



Guía de estudio odontológico de fisiología humana



Ediciones
Uleam

Tomo 1

Francisco Borja

**Guía de estudio odontológico de
fisiología humana
Tomo 1**

Francisco Borja





Texto arbitrado bajo la modalidad doble par ciego

Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí
Ciudadela universitaria vía circunvalación (Manta)
www.uleam.edu.ec

Dr. Marcos Zambrano Zambrano, PhD.

Rector

Dr. Pedro Quijije Anchundia, PhD.

Vicerrector Académico

Dra. Jackeline Terranova Ruiz, PhD.

Vicerrectora de Investigación, Vinculación y Postgrado

Lcdo. Kléver Delgado Reyes, Mg.

Dirección de Investigación, Publicaciones y Servicios Bibliográficos

Guía de estudio odontológico de fisiología humana Tomo 1

Francisco Borja

Edición: Primera. Octubre de 2025. Publicación digital

ISBN: 978-9942-681-64-5

Prohibida su venta

Trabajo de edición y revisión de texto: Mg. Alexis Cuzme Espinales

Diagramación, edición de estilo y diseño de portada: Mg. José Márquez Rodríguez

Una producción de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, registrada en la Cámara Ecuatoriana del Libro.

Sitio Web: uleam.edu.ec

Correo institucional: diist@uleam.edu.ec

Teléfonos: 2 623 026 Ext. 255

Agradecimiento

A la fuerza creadora suprema que ha permitido la vida, la salud y las herramientas para la elaboración de este proyecto. A mi familia por ser la base de apoyo e inspiración en este proceso de aprendizaje. A las autoridades de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí: Dr. Marcos Zambrano Zambrano, Rector, por su visión y proyecto de una universidad mejor vinculada al desarrollo de la comunidad y sociedad. A la Dra. María Fernanda Carvajal, Decana de la Facultad de Ciencias de la Salud. A los compañeros docentes por su apoyo y colaboración en este camino de eterno aprendizaje y, finalmente a los estudiantes que fueron parte de la construcción de esta guía de fisiología odontológica a través de su dedicación, tiempo e interés, usando la misma como bases fundamentales durante su proceso de formación académica y profesional.

Índice

Capítulo 1:

Homeostasis: comportamientos líquidos del cuerpo9

Capítulo 2

Mecánicas biológicas de control homeostáticos 21

Capítulo 3

El equilibrio ácido-base en el cuerpo humano 28

Capítulo 4

Equilibrio hidroeléctrico..... 42

Capítulo 5

Endocrinología de las hormonas hipofisarias..... 51

Capítulo 6

Anatomía funcional del riñón 67

Capítulo 7

Principios generales de la función gastrointestinal: motilidad, control nervioso y circulación sanguínea 91

Capítulo 8

Tejido muscular cardíaco 109

Bibliografía..... 125

Introducción

La odontología, como disciplina de la salud, requiere una comprensión profunda y detallada del cuerpo humano, especialmente de aquellas estructuras anatómicas y procesos fisiológicos que intervienen en el funcionamiento del sistema estomatognático. Desde los primeros ciclos de formación académica, se hace evidente que el dominio de la anatomía y fisiología humana no es solo una exigencia curricular, sino una herramienta esencial para el diagnóstico preciso, la planificación de tratamientos efectivos y la ejecución de procedimientos clínicos con seguridad y responsabilidad.

Este libro surge como una iniciativa académica impulsada por estudiantes universitarios de odontología, con el propósito de reunir, organizar y presentar los contenidos fundamentales de anatomía y fisiología con una orientación directa hacia su aplicación en el ámbito odontológico. Nuestro objetivo es ofrecer un recurso accesible, actualizado y contextualizado, que sirva de apoyo tanto para el estudio individual como para el trabajo en equipo, en un lenguaje claro, pero sin perder el rigor científico necesario.

A lo largo de esta obra se abordan en profundidad las estructuras óseas más relevantes para la odontología, como el maxilar y la mandíbula, detallando su morfología, componentes, relaciones anatómicas, procesos de desarrollo y remodelación, así como su importancia clínica en procedimientos quirúrgicos, ortodónticos y protésicos.

También se estudia los músculos de la masticación, su inervación, funciones específicas y cómo se coordinan durante los movimientos mandibulares. La articulación temporomandibular (ATM), por su complejidad estructural y funcional, es analizada desde una perspectiva integral que incluye aspectos anatómicos, fisiológicos y clínicos. El componente fisiológico no es menos relevante. Se incluyen capítulos dedicados al análisis de las funciones orales fundamentales, como la masticación, la deglución, la fonación y la respiración, considerando los mecanismos neuromusculares y bioquímicos que las regulan. Además, se hace énfasis en la importancia de entender cómo las alteraciones en estos procesos pueden derivar en patologías o disfunciones que requieren intervención odontológica.

Una característica particular de este libro es su enfoque pedagógico desde la visión del estudiante. Sabemos que el proceso de aprendizaje en ciencias de la salud puede ser desafiante, por lo que hemos procurado presentar los contenidos de forma ordenada, acompañados de esquemas, resúmenes, ejemplos clínicos y herramientas didácticas que

faciliten la comprensión y favorezcan la integración del conocimiento teórico con la práctica profesional.

Este proyecto no pretende reemplazar a los textos clásicos ni a las fuentes académicas consolidadas, sino complementarlas desde una perspectiva más cercana al estudiante. Nuestra intención es que este libro sea una guía útil no solo para el estudio, sino también para desarrollar el pensamiento crítico y clínico que debe acompañar a todo futuro odontólogo.

Agradecemos profundamente a los docentes, tutores y profesionales que nos han guiado en nuestra formación, así como a nuestros compañeros de aula que han contribuido con sus ideas, aportes y entusiasmo a la creación de este material. Este libro es, en esencia, un reflejo del aprendizaje colectivo, del compromiso con la excelencia académica y del deseo de contribuir al crecimiento de nuestra profesión desde las primeras etapas de nuestra formación.

Justificación

La fisiología ocupa un lugar central en la comprensión de los procesos orales porque permite explicar cómo las células, tejidos y órganos del aparato estomatognático responden ante estímulos tan cotidianos como la masticación, la exposición a sacarosa o la aplicación de un agente anestésico. Entender la regulación del pH salival, la dinámica del flujo salival y el recambio iónico en la superficie dentaria resulta imprescindible para anticipar la aparición de caries o de hipersensibilidad. Además, conocer la fisiología del nervio trigémino y de la musculatura masticatoria permite interpretar signos y síntomas de trastornos temporomandibulares sin reducirlos a simples dolores. En suma, la fisiología aporta el fundamento funcional que vincula la clínica diaria con los mecanismos biológicos que subyacen en la salud y en la enfermedad oral.

Objetivo general

La fisiología es la ciencia que se encarga del estudio de cómo funcionan e interactúan los organismos vivos, órganos, tejidos y células en un sistema, para mantener el funcionamiento normal del cuerpo, especialmente a través del concepto de homeostasis, que es el mantenimiento de un ambiente interno estable.

Objetivos específicos

1. Comprender los principios y mecanismos fisiológicos que regulan el funcionamiento normal de los tejidos orales, dentarios y de las estructuras asociadas.
2. Explicar los procesos biológicos que regulan el funcionamiento de los sistemas del cuerpo y como estos pueden interactuar entre sí.
3. Describir cómo funcionan los distintos sistemas del cuerpo en un estado fisiológico normal.

Capítulo 1:

Homeostasis: comportamientos líquidos del cuerpo

En este capítulo se abordará el papel fundamental de la homeostasis en el mantenimiento del equilibrio de los compartimientos líquidos del cuerpo humano, destacando su relevancia en el funcionamiento celular y en el estado general de salud del organismo. Se analizará la distribución de los líquidos corporales, dividiéndolos entre los compartimientos intracelular y extracelular, así como sus principales características, funciones y componentes, como el agua, los electrolitos y otros solutos esenciales para la actividad celular. Además, se explicarán los mecanismos homeostáticos que intervienen en la regulación del equilibrio hídrico y electrolítico, incluyendo el rol de órganos como los riñones, el sistema endocrino (especialmente hormonas como la aldosterona y la hormona antidiurética), y el sistema nervioso. También se identificarán las alteraciones más comunes que pueden afectar este equilibrio, como la deshidratación, la hiponatremia o la sobrehidratación, y se explorarán los mecanismos compensatorios que el cuerpo activa para restaurar la estabilidad interna. En conjunto, este contenido permitirá comprender cómo el organismo mantiene constante su medio interno ante los cambios del entorno, garantizando así la funcionalidad de las células y la supervivencia del individuo.

Líquido extracelular o medio interno

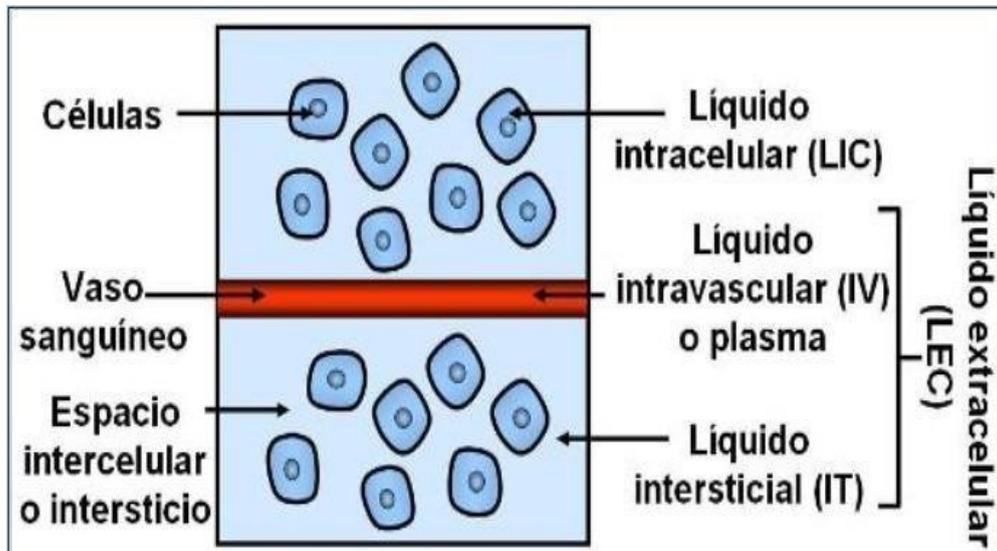
Es todo lo que rodea a la célula del organismo, es decir, es un medio estable, que baña todas las células y es la interfase entre el exterior y la célula.

El 60% del cuerpo humano adulto es líquido, principalmente una solución acuosa de iones y otras sustancias casi todo este líquido se queda dentro de las células y se denomina líquido intracelular, una tercera parte se encuentra en los espacios extensores de las células (líquido extracelular).

El líquido extracelular incluye al líquido intersticial, al plasma y la linfa.

Figura 1

“Es el fluido que rodea a las células del cuerpo y permite el intercambio de nutrientes, gases y desechos. Este medio cumple una función vital al mantener un entorno estable para que las células puedan realizar sus funciones correctamente”.



Nota. Extraído de: Genomasur (Medio Interno) Homeostasis conceptos y principios

Es el conjunto de fenómenos que usa nuestro organismo para mantener las propiedades normales y fisiológicas del medio interno, estable frente a un entorno cambiante.

“Esencialmente todos los órganos y tejidos del organismo realizan funciones que colaboran en el mantenimiento de estas condiciones relativamente constantes” (Arthur & John, 2016).

Es como un control automático que tiene el cuerpo para que todo funcione bien: temperatura, presión arterial, niveles de azúcar, agua, sales, etc.

La enfermedad suele interpretarse como una alteración del estado de homeostasis. No obstante, aun cuando existe una enfermedad, los mecanismos homeostáticos continúan funcionando y sostienen las funciones vitales mediante distintos procesos de compensación. Estas adaptaciones, en ciertos casos, pueden provocar alteraciones significativas en las funciones corporales respecto a sus valores normales, lo que complica identificar si un cambio es producto de la enfermedad original o de la respuesta adaptativa. Un ejemplo de esto ocurre en patologías que afectan la capacidad de los riñones para eliminar sustancias.

Aunque este proceso de compensación es esencial para la supervivencia, mantener durante períodos prolongados una presión arterial elevada puede generar daños en varios órganos, incluidos los riñones, desencadenando un círculo vicioso de mayor hipertensión y deterioro renal.

Constancia del medio interno

El líquido extracelular tiene una composición particular de: iones, glucosa, agua y oxígeno. Debe mantener constantes sus características como: temperatura; pH y osmolaridad.

Mecanismos de regulación

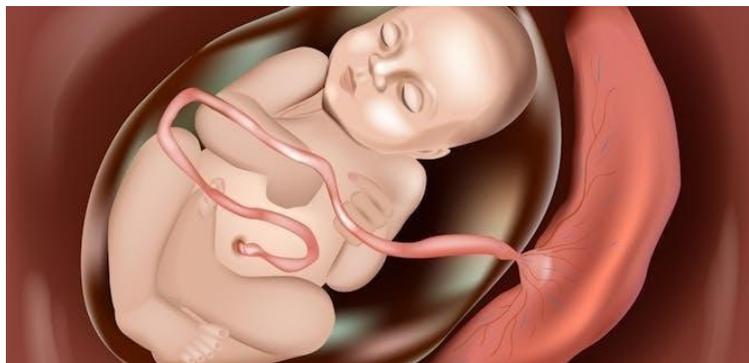
El cuerpo tiene sistemas de control, como lo son el sistema nervioso, sistema endocrino y el sistema excretor.

Retroalimentación

La retroalimentación es crucial para la homeostasis, el proceso por el cual el cuerpo mantiene un equilibrio interno estable. Los mecanismos de retroalimentación, tanto negativa como positiva, ayudan a regular las variables fisiológicas como la temperatura, los niveles de glucosa en sangre y la presión arterial.

Figura 2

“La retroalimentación en la homeostasis es un mecanismo de autorregulación que permite al cuerpo mantener el equilibrio interno frente a los cambios del entorno. A través de este proceso, el organismo detecta una alteración, la evalúa y responde para corregirla.”



Nota. Extraído de: The Conversation (Articles on Gestation) Principios de la homeostasis

Detección de Cambios

El organismo cuenta con sensores especializados que mantienen diversas variables fisiológicas como, la temperatura, la presión arterial, la concentración de glucosa en la sangre, etc. Estos sensores detectan una desviación respecto al rango normal y envían esta información hacia los centros de control.

Ejemplo: Al ser expuestos al frío, sensores en la piel detectan que la temperatura está bajando.

Integración o centro de control

Una vez que el sensor envía la alerta, la información llega a un centro de control, que puede ser el cerebro, específicamente el hipotálamo u otros nervios específicos.

Este centro de control interpreta la información y decide que acciones hacer para corregir el problema.

Ejemplo: El hipotálamo detecta que el cuerpo se encuentra en un entorno frío, entonces planes una respuesta para producir calor.

Respuesta efectiva u órganos efectores

Después de decidir qué hacer, el cuerpo manda instrucciones a órganos o tejidos que pueden realizar acciones para solucionar el problema, estas respuestas pueden incluir modificaciones en la actividad de los músculos, las glándulas o los vasos sanguíneos, dependiendo del tipo de alteración a corregir.

Ejemplo: Contraer los vasos sanguíneos (menos pérdida de calor). Activar los músculos para que tiemblen y así producir calor.

Adaptación

Si el cambio persiste mucho tiempo, el cuerpo no puede corregir siempre de la misma manera, entonces, se adapta y busca una forma de funcionar, que no siempre es perfecta pero ayuda a sobrevivir.

Comportamientos Homeostáticos del Cuerpo Humano

Los comportamientos homeostáticos son las acciones automáticas que el cuerpo realiza para mantener condiciones internas estables, incluso cuando el ambiente externo

cambia. Estos comportamientos se dan a través de sistemas fisiológicos complejos, pero siguen principios claros:

1. Detección de alteraciones

- El cuerpo vigila constantemente parámetros clave como temperatura, presión arterial, niveles de oxígeno, glucosa, etc.
- Ejemplo: Si baja la temperatura corporal, los termorreceptores lo detectan.

2. Activación de una respuesta

- Cuando se detecta un cambio, el sistema nervioso o endocrino activa mecanismos correctores.
- Ejemplo: Si baja el nivel de glucosa, el páncreas libera glucagón para subirla.

3. Corrección del desequilibrio

- El cuerpo realiza ajustes fisiológicos para restablecer el equilibrio.
- Ejemplo: Si hay exceso de dióxido de carbono, se aumenta la frecuencia respiratoria para eliminarlo.

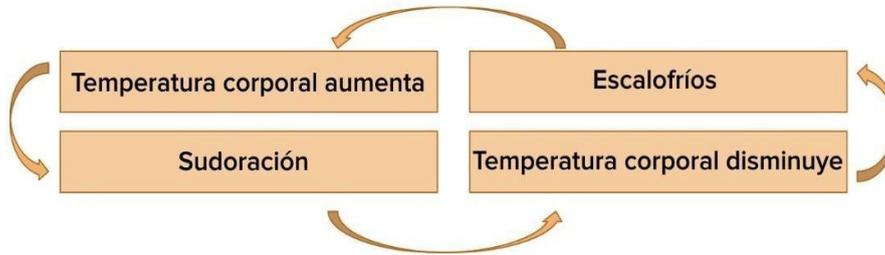
4. Retroalimentación negativa

- Una vez corregido el problema, se detiene la respuesta.
- Este es el comportamiento más común: evita excesos y mantiene la estabilidad.
- Ejemplo: Si sube mucho la presión arterial, el cuerpo la **reduce activando mecanismos vasodilatadores**.

Figura 3

“La retroalimentación negativa es un mecanismo homeostático que actúa para contrarrestar un cambio en el cuerpo y devolverlo a su estado normal. Funciona detectando una alteración y activando respuestas que la corrigen, manteniendo así el equilibrio interno del organismo.”

Ciclo de retroalimentación negativa



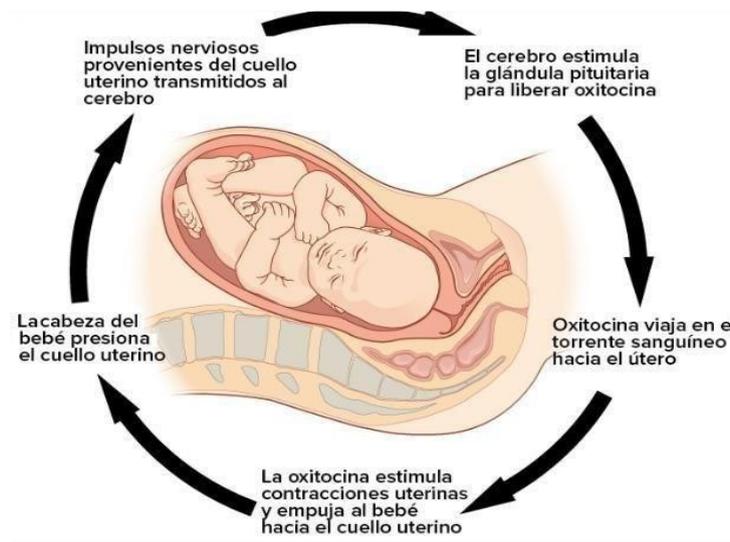
Nota. Extraído de: Khan Academy (Estructura Corporal y Homeostasis)

5. Retroalimentación positiva (ocasional)

- Se da solo en situaciones especiales donde se necesita potenciar una respuesta rápidamente.
- Ejemplo: En el parto, la **oxitocina** aumenta las contracciones uterinas.

Figura 4

“La retroalimentación positiva es un mecanismo homeostático que amplifica una respuesta en el organismo en lugar de corregirla. Se activa en situaciones específicas y controladas, como el parto o la coagulación sanguínea, y continúa hasta que se alcanza un resultado definido.”



Nota. Extraído de: Khan Academy (Estructura Corporal y Homeostasis)

6. Adaptación a cambios prolongados

- Si un cambio es constante, el cuerpo puede modificar su funcionamiento para adaptarse.
- Ejemplo: En personas que viven en zonas de gran altitud, el cuerpo **produce más glóbulos rojos** para compensar el menor oxígeno.

Ejemplos de comportamientos homeostáticos comunes:

Variable	Comportamiento homeostático
Temperatura corporal	Sudoración o escalofríos
Glucosa en sangre	Secreción de insulina o glucagón
Presión arterial	Vasodilatación o vasoconstricción
Oxigenación	Cambios en el ritmo respiratorio
Equilibrio de agua	Producción de más o menos orina

Mecanismo de regulación de la Homeostasis

El cuerpo cuenta con intrincados mecanismos de control homeostático para lograr esta estabilidad, estos son:

Sistemas de Control con Retroalimentación Negativa:

- Este es el mecanismo principal empleado para mantener la homeostasis.
- Componentes clave:

Receptor (Sensor): Detecta cambios en el medio interno.

Centro de Control: Procesa la información del receptor y compara el valor detectado con un "punto de ajuste" o valor normal.

Efector: Ejecuta las acciones necesarias para restablecer la variable a su punto de ajuste.

- **Funcionamiento:** Cuando una variable se desvía de su punto de ajuste, el receptor lo detecta y envía una señal al centro de control. El centro de control activa al efector para que realice una acción que se oponga al cambio inicial, devolviendo así la variable hacia la normalidad. La retroalimentación negativa "inhibe" la respuesta una vez que la variable se acerca al punto de ajuste, evitando una corrección excesiva.

Ejemplos:

- **Regulación de la presión arterial:** Barorreceptores detectan cambios en la presión, el centro de control en el tronco encefálico ajusta la frecuencia cardíaca y la resistencia vascular para normalizar la presión.
- Los riñones también contribuyen a la regulación a corto plazo de la presión arterial mediante la secreción de hormonas y factores o sustancias vasoactivos, como la renina, que dan lugar a la formación de productos vasoactivos.
- **Control de la temperatura corporal:** Termorreceptores detectan cambios en la temperatura, el hipotálamo (centro de control) activa mecanismos como sudoración o escalofríos para regular la temperatura.
- **Regulación de la glucosa en sangre:** Receptores en el páncreas detectan niveles de glucosa, las células beta liberan insulina para disminuir la glucosa, y las células alfa liberan glucagón para aumentarla.
-

Sistemas de Control con Retroalimentación Positiva:

- A diferencia de la retroalimentación negativa, la retroalimentación positiva amplifica el cambio inicial, alejando la variable de su punto de ajuste. • Estos sistemas son menos comunes en la regulación homeostática y suelen estar involucrados en procesos específicos que requieren una respuesta rápida y amplificada.
- En muchos casos, los ciclos de retroalimentación positiva deben ser controlados o interrumpidos por mecanismos de retroalimentación negativa para evitar desequilibrios peligrosos.

