica la sensibilización de las células en forma de bastones gracias a un pigmento, la púrpura visual o rodopsina, sintetizado en su interior. Para la producción de este pigmento es necesaria la vitamina A y su deficiencia conduce a la ceguera nocturna. La rodopsina se blanquea por la acción de la luz y los bastones deben reconstituirla en la oscuridad, de ahí que una persona que entra en una habitación oscura procedente del exterior con luz del sol, no puede ver hasta que el pigmento no empieza a formarse; cuando los ojos son sensibles a unos niveles bajos de iluminación, quiere decir que se han adaptado a la oscuridad.

En la capa externa de la retina está presente un pigmento marrón o pardusco que sirve para proteger las células con forma de conos de la sobreexposición a la luz. Cuando la luz intensa alcanza la retina, los gránulos de este pigmento



emigran a los espacios que circundan a estas células, revistiéndolas y ocultándolas. De este modo, los ojos se adaptan a la luz.

Nadie es consciente de las diferentes zonas en las que se divide su campo visual. Esto es debido a que los ojos están en constante movimiento y la retina se excita en una u otra parte, según la atención se desvía de un objeto a otro. Los movimientos del globo ocular hacia la derecha, izquierda, arriba, abajo y a los lados se llevan a cabo por los seis músculos oculares y son muy precisos.

Se ha estimado que los ojos pueden moverse para enfocar en, al menos, cien mil puntos distintos del campo visual. Los músculos de los dos ojos funcionan de forma simultánea, por lo que también desempeñan la importante función de converger su enfoque en un punto para que las imágenes de ambos coincidan; cuando esta convergencia no existe o es defectuosa se produce la doble visión. El movimiento ocular y la fusión de las imágenes también contribuyen en la estimación visual del tamaño y la distancia.

Son 3 características de la visión natural son:

Movimiento. Los ojos que ven claro se están moviendo continuamente. La mirada fija es característica de la visión borrosa. Es fácil observar por ejemplo los pequeños movimientos que hacen los ojos de una persona que ve bien cuando esta frente a ti conversando. Cuanto más relajados están, más se mueven los ojos y más claramente vemos. Antes que una visión fija... tenemos una mente fija.

Centralización. Vemos más nítida y vivamente la parte central de nuestro campo visual y progresivamente más borrosa la parte que corresponde a nuestra visión periférica. Esto es consecuencia de cómo está conformado anatómicamente nuestro ojo: las células receptoras de la luz que perciben claramente los colores están solamente en la mácula, en el centro de la retina. Así, un ojo normal se mueve continuamente de un centro de atención a otro.

Relajación. Mirar sin esfuerzo y tensión es la cualidad principal de un ojo que ve bien. La visión clara se da por sí misma cuando la mente y el sistema visual están relajados. Nuestros ojos están preparados por naturaleza para ver con nitidez, y somos nosotros con nuestras costumbres y actitudes los que les ponemos cargas y esfuerzo que les impiden funcionar con normalidad. La mente juega un papel principal: los ojos no pueden estar relajados si la mente no lo está.

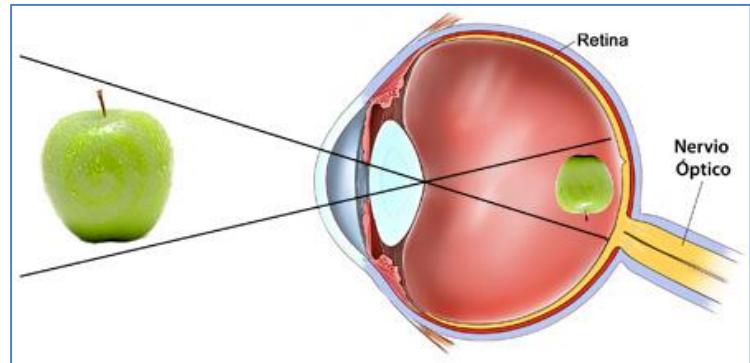
Formación de imágenes.