Ejemplos:

- **Coagulación sanguínea:** La activación de un factor de coagulación desencadena la activación de más factores, formando un coágulo rápidamente.
- **Parto:** Las contracciones uterinas estimulan la liberación de oxitocina, que a su vez aumenta las contracciones, en un ciclo que finaliza con el nacimiento del bebé. o

Generación de señales nerviosas: La despolarización de una membrana nerviosa abre canales de sodio, lo que causa una mayor despolarización en un círculo vicioso que genera el potencial de acción.

Otros Mecanismos de Regulación:

- **Control Hormonal:** El sistema endocrino desempeña un papel crucial en la regulación a largo plazo de muchas variables homeostáticas a través de la liberación de hormonas que actúan sobre órganos y tejidos diana.
- **Control Nervioso:** El sistema nervioso proporciona una regulación rápida y precisa de muchas funciones homeostáticas, como la presión arterial, la frecuencia cardíaca y la respiración.

La homeostasis se mantiene principalmente a través de sistemas de control con retroalimentación negativa, que detectan desviaciones del punto de ajuste y activan respuestas para restaurar el equilibrio. Si bien la retroalimentación positiva tiene funciones importantes, su acción suele estar limitada por mecanismos de retroalimentación negativa.

Además, existen otros mecanismos anticipatorios, adaptativos, celulares, hormonales y nerviosos que contribuyen a la compleja regulación del medio interno.

Escalofríos

- El hipotálamo envía señales para producir contracciones rápidas e involuntarias de los músculos.
- Estas contracciones musculares **generan calor** como subproducto.
- Los escalofríos pueden **incrementar la producción de calor hasta 4 a 5 veces** el valor normal.

Aumento del metabolismo

Estimulación hormonal:

- El hipotálamo activa la liberación de **tirotropina** (TSH) desde la hipófisis, que estimula la **tiroides** para secretar **hormonas tiroideas** (T3 y T4).
- Estas hormonas **aceleran el metabolismo celular**, generando más calor.
- **Liberación de adrenalina y noradrenalina** desde la médula suprarrenal, aumentando también el metabolismo.

Termogénesis es el **nombre del proceso** que engloba toda esta producción de calor.

Pérdida de calor

Cuando la temperatura corporal aumenta (por fiebre, ejercicio o ambiente caluroso), **el hipotálamo anterior** detecta el cambio y activa mecanismos para **eliminar el exceso de calor y mantener la homeostasis térmica**.

Entre los principales mecanismos tenemos:

Vasodilatación cutánea

- Los vasos sanguíneos de la piel **se dilatan** (se hacen más anchos).
- **Aumenta el flujo sanguíneo** hacia la superficie del cuerpo.
- Esto **facilita la transferencia de calor** de la sangre caliente hacia el ambiente exterior a través de la piel.

Sudoración

- El hipotálamo anterior estimula las glándulas sudoríparas para que produzcan sudor.
- El sudor, al evaporarse en la superficie de la piel, consume calor corporal y así enfría el cuerpo.
- La evaporación es el proceso más efectivo para la pérdida de calor cuando la temperatura ambiental es elevada.

Disminución de la producción de calor

- El cuerpo también **reduce la actividad metabólica** cuando no es necesario generar más calor.
- Esto ayuda a **minimizar la producción interna de calor** en situaciones de alta temperatura.

glucosa, sodio, potasio y otros iones, modificaciones en el pH que pueden derivar en acidosis o alcalosis, variaciones en la temperatura corporal y en la presión osmótica, así como en el volumen de los líquidos corporales. Estos cambios son percibidos por sensores especializados, como quimiorreceptores, termorreceptores y barorreceptores, los cuales desencadenan mecanismos de regulación dirigidos a restaurar el equilibrio, a través de respuestas como la sudoración, la sensación de sed, la hiperventilación o la liberación de hormonas como la insulina o la hormona antidiurética. No obstante, si las alteraciones en el medio interno no se corrigen a tiempo, pueden desencadenar disfunción celular, daño en los tejidos e incluso comprometer la vida del organismo.

Desequilibrio homeostático

El desequilibrio homeostático puede tener efectos perjudiciales en el cuerpo y puede provocar diversas enfermedades y trastornos. Por ejemplo, una interrupción en el ciclo de retroalimentación que regula los niveles de glucosa en sangre puede provocar diabetes. Del mismo modo, un desequilibrio en el equilibrio de líquidos y electrolitos del cuerpo puede provocar deshidratación, desequilibrios electrolíticos y otros trastornos relacionados. Si bien la homeostasis puede alterarse en individuos de todas las edades, la población que envejece es más susceptible a los desequilibrios homeostáticos. Con el envejecimiento, el hipotálamo se vuelve menos sensible a las señales de retroalimentación, lo que provoca interrupciones en la regulación metabólica, energética y del estrés y aumenta el riesgo de enfermedades como la insuficiencia cardíaca (JOVE, 2023).

Capítulo 2

Mecánicas biológicas de control homeostáticos

La vida en los organismos multicelulares depende del mantenimiento de condiciones internas estables, a pesar de las variaciones externas. Este principio de equilibrio dinámico, conocido como homeostasis, constituye uno de los pilares fundamentales de la fisiología moderna. El cuerpo humano, por ejemplo, requiere que parámetros como la temperatura, el pH sanguíneo, la presión arterial o los niveles de glucosa permanezcan dentro de rangos precisos para que las células puedan cumplir sus funciones vitales.

En este capítulo se analizarán los orígenes históricos del concepto de homeostasis, su importancia en la regulación del medio interno, los componentes del mecanismo homeostático y los tipos de retroalimentación, incluyendo ejemplos fisiológicos. A través de este recorrido, se busca comprender cómo el cuerpo humano mantiene su estabilidad frente a los desafíos del entorno.

Historia y Desarrollo del Concepto de Homeostasis

El concepto de homeostasis tuvo sus raíces en el siglo XIX, con el fisiólogo Claude Bernard (1813-1878), quien postuló la idea del “medio interno” y su sorprendente constancia, como condición esencial para la vida independiente. Su célebre frase "La fixité du milieu intérieur est la condition de la vie libre" introdujo por primera vez la noción de que el cuerpo debía mantener un entorno interno constante.

Posteriormente, fue Walter B. Cannon (1871-1945) quien acuñó el término “homeostasis” en 1927, dándole un sentido dinámico al concepto: el cuerpo no se mantiene estático, sino que emplea mecanismos de regulación continua para conservar la estabilidad. En su obra "La sabiduría del cuerpo" (1932), describió procesos como la regulación de temperatura, presión arterial y niveles de glucosa.

En 1950, Norbert Wiener introdujo la idea de retroalimentación negativa dentro de los sistemas homeostáticos, lo que facilitó el desarrollo de modelos de control fisiológico más precisos. Más adelante, Arthur Guyton, a través de sus libros de texto en fisiología, incorporó el análisis de sistemas de ingeniería al estudio del cuerpo humano.

En el plano más teórico, la Teoría General de Sistemas de Ludwig von Bertalanffy (1968) amplió el alcance de la homeostasis, proponiéndola como un principio de

organización en todos los niveles biológicos, desde células hasta ecosistemas. Esta visión fue reforzada por autores como Waterman, Amen, Ayala y Miller, que propusieron mecanismos homeostáticos a nivel ecológico y evolutivo.

Finalmente, surgieron debates sobre la biosfera como un sistema autorregulado, destacando la importancia de la homeostasis incluso en el contexto global, como lo planteó la hipótesis Gaia frente a la crisis ecológica contemporánea.

Importancia de la Homeostasis en el Mantenimiento del Medio Interno Constante

La homeostasis es fundamental para conservar el medio interno en condiciones óptimas para la supervivencia celular y el funcionamiento fisiológico. El medio interno, compuesto principalmente por el líquido extracelular, proporciona a las células los nutrientes, gases y condiciones físico-químicas necesarias para realizar sus funciones vitales.

La estabilidad de parámetros como la temperatura, el pH, la presión osmótica y las concentraciones de electrolitos es indispensable para mantener la actividad enzimática adecuada, la integridad estructural de las proteínas, la transmisión de señales eléctricas y el metabolismo energético.

Alteraciones significativas en el medio interno pueden comprometer la homeostasis celular, conducir a disfunciones orgánicas y, en casos extremos, poner en riesgo la vida del organismo. Por ejemplo, variaciones en el pH sanguíneo fuera del rango fisiológico pueden afectar la actividad de enzimas esenciales; cambios en la concentración de potasio plasmático pueden alterar la excitabilidad neuromuscular y desencadenar arritmias cardíacas.

Así, la homeostasis permite que los sistemas biológicos detecten y respondan a perturbaciones, restaurando los valores de referencia mediante mecanismos de retroalimentación principalmente negativa. Este proceso asegura que las condiciones internas permanezcan dentro de márgenes compatibles con la vida, garantizando la estabilidad funcional y estructural del organismo en su conjunto.

Componentes del Mecanismo Homeostático

La homeostasis es un proceso dinámico mediante el cual el organismo mantiene un entorno interno relativamente constante, a pesar de las fluctuaciones del medio externo. Para lograrlo, el cuerpo utiliza un mecanismo de regulación conformado por tres componentes principales: receptores, centro de control y efectores. Estos elementos trabajan de forma coordinada para detectar cambios, procesar información y generar respuestas correctivas, asegurando la estabilidad de las funciones vitales.

Receptores (Sensores)

Los receptores son estructuras especializadas capaces de detectar cambios o estímulos en el ambiente interno o externo. Se encargan de vigilar variables fisiológicas críticas, como la temperatura, la concentración de oxígeno, los niveles de glucosa en sangre, el pH, entre otros.

Cuando se produce un cambio que podría alterar el equilibrio del cuerpo, los receptores lo detectan y envían una señal, generalmente a través de impulsos nerviosos o mensajeros químicos, hacia el centro de control, podemos encontrar varios tipos que son:

- Termorreceptores: Detectan cambios de temperatura corporal.
- Barorreceptores: Perciben variaciones en la presión arterial.
- Quimiorreceptores: Monitorean el pH sanguíneo y los niveles de oxígeno y dióxido de carbono.
- Osmorreceptores: Detectan cambios en la concentración de solutos en los fluidos corporales.

Estos receptores son el primer paso crucial en cualquier respuesta homeostática, ya que, sin la detección precisa de los cambios, no podría activarse ninguna corrección.

Centro de Control

El centro de control actúa como un "procesador central" que recibe la información enviada por los receptores, la interpreta y decide cuál debe ser la respuesta apropiada para restaurar el equilibrio. En los seres humanos, muchos centros de control se encuentran en el sistema nervioso central, principalmente en el hipotálamo, aunque

también participan estructuras del sistema endocrino como las glándulas. Sus funciones principales son:

- Recibir e integrar señales de múltiples receptores.
- Comparar las condiciones actuales con los valores normales o de referencia (homeostáticos).
- Tomar decisiones sobre las acciones correctivas necesarias.
- Enviar instrucciones a los efectores a través de señales nerviosas o mensajeros químicos como hormonas.

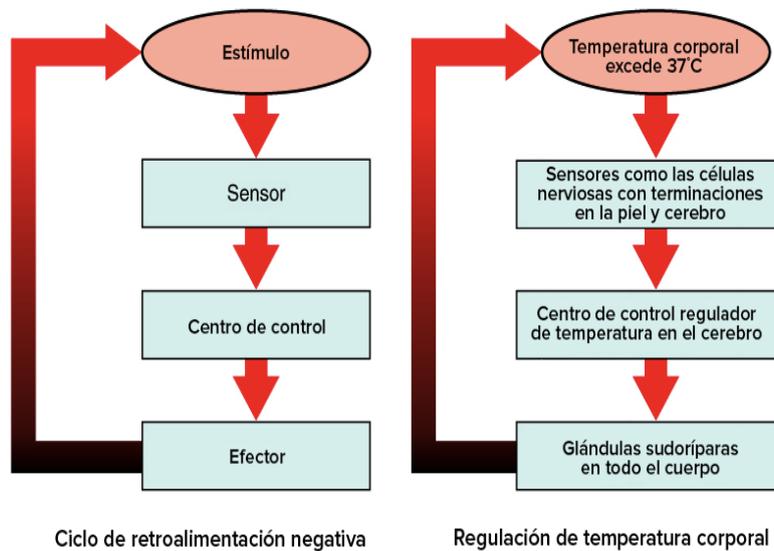
Efactor

El efector es la parte encargada de llevar a cabo la respuesta que corrige la alteración detectada. Puede ser un músculo, una glándula o incluso un órgano completo. Su acción genera un cambio que devuelve la variable afectada a sus valores normales. Los músculos pueden contraerse o relajarse para generar calor o movimiento, las glándulas secretan hormonas o sustancias para modificar procesos fisiológicos, mientras que, órganos específicos como los riñones, que ajustan la excreción de agua y sales para mantener la osmolaridad.

Como respuestas del efector cuando se eleva la temperatura corporal, las glándulas sudoríparas aumentan la producción de sudor para enfriar el cuerpo mediante la evaporación, mientras que, cuando disminuye la glucosa en sangre, el hígado libera glucosa almacenada al torrente sanguíneo bajo la acción del glucagón.

Figura 17

“Representación esquemática del circuito homeostático, con los elementos clave: receptor, centro de control y efector”



Nota. Extraído de: Khan Academy.

Comunicación entre los componentes

La comunicación entre receptor, centro de control y efector es fundamental para el funcionamiento eficiente del mecanismo homeostático. Esta comunicación puede realizarse de forma rápida y eléctrica a través del sistema nervioso (impulsos nerviosos que viajan por neuronas), asimismo de forma lenta y química a través del sistema endocrino (señales hormonales transportadas por la sangre).

En muchos casos, ambos sistemas trabajan juntos para coordinar una respuesta rápida pero también sostenida en el tiempo.

Importancia del Mecanismo Homeostático

La correcta interacción de estos tres componentes es esencial para la vida. Sin una adecuada detección, procesamiento y corrección de las alteraciones, el organismo no podría mantener condiciones estables, lo que afectaría su funcionamiento e incluso pondría en peligro su supervivencia.

El mecanismo homeostático permite, por ejemplo, que el cerebro funcione adecuadamente manteniendo su temperatura óptima, que los músculos obtengan suficiente oxígeno mediante el control respiratorio, y que, la sangre conserve un pH estable para asegurar el transporte eficiente de nutrientes y desechos.

Retroalimentación Positiva

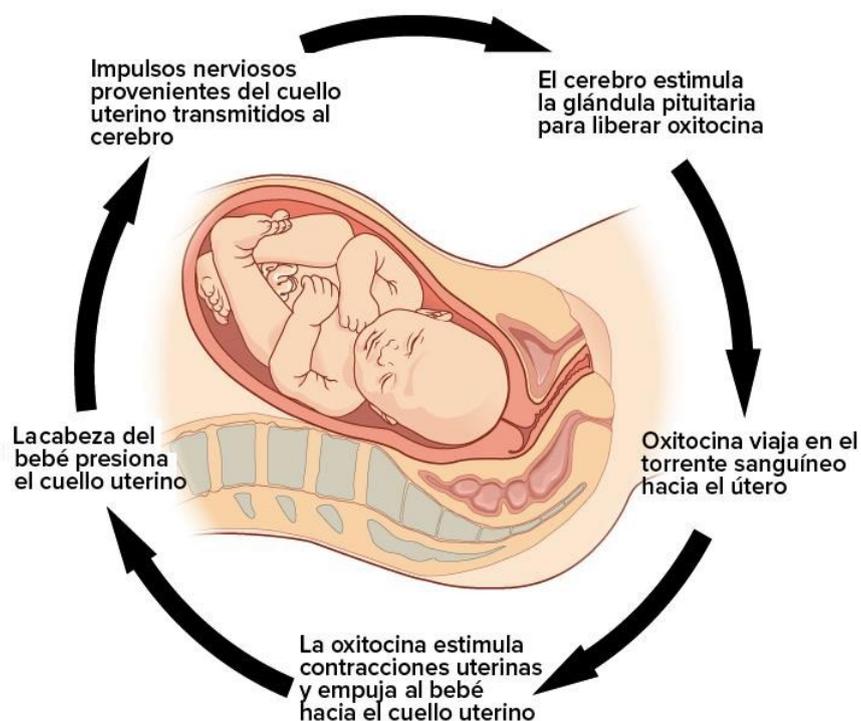
Es un mecanismo en el que una respuesta amplifica o intensifica el estímulo inicial, en lugar de contrarrestarlo, como ocurre en la retroalimentación negativa.

El organismo usa la retroalimentación positiva a su favor. La coagulación sanguínea es un ejemplo del gran valor que tiene la retroalimentación positiva. Cuando se rompe un vaso sanguíneo y comienza a formarse un coágulo, dentro de este se activan muchas enzimas denominadas factores de coagulación. Algunas de estas enzimas actúan sobre otras enzimas inactivadas que están en la sangre inmediatamente adyacente, con lo que se consigue que coagule más sangre.

El parto es otro ejemplo en el que la retroalimentación positiva tiene gran importancia. Cuando las contracciones uterinas son suficientemente fuertes como para que la cabeza del niño comience a empujar el cuello uterino, el estiramiento de este envía señales a través del músculo uterino que vuelven hasta el cuerpo del útero, provocando contracciones aún más potentes.

Figura 18

“Ejemplo gráfico de un proceso de retroalimentación positiva, en el que la respuesta amplifica el estímulo inicial”



Nota. Extraído de: Khan Academy.

Retroalimentación Negativa

La retroalimentación negativa es el mecanismo homeostático más común y eficaz en el cuerpo humano. Su función principal es mantener una variable dentro de un rango fisiológico estrecho, corrigiendo cualquier desviación que pueda comprometer la estabilidad interna. A diferencia de la retroalimentación positiva, que refuerza el estímulo, la negativa lo contrarresta, promoviendo el equilibrio.

Este tipo de retroalimentación funciona como un ciclo de autorregulación: cuando una variable se altera (por ejemplo, la temperatura corporal), los receptores la detectan y envían una señal al centro de control, que emite instrucciones hacia los efectores para inducir una respuesta correctiva que revierta la alteración.

Ejemplos fisiológicos:

- Regulación de la temperatura corporal: Si la temperatura corporal aumenta, los termorreceptores del hipotálamo activan las glándulas sudoríparas para liberar sudor, lo que enfría el cuerpo por evaporación. Si la temperatura disminuye, se activan mecanismos como la vasoconstricción o los escalofríos para conservar y generar calor.
- Control de la glucosa en sangre: Después de una comida, los niveles de glucosa aumentan. Las células β del páncreas secretan insulina, que facilita la entrada de glucosa a las células y promueve su almacenamiento como glucógeno en el hígado. Cuando los niveles bajan, las células α liberan glucagón, que moviliza glucosa hacia la sangre.
- Presión arterial: Cuando la presión arterial sube, los barorreceptores envían señales al bulbo raquídeo, que reduce la frecuencia cardíaca y dilata los vasos sanguíneos. Si la presión cae, se activa la respuesta opuesta para restablecer los niveles normales.
- Estos ejemplos ilustran cómo el organismo responde de forma inmediata y precisa a perturbaciones, impidiendo que los cambios se perpetúen o se intensifiquen. Este mecanismo es esencial para el mantenimiento de la vida y la prevención de trastornos graves.

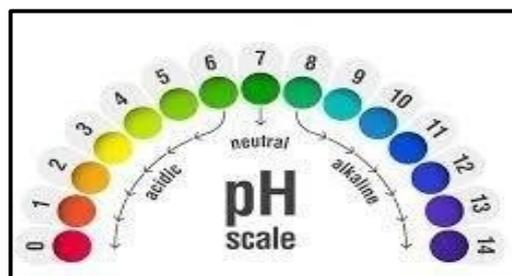
Capítulo 3

El equilibrio ácido-base en el cuerpo humano

El equilibrio ácido-base es un mecanismo fundamental que permite al cuerpo humano mantener el pH de la sangre y de otros líquidos corporales dentro de un rango muy específico: entre 7.35 y 7.45. Este equilibrio es esencial para el buen funcionamiento de las células, enzimas y órganos, y se relaciona directamente con otras variables importantes, como la temperatura corporal y el equilibrio de electrolitos.

Figura 19

“Escala de pH, donde se muestra los niveles y cuando este será ácido, neutro o alcalino”



Nota. Extraído de “proyectosendo.es”

¿Qué es el pH?

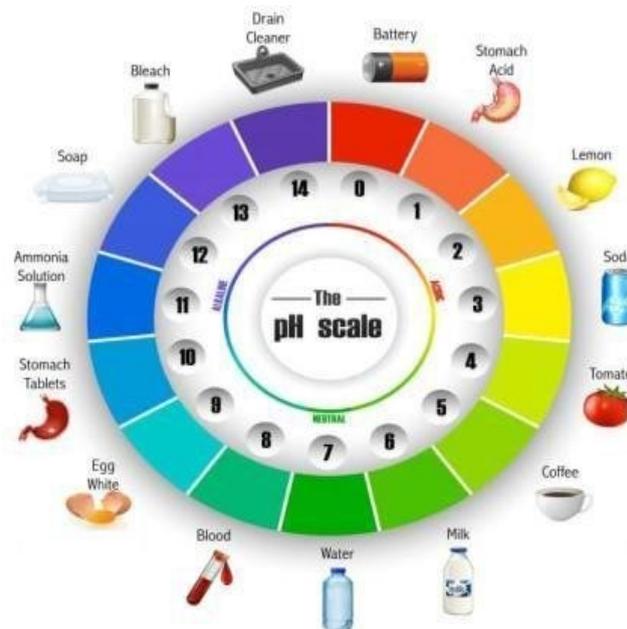
El término "pH" significa "potencial de hidrógeno" y se refiere a la concentración de iones de hidrógeno (H^+) en una solución. La escala de pH va del 0 al 14:

- Menor a 7: ácido
- Igual a 7: neutro
- Mayor a 7: básico o alcalino

Por ejemplo, el jugo de limón tiene un pH ácido, el jabón líquido tiene un pH básico, y el agua pura tiene un pH neutro. La sangre humana debe mantenerse ligeramente básica, con un pH entre 7.35 y 7.45.

Figura 20

“Escala de pH representada en una ruleta, donde se muestra el pH de varios objetos, órganos y alimentos”



Nota. Extraído de FreePik

Producción de ácidos en el cuerpo

El cuerpo humano produce ácidos de forma natural en diversos procesos:

- Durante la respiración, al liberar dióxido de carbono (CO_2).
- Durante la actividad física, cuando se genera ácido láctico.
- Al digerir alimentos como la carne, que producen residuos ácidos.
- Si estos ácidos no se regulan, pueden alterar el pH y dañar las células y tejidos.

Mecanismos de regulación del equilibrio ácido-base

Para mantener el pH estable, el cuerpo utiliza tres sistemas principales de control:

1. Sistema amortiguador (buffer)

Este sistema actúa en cuestión de segundos. El más importante es el sistema bicarbonato (HCO_3^-), que neutraliza rápidamente los ácidos presentes en la sangre. Por ejemplo, si una persona consume una comida muy ácida, el bicarbonato reacciona para evitar que el pH de la sangre se altere.

2. Regulación pulmonar

Los pulmones controlan la cantidad de dióxido de carbono (CO_2) en la sangre. Como el CO_2 es ácido, el cuerpo aumenta la frecuencia respiratoria cuando hay un exceso, ayudando a eliminarlo y estabilizar el pH. Esto se observa cuando una persona hace ejercicio intenso y respira con mayor rapidez.

Regulación renal

Los riñones actúan más lentamente, pero son fundamentales en la regulación a largo plazo. Ellos eliminan iones de hidrógeno (H^+) a través de la orina y reabsorben bicarbonato cuando es necesario, ayudando a conservar el equilibrio del pH ante cambios prolongados.

Consecuencias del desequilibrio ácido-base

Cuando los sistemas de regulación fallan, pueden presentarse dos condiciones clínicas:

Acidosis

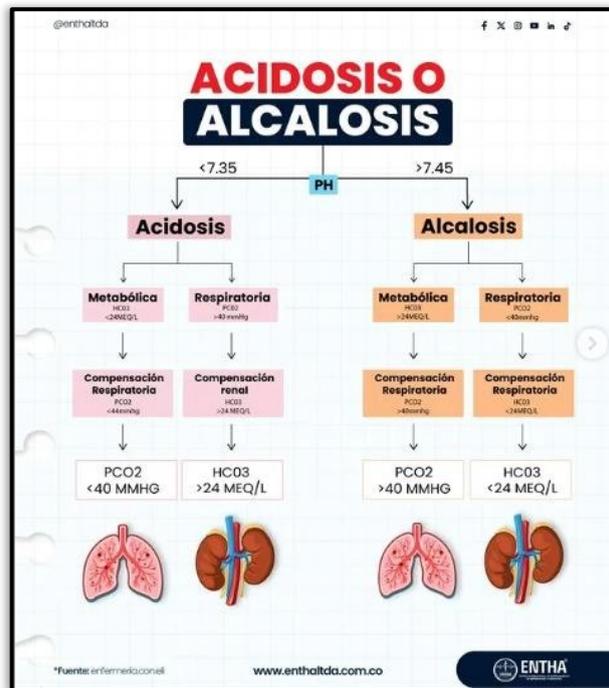
Ocurre cuando el pH sanguíneo cae por debajo de 7.35, volviendo la sangre demasiado ácida. Un ejemplo de esto es la cetoacidosis diabética, una complicación grave en pacientes con diabetes mal controlada.

Alcalosis

Se presenta cuando el pH supera los 7.45, haciendo que la sangre sea demasiado básica. Esto puede suceder, por ejemplo, cuando una persona vomita en exceso y pierde una cantidad considerable de ácido gástrico.

Figura 21

“Cuadro donde se muestra los síntomas de acidosis y alcalosis y los niveles de pH que se presentan”



Nota. Extraído de @enthalda en Instagram

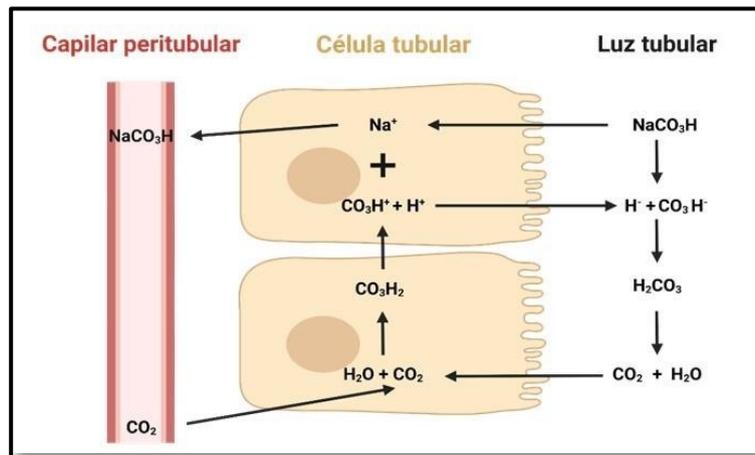
Regulación renal del PH

La regulación renal del pH se refiere al papel que juegan los riñones en mantener el equilibrio ácido-base del cuerpo, a través de la reabsorción de bicarbonato (HCO_3^-) y la excreción de iones hidrógeno (H^+). Esto permite ajustar la concentración de ácidos y bases en la sangre, y así, mantener el pH en un rango adecuado. Mecanismos de regulación renal del pH:

- **Reabsorción de bicarbonato:** Los riñones reabsorben el bicarbonato filtrado desde la sangre en los túbulos renales, especialmente en el túbulo proximal. Esta reabsorción es equivalente a la excreción de iones hidrógeno, lo que ayuda a mantener el pH en un rango adecuado.

Figura 22

“Mecanismos renales implicados en la excreción de hidrógeno y reabsorción de bicarbonato”

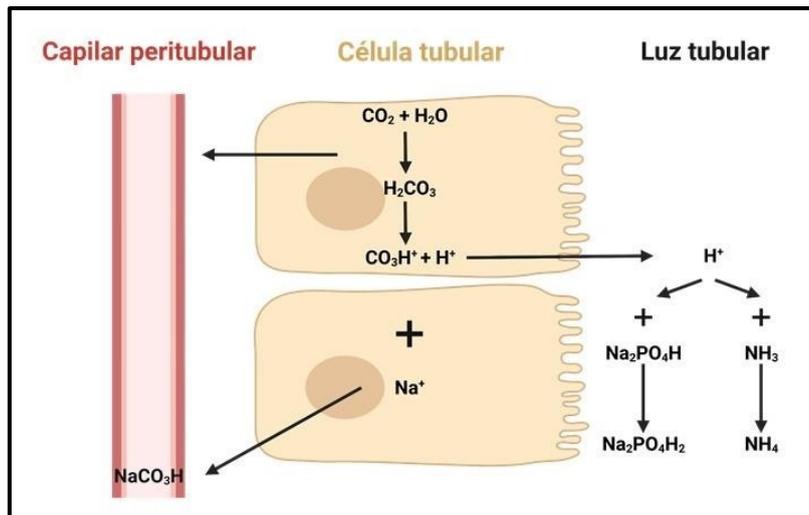


Nota. Extraído de Departamento de Fisiología. UNAM. fisiologia.facmed.unam.mx

- **Excreción de iones hidrógeno:** Los riñones secretan iones hidrógeno en la orina, donde se combinan con amortiguadores como el fosfato y el amoníaco para formar amonio y otros compuestos, que son excretados en la orina.
- **Generación de nuevo bicarbonato:** Los riñones también pueden generar nuevo bicarbonato a partir de compuestos como la glutamina, que luego se convierte en amoníaco y bicarbonato. Factores que influyen en la regulación renal del pH:
Volumen circulante efectivo: La disminución del volumen circulante efectivo puede aumentar la reabsorción de bicarbonato, mientras que el aumento puede disminuirla. Hormona paratiroidea: La elevación de la hormona paratiroidea puede disminuir la reabsorción de bicarbonato. Pco_2 : El aumento de la presión parcial de dióxido de carbono (Pco_2) puede aumentar la reabsorción de bicarbonato. Cloruro: La depleción de cloruro (típicamente debido a la depleción de volumen) puede estimular la reabsorción de sodio y la generación de bicarbonato. En resumen, los riñones juegan un papel crucial en la regulación del pH al controlar la reabsorción de bicarbonato y la excreción de iones hidrógeno, lo que ayuda a mantener un equilibrio ácido-base adecuado en el cuerpo.

Figura 23

“Mecanismos renales implicados en la producción de bicarbonato”



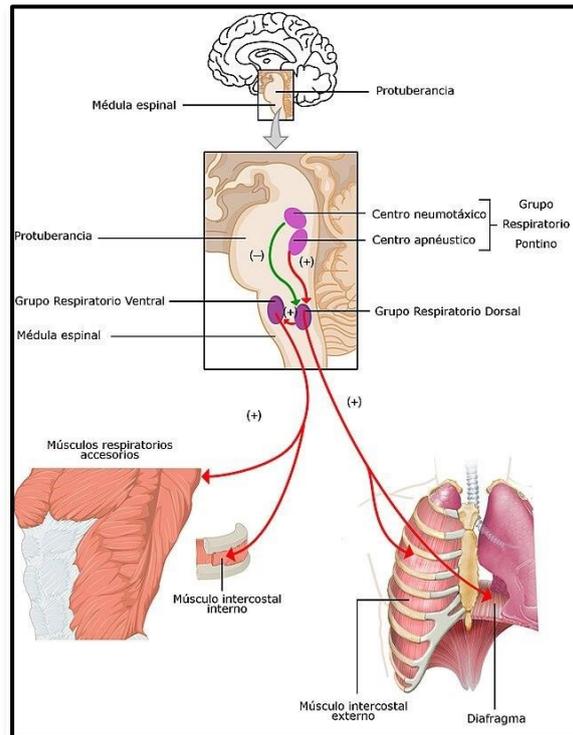
Nota. Extraído de: Departamento de Fisiología. UNAM. fisiologia.facmed.unam.mx

Regulación respiratoria del PH

El proceso de respiración de los organismos aeróbicos que viven con O_2 como nosotros, los humanos, implican inhalar O_2 y exhalar CO_2 . El CO_2 es el resultado del metabolismo celular y constantemente se está produciendo en el organismo. Necesitamos expulsarlo y, a la vez, nuestras células necesitan el ingreso de O_2 para vivir. Este intercambio gaseoso se produce en los alvéolos, en los pulmones, por el proceso de respiración, que es un mecanismo que puede ser impulsado por la corteza cerebral cuando es voluntario, pero que generalmente y en condiciones normales es involuntario, automático y está regulado principalmente por el centro respiratorio, ubicado en el bulbo raquídeo del tronco encefálico.

Figura 24

“Sistema de control respiratorio que va desde el control central cerebral”



Nota. Extraído de: Wikiwand.com

Este centro respiratorio es sensible a los cambios de CO_2 y a los iones H^+ . La cantidad de O_2 que tengamos influye en todo este proceso de la respiración, pero el estímulo más importante sobre todo, en el área quimio sensible y más relacionado con el equilibrio ácido-base, es el CO_2 y los iones H^+ . De hecho, el CO_2 es el principal regulador del centro respiratorio.

El CO_2 se considera el componente ácido del equilibrio ácido-base, ya que va a impulsar el aumento de la acidez. Esto lo hace al combinarse con el agua y, con la anhidrasa carbónica, formar ácido carbónico, el cual se disocia en bicarbonato (HCO_3^-) y el ion H^+ , que determina finalmente el pH.

Existe la ecuación de Henderson-Hasselbalch, que es algo extensa, pero finalmente se puede reducir a que el HCO_3^- es directamente proporcional al pH, mientras que la PCO_2 (presión parcial de dióxido de carbono) es inversamente proporcional al pH. Lo cual es bastante lógico, ya que la PCO_2 depende del CO_2 , que es el componente ácido. Por ende, al acumularlo, tendremos más acidez y un valor de pH menor; y al eliminarlo, tendremos menos acidez y un valor de pH mayor.

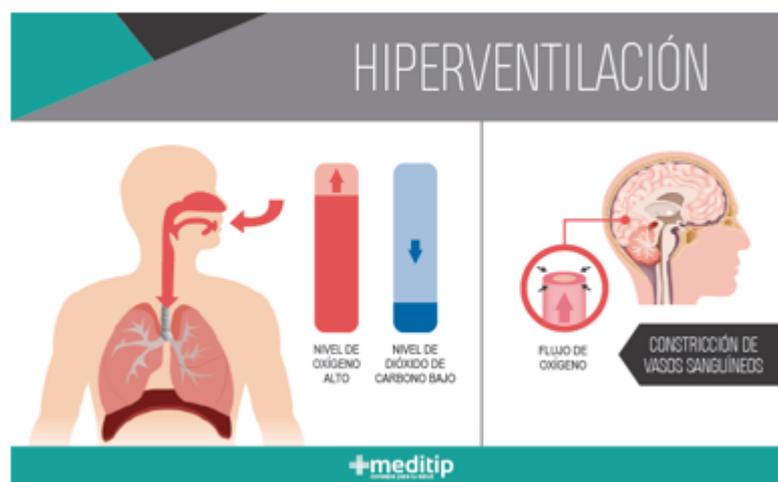
$$pH = pK_a + \log \frac{[A^-]}{[HA]}$$

Entonces, cuando la PCO_2 aumenta sobre los rangos normales a causa del aumento del metabolismo, tenemos más CO_2 ; por ende, más producción de iones H^+ y un valor de pH menor.

El centro respiratorio detecta esto y va a impulsar una hiperventilación para así eliminar más CO_2 y disminuir la PCO_2 aumentada. Al tener menos CO_2 , disminuye la producción de iones H^+ y, por ende, aumenta el pH.

Figura 25

“Se muestra que la hiperventilación elimina a una mayor velocidad los niveles de CO_2 ”



Nota. Extraído de Meditip

Por el contrario, una baja presión parcial de CO_2 disminuirá la concentración de iones H^+ ; por ende, se aumentará el valor del pH. Todo esto hace que el centro respiratorio impulse una hipoventilación, para así eliminar menos CO_2 y acumular un poco más. Esto aumentará la PCO_2 y disminuirá el pH.

Transporte de CO_2 a pulmones

Para poder eliminar el CO_2 , este debe llegar primero a los pulmones, y lo hace de varias formas. Una de ellas es a través del plasma sanguíneo: como es un gas, el CO_2 viaja por el

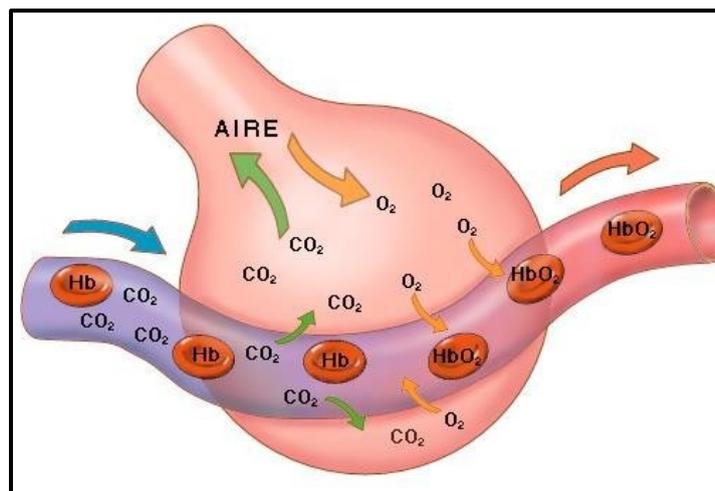
torrente sanguíneo y difunde hacia los alvéolos, donde se exhala, mientras que se inhala O_2 .

Otra forma es siendo transportado en un eritrocito por la hemoglobina, en forma de carbaminohemoglobina, hasta los pulmones, donde pasa a los alvéolos en el intercambio gaseoso y se elimina al exhalar.

Al llegar a los pulmones, el proceso se invierte: el eritrocito intercambia O_2 y libera el ion H^+ que estaba unido a la hemoglobina. Ese H^+ se une nuevamente al HCO_3^- formando H_2CO_3 (ácido carbónico), que, con la ayuda de la anhidrasa carbónica, se disocia en CO_2 y H_2O . El CO_2 se elimina al exhalar, mientras que el agua puede eliminarse como humedad en el aire espirado.

Figura 26

"Intercambio gaseoso alveolar"



Nota. Extraído de Cuaderno de cultura científica

La regulación respiratoria del pH es limitada, ya que la ventilación solo puede aumentar o disminuir hasta cierto punto. Por esta razón, se necesita la ayuda de los riñones para lograr una compensación completa del equilibrio ácido-base.

Desequilibrio Ácido-Base y sus Tipos

El equilibrio ácido-base es fundamental para el buen funcionamiento del cuerpo humano.

Este equilibrio se refiere al nivel de acidez o alcalinidad (pH) de la sangre y otros líquidos corporales. El pH normal de la sangre está entre 7,35 y 7,45. Si este valor se altera, pueden aparecer problemas serios de salud. Cuando el cuerpo no logra mantener ese equilibrio, se produce un desequilibrio ácido-base.

¿Qué es el desequilibrio ácido-base?

Es una condición en la que el cuerpo tiene demasiados ácidos o demasiadas bases, lo que causa que el pH de la sangre salga de su rango normal. Este desequilibrio puede deberse a causas respiratorias o metabólicas y puede clasificarse en cuatro tipos principales.

Tipos de desequilibrio ácido-base Acidosis respiratoria

- **Qué ocurre:** Los pulmones no eliminan adecuadamente el dióxido de carbono (CO_2). Este gas se acumula y forma ácido carbónico, lo que disminuye el pH de la sangre (la vuelve más ácida).
- **Causas frecuentes:** Enfermedades pulmonares como EPOC, asma grave, o depresión respiratoria causada por medicamentos (como los sedantes).
- **Síntomas comunes:** Somnolencia, dolor de cabeza, confusión, respiración lenta.
- **Compensación:** Los riñones intentan corregir el desequilibrio reteniendo bicarbonato (una sustancia alcalina) y eliminando ácido. Sin embargo, esta compensación toma tiempo.

Alcalosis respiratoria

- **Qué ocurre:** Hay una eliminación excesiva de CO_2 debido a una respiración muy rápida o profunda (hiperventilación). Como hay menos CO_2 , se produce menos ácido y el pH de la sangre aumenta (se vuelve más alcalino).
- **Causas frecuentes:** Crisis de ansiedad, fiebre alta, dolor intenso, hipoxia (como en altitudes elevadas).
- **Síntomas comunes:** Mareo, sensación de hormigueo en los dedos, palpitaciones, debilidad muscular.
- **Compensación:** Los riñones eliminan bicarbonato para ayudar a normalizar el pH, pero lo hacen lentamente.

Acidosis metabólica

- **Qué ocurre:** Aumenta la cantidad de ácidos en el cuerpo o se pierde bicarbonato.
- Esto puede deberse a una producción excesiva de ácidos o a una eliminación deficiente por parte de los riñones.
- **Causas frecuentes:** Cetoacidosis diabética, insuficiencia renal, acidosis láctica, diarreas intensas (que eliminan bicarbonato).
- **Síntomas comunes:** Respiración rápida y profunda (llamada respiración de Kussmaul), náuseas, fatiga, deshidratación.
- **Compensación:** El cuerpo responde aumentando la frecuencia respiratoria para eliminar más CO₂ y reducir la acidez.

Alcalosis metabólica

- **Qué ocurre:** Hay un exceso de bicarbonato o una pérdida importante de ácidos.

Esto eleva el pH de la sangre (más alcalina).

- **Causas frecuentes:** Vómitos prolongados (se pierde ácido gástrico), uso excesivo de diuréticos, abuso de antiácidos.
- **Síntomas comunes:** Confusión, calambres, debilidad, espasmos musculares.
- **Compensación:** El cuerpo puede disminuir la respiración para retener CO₂ y compensar el aumento del pH, aunque esta respuesta es limitada.

Truco para recordar:

- Respiratorio → El problema empieza en los pulmones (CO₂).
- Metabólico → El problema viene del cuerpo (riñones, ácidos, bicarbonato).
- Acidosis → La sangre está muy ácida (pH bajo).
- Alcalosis → La sangre está muy alcalina (pH alto).

¿Como corregir el equilibrio ácido-base?

“El equilibrio ácido-base es uno de los pilares esenciales para el mantenimiento de la homeostasis en el organismo. Una alteración mínima en el pH puede comprometer funciones vitales, desde la actividad enzimática hasta la estabilidad cardiovascular. Por eso, comprender su regulación y, sobre todo, su corrección, resulta indispensable en la práctica clínica.”

¿Qué es el equilibrio ácido-base?

Es la manera en que nuestro cuerpo mantiene el pH de la sangre en un valor normal entre 7.35 y 7.45.

Si baja de .35 → acidosis

Si sube de 7.45 → alcalosis

Es muy importante porque si se sale de ese rango, las células y órganos no funcionan bien.

¿Cómo lo corregimos?

Primero: saber qué lo está causando (por ejemplo: una infección, vómitos, problemas pulmonares)

Acidosis metabólica

- Tratar la causa (por ejemplo, en la diabetes, dar insulina)
- Dar bicarbonato si está muy grave

Alcalosis metabólica

- Dar suero salino
- Corregir potasio si está bajo
- En casos severos: ácido clorhídrico o cloruro de amonio

Acidosis respiratoria

- Ayudar al paciente a respirar mejor (oxígeno, broncodilatadores, a veces ventilador).
- Tratar causa subyacente (EPOC, intoxicación).

Alcalosis respiratoria

- Hacer que respire más despacio (por ejemplo, que respire en una bolsa o tranquilizarlo).
- Controlar causa (ansiedad, hiperventilación, fiebre).

Conclusión

El equilibrio ácido-base es como una balanza. Cuando se mueve, el cuerpo intenta corregirlo con amortiguadores, pulmones y riñones. Si no puede, los médicos ayudan corrigiendo la causa y ajustando los valores.

Aplicación Clínica

- Origen de la alteración primaria:

$\text{PaCO}_2 < 35 \text{ mmHg}$ indica alcalosis respiratoria o $\text{PaCO}_2 > 45 \text{ mmHg}$ indica acidosis respiratoria (rango de referencia entre 35 y 45 mmHg).

$\text{SBE} < -3 \text{ mmol/L}$ indica acidosis metabólica o $\text{SBE} > +3 \text{ mmol/L}$ indica alcalosis metabólica (rango de referencia entre -3 y $+3 \text{ mmol/L}$).