El sentido de la vista en las personas tiene un funcionamiento complejo y necesita de dos elementos básicos: El ojo y el cerebro.

La luz es el tercer elemento más destacado en la visión. Sin ella somos incapaces de ver. Es la que penetra en nuestros ojos para que el cerebro forme la imagen.

El recorrido de la luz se da en tres pasos:

1. La luz pasa a través de la córnea y llega a la pupila que se contrae o expande según su intensidad. La pupila será más pequeña cuanta más luz haya para evitar deslumbramientos. En habitaciones o lugares en penumbra aumentará de tamaño para dejar entrar más cantidad de luz.
2. El cristalino del ojo será quien proyecte las imágenes enfocadas en la retina. Puede aplanarse o abombarse según lo cerca o lejos que esté el objeto que veamos. El cristalino se deteriora con los años y pierde capacidad de acomodación. Esto da lugar a conocidos problemas ópticos como la presbicia o vista cansada.
3. La retina recibe la imagen invertida en sus paredes. La luz estimula los conos y los bastones quienes transforman esa información en impulsos nerviosos. Esta electricidad se trasladará al cerebro a través del nervio óptico. El cerebro es quien realmente ve las imágenes. Endereza la imagen invertida de la retina e interpreta la información de color, tamaño, posición, etc.



La imagen formada en la retina es plana, en 2 dimensiones.

Los humanos ven imágenes en 3 dimensiones por la separación de aproximadamente 6 cm. de nuestros ojos.

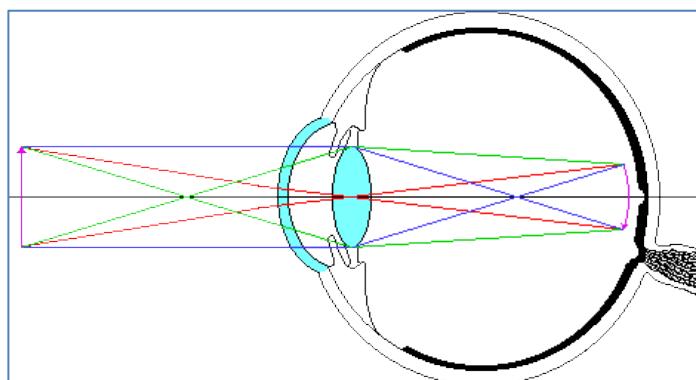
Existen dos fenómenos por los que se cree que vemos imágenes en movimiento. Uno es conocido como persistencia retiniana o persistencia de la visión. El otro es el llamado Efecto Phi.

Persistencia retiniana. Es el fenómeno por el cual se ha creído que el cerebro humano es capaz de ver imágenes en movimiento. Fue desarrollada en el siglo XIX por el belga Joshep Plateau. Se basa en la suposición de que la imagen se mantiene en la retina aproximadamente 0,1 segundos. Si vemos más de 10

imágenes en un segundo tendremos la sensación de movimiento. Los argumentos para mantener esta teoría son muy débiles. Hoy en día existen numerosos estudios desmientenla. La neurofisiología considera que es el cerebro quien procesa las imágenes recibidas por la retina. La sensación de imagen en movimiento tiene lugar en el n úcleo geniculado lateral cerebral.

Efecto Phi. El efecto o fenómeno Phi fue desarrollado por Max Wertheimer a principios del siglo XX. Es considerada una de las teorías principales de percepción de la Gestalt. Se define como una ilusión óptica que nos hace ver movimiento donde no lo hay. El cerebro "inventa" las partes que faltan en una secuencia de imágenes.

Estos dos fenómenos dieron lugar a la creación de numerosos inventos. Algunos de los más conocidos son el taumatropo, el zootropo y el praxinoscopio. Se los considera los precedentes del cine y sus derivados.



condiciones de buena iluminación (más de 3 cd/m^2) como ocurre de día, la visión es nítida, detallada y se distinguen muy bien los colores; es la visión fotópica. Para niveles inferiores a 0.25 cd/m^2 desaparece la sensación de color y la visión es más sensible a los tonos azules y a la intensidad de la luz. Es la llamada visión escotópica. En situaciones intermedias, la capacidad para distinguir los colores disminuye a medida que baja la cantidad de luz pasando de una gran sensibilidad hacia el amarillo a una hacia el azul. Es la visión mesiápica.