- Coherencia del mecanismo de compensación o trastorno mixto (combinado)

Casos ilustrativos Cetoacidosis diabética Síntomas comunes incluyen:

- Sed extrema
- Micción frecuente
- Náuseas o vómitos
- Dificultad para respirar
- Confusión

Gasometría

- pH bajo
- HCO_3^- bajo
- pCO_2 bajo (compensación)

Alcalosis metabólica Síntomas comunes incluyen:

- Debilidad muscular
- Fatiga
- Mareos
- Hormigueo en manos, pies o cara (parestesias)
- Hiperreflexia (reflejos aumentados)

Gasometría:

- pH alto
- HCO_3^- alto
- pCO_2 alto (compensación)

Alcalosis respiratoria

Síntomas comunes incluyen:

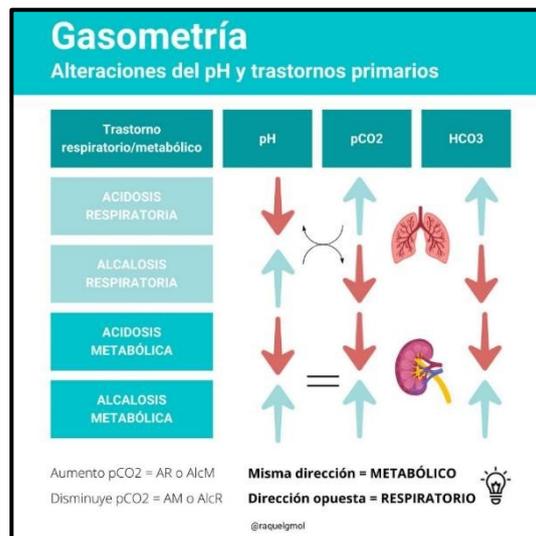
- Desmayo (en casos graves)
- Ansiedad o sensación de “despersonalización”
- Espasmos musculares o calambres
- Arritmias
- Palpitaciones

Gasometría:

- pH alto
- $p\text{CO}_2$ bajo
- HCO_3^- normal (sin tiempo para compensación)

Figura 27

“Alteraciones de pH en trastornos primarios”



Nota. Extraído de @raquelgmol en X

Capítulo 4

Equilibrio hidroeléctrico

El envejecimiento trae consigo cambios fisiológicos que impactan significativamente el equilibrio hidroeléctrico en los ancianos. Estos cambios incluyen una disminución en la sensación de sed, alteraciones en la función renal, problemas gastrointestinales, restricciones en la movilidad y trastornos cognitivos. Estos factores aumentan el riesgo de deshidratación y alteraciones electrolíticas, como hiponatremia e hipernatremia, además, los ancianos pueden sufrir sobrehidratación debido a una capacidad reducida para excretar agua en exceso. Las implicaciones clínicas incluyen la necesidad de monitorear la ingesta y salida de líquidos, educar sobre la importancia de la hidratación adecuada, ajustar medicamentos y proporcionar intervenciones nutricionales. Estas medidas son cruciales para prevenir y manejar los desequilibrios hidroeléctricos en la población geriátrica.

Equilibrio hidroelectrolítico

El equilibrio hidroelectrolítico es un concepto que hace referencia al mantenimiento de un correcto estado de hidratación y de aporte de minerales. Este equilibrio es vital para el funcionamiento normal del cuerpo, ya que afecta a funciones como la presión arterial, la temperatura corporal, la función muscular y nerviosa, y el equilibrio ácido-base.

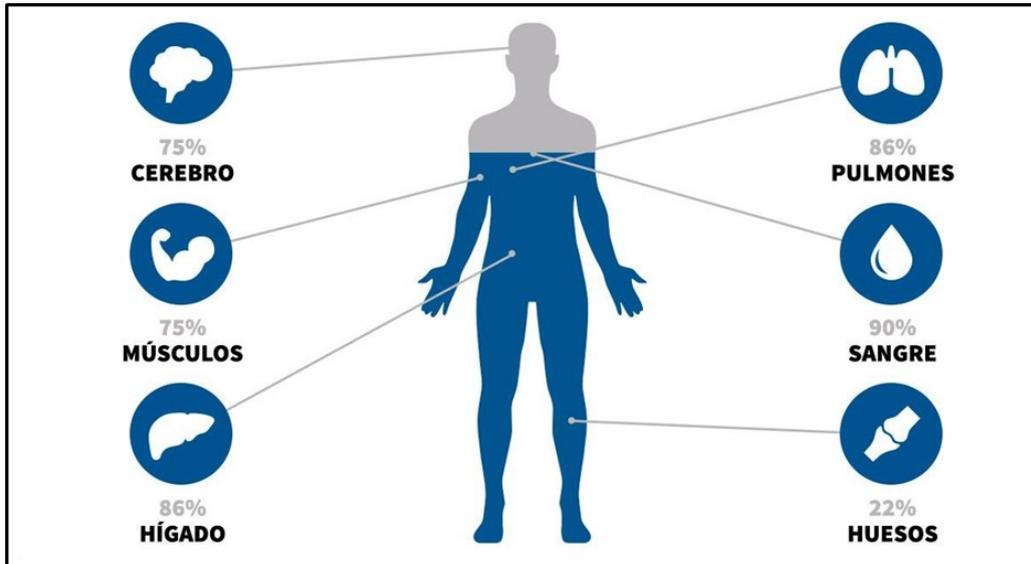
El equilibrio hidroelectrolítico se puede dividir en dos componentes principales:

Equilibrio hídrico

Se refiere al mantenimiento de la cantidad adecuada de agua en el cuerpo, considerando la ingesta y la excreción.

Figura 28

"Distribución del agua en el cuerpo"



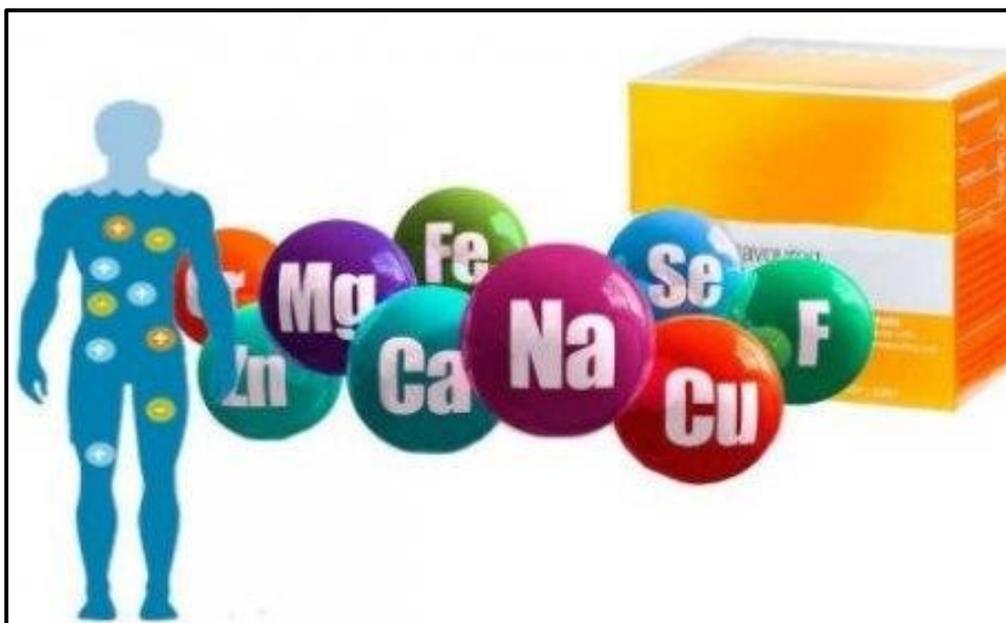
Nota. "Extraído de VitoBest"

Equilibrio electrolítico

Se refiere al mantenimiento de la concentración adecuada de electrolitos (como sodio, potasio, cloro, etc.) en los líquidos corporales.

Figura 29

"Electrolitos en el cuerpo"



Nota. "Extraído de Bolivia Medica"

- Factores que intervienen en el equilibrio hidroelectrolítico

1. Ingesta y excreción de líquidos y electrolitos.

2. El cuerpo recibe agua y electrolitos a través de la alimentación y bebidas, y los excreta a través de la orina, el sudor, las heces y el aire respirado.

- Función renal

Los riñones juegan un papel crucial en la regulación del equilibrio hidroelectrolítico al filtrar la sangre y eliminar el exceso de agua y electrolitos.

- Hormonas

Ayudan regular la reabsorción de agua y electrolitos en los riñones como:

1. Vasopresina: es una hormona peptídica producida en el hipotálamo que regula la reabsorción de agua en los riñones y la presión arterial. Ayuda a mantener el equilibrio de agua y sal en el cuerpo, controlando la cantidad de orina que se produce y la presión arterial.

2. Aldosterona: es una hormona esteroidea producida por las glándulas suprarrenales, ayuda a regular la presión arterial y el equilibrio de sodio y potasio en el cuerpo. Aumenta la reabsorción de sodio y agua en los riñones, lo que aumenta el volumen de sangre y la presión arterial, y también promueve la excreción de potasio.

Figura 30

“Riñones”



Nota. “Extraído de Clara Sánchez nutrición deportiva”

- Fuerzas de Starling:

Las fuerzas de Starling, que incluyen la presión hidrostática y la presión osmótica, controlan el movimiento de líquidos entre los capilares y el espacio intersticial.

Figura 31

“Funcionamiento de la fuerza de Starling en un vaso sanguíneo”



Nota. Extraído de mundoanatomico

- El agua

El agua es una sustancia fundamental para la vida con propiedades extraordinarias por su composición y estructura. Es una molécula simple formada por tres átomos pequeños, uno de oxígeno y dos de hidrógeno, con enlaces polares que permiten que se formen enlaces de hidrógeno entre moléculas vecinas.

Una propiedad que hace única a esta molécula es su gran capacidad como disolvente de sustancias polares, como estamos compuestos principalmente por agua, casi todas las reacciones químicas que se generan en nosotros se llevan a cabo en un medio acuoso. El transporte de nutrientes y metabolitos, así como la excreción de materiales de desecho, también tiene lugar a través del agua.

Figura 32

"Personas bebiendo agua"



Nota. Extraído de FREEPIK

- **Electrolitos**

Los electrolitos son minerales ionizados que presentan funciones diversas en el cuerpo humano. Muchas de ellas están relacionadas con el mantenimiento del equilibrio osmótico o con la transmisión del impulso nervioso.

¿Cuáles son los diferentes tipos de electrolitos en su cuerpo?

Los principales electrolitos de nuestro cuerpo incluyen:

1. **Bicarbonato:** Ayuda a mantener el equilibrio ácido-base del cuerpo y cumple una función importante en la circulación de dióxido de carbono por el torrente sanguíneo.
2. **Calcio:** es el mineral más abundante en el cuerpo humano. Forma parte de los huesos, incrementando su densidad y reduciendo el riesgo de fracturas. El aporte de este mineral se torna fundamental cuando el objetivo es prevenir la desmineralización ósea provocada por la menopausia.
3. Aparte, este nutriente presenta funciones en la transmisión del impulso nervioso y en la contractilidad del musculo, tanto cardíaco como esquelético.
4. **Cloruro:** también ayuda a controlar la cantidad de líquido en el cuerpo, además, ayuda a mantener un volumen de sangre y una presión arterial saludables.
5. **Magnesio:** participa en la activación de enzimas y el metabolismo de las proteínas en la función muscular y los niveles de glucosa (azúcar) en sangre.
6. **Fosfato:** trabaja junto con el mineral calcio para formar huesos y dientes fuertes.

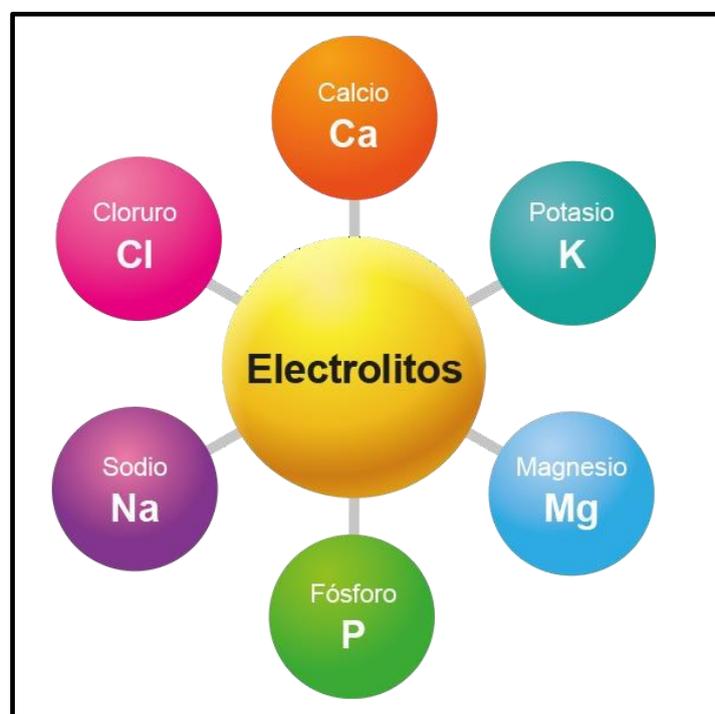
7. Potasio: El potasio interviene en la transmisión del impulso nervioso, pero también se encarga de regular la presión sanguínea ejerciendo un efecto hipotensor (disminución en la presión arterial), contrario al del sodio.
8. Sodio: es uno de los minerales más abundantes. Se trata de un nutriente que interviene en la transmisión del impulso nervioso, siendo esencial para la vida, además, está implicado en el mantenimiento de la presión sanguínea, es un compuesto ávido de agua, por lo que se une a ella incrementando los valores tensionales (medida de la presión arterial, que es la fuerza de la sangre al viajar por las arterias: sístole; cuando el corazón se contrae y bombea sangre y diástole; cuando el corazón se relaja y llena de sangre) cuando se consume en exceso.

Por fortuna, casi todos los alimentos de la dieta contienen sodio. Por este motivo, no es fácil sufrir una deficiencia de este. De hecho, esta situación solo es probable en casos de excesiva sudoración, en ambientes calurosos y húmedos.

Los electrolitos se obtienen de los alimentos que consume y de los líquidos que bebe.

Figura 33

Tipos de electrolitos



Nota. "Extraído de Facultad de medicina de UNAM"

- El envejecimiento

El envejecimiento es un proceso natural que conlleva cambios fisiológicos y funcionales en el cuerpo humano. Estos cambios pueden afectar significativamente la capacidad del organismo para mantener el equilibrio hidroeléctrico, es decir, el balance adecuado de agua y electrolitos. Este equilibrio es crucial para la salud y el funcionamiento adecuado de todos los sistemas del cuerpo.

- Cambios Fisiológicos Asociados al Envejecimiento

1. Alteraciones en la sensación de sed

Con la edad, las personas mayores experimentan una disminución en la sensación de sed.

Esto significa que pueden no sentir la necesidad de beber agua hasta que ya están deshidratados. Además, la respuesta a la sed se retrasa, lo que puede llevar a una ingesta insuficiente de líquidos.

2. Alteraciones en la función renal

La función renal disminuye progresivamente con la edad. Esto se manifiesta en una reducción de la tasa de filtración glomerular (GFR), lo que afecta la capacidad de los riñones para excretar agua y electrolitos. Además, los ancianos tienen una capacidad reducida para concentrar la orina, lo que puede contribuir a la deshidratación. La secreción de hormona antidiurética (ADH) puede verse alterada, aunque en algunos estudios se ha encontrado que la respuesta a cambios en la osmolalidad es adecuada.

3. Alteraciones gastrointestinales

Los problemas en la deglución y la motilidad gastrointestinal pueden afectar la ingesta de líquidos en los ancianos. Además, ciertos medicamentos como anticolinérgicos, antipsicóticos y diuréticos pueden tener efectos adversos que reducen la ingesta de líquidos.

4. Restricciones en la movilidad

Los ancianos pueden tener problemas de movilidad que les impiden acceder fácilmente a fuentes de agua. Esto puede ser especialmente problemático en situaciones de enfermedad o discapacidad.

- Problemas Cognitivos y Psicoafectivos

Las demencias y otros trastornos cognitivos pueden afectar la capacidad de los ancianos para reconocer la necesidad de beber agua o para recordar cuándo y cuánto han bebido.

- Impacto en el Equilibrio Hidroeléctrico

1. Desequilibrio Hídrico

Los ancianos son más susceptibles a la deshidratación debido a la reducción en la sensación de sed y la capacidad renal para conservar agua. La deshidratación puede llevar a problemas como hiponatremia (bajos niveles de sodio en la sangre) y hipernatremia (altos niveles de sodio en la sangre).

- ¿Cuáles son los diferentes tipos de desequilibrios electrolíticos?

Los nombres de los diferentes tipos de desequilibrios electrolíticos son:

Electrolito	Demasiado bajo	Demasiado alto
Bicarbonato	Acidosis	Alcalosis
Calcio	Hipocalcemia	Hipercalcemia
Cloruro	Hipocloremia	Hipercloremia
Magnesio	Hipomagnesemia	Hipermagnesemia
Fosfato	Hipofosfatemia	Hiperfosfatemia
Potasio	Hipocalemia	Hipercalemia
Sodio	Hiponatremia	Hipernatremia

- Alteraciones electrolíticas

Los cambios en la función renal y la ingesta de medicamentos pueden alterar los niveles de electrolitos como el potasio, el calcio y el magnesio.

Estos desequilibrios pueden tener consecuencias graves en la salud, incluyendo arritmias cardíacas, hipertensión y osteoporosis.

- Riesgo de sobrehidratación

Aunque la deshidratación es común, los ancianos también pueden sufrir sobrehidratación debido a una capacidad reducida para excretar agua en exceso. Esto puede llevar a hiponatremia y otros problemas relacionados con el equilibrio hidroeléctrico.

- Implicaciones clínicas y recomendaciones

1. Monitoreo y evaluación

Es crucial que el personal de salud monitoree regularmente la ingesta y la salida de líquidos en los ancianos, especialmente en aquellos hospitalizados o con discapacidades.

La evaluación del equilibrio hidroeléctrico puede incluir la medición de la concentración de electrolitos en la sangre y la orina.

2. Educación y prevención

Educación sobre la importancia de la hidratación adecuada y la ingesta de electrolitos es fundamental.

Los cuidadores y los familiares deben estar informados sobre los signos de deshidratación y sobrehidratación y cómo prevenirlos.

3. Ajuste de medicamentos

Los medicamentos que pueden afectar el equilibrio hidroeléctrico, como diuréticos y anticolinérgicos, deben ser revisados y ajustados según sea necesario.

4. Intervenciones nutricionales

Se recomienda una dieta rica en electrolitos y una ingesta adecuada de agua.

En algunos casos, puede ser necesario el uso de soluciones orales de rehidratación.

Capítulo 5

Endocrinología de las hormonas hipofisarias

Este capítulo aborda la estructura, función y regulación de la hipófisis, glándula clave del sistema endocrino. Se describe su ubicación anatómica en la base del cerebro, su división en adenohipófisis y neurohipófisis, y su conexión funcional con el hipotálamo. Se detallan las principales hormonas que secreta cada lóbulo, a hormona del crecimiento (GH), la prolactina (PRL), la hormona adrenocorticotrópica (ACTH), la hormona estimulante de la tiroides (TSH), la hormona folículo-estimulante (FSH) y la hormona luteinizante (LH), oxitocina y ADH (hormona antidiurética), explicando sus funciones en procesos vitales como el crecimiento, metabolismo, reproducción, respuesta al estrés y equilibrio hídrico. Además, se analizan los mecanismos de retroalimentación hormonal y las alteraciones clínicas asociadas, destacando la importancia del eje hipotálamo-hipófisis en la homeostasis del organismo.

La hipófisis

La hipófisis, conocida también glándula pituitaria o glándula maestra, es una pequeña glándula de alrededor de 1 cm de diámetro y 0,5-1 g de peso, se aloja en el interior de una estructura ósea denominada silla turca, que es una depresión del hueso esfenoides en la base del cerebro, unido al hipotálamo por el tallo hipofisario y separado de él por una deflexión de la duramadre llamada diafragma selar.

La hipófisis tiene dos lóbulos, la adenohipófisis, tejido glandular de origen endodérmico que ocupa el 75% del volumen, y la neurohipófisis, tejido neural originado en el ectodermo, con axones en la hipófisis posterior y núcleos en el área hipotalámica.

La hipófisis (glándula pituitaria) consta de dos partes definidas:

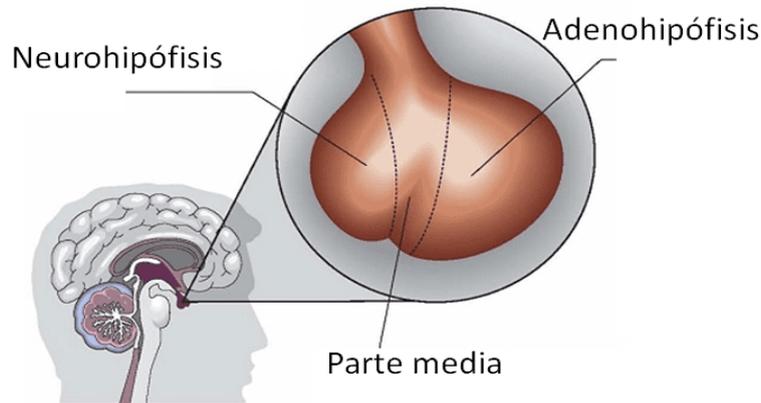
- Lóbulo frontal (anterior), que representa el 80% del peso de la glándula
- Lóbulo dorsal (posterior)

Ambos lóbulos se conectan con el hipotálamo a través de un tallo que contiene vasos sanguíneos y proyecciones de las células nerviosas (fibras nerviosas o axones). El hipotálamo controla el lóbulo anterior mediante la liberación de hormonas a través de los

vasos sanguíneos de conexión. A su vez, controla el lóbulo posterior mediante impulsos nerviosos.

Figura 34

“La imagen muestra la glándula hipófisis, ubicada en la base del cerebro. Se divide en dos partes: la adenohipófisis (lóbulo anterior), encargada de producir varias hormonas; la neurohipófisis (lóbulo posterior), que libera hormonas del hipotálamo”



Nota. “Extraída de tengoacromegalia”

Ubicación anatómica de la hipófisis.

La hipófisis se encuentra ubicada en la base del encéfalo, dentro de una estructura ósea llamada silla turca, que es parte del hueso esfenoides del cráneo.

Ubicación anatómica específica:

- Superior: Quiasma óptico (donde se cruzan los nervios ópticos).
- Inferior: El seno esfenoidal.
- Anterior: El tubérculo de la silla.
- Posterior: El dorso de la silla.
- Encima: El hipotálamo, al que está conectada por el tallo hipofisario.

División: adenohipófisis y neurohipófisis.

La hipófisis se divide en dos partes principales que difieren en su origen embrionario, estructura y función:

- La Adenohipófisis (Lóbulo anterior)

Origen embrionario: Deriva de la bolsa de Rathke, una evaginación del ectodermo oral (cavidad bucal primitiva).

Estructura: Representa alrededor del 75% del volumen total de la hipófisis. Se divide en tres partes:

1. Pars distalis: la parte principal, donde se produce la mayoría de las hormonas.
2. Pars tuberalis: rodea parcialmente el tallo hipofisario.
3. Pars intermedia: delgada capa entre la adenohipófisis y la neurohipófisis (en humanos adultos, poco funcional).

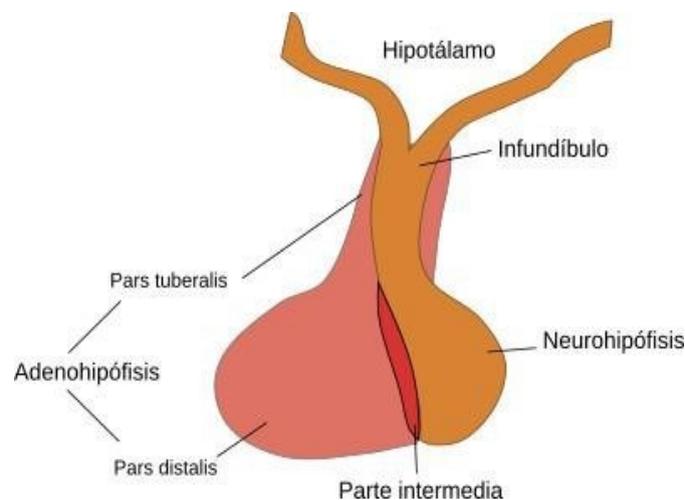
Regulación: Controlada por hormonas hipotalámicas que viajan a través del sistema porta hipotalámico-hipofisario.

Hormonas producidas:

1. TSH (Hormona estimulante de la tiroides) – estimula la tiroides.
2. ACTH (Hormona adrenocorticotrópica) – estimula la corteza suprarrenal.
3. FSH (Hormona foliculoestimulante) – estimula el desarrollo folicular y la espermatogénesis.
4. LH (Hormona luteinizante) – ovulación y producción de testosterona.
5. GH (Hormona del crecimiento o somatotropina) – estimula crecimiento y metabolismo.
6. PRL (Prolactina) – estimula la producción de leche.

Figura 35

“La imagen representa la adenohipófisis, señalada en color rosado y dividida en pars distalis, que forma la mayor parte del lóbulo anterior; pars tuberalis, que rodea parcialmente el infundíbulo; y la parte intermedia, que la separa de la neurohipófisis. Esta región glandular se conecta al hipotálamo y es responsable de producir diversas hormonas reguladoras”.



Nota. Extraído de “Atlas de histología vegetal y animal.”

- La Neurohipófisis (Lóbulo posterior)

Origen embrionario: Deriva de una evaginación del diencéfalo, específicamente del hipotálamo (neuroectodermo).

Estructura: No produce hormonas, sino que almacena y libera hormonas sintetizadas en el hipotálamo.

Partes principales:

- Pars nervosa: almacena las hormonas.
- Infundíbulo o tallo hipofisario: conecta con el hipotálamo.

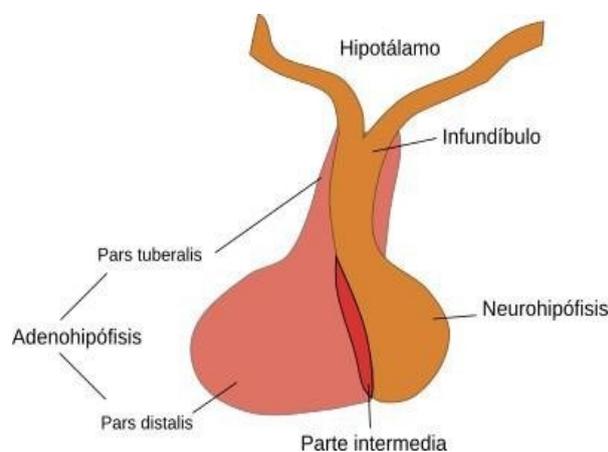
Hormonas liberadas:

1. Oxitocina – produce contracciones uterinas y eyección de leche.
2. ADH (Hormona antidiurética o vasopresina) – regula la retención de agua en los riñones y la presión arterial.

Las neuronas que producen estas hormonas están en los núcleos supraóptico y paraventricular del hipotálamo. Los axones de estas neuronas se extienden hasta la neurohipófisis, donde las hormonas son liberadas a la sangre. La adenohipófisis secreta seis hormonas peptídicas necesarias y otras de menor importancia, mientras que la neurohipófisis sintetiza dos hormonas peptídicas importantes.

Figura 36

*“En la imagen, la **neurohipófisis** aparece en color anaranjado, ubicada detrás de la adenohipófisis. Está conectada al **hipotálamo** mediante el **infundíbulo**, que transporta las hormonas producidas en el hipotálamo. La neurohipófisis no produce hormonas, sino que almacena y libera **oxitocina** y **vasopresina (ADH)** hacia la sangre”.*



Nota. Extraído de “Atlas de histología vegetal y animal.”

Relación con el hipotálamo (eje hipotálamo-hipófisis)

Casi toda la secreción de la hipófisis está controlada por señales hormonales o nerviosas procedentes del hipotálamo. De hecho, cuando se extirpa la hipófisis de su posición normal bajo el hipotálamo y se trasplanta a otra región del organismo, la tasa de secreción de las distintas hormonas (excepto prolactina) disminuye hasta niveles muy bajos.

La secreción de la neurohipófisis está controlada por las señales nerviosas que se originan en el hipotálamo y terminan en la neurohipófisis. Por el contrario, la secreción de la adenohipófisis está controlada por hormonas llamadas hormonas (o factores) de liberación y de inhibición hipotalámicas; estas se sintetizan en el propio hipotálamo y pasan a la adenohipófisis a través de minúsculos vasos sanguíneos denominados vasos porta hipotalámico-hipofisarios. Estas hormonas liberadoras e inhibitoras actúan sobre las células glandulares de la adenohipófisis y rigen su secreción.

Importancia del sistema endocrino hipofisario.

La importancia del sistema endocrino hipofisario radica en que es el centro de control hormonal del organismo, lo que lo vuelve fundamental para mantener la homeostasis y regular múltiples funciones vitales, por ejemplo:

1. Regulación del crecimiento y desarrollo: La hipófisis secreta la hormona del crecimiento (GH), esencial para el desarrollo normal de los tejidos y huesos.
2. Control del metabolismo: A través de la TSH, estimula la tiroides para regular el metabolismo energético del cuerpo.
3. Función reproductiva: Libera LH y FSH, que regulan la ovulación, el ciclo menstrual y la producción de espermatozoides.
4. Respuesta al estrés: Mediante la ACTH, activa las glándulas suprarrenales para la producción de cortisol, importante en situaciones de estrés.
5. Producción de leche y funciones maternas: Secreta prolactina para la producción de leche y oxitocina para el parto y el vínculo afectivo.
6. Equilibrio hídrico: Controla la liberación de ADH, que regula la retención de agua por los riñones.

Hormonas producidas por la Adenohipófisis:

La adenohipófisis, o lóbulo anterior de la hipófisis, es una glándula endocrina que secreta varias hormonas especiales llamadas liberadoras o inhibidoras cruciales para el control de otras glándulas del cuerpo. Estas no viajan por nervios, sino por unos vasitos sanguíneos pequeños que se llaman vasos porta hipotálamo-hipofisarios. Estas hormonas llegan a la adenohipófisis y le dicen qué hacer: si debe producir más o menos de alguna hormona.

Dos de las principales hormonas que produce son:

- TSH (Hormona estimulante de la tiroides)
- ACTH (Hormona adrenocorticotropa)

Hormona Estimulante de la Tiroides (TSH)

La TSH es producida por las células tirotropas de la adenohipófisis. Su función principal es estimular la glándula tiroides para que produzca las hormonas tiroideas T3 y T4, esenciales para regular el metabolismo, el crecimiento y el desarrollo. La liberación de TSH está controlada por la hormona liberadora de tirotropina (TRH) del hipotálamo y se regula mediante un mecanismo de retroalimentación negativa basado en los niveles de T3 y T4 en sangre.

Mecanismo

El sistema hipotálamo-hipofisario controla la secreción de TSH mediante neuronas del hipotálamo que producen TRH (hormona liberadora de tirotropina), la cual estimula a las células tirotropas de la hipófisis anterior para que liberen TSH. Esta hormona actúa sobre las células foliculares de la tiroides, promoviendo la producción de tiroxina (T4), que representa el 80%, y triyodotironina (T3), que constituye el 20%.

Además, el hipotálamo también produce somatostatina, una hormona que inhibe la secreción de TSH por parte de la hipófisis anterior. Una vez en la sangre, la T4 se transforma en T3 por medio del proceso de desyodación. Ambas hormonas, T3 y T4, participan en un mecanismo de retroalimentación negativa que regula la producción de TSH: niveles elevados de T3/T4 disminuyen la secreción de TSH, mientras que niveles bajos la aumentan. La T3 es la principal responsable de inhibir la liberación de TSH. Debido a que la secreción de TSH responde con gran sensibilidad a pequeñas variaciones de T4 libre, los cambios en los niveles de TSH suelen detectarse antes que los de T4 libre

en casos de hipo o hipertiroidismo. Esta relación entre T3/T4 y TSH es log-lineal, lo que significa que incluso leves alteraciones en T3/T4 pueden provocar grandes variaciones en la TSH.

Trastornos por alteración de la TSH:

1. Hipotiroidismo:

- **Causa:** baja TSH o falla en la tiroides.
- **Síntomas:** Disminución de la tasa metabólica basal, aumento de peso a pesar de la disminución del apetito, sensibilidad al frío, disminución del gasto cardíaco, hipoventilación, letargo y lentitud mental, párpados caídos, mixedema, retraso del crecimiento, retraso mental en pacientes perinatales.
- **Ejemplo:** Tiroiditis de Hashimoto (autoinmune).

Figura 37

“La imagen muestra a una mujer señalando la zona del cuello donde se encuentra la glándula tiroides, la cual aparece resaltada. Esto representa un caso de hipotiroidismo, que ocurre cuando la tiroides no produce suficientes hormonas”



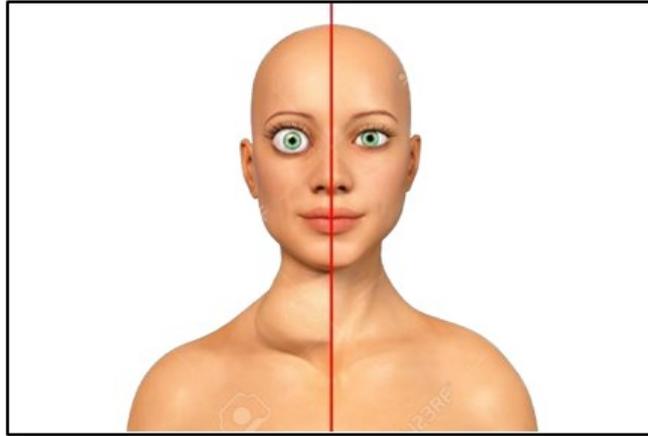
Nota. Extraído de vertebralclinic

2. Hipertiroidismo:

- **Causa:** TSH elevada (rara) o tiroides hiperactiva.
- **Síntomas:** aumento del metabolismo basal, pérdida de peso, aumento del apetito, sudoración, temblores, sensibilidad al calor, irritabilidad, bocio, diarrea e insomnio
- **Ejemplo:** enfermedad de Graves.

Figura 38

“Esta representación gráfica se asocia al hipertiroidismo, un trastorno en el que la tiroides produce un exceso de hormonas, podemos observar la presencia de bocio”.



Nota. Extraído de shutterstock

Hormona Adrenocorticotrópica (ACTH)

La ACTH es secretada por las células corticotropas de la adenohipófisis.

Estimula la corteza de las glándulas suprarrenales para que produzcan glucocorticoides, principalmente cortisol. El cortisol es vital para la respuesta al estrés, el metabolismo de nutrientes y la regulación de la presión arterial. La secreción de ACTH está regulada por la hormona liberadora de corticotropina (CRH) del hipotálamo y también sigue un mecanismo de retroalimentación negativa controlado por los niveles de cortisol en sangre.

Mecanismo

La hormona CRH se libera desde el hipotálamo y su función es decirle a la hipófisis anterior que libere otra hormona llamada ACTH. Esta ACTH viaja hasta las glándulas suprarrenales (que están sobre los riñones) y les indica que produzcan cortisol y andrógenos. Cuando el cuerpo ya tiene suficiente cortisol, este le manda una señal al hipotálamo para que deje de liberar CRH, como una forma de control para que no se produzca más de lo necesario.

La ACTH actúa sobre ciertas zonas específicas de la corteza suprarrenal (llamadas zona fasciculada y zona reticular), donde se une a unos receptores especiales en la superficie

de las células. Estos receptores están conectados a una proteína llamada proteína G, que activa una enzima (adenilato ciclasa) y esta hace que aumente una molécula llamada AMPc, que funciona como una especie de “mensajero interno” para que la célula haga su trabajo.

Además, la ACTH también está relacionada con el control del azúcar en la sangre (metabolismo de la glucosa) y con el sistema inmunológico.

Por último, el cortisol no se produce igual durante todo el día: en la mañana hay más cantidad y en la noche disminuye. Este ritmo diario, llamado ritmo circadiano, es importante tenerlo en cuenta al hacer exámenes de laboratorio.

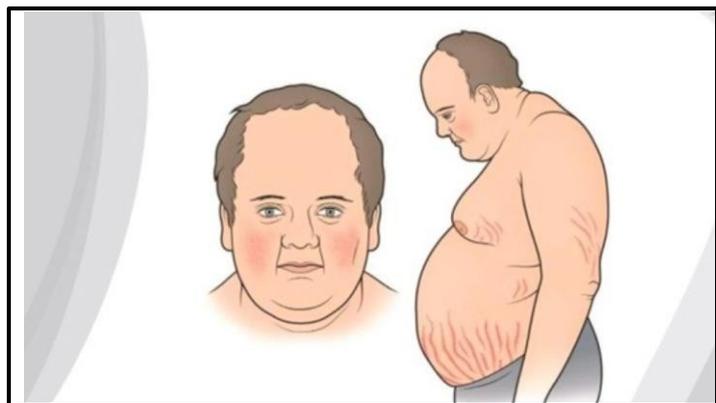
Trastornos por alteración de la ACTH:

1. Síndrome de Cushing:

- Causa: exceso de ACTH → aumento de cortisol.
- Síntomas: cara redonda (“cara de luna”), obesidad central, hipertensión, debilidad muscular.
- Puede ser por un tumor hipofisario (enfermedad de Cushing).

Figura 39

“La imagen muestra los signos característicos de la enfermedad de Cushing: plenitud facial, abdomen prominente con estrías, y distribución central de la grasa”.



Nota. Extraído de clinicauner

2. Enfermedad de Addison:

- Causa: falta de ACTH o daño en la glándula suprarrenal.

- Síntomas: fatiga crónica, presión baja, hiperpigmentación.
- En autoinmunidad o tuberculosis adrenal.

Hormonas producidas por la Neurohipófisis:

Hormona FSH

La hormona foliculoestimulante (FSH) es un tipo de gonadotropina sintetizada y secretada por la hipófisis, una glándula situada en la base del cerebro.

Su función es regular el ciclo reproductivo en ambos sexos:

En hombres:

Estimula la producción de espermatozoides (espermatogénesis).

En mujeres:

Estimula el desarrollo de folículos ováricos y regula el ciclo menstrual.

Además, la hormona FSH es el principio activo de ciertos fármacos utilizados en los tratamientos de reproducción asistida para hacer la estimulación ovárica controlada.

FSH en la mujer:

Aunque la FSH se encuentra en ambos sexos, su nombre "folículo estimulante" proviene de la función que realiza en la mujer: estimular los folículos ováricos para que maduren los óvulos que hay en su interior.

Su secreción por parte de la hipófisis empieza cuando las niñas llegan a la pubertad y, como consecuencia, los ovarios maduran e inician su función: aparecen los caracteres sexuales secundarios y llega la primera menstruación.

Dato importante. - La medición de la hormona FSH en sangre durante la vida reproductiva de la mujer también es un indicador sobre el estado de la reserva ovárica. Por eso, se incluye en los análisis de fertilidad femenina.

Funciones:

La FSH interviene en toda la regulación del ciclo menstrual y, por eso, es muy importante que sus niveles no se vean alterados para que la mujer no sufra irregularidades.

Al inicio del ciclo, la FSH empieza a secretarse desde el cerebro y actúa sobre los ovarios. En respuesta a este aumento de FSH, los folículos primordiales que contienen óvulos inmaduros empiezan a crecer y a migrar hacia la superficie del ovario.

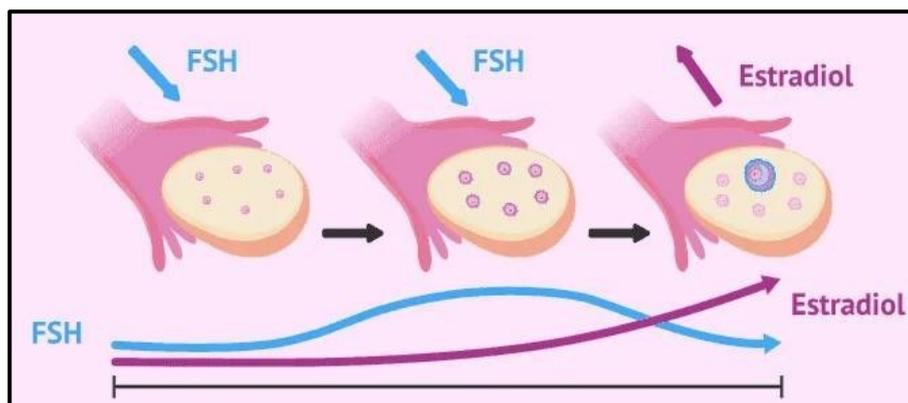
Esta cohorte folicular en desarrollo inicia la síntesis y secreción de otra hormona, el estradiol, la cual tiene una función de regulación inversa: actúa sobre la hipófisis y bloquea la producción de FSH.

La disminución de los niveles de FSH hace que solamente uno de los folículos en crecimiento sea capaz de sobrevivir: folículo dominante o de Graaf. El resto quedarán bloqueados y se perderán.

A continuación, el nivel de FSH vuelve a subir durante la fase ovulatoria del ciclo, pero se mantendrá en niveles basales durante la fase lútea hasta que vuelva a llegar la menstruación y, con ella, un nuevo ciclo menstrual.

Figura 40

“Esta imagen muestra cómo crece un óvulo en el ovario de una mujer. La hormona FSH ayuda a que varios óvulos comiencen a crecer. Luego, uno de estos óvulos se vuelve dominante y produce otra hormona, el estradiol”.



Nota. Extraída de Reproducción Asistida ORG

FSH en el hombre

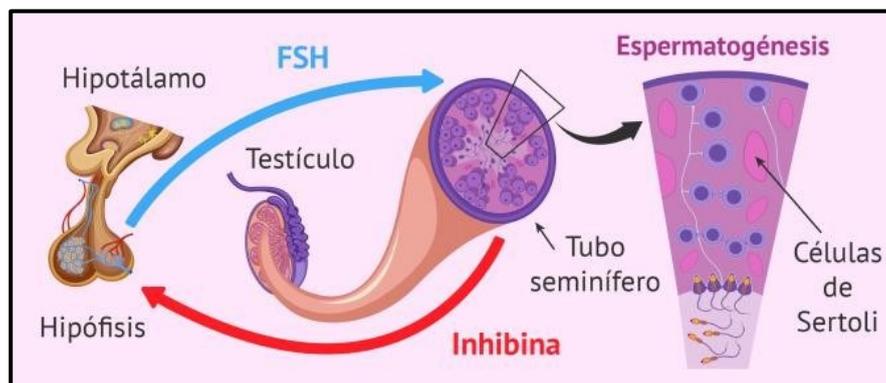
La hormona folículo estimulante (FSH) es una gonadotropina sintetizada por la adenohipófisis, cuya producción se inicia con la llegada de la pubertad, al igual que en las mujeres. En el varón, la FSH desempeña un papel fundamental en la función testicular,

particularmente en la espermatogénesis. Esta hormona actúa específicamente sobre las células de Sertoli, localizadas en los túbulos seminíferos, las cuales proporcionan soporte estructural, nutricional y protector a las espermatogonias, células precursoras de los espermatozoides.

La acción sinérgica de la FSH con la testosterona (producida por las células de Leydig en respuesta a la LH) estimula eficazmente la producción de espermatozoides. Además, la producción de FSH está regulada por un sistema de retroalimentación negativa mediado por la inhibina, una hormona secretada por las propias células de Sertoli. Cuando los niveles de espermatogénesis son adecuados, la inhibina actúa sobre la hipófisis para inhibir la secreción adicional de FSH.

Figura 41

“Esta imagen muestra el desarrollo de la espermatogénesis, donde se produce la hormona FSH y cómo esta ayuda a las células de Sertoli con el proceso y formación de espermatozoides”



Nota. Extraída de “Reproducción Asistida ORG”

LH en el hombre

La hormona luteinizante (LH), también sintetizada en la adenohipófisis, tiene como función principal en el varón estimular a las células de Leydig en los testículos para la producción de testosterona. Esta hormona es esencial para el desarrollo de los caracteres sexuales secundarios masculinos, así como para mantener la espermatogénesis y la función reproductiva a lo largo de la vida adulta.

La regulación de la LH también depende de un mecanismo de retroalimentación negativa. Cuando los niveles de testosterona se elevan en sangre, esta actúa inhibiendo la liberación de la hormona liberadora de gonadotropinas (GnRH) en el hipotálamo, lo que a su vez reduce la secreción de LH en la hipófisis.