En estas condiciones, se definen unas curvas de sensibilidad del ojo a la luz visible para un determinado observador patrón que tiene un máximo de longitud de onda de 555 nm (amarillo verdoso) para la visión fotópica y otro de 480 nm (azul verdoso) para la visión escotópica. Al desplazamiento del máximo de la curva al disminuir la cantidad de luz recibida se llama efecto Purkinje.

Toda fuente de luz que emita en valores cercanos al máximo de la visión diurna (555 nm) tendrá un rendimiento energético óptimo porque producirá la máxima sensación luminosa en el ojo con el mínimo consumo de energía. No obstante, si la fuente no ofrece una buena reproducción cromática puede provocar resultados contraproducentes.

La acomodación.

Se llama acomodación a la capacidad del ojo para enfocar automáticamente objetos situados a diferentes distancias. Esta función se lleva a cabo en el cristalino que varía su forma al efecto. Pero esta capacidad se va perdiendo con los años debido a la pérdida de elasticidad que sufre; es lo que se conoce como presbicia o vista cansada y hace que aumente la distancia focal y la cantidad de luz mínima necesaria para que se forme una imagen nítida.

La adaptación.

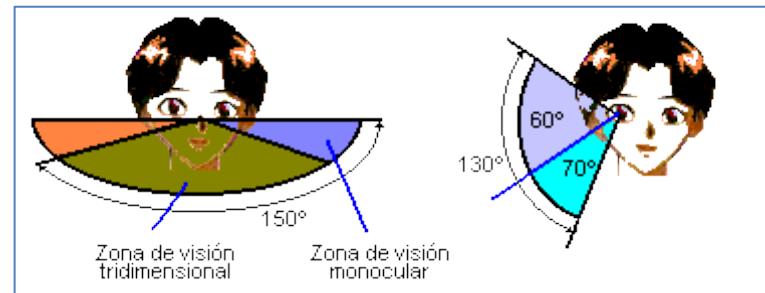
La adaptación es la facultad del ojo para ajustarse automáticamente a cambios en los niveles de iluminación. Se debe a la capacidad del iris para regular la abertura de la pupila y a cambios fotoquímicos en la retina. Para pasar de ambientes oscuros a luminosos el proceso es muy rápido pero en caso contrario es mucho más lento. Al cabo de un minuto se tiene una adaptación aceptable. A medida que pasa el tiempo, vemos mejor en la oscuridad y a la media hora ya vemos bastante bien. La adaptación completa se produce pasada una hora.

El campo visual.

Volviendo al ejemplo de la cámara de fotos, el ojo humano también dispone de un campo visual. Cada ojo ve aproximadamente 150° sobre el plano horizontal y con la

A menudo, se compara el funcionamiento del ojo con el de una cámara fotográfica. La pupila actuaría de diafragma, la retina de película, la córnea de lente y el cristalino sería equivalente a acercar o alejar la cámara del objeto para conseguir un buen enfoque. La analogía no acaba aquí, pues al igual que en la cámara de fotos la imagen que se forma sobre la retina está invertida. Pero esto no supone ningún problema ya que el cerebro se encarga de darle la vuelta para que la veamos correctamente.

Al igual que en la fotografía, la cantidad de luz juega un papel importante en la visión. Así, en



superposición de ambos se abarcan los 180º. Sobre el plano vertical sólo son unos 130º, 60º por encima de la horizontal y 70º por debajo.

El campo visual de cada ojo es de tipo monocular, sin sensación de profundidad, siendo la visión en la zona de superposición de ambos campos del tipo binocular. La sensación de profundidad o visión tridimensional se produce en el cerebro cuando este superpone e interpreta ambas imágenes.