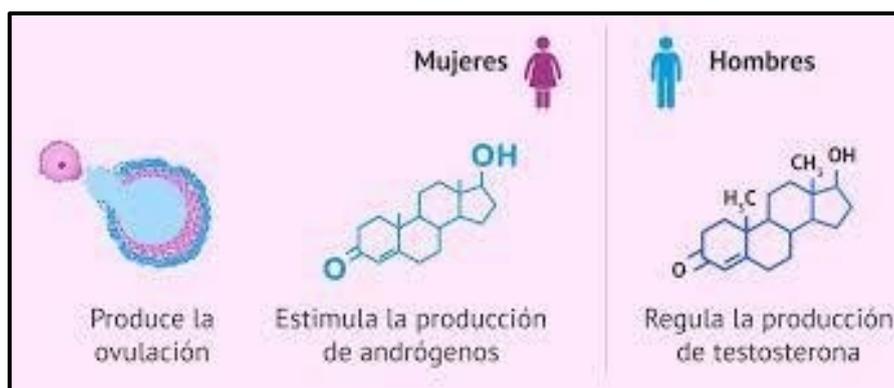
LH en la mujer

En la mujer, la LH cumple funciones fundamentales en el ciclo menstrual. Su síntesis inicia tras la menarquia, y al comienzo de cada ciclo, se encuentra en niveles basales. Sin embargo, conforme los niveles de estrógenos aumentan debido al crecimiento folicular, se incrementa la sensibilidad de las células del folículo a la LH.

Una vez que un folículo ha alcanzado la madurez (folículo de Graaf), se produce un aumento repentino de LH, conocido como el pico de LH, que desencadena la ovulación. Posteriormente, la LH promueve la transformación del folículo ovulado en cuerpo lúteo, el cual secreta progesterona para preparar el endometrio ante una posible implantación embrionaria. Además, la LH estimula a las células de la teca para la producción de andrógenos, precursores del estradiol.

Figura 42

“Esta imagen muestra las funciones principales de la hormona LH, tanto en hombres y mujeres”



Nota. Extraída de “Reproducción Asistida ORG”

GnRH y su regulación

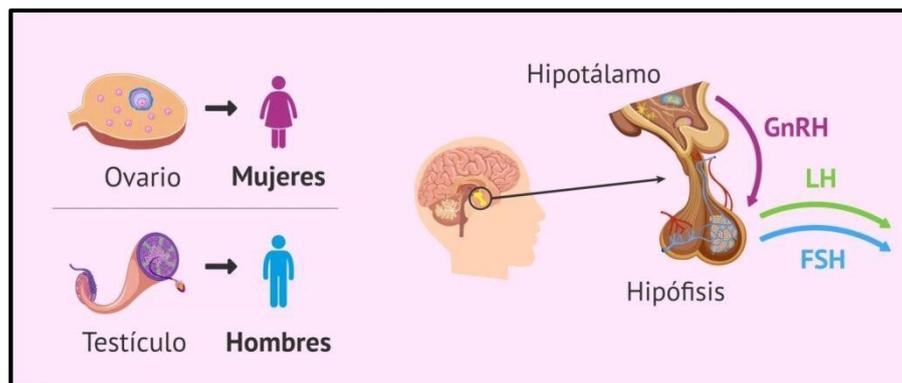
La hormona liberadora de gonadotropinas (GnRH) es sintetizada por las neuronas del núcleo arcuato del hipotálamo. Su liberación pulsátil hacia la adenohipófisis, a través del sistema porta hipotalámico-hipofisario, regula la secreción de FSH y LH, siendo indispensable para el correcto funcionamiento del sistema reproductor masculino y femenino.

En las mujeres, la frecuencia de pulsos de GnRH varía a lo largo del ciclo menstrual, modulando así la liberación diferencial de FSH y LH. En los varones, en cambio, la secreción de GnRH se mantiene constante en frecuencia a lo largo del tiempo.

Diversos factores pueden alterar la secreción de GnRH, como disfunciones hipotalámicas, hiperprolactinemia, síndrome de ovario poliquístico (SOP), síndrome de Kallmann, entre otros.

Figura 43

“Esta imagen muestra la importancia de la regulación de la hormona GnRH y como afecta a las demás hormonas, debido a que ayuda al correcto funcionamiento del sistema reproductor tanto en hombres y mujeres”



Nota. Extraído de “Centro de Fertilidad”

Análogos de GnRH

Los análogos de la GnRH se dividen en agonistas y antagonistas, ambos utilizados clínicamente para modular la secreción de gonadotropinas:

- Agonistas de GnRH: Inicialmente provocan un aumento transitorio de FSH y LH (efecto flare-up), pero su administración continua induce una desensibilización de los receptores hipofisarios, inhibiendo la secreción hormonal.
- Antagonistas de GnRH: Inhiben directamente la acción de la GnRH al bloquear sus receptores en la hipófisis, evitando de forma inmediata la liberación de FSH y LH.

Hipófisis: estructura, función y regulación

La hipófisis se divide en dos lóbulos funcionales: Adenohipófisis (lóbulo anterior)

Se origina de la bolsa de Rathke y produce seis hormonas tróficas fundamentales:

- GH (hormona del crecimiento): Estimula crecimiento somático y metabolismo.
- PRL (prolactina): Promueve la lactancia.
- ACTH: Estimula la secreción de cortisol por la corteza suprarrenal.
- TSH: Controla la producción de T3 y T4 en la tiroides.
- FSH y LH: Regulan las funciones reproductivas en ambos sexos.

Estas hormonas están reguladas por retroalimentación negativa según los niveles periféricos de las hormonas blanco.

Neurohipófisis (lóbulo posterior)

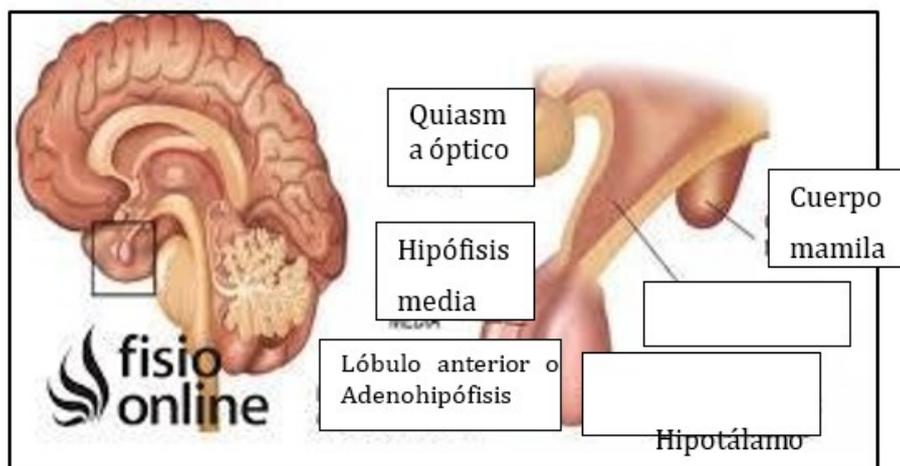
Es una extensión del hipotálamo y almacena dos hormonas producidas por sus núcleos:

- Vasopresina (ADH): Aumenta la reabsorción de agua en los riñones y regula la presión arterial.
- Oxitocina: Promueve contracciones uterinas y la eyección de leche durante la lactancia.

Ambas hormonas se almacenan en vesículas y se liberan según estímulos fisiológicos específicos.

Figura 44

“Ubicación y anatomía de la Glándula Hipófisis”



Nota. Extraído de “Fisionline”

Trastornos relacionados y aplicación clínica

Alteraciones en el eje hipotálamo-hipófisis pueden causar diversas patologías:

- Adenomas hipofisarios: Tumores que pueden ser funcionantes (prolactinomas, somatotropinas) o no funcionantes.
- Hipopituitarismo: Deficiencia hormonal múltiple.
- Diabetes insípida: Déficit de ADH → poliuria y polidipsia.
- Síndrome de Sheehan: Necrosis hipofisaria postparto.

Diagnóstico

Incluye pruebas hormonales, pruebas de estimulación/supresión, resonancia magnética cerebral y evaluación del campo visual.

Tratamiento

- Medicación específica según el trastorno (cabergolina, GH recombinante, desmopresina).
- Cirugía transesfenoidal para tumores.
- Reemplazo hormonal en hipopituitarismo.
- Radioterapia en casos refractarios.

Capítulo 6

Anatomía funcional del riñón

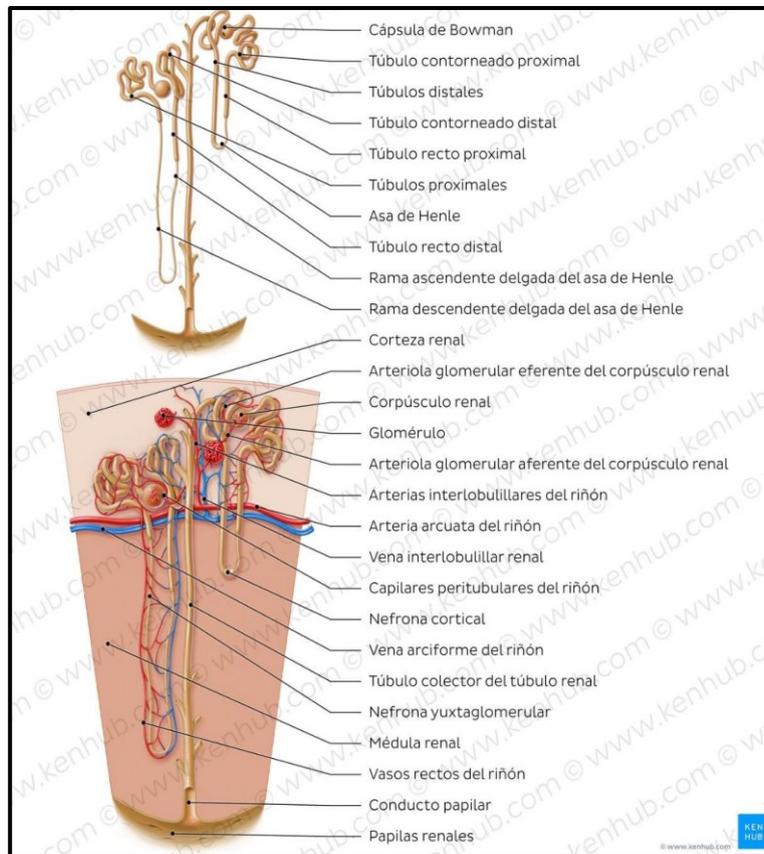
Este capítulo se enfoca en el estudio integral de la anatomía funcional del riñón, abordando tanto su estructura macroscópica como su papel esencial en los procesos fisiológicos del cuerpo humano. A través del análisis de sus componentes principales como la corteza, la médula y la pelvis renal, se busca comprender cómo estas regiones se organizan y colaboran en funciones críticas para el mantenimiento de la homeostasis, incluyendo la regulación del volumen y la composición de los líquidos corporales, la eliminación de desechos metabólicos y la producción de hormonas clave. Además, se introduce el estudio detallado de la nefrona, reconocida como la unidad funcional básica del riñón. Se describen sus partes principales, como el corpúsculo renal, túbulos y asa de Henle, junto con las funciones que cada una desempeña en los procesos de filtración, reabsorción y secreción. El contenido permite al estudiante integrar conocimientos anatómicos con aspectos fisiológicos fundamentales, facilitando así una comprensión clara de cómo el riñón contribuye al equilibrio interno del organismo.

NEFRONA

La nefrona es la unidad estructural y funcional básica del riñón. Cada riñón humano contiene aproximadamente un millón de nefronas. Son responsables de filtrar la sangre, eliminar desechos y formar la orina.

Figura 45

“La nefrona es la unidad funcional del riñón, responsable de filtrar la sangre y formar la orina. Cada riñón contiene aproximadamente un millón de nefronas, las cuales regulan el equilibrio de agua, electrolitos y eliminan desechos metabólicos”



Nota. Extraído de “AMEENF”

Funciones principales de la nefrona

- **Filtración glomerular:** eliminación de sustancias de la sangre.
- **Reabsorción:** recuperación de sustancias útiles como agua, glucosa y sales.
- **Secreción:** eliminación activa de desechos que no fueron filtrados.
- **Formación de orina:** el resultado de los procesos anteriores.

Partes de la nefrona

La nefrona se divide en dos partes principales:

Corpúsculo renal

- **Glomérulo:** red de capilares donde se filtra la sangre.
- **Cápsula de Bowman:** envuelve al glomérulo y recibe el filtrado.

Figura 46

“El corpúsculo renal es la parte inicial de la nefrona y se encarga del proceso de filtración de la sangre. Está formado por el glomérulo, un conjunto de capilares, y la cápsula de Bowman, que lo envuelve. Juntos permiten el paso de agua y pequeñas moléculas hacia el túbulo renal, dando inicio a la formación de la orina”



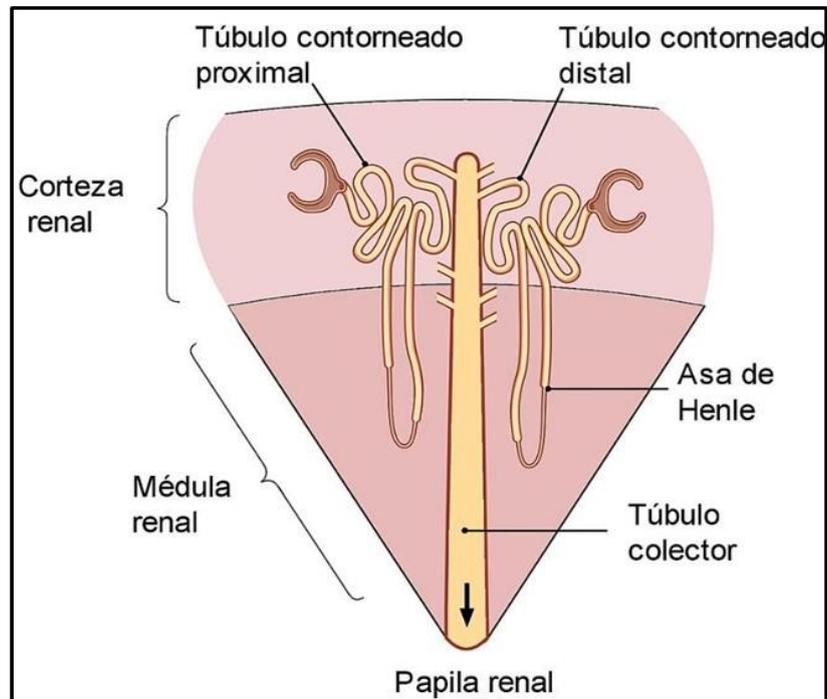
Nota. Extraído de: “KENHUB”

Túbulo renal

- **Túbulo contorneado proximal:** reabsorbe la mayor parte del agua y nutrientes.
- **Asa de Henle:** concentra la orina, reabsorbiendo agua y sal.
- **Túbulo contorneado distal:** secreta desechos y regula el equilibrio ácido-base.
- **Túbulo colector:** recoge la orina de varias nefronas y la dirige hacia la pelvis renal.

Figura 47

“El túbulo renal es la estructura de la nefrona encargada de modificar el filtrado glomerular mediante procesos de reabsorción y secreción. Está compuesto por el túbulo contorneado proximal, el asa de Henle, el túbulo contorneado distal y el túbulo colector”



Nota. Extraído de: “UDOCZ”

Tipos de nefronas

- **Corticales:** están en la corteza del riñón; más numerosas (80–85%).
- **Yuxtamedulares:** cerca de la médula renal; su asa de Henle es más larga y permite una mejor concentración de la orina.

Proceso de formación de orina

- Filtración en el glomérulo
- Reabsorción en los túbulos
- Secreción de sustancias no deseadas
- Excreción final de orina

Regulación y control

Hormonas:

- **ADH (hormona antidiurética):** controla la cantidad de agua reabsorbida.
- **Aldosterona:** regula la reabsorción de sodio.
- **PNA (péptido natriurético atrial):** reduce la reabsorción de sodio.

Importancia de la nefrona

- Mantiene el equilibrio de líquidos y electrolitos.
- Regula la presión arterial.
- Elimina sustancias tóxicas.
- Contribuye al equilibrio ácido-base del cuerpo.

Enfermedades relacionadas con la nefrona

- Nefritis: inflamación de la nefrona.
- Nefrosis: daño al túbulo renal.
- Insuficiencia renal: pérdida de función de muchas nefronas.

Organización general de los riñones

Los riñones se disponen en la pared posterior del abdomen, fuera de la cavidad peritoneal. Cada riñón, en un adulto sano, pesa unos 150 gramos, más o menos como el tamaño de un puño cerrado.

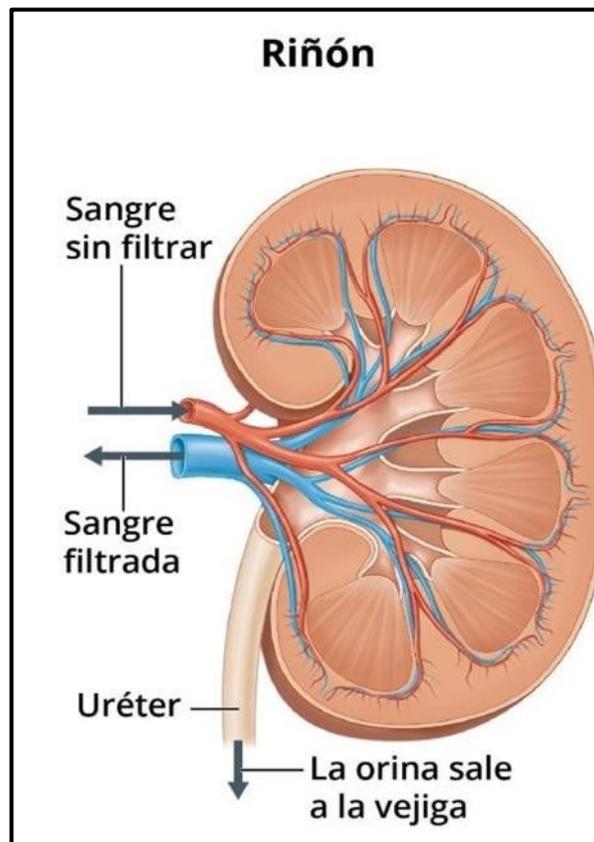
En la cara medial de cada riñón hay una especie de hendidura o muesca llamada hilio. Por ahí entran y salen varias estructuras importantes:

- La arteria renal, que lleva sangre al riñón.
- La vena renal, que saca la sangre del riñón.
- Los vasos linfáticos, que ayudan al sistema inmune y al drenaje de líquidos.
- Nervios, que controlan ciertas funciones renales.
- El uréter, un tubo que lleva la orina desde el riñón hasta la vejiga, donde se almacena hasta que sea expulsada del cuerpo.

Además, cada riñón está envuelto por una cápsula fibrosa que es como una capa protectora. Esta cápsula es firme y ayuda a proteger las estructuras internas del riñón, que son delicadas.

Figura 48

“El riñón es un órgano vital que filtra la sangre, elimina desechos a través de la orina y regula el equilibrio de agua, sales y otras sustancias en el cuerpo”



Nota. Extraído de: "NIDDK"

Si cortamos un riñón de arriba hacia abajo, se pueden ver dos partes principales:

1. **La corteza:** es la parte más externa, como una capa que recubre.
2. **La médula:** es la parte interna del riñón, ubicada más hacia el centro.

Dentro de la médula hay entre 8 y 10 estructuras en forma de cono, llamadas pirámides renales.

- La base (parte ancha) de cada pirámide está junto a la corteza.
- El vértice o punta de la pirámide se llama papila, y apunta hacia el centro del riñón.

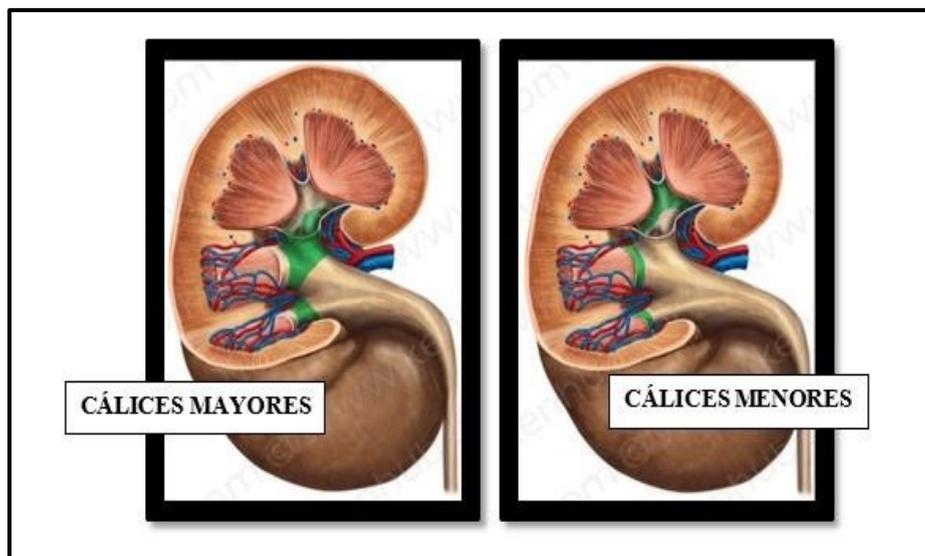
La papila se proyecta en una cavidad llamada pelvis renal, que tiene forma de abanico y es como una especie de embudo que conecta con la parte superior del uréter (el tubo que lleva la orina a la vejiga).

La pelvis renal se divide en:

- Cálices mayores: son unas cavidades grandes que salen de la pelvis renal.
- Cálices menores: se ramifican a partir de los cálices mayores y se conectan con las papilas de las pirámides.

Figura 49

“Los cálices menores y mayores son estructuras del riñón que recogen la orina producida por las nefronas. Los cálices menores reciben la orina desde las papilas renales y la conducen hacia los cálices mayores, que luego la transportan hacia la pelvis renal para su salida por el uréter”



Nota. Extraído de: “KENHUB”

Los cálices menores recogen la orina que se forma en los túbulos del riñón y sale por las papilas.

Además, las paredes de los cálices, la pelvis renal y el uréter tienen tejido muscular que se contrae para empujar la orina hacia la vejiga, donde se guarda hasta que orinamos (esto se llama micción).

Filtración Glomerular

El primer paso en la formación de orina es la filtración glomerular, que ocurre en una parte del riñón llamada glomérulo, que está dentro de una estructura llamada cápsula de Bowman.

En este paso, se filtran aproximadamente 180 litros de líquido al día, desde la sangre que pasa por los capilares glomerulares hacia el interior del riñón.

La mayor parte de este filtrado se reabsorbe, es decir, el cuerpo vuelve a tomar lo que necesita como; agua, glucosa y sales, lo que deja aproximadamente un litro de líquido para su excreción al día.

Si bien la tasa de excreción renal de líquidos puede ser muy variable dependiendo de la ingestión de líquidos.

La alta tasa de filtración glomerular depende de la alta tasa de flujo sanguíneo renal, así como de las propiedades especiales de las membranas de los capilares glomerulares.

Composición del filtrado glomerular

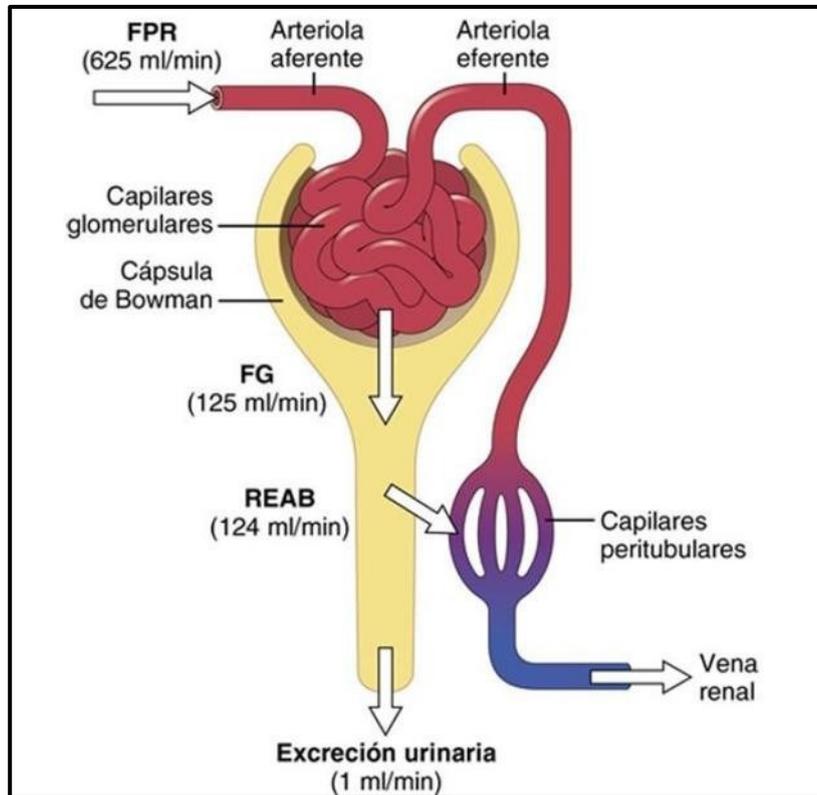
Los capilares glomerulares (donde ocurre la filtración de la sangre en el riñón) son impermeables a las proteínas, de manera que el líquido filtrado (llamado filtrado glomerular) carece prácticamente de proteínas y elementos celulares, incluidos los eritrocitos.

Las concentraciones de otros constituyentes del filtrado glomerular, como sales y moléculas orgánicas son similares a las concentraciones en el plasma. Las excepciones a esta generalización son algunas sustancias con un peso molecular bajo, como el calcio y los ácidos grasos, que no se filtran libremente porque están unidas a proteínas.

Esto es porque las proteínas no pueden pasar por el filtro glomerular, y cualquier cosa unida a ellas tampoco puede pasar. Por ejemplo, aproximadamente la mitad del calcio plasmático y la mayor parte de los ácidos grasos plasmáticos en la sangre están unidos a proteínas, así que esa mitad no se filtra a través de los capilares glomerulares.

Figura 50

“La filtración glomerular es el primer paso en la formación de la orina y ocurre en los glomérulos de los riñones. Consiste en el paso de agua y pequeñas moléculas desde la sangre hacia la cápsula de Bowman, a través de una membrana filtrante, mientras se retienen células sanguíneas y proteínas grandes. Es esencial para eliminar desechos del cuerpo y mantener el equilibrio de líquidos y electrolitos”



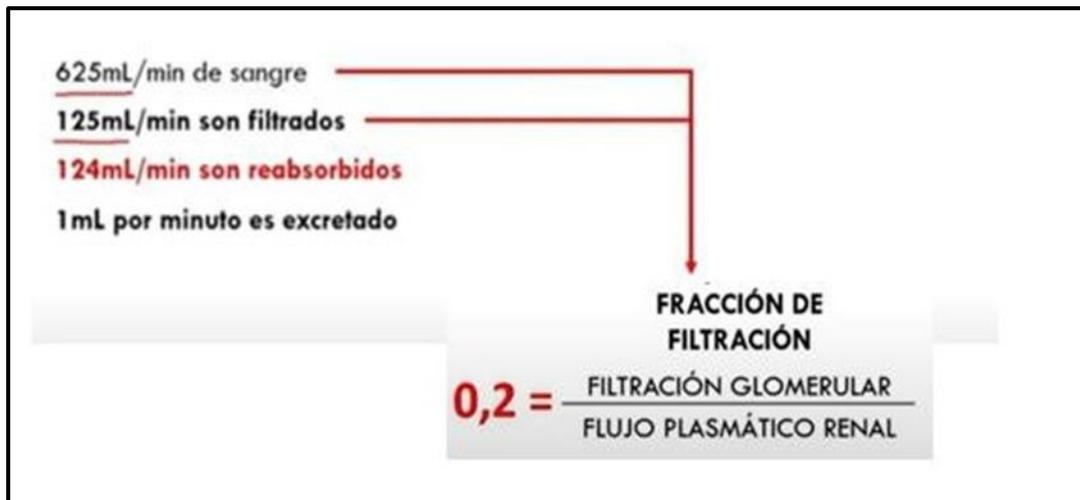
Nota. Extraído de: UDOCZ”

Fracción de Filtración Glomerular

La filtración Glomerular equivale al 20% del flujo plasmático renal. En cualquier momento dado, dentro de los glomérulos nosotros tenemos 625 mililitros de sange, de los cuales 125 mL son filtrados. De esos 125 mL que han sido filtrados, 124 mL son reabsorbidos y solo 1mL por minuto es excretado.

Figura 51

“Esquema explicativo de la fracción de filtración glomerular”



Nota. Extraído de: MEDIZI

Determinantes de la FG

GFR = (Kf) x Presión de Filtración Neta Es determinada por:

- La Presión de Filtración Neta = 10mm Hg Como todas las partes del cuerpo donde existe líquido, van a haber un juego de presiones o un juego de fuerzas, estas fuerzas son la hidrostática y la coloidosmóticas.

Para que el plasma contenido dentro del glomérulo sea filtrado a través de la membrana de filtración hacia la cápsula de Bowman, entran en juego tres presiones:

- **Presión Hidrostática Glomerular = 60 mm Hg:** Es una fuerza de salida, es decir que favorece la filtración, esta presión hidrostática glomerular va a estar determinada por tres elementos: por la presión arterial y las resistencias arteriolares aferentes y eferentes.

Aumento de la presión

Si aumenta moderadamente, puede aumentar el filtrado glomerular. Si aumenta excesivamente (en hipertensión mal controlada) puede dañar los capilares glomerulares, aumentar la permeabilidad y permitir el paso de proteínas, lo que lleva a proteinuria (presión anormal de proteínas en la orina)

- **Presión Coloidosmótica Glomerular = 32mm Hg:** Va a estar dada por la concentración de proteínas, es una fuerza de entrada, es decir, se opone a la filtración.

Aumento de presión

A medida que la sangre fluye desde la arteriola aferente hasta la arteriola eferente, la presión coloidosmótica aumenta y la concentración de proteínas en la sangre aumenta porque disminuye la cantidad de líquido que hay en la sangre.

Por ende, el aumento de la presión coloidosmótica disminuye la filtración glomerular.

- A nivel de la arteriola eferente, la presión coloidosmótica es de 28mm Hg. A nivel del glomérulo, la presión coloidosmótica es de 32 mm Hg.
- A nivel de la arteria eferente, la presión coloidosmótica es de 36 mm Hg.

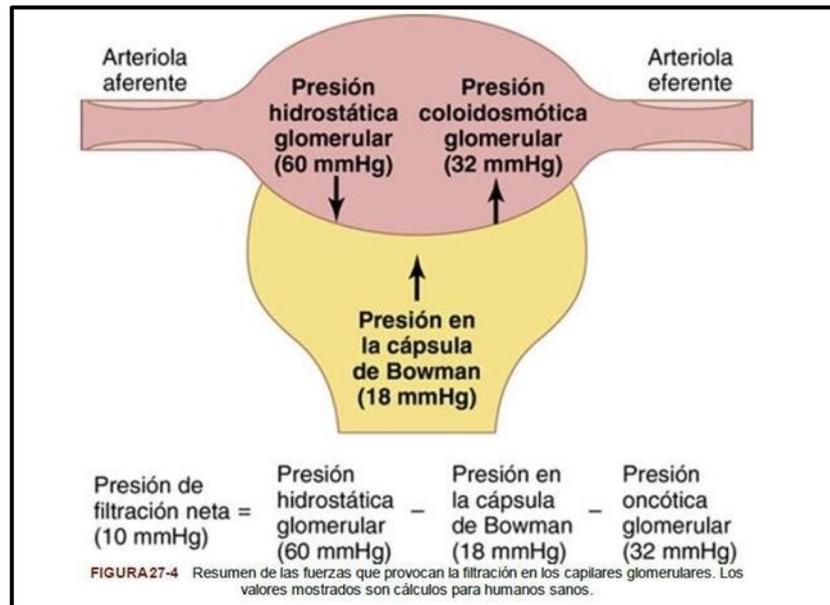
- **Presión Hidrostática de la cápsula de Bowman = 18mm Hg:** Es una fuerza de entrada, va a estar dada por la cantidad de líquido que existen dentro de la cápsula de Bowman.

Aumento de la presión hidrostática en la cápsula de Bowman

Si aumenta, como puede ocurrir en casos de obstrucción del tracto urinario (por ejemplo, por cálculos o tumores), la filtración disminuye, porque el líquido ya filtrado presiona hacia atrás, reduciendo la fuerza neta que empuja el filtrado hacia la cápsula. (Hidronefrosis)

Figura 52

"El aumento de la presión hidrostática en la cápsula de Bowman ocurre cuando hay una obstrucción en las vías urinarias, como los túbulos renales o el uréter. Este incremento de presión dificulta el paso del filtrado desde los capilares glomerulares hacia la cápsula, lo que reduce la tasa de filtración glomerular y puede afectar la función renal"



Nota. Extraído de: Documento de Observatory Teaching learning of Physiology

Coefficiente Glomerular

- Es el producto de la permeabilidad por el área de superficie de los capilares.
- Se refiere a toda el área de superficie de la membrana glomerular que es capaz de filtrar.
- Va a medir qué sitios de la membrana son capaces de filtrar, que son todos aquellos sitios donde existan espacios, por ejemplo, las fenestras del epitelio vascular.

IRRIGACIÓN DEL RIÑÓN

La irrigación del riñón es esencial para su función de filtración y homeostasis. A través de un complejo sistema vascular, el riñón recibe sangre rica en oxígeno y nutrientes, permitiendo la eliminación de desechos y la regulación de líquidos y electrolitos.

Arteria Renal y su Distribución

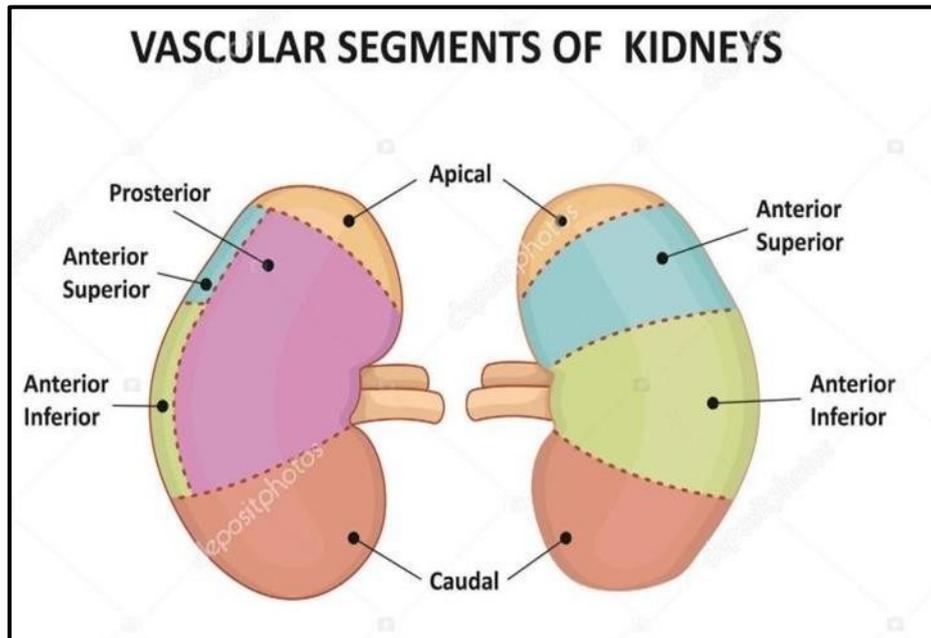
La arteria renal es la encargada de llevar sangre desde la aorta abdominal hasta el riñón. Generalmente, hay una arteria renal por cada riñón, pero en algunas personas

pueden existir arterias accesorias. Estas arterias ingresan por el hilio renal y se dividen en ramas anteriores y posteriores

Ramas anteriores

Figura 53

“Los riñones están divididos en segmentos llamados segmentos renales, cada uno irrigado por una rama segmentaria de la arteria renal. Esta división facilita el estudio anatómico y quirúrgico del órgano”



Nota. Extraído de: "Depositphotos "

La rama anterior es la más grande y se subdivide en varias arterias segmentarias, que irrigan los siguientes segmentos del riñón:

- Segmento superior (apical)
- Segmento anterior superior
- Segmento anterior inferior
- Segmento inferior

Ramas principales:

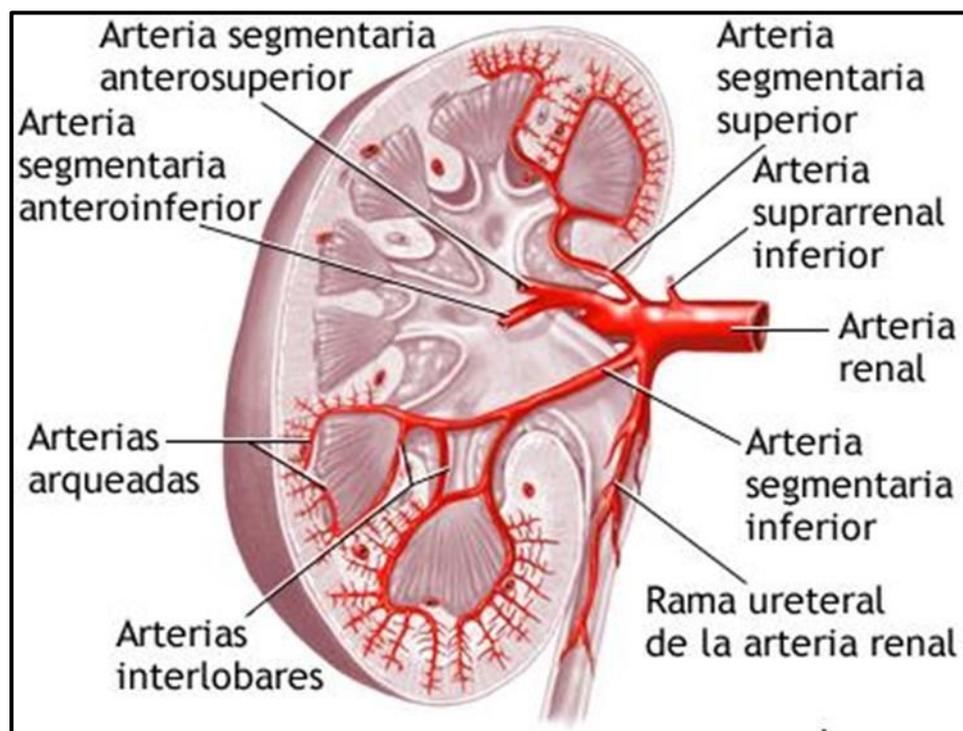
- **Arterias segmentarias:** Irrigan áreas específicas del parénquima renal.

Estas ramas segmentarias se distribuyen de acuerdo con la organización funcional del riñón.

- **Arterias interlobares:** Ascienden a lo largo de las columnas renales situadas entre las pirámides medulares. Estas arterias proveen irrigación a las estructuras profundas del riñón.
- **Arterias arqueadas:** Cuando las arterias interlobares alcanzan la base de las pirámides renales, se curvan y forman las arterias arqueadas. Estas arterias se extienden lateralmente a lo largo de la unión entre la médula y la corteza renal, dando paso a las siguientes ramas.
- **Arterias interlobulares:** Desde las arterias arqueadas surgen las arterias interlobulares, que se distribuyen en la corteza renal. Estas pequeñas arterias se ramifican hacia los glomérulos y otras estructuras corticales.

Figura 54

“Las ramas principales del riñón provienen de la arteria renal e incluyen las arterias segmentarias, interlobares, arcuatas y corticales radiadas, que se encargan de distribuir la sangre por todo el tejido renal para su correcta función”



Nota. Extraído de: A.D.A.M.AN (Oclusión arterial aguda del riñón)

Ramas Posteriores

Rama posterior

La rama posterior de la arteria renal es una de las dos principales divisiones que ocurren en el hilio del riñón. Su función es irrigar la parte posterior del parénquima renal.

Características de la Rama Posterior

- Se origina en la arteria renal y pasa por detrás de la pelvis renal.
- Irriga el segmento posterior del riñón, que no recibe aporte de la rama anterior.
- No se subdivide en tantas arterias segmentarias como la rama anterior.
- Su distribución es importante en procedimientos quirúrgicos y estudios de imagen, ya que cualquier alteración en su flujo sanguíneo puede afectar la función renal.

Las arteriolas aferentes y eferentes son vasos sanguíneos clave en la circulación renal, específicamente en el proceso de filtración del glomérulo.

- **Arteriola aferente:** Es el vaso que lleva sangre rica en oxígeno y nutrientes hacia el glomérulo renal. Su diámetro es mayor que el de la arteriola eferente, lo que genera una presión alta que facilita la filtración de la sangre.
- **Arteriola eferente:** Es el vaso que transporta la sangre ya filtrada fuera del glomérulo. Su diámetro es menor, lo que mantiene la presión dentro del glomérulo y permite una filtración eficiente. Luego, esta sangre se distribuye hacia los capilares peritubulares y la vasa recta, contribuyendo a la reabsorción de sustancias esenciales.

Microcirculación Renal

La irrigación del glomérulo es clave para la filtración de la sangre. Las arteriolas aferentes llevan sangre al glomérulo, donde ocurre la filtración. Luego, la sangre sale por la arteriola eferente, que se conecta con los capilares peritubulares y la vasa recta.

Capilares peritubulares y vasa recta

- **Capilares peritubulares:** Rodean los túbulos renales y participan en la reabsorción de sustancias.
- **Vasa recta:** Son vasos largos que descienden hacia la médula renal y contribuyen al mecanismo de concentración de la orina.

Drenaje Venoso

El drenaje venoso del riñón es crucial para eliminar la sangre desoxigenada y mantener el equilibrio circulatorio. Este proceso sigue una estructura jerárquica que comienza en los capilares peritubulares y termina en la vena renal (vaso principal que drena la sangre del riñón).

La sangre filtrada regresa a la circulación sistémica a través de:

- Venas interlobulares → Venas arqueadas → Venas interlobares → Vena renal → Vena cava inferior.

Absorción y secreción tubular

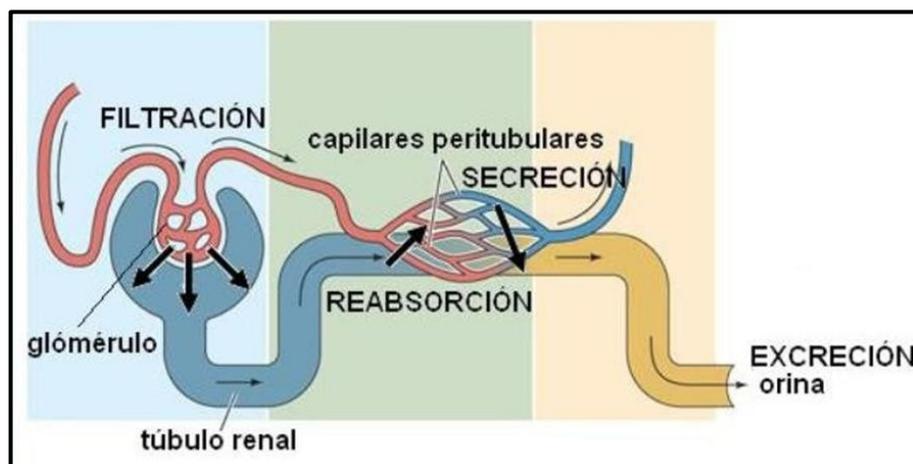
Reabsorción tubular

Es un proceso del riñón en el que el agua y muchas sustancias útiles (como glucosa, sodio, etc.) que ya pasaron al filtrado en el túbulo renal (parte de la nefrona) son devueltas a la sangre.

Es decir, el cuerpo recupera lo que no quiere perder.

Figura 55

“La absorción y secreción tubular son procesos esenciales del túbulo renal. En la absorción, sustancias útiles como agua, glucosa y electrolitos regresan a la sangre; en la secreción, desechos y excesos se eliminan hacia el túbulo para ser excretados en la orina”



Nota. Extraído de: Denomasur (Sistema excretor)

¿Cómo ocurre esta reabsorción?

Ocurre en dos etapas principales:

1. Desde el túbulo renal al líquido intersticial (espacio entre el túbulo y los capilares):

- Aquí es donde las sustancias atraviesan el epitelio del túbulo renal (las paredes del túbulo).
- Esto puede suceder de dos formas:
- Transporte activo: la célula gasta energía (ATP) para mover sustancias, especialmente contra su gradiente (por ejemplo, sodio).
- Transporte pasivo: las sustancias se mueven por difusión, sin gasto de energía, a favor del gradiente de concentración.

Y estas sustancias pueden atravesar el epitelio de dos maneras:

- Vía transcelular: pasan a través de las células.
- Vía paracelular: pasan entre las uniones de las células.

2. Del líquido intersticial a los capilares peritubulares (para regresar a la sangre):

- El líquido con solutos entra a la sangre por los capilares peritubulares.
- Esto ocurre por un proceso llamado ultrafiltración, impulsado por:
- Fuerzas hidrostáticas (presión del líquido)
- Fuerzas coloidosmóticas (presión ejercida por las proteínas en la sangre que "jalan" el agua de regreso).
- Se lleva a cabo mediante:
- Transporte activo: usa energía (ATP). Ejemplo: bomba Na^+/K^+ ATPasa.
- Transporte pasivo: por difusión o gradiente osmótico.
- Vías de transporte:
- Transcelular: a través de las células epiteliales del túbulo.
- Paracelular: entre las uniones de las células.