Los factores externos que influyen sobre la formación de una buena imagen en la retina pueden dividirse en dos clases: los subjetivos y los objetivos. Los primeros dependen del propio individuo como su salud visual (depende de la edad y del deterioro de la vista), el nivel de atención en lo que mira, si está en reposo o en movimiento o la comodidad visual (nivel de iluminación y deslumbramiento). Mientras que los segundos dependen de lo que estemos mirando, del objeto visual. Son los factores objetivos y son el tamaño, la agudeza visual, el contraste y el tiempo.

Para enfocar imágenes de objetos cercanos al ojo, el cristalino debe tomar una forma convexa más esférica. Esto se produce por la contracción de los músculos ciliares. El resultado de este proceso es que el cristalino se hace más esférico con una mayor capacidad de refracción de la luz lo que permite que se enfoquen en la retina objetos más cercanos (ojo enfocado u ojo no acomodado). Estos mecanismos de acomodación requieren un globo ocular resistente que evite la deformación de la retina, y un humor vítreo muy viscoso que impida retrodesplazamientos del cristalino. El mecanismo de acomodación del cristalino es un reflejo parasimpático que se inicia por percepción de imágenes borrosas procedentes de la retina.

La capacidad de acomodación del cristalino disminuye con la edad, debido a que éste se hace menos elástico y no puede incrementar su curvatura como se requiere para la visión cercana. Este trastorno aparece con frecuencia en la especie humana a partir de los 40 años de edad y se denomina presbiopía o vista cansada.

Emetropía y ametropía.

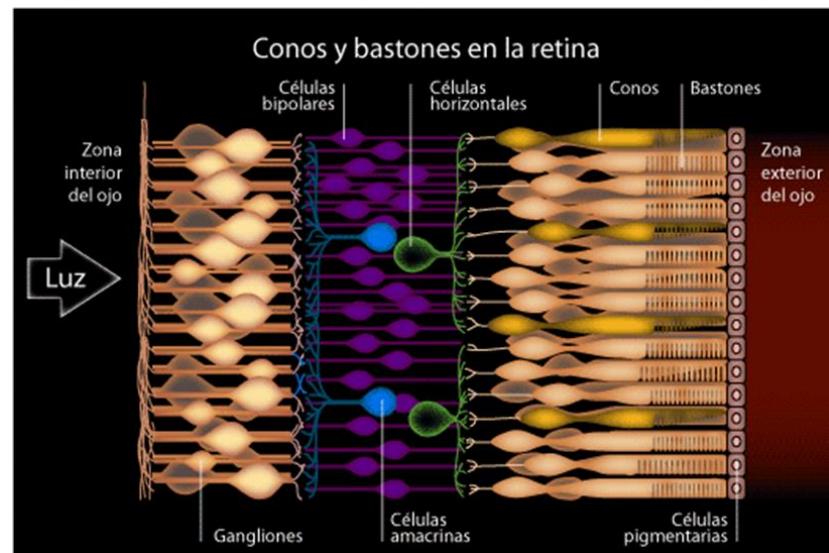
El ojo humano es un sistema óptico en el que se dice que existe emetropía cuando los rayos paralelos de la luz que provienen de un objeto son enfocados en la retina, haciendo que nuestro cerebro perciba imágenes nítidas.

Cuando el enfoque de la imagen en cuestión no se produce en la retina, decimos que existe ametropía y por tanto estamos ante una anomalía de la visión, que podrá ser miopía, hipermetropía o astigmatismo.

Existen personas que sufren incluso lo que se denomina anisometropía que consiste en que cada ojo tiene un enfoque distinto al del otro.

En la retina, además de conocer que se forma la imagen, es también mucho más que un conjunto de células fotorreceptoras, pues contiene además, otras células nerviosas cuyas interacciones sinápticas suponen el inicio del complejo procesamiento de las señales visuales. La retina contiene 5 tipos principales de células: fotorreceptoras, bipolares, horizontales, amacrinias y ganglionares, que se estructuran en las 10 capas (células, membranas y núcleos) descritas por Cajal.

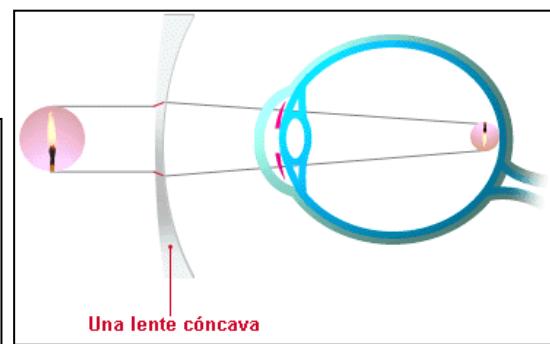
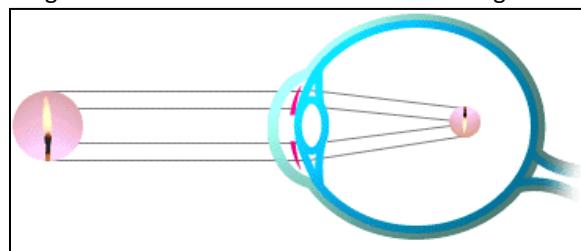
Existen dos tipos principales de células fotorreceptoras (bastones y conos). Ambos tipos celulares establecen una conexión sináptica directa con interneuronas, células bipolares, que conectan a las células fotorreceptoras con las células ganglionares. Los axones de estas últimas llevan los potenciales de acción hacia el cerebro a través del nervio óptico. Modificando el flujo de información en las sinapsis entre fotorreceptores, células bipolares y células ganglionares existen dos tipos celulares de interneuronas: las células horizontales y las amacrinias. Las primeras están entre los fotorreceptores y las células bipolares y establecen sinapsis de inhibición lateral para conseguir una visión más perfecta; mientras que las amacrinias se disponen mediando entre las células bipolares y las ganglionares.



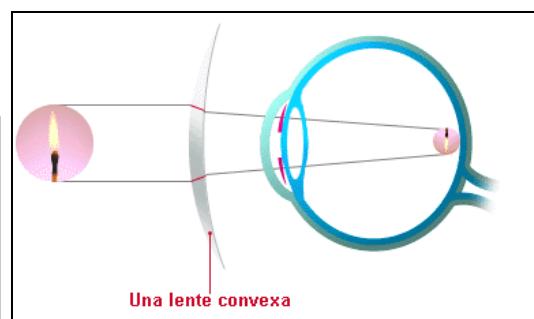
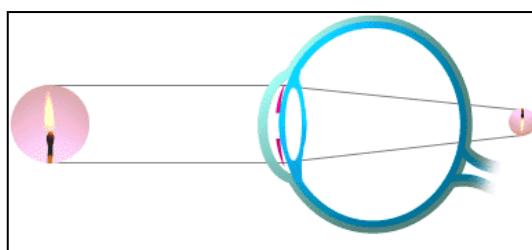
Las primeras están entre los fotorreceptores y las células bipolares y establecen sinapsis de inhibición lateral para conseguir una visión más perfecta; mientras que las amacrinias se disponen mediando entre las células bipolares y las ganglionares.

Defectos visuales.

Miopía: es un defecto o imperfección de la vista, que consiste en una visión defectuosa de los objetos distantes, causada por la excesiva refracción del ojo, en el que los rayos procedentes de objetos situados a gran distancia forman el foco antes de llegar a la retina, siendo ya divergentes cuando lo alcanzan.

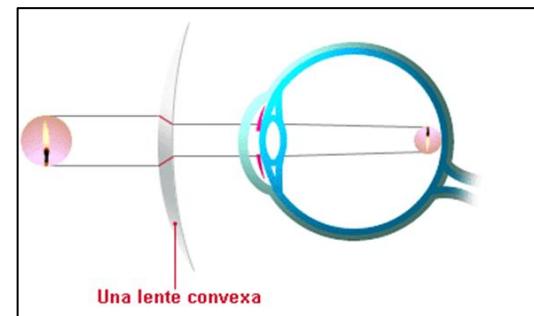
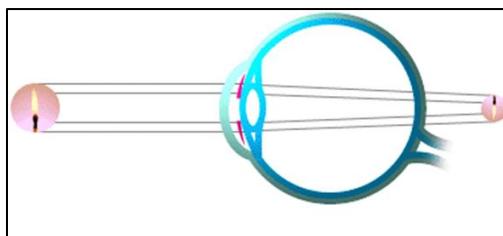


Hipermetropía: es un trastorno de la visión, consistente en que los rayos luminosos paralelos al eje del ojo, si no interviene la acomodación, convergen o forman foco detrás de la retina; este defecto visual se caracteriza principalmente por la dificultad de ver con claridad los objetos situados cerca de los ojos.

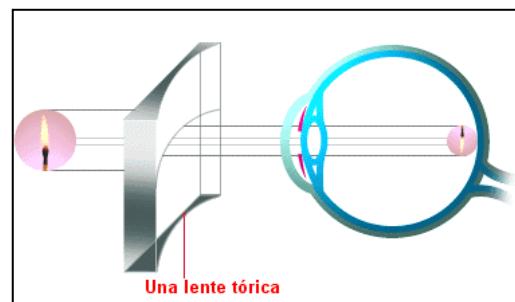
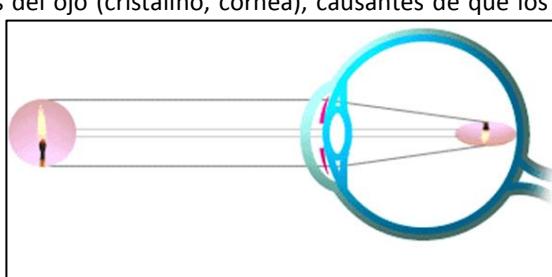


Presbicia: también denominada vista cansada. Es un defecto o imperfección del próstata que consiste en la disminución de la capacidad de acomodación del ojo, por lo cual los objetos situados cerca de él se ven con dificultad, conservándose bien la visión lejana.

La causa es congénita por alteración de los músculos de la acomodación. Su corrección se realiza con el uso de lentes convexas.



Astigmatismo: Imperfección del ojo o de los instrumentos dióptricos, que hace confusa la visión, y consiste en que un punto luminoso determina una mancha lineal, elíptica o irregular. Es un defecto de los medios refringentes del ojo (cristalino, córnea), causantes de que los rayos luminosos en diferentes meridianos impidan la convergencia adecuada DE la luz en la retina.



BIBLIOGRAFIA.

1. CROMER, ALAN. Física para las ciencias de la vida. Barcelona: Ed. Reverte, 2002.
2. QUEZADA, ELVAR. Física aplicada a las ciencias de la vida y Salud. Trujillo: Concytec, 1994.
3. PARISI, MARIO. Temas de Biofísica. Santiago: Edit. Mc Graw-Hill, 2003
4. FRUMENTO, A. Biofísica. Barcelona: Edit. Mosby , 2002.
5. LASKOWSKI, WOLFGANG. Biofísica. Barcelona: Edit. Omega, 1976.
1. J. González Ibeas. "Introducción a la Física y Biofísica". Editorial Alhambra.
2. J.W. Kane y M.M. Sternheim. "Física". Ed. Reverté
3. A.S. Frumento. "Biofísica". Ed. Intermédica.
4. A.H. Cromer. "Física para las ciencias de la vida". Ed. Reverté
5. Ciencias Fisico-Químicas y naturales – Editorial Kapelusz
6. <http://www.experimentar.gov.ar/newexperi/notas/fisicaloca/palancaexplicacion.htm>
7. <http://www.monografias.com/trabajos15/kinesiologia-biomecanica/kinesiologabiomecanica.shtml>
8. <http://es.wikipedia.org/wiki/Palanca>
9. CSN Consejo de Seguridad Nuclear, Dosis de radiación. Madrid (1992).