Secreción

- Sustancias pasan desde los capilares peritubulares al túbulo.
- Secreción activa requiere energía para mover sustancias contra gradientes.
- Importante para regular:

- pH (mediante la secreción de H⁺)
- Concentración de potasio
- Eliminación de fármacos y toxinas

Segmentos del Túbulo y su Función 1. Túbulo proximal

- Reabsorbe ~65% del Na⁺, agua, Cl⁻, K⁺, bicarbonato, glucosa, aminoácidos.
- Secreta H⁺, ácidos y bases orgánicas.
- Reabsorción altamente eficiente y masiva.

2. Asa de Henle

- Rama descendente: reabsorbe agua, pero no solutos.
- Rama ascendente (especialmente la gruesa): reabsorbe Na⁺, K⁺, Cl⁻, pero es impermeable al agua → diluye el líquido tubular.

3. Túbulo distal

- Reabsorbe Na⁺ y Cl⁻, bajo control de la aldosterona.
- Contribuye a la secreción de K⁺ y H⁺.

4. Túbulos colectores

- Reabsorben agua en presencia de ADH.
- Secretan K⁺ y H⁺ según necesidades del cuerpo.

Regulación del equilibrio hídrico y electrolítico

El equilibrio hidroelectrolítico es un aspecto fundamental de la homeostasis corporal, refiriéndose a la constancia relativa de la distribución de agua e iones (electrolitos) en los diferentes compartimentos del cuerpo. Los riñones juegan un papel central en esta regulación, siendo los principales órganos encargados de mantener este delicado balance.

Equilibrio hidroelectrolítico

El cuerpo humano está compuesto en su mayor parte por agua, distribuida en varios compartimentos:

- **Líquido Intracelular (LIC):** Dentro de las células (aproximadamente 2/3 del agua corporal total).

- **Líquido Extracelular (LEC):** Fuera de las células (aproximadamente 1/3 del agua corporal total). Este se subdivide en:
- **Líquido Intersticial:** Rodea las células.
- **Plasma:** Parte líquida de la sangre.

Los electrolitos son minerales con carga eléctrica (iones) presentes en estos líquidos, vitales para funciones como:

- Equilibrar la cantidad de agua en el cuerpo.
- Mantener el equilibrio ácido-base (pH).
- Transportar nutrientes a las células.
- Asegurar el correcto funcionamiento de músculos, nervios y el corazón.

Ejemplos de electrolitos importantes incluyen: sodio (Na⁺), potasio (K⁺), cloruro (Cl⁻), magnesio (Mg²⁺), fosfato (PO₄³⁻) y bicarbonato (HCO₃⁻). Un desequilibrio electrolítico se produce cuando el nivel de uno o más de estos electrolitos es demasiado bajo o demasiado alto.

Riñones en la regulación hidroelectrolítica

Los riñones son los principales reguladores del equilibrio hidroelectrolítico al ajustar la cantidad de agua y electrolitos que se eliminan del cuerpo en la orina. Filtran una gran cantidad de plasma sanguíneo diariamente (alrededor de 180 litros) y reabsorben selectivamente la mayor parte de esta agua y electrolitos, excretando solo el exceso o los desechos.

Sus funciones clave en este contexto son:

1. **Regulación del volumen del líquido extracelular (LEC):** Los riñones controlan el volumen de agua en el cuerpo. Si hay exceso de agua, los riñones excretan más. Si hay escasez, retienen agua.
2. **Regulación de la osmolaridad plasmática:** La osmolaridad se refiere a la concentración de solutos en el plasma. Los riñones ajustan la excreción de agua para mantener una osmolaridad constante, regulando principalmente regulando la concentración de sodio, que es el electrolito principal que determina la osmolaridad plasmática.

- 3. Mantenimiento del equilibrio de electrolitos:** Los riñones ajustan la reabsorción y excreción de electrolitos específicos como sodio, potasio, cloruro, calcio, magnesio y fosfato para mantener sus niveles dentro de rangos normales.
- 4. Regulación del equilibrio ácido-base (pH):** Los riñones pueden excretar cantidades variables de ácidos y bases por la orina para regular el pH sanguíneo. Esto lo logran mediante la excreción de iones hidrógeno (H⁺) y la reabsorción de bicarbonato (HCO₃⁻).

¿Cómo funcionan los riñones para lograrlo?

La unidad funcional del riñón es la nefrona, que consta de un glomérulo y un túbulo renal. El proceso de formación de orina y regulación hidroelectrolítica ocurre a través de varios pasos:

- 1. Filtración Glomerular:** La sangre llega al glomérulo (un ovillo de capilares) donde se filtra. Moléculas pequeñas como agua, electrolitos, glucosa, aminoácidos y desechos nitrogenados atraviesan esta "membrana de filtración", formando el filtrado glomerular. Las proteínas y células sanguíneas más grandes permanecen en la sangre.
- 2. Reabsorción Tubular:** A medida que el filtrado avanza por los diferentes segmentos del túbulo renal (túbulo proximal, asa de Henle, túbulo distal y conducto colector), la mayoría del agua y los electrolitos útiles son reabsorbidos de nuevo a la sangre. Esta reabsorción es altamente selectiva y está regulada por hormonas.
- 3. Secreción Tubular:** Algunas sustancias de desecho o excesos de electrolitos son secretadas activamente desde la sangre hacia el túbulo para su eliminación en la orina.

Mecanismos y hormonas clave en la regulación renal:

- **Hormona Antidiurética (ADH) o Vasopresina:** Producida por la hipófisis, esta hormona es crucial para el equilibrio hídrico. Cuando la osmolaridad sanguínea aumenta (indica deshidratación) o el volumen sanguíneo disminuye, la ADH se libera, aumentando la permeabilidad de los túbulos distales y los conductos colectores al agua, lo que lleva a una mayor reabsorción de agua y una orina más concentrada.

- **Sistema Renina-Angiotensina-Aldosterona (SRAA):** Este sistema es vital para la regulación del volumen sanguíneo y la presión arterial, y consecuentemente, del sodio y el agua.
- **Renina:** Liberada por los riñones en respuesta a una disminución de la presión arterial o del volumen sanguíneo.
- **Angiotensina II:** La renina desencadena una cascada que forma angiotensina II, un potente vasoconstrictor que también estimula la liberación de aldosterona.
- **Aldosterona:** Producida por las glándulas suprarrenales, esta hormona aumenta la reabsorción de sodio y la secreción de potasio en los túbulos renales, lo que a su vez arrastra agua y ayuda a aumentar el volumen sanguíneo y la presión arterial.
- **Péptidos Natriuréticos (ANP y BNP):** Estas hormonas, liberadas por el corazón en respuesta a un estiramiento excesivo de las aurículas (indicando un aumento del volumen sanguíneo), tienen efectos opuestos al SRAA. Promueven la excreción de sodio (natriuresis) y agua (diuresis), reduciendo el volumen sanguíneo y la presión arterial.
- **Mecanismo de la sed:** Es un mecanismo conductual importante para la regulación del agua. La osmolaridad elevada o el bajo volumen sanguíneo estimulan los centros de la sed en el cerebro, llevando a la ingesta de líquidos.

Órganos que intervienen (además de los riñones):

Aunque los riñones son los actores principales, el equilibrio hidroelectrolítico es un proceso complejo que involucra la interacción de varios órganos y sistemas:

- **Hipófisis (Glándula Pituitaria):** Produce y libera la hormona antidiurética (ADH), fundamental para la reabsorción de agua por los riñones.
- **Glándulas Suprarrenales:** Producen aldosterona, que influye directamente en la reabsorción de sodio y potasio en los riñones.
- **Corazón:** Las aurículas cardíacas liberan péptidos natriuréticos (ANP y BNP) en respuesta al aumento del volumen sanguíneo, promoviendo la excreción renal de sodio y agua.
- **Hipotalamo (en el cerebro):** Contiene osmorreceptores que detectan cambios en la osmolaridad del plasma y controlan la liberación de ADH y la sensación de sed.

- **Pulmones:** Contribuyen a las pérdidas de líquidos a través de la respiración (pérdidas insensibles) y participan en la regulación del equilibrio ácido-base al exhalar dióxido de carbono.
- **Piel:** A través de la transpiración y la evaporación (pérdidas insensibles), la piel contribuye a la pérdida de agua y electrolitos.
- **Tracto Gastrointestinal:** Aporta agua y electrolitos a través de la ingesta y puede causar pérdidas significativas en casos de diarrea o vómitos.

Producción de hormonas renales

Los riñones son órganos vitales que desempeñan funciones cruciales para el mantenimiento de la homeostasis corporal. Aunque su función principal es la filtración y excreción de productos de desecho a través de la orina, también actúan como órganos endocrinos. Esto significa que producen y secretan hormonas esenciales que regulan procesos fisiológicos como la presión arterial, la producción de glóbulos rojos y el metabolismo del calcio.

Principales Hormonas Producidas por los Riñones Eritropoyetina (EPO)

Función:

La eritropoyetina es una glicoproteína que estimula la producción de eritrocitos (glóbulos rojos) en la médula ósea.

Mecanismo de acción:

- Cuando los niveles de oxígeno en sangre disminuyen (hipoxia), las células intersticiales peritubulares de la corteza renal aumentan la producción de EPO.
- La EPO viaja por el torrente sanguíneo hacia la médula ósea, donde estimula la diferenciación y proliferación de precursores eritroides.

Importancia clínica:

- Déficit de EPO en insuficiencia renal crónica puede causar anemia.
- La EPO recombinante es utilizada en pacientes con anemia secundaria a enfermedades renales o tratamientos oncológicos. 6.1.

Renina Función:

La renina es una enzima que inicia el sistema renina-angiotensina-aldosterona (RAAS), clave en la regulación de la presión arterial y el equilibrio hidroelectrolítico.

Mecanismo de acción:

Liberada por las células yuxtaglomerulares del riñón en respuesta a:

- Disminución del volumen sanguíneo o presión arterial.
- Estimulación simpática.
- Reducción de sodio en el túbulo distal.
- La renina convierte el angiotensinógeno (producido por el hígado) en angiotensina I, que luego se convierte en angiotensina II por acción de la ECA (enzima convertidora de angiotensina).
- La angiotensina II provoca vasoconstricción y estimula la secreción de aldosterona, aumentando la reabsorción de sodio y agua.

Importancia clínica:

- Alteraciones en el RAAS están relacionadas con hipertensión, insuficiencia cardíaca y enfermedades renales crónicas.

Calcitriol (1,25-dihidroxitamina D3) Función:

Es la forma activa de la vitamina D, esencial para el metabolismo del calcio y fósforo.

Mecanismo de acción:

- El precursor inactivo (vitamina D) es transformado en el hígado en 25hidroxivitamina D.
- Posteriormente, en el riñón, la enzima 1-alfa-hidroxilasa convierte esta forma en calcitriol.

El calcitriol:

- Aumenta la absorción intestinal de calcio y fósforo.
- Favorece la reabsorción renal de calcio.
- Regula el remodelado óseo.

Importancia clínica:

- La deficiencia de calcitriol contribuye al desarrollo de osteodistrofia renal.
- Su suplementación es común en pacientes con enfermedad renal crónica.

Capítulo 7

Principios generales de la función gastrointestinal: motilidad, control nervioso y circulación sanguínea

El sistema gastrointestinal desempeña un papel fundamental en el mantenimiento de la salud y la homeostasis del organismo. A través de su estructura compleja y su funcionamiento coordinado, lleva a cabo procesos esenciales como la digestión, absorción de nutrientes y eliminación de desechos. Estos procesos se logran mediante la interacción armónica entre la motilidad del tubo digestivo, el control nervioso y la irrigación sanguínea. Comprender estos principios permite valorar el sistema digestivo no como un conjunto de órganos aislados, sino como una unidad funcional integrada que responde a estímulos internos y externos de manera eficiente. A lo largo de este capítulo, se abordarán los aspectos anatómicos, fisiológicos y regulatorios que permiten el adecuado funcionamiento del sistema gastrointestinal, así como su relevancia clínica.

Organización Anatómica Básica del Tubo Digestivo

El aparato digestivo se divide en dos grandes componentes: el tubo digestivo propiamente dicho y los órganos accesorios de la digestión.

A. Tubo digestivo

Es un conducto muscular continuo que se extiende desde la cavidad bucal hasta el ano, y está compuesto por los siguientes órganos.

Boca

Es la puerta de entrada del sistema digestivo. En ella se inicia la digestión mecánica mediante la masticación, y la química por la acción de la amilasa salival contenida en la saliva. Esta enzima comienza la degradación de los carbohidratos.

Faringe y esófago

Ambos son estructuras musculares encargadas del transporte del bolo alimenticio desde la boca hacia el estómago. La deglución es el proceso que permite este desplazamiento.

Estómago

Órgano musculoso en forma de saco, donde los alimentos se mezclan con los jugos gástricos, formando el quimo, una sustancia semilíquida. La digestión de proteínas comienza aquí gracias a la acción de la pepsina, una enzima activada en un ambiente ácido.

Intestino delgado

Está dividido en tres segmentos: duodeno, yeyuno e íleon.

- El duodeno recibe secreciones del páncreas (enzimas) y del hígado (bilis).
- El yeyuno es el sitio principal de absorción de nutrientes.
- El íleon se encarga de absorber nutrientes específicos como la vitamina B12 y las sales biliares.

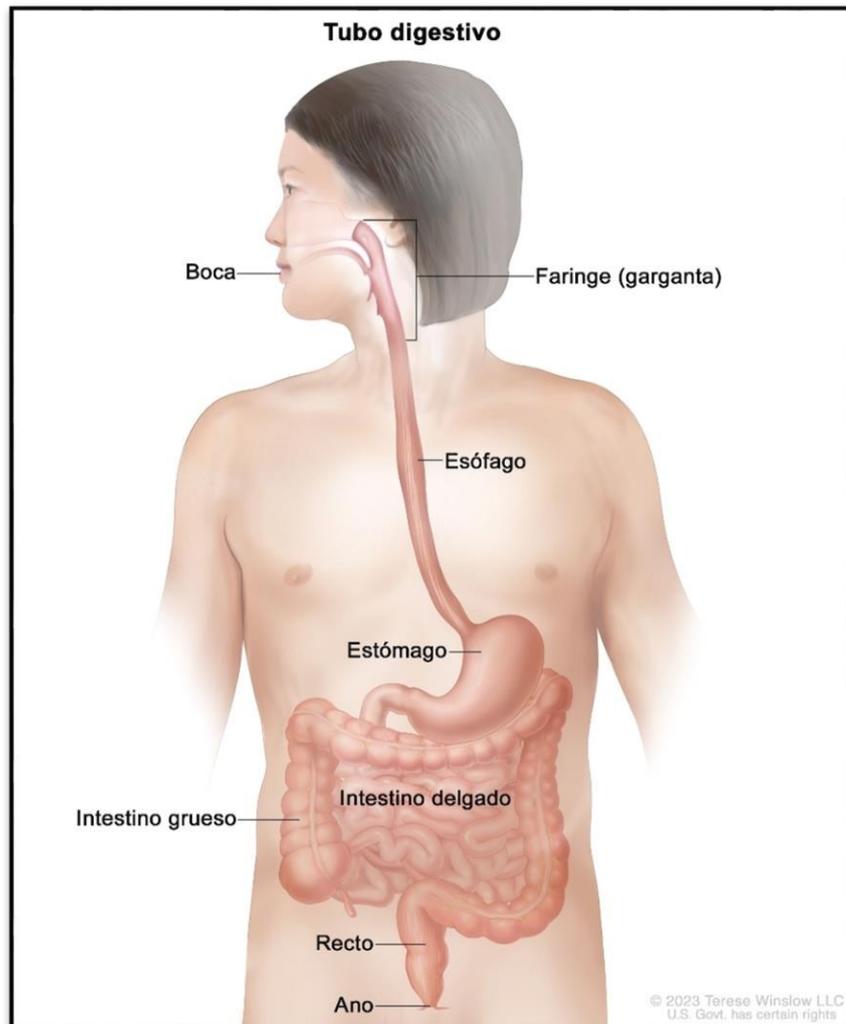
Aquí ocurre la mayor parte de la digestión química y la absorción de nutrientes hacia la sangre y la linfa.

Intestino grueso

Incluye el ciego, colon (ascendente, transverso, descendente y sigmoide), recto y ano. Su principal función es absorber agua y electrolitos, y compactar los residuos para formar las heces.

Figura 56

“Organización de capas musculares en la pared del tubo digestivo”



Nota. Extraído de: National Cancer Institute

B. Órganos accesorios de la digestión

Aunque no forman parte del tubo digestivo como tal, sus funciones son indispensables para la digestión:

- **Glándulas salivales:** producen saliva que contiene enzimas como la amilasa.
- **Hígado:** sintetiza la bilis, una sustancia que emulsiona las grasas, es decir, las fragmenta en pequeñas gotas para facilitar la acción de las enzimas lipolíticas.
- **Vesícula biliar:** almacena y libera la bilis hacia el duodeno cuando es necesario.
- **Páncreas:** secreta enzimas digestivas (amilasa, lipasa, tripsina, quimotripsina) y bicarbonato, que neutraliza la acidez del quimo al entrar en el intestino delgado.

Funciones Generales del Tubo Digestivo

El tubo digestivo lleva a cabo cinco funciones fundamentales:

1. **Ingestión.** Es la introducción del alimento en la cavidad oral.
2. **Propulsión.** Incluye la deglución y la peristalsis, que son movimientos musculares ondulatorios que empujan el bolo alimenticio a lo largo del tubo digestivo.
3. **Digestión**
 - **Mecánica:** fragmentación física del alimento (ej. masticación, contracciones estomacales).
 - **Química:** descomposición molecular mediante enzimas
 - específicas: Carbohidratos, Proteínas y Lípidos.
4. **Absorción.** Es el paso de los nutrientes ya digeridos desde el lumen intestinal hacia la sangre o la linfa.
 - La absorción sanguínea transporta aminoácidos, monosacáridos y algunas vitaminas hidrosolubles.
 - La absorción linfática lleva principalmente ácidos grasos y vitaminas liposolubles.
5. **Defecación.** Es la eliminación de los residuos no digeridos ni absorbidos en forma de heces, a través del recto y el ano.

Importancia de la Motilidad Digestiva

La motilidad gastrointestinal incluye todos los movimientos musculares del tubo digestivo que permiten el avance, mezcla y procesamiento del alimento:

- **Peristalsis:** contracciones rítmicas que impulsan el contenido hacia adelante.
- **Segmentación:** contracciones que mezclan el contenido intestinal, facilitando su exposición a enzimas y mucosa absorbente.

Una motilidad adecuada asegura la progresión del bolo alimenticio, la digestión eficiente y la absorción oportuna de los nutrientes. Alteraciones pueden producir patologías como estreñimiento, reflujo gastroesofágico, síndrome de intestino irritable, entre otros.

Control Nervioso de la Digestión

El sistema digestivo está regulado por dos tipos de control:

1. **Sistema nervioso entérico:** conocido como el "segundo cerebro", es una extensa red de neuronas localizada en las paredes del tracto gastrointestinal. Este sistema coordina de manera autónoma funciones como la secreción, el flujo sanguíneo y la motilidad intestinal, sin necesidad de intervención directa del sistema nervioso central.

2. **Sistema nervioso autónomo:**

- Parasimpático (nervio vago): estimula la digestión.
- Simpático: la inhibe en situaciones de estrés.

Esta relación estrecha entre el sistema digestivo y el sistema nervioso explica fenómenos como el dolor abdominal o alteraciones digestivas en contextos emocionales o de ansiedad.

Circulación en la Función Digestiva

La función digestiva requiere una irrigación eficaz proporcionada por la circulación esplácnica (arterias mesentéricas y gástricas).

- **Vena porta hepática:** Lleva los nutrientes absorbidos al hígado para su procesamiento.
- Funciones de la circulación digestiva:
 - Aporte de oxígeno y nutrientes.
 - Eliminación de desechos metabólicos.
 - Regulación del equilibrio hidroelectrolítico.

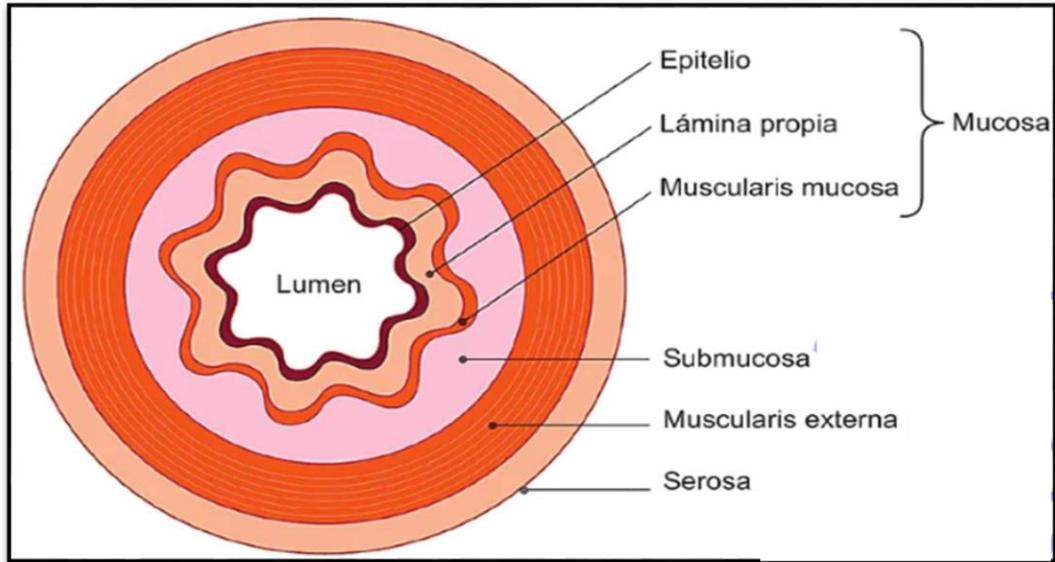
Durante la digestión, la mucosa libera sustancias vasodilatadoras que incrementan el flujo sanguíneo. El flujo en contracorriente en las vellosidades permite un intercambio eficiente, aunque limitado, de oxígeno.

Tipos de Músculo Liso en el Tracto Gastrointestinal

Presenta una organización estructural muy básica, que se encuentra dispuesta en capas: 1) mucosa, 2) submucosa, 3) zona muscular y 4) túnica serosa. Estas capas se encuentran en todo el tracto digestivo por debajo de la boca.

Figura 57

“Organización de capas musculares en la pared del tubo digestivo”



Nota. Extraído de: Udocz

1. Mucosa

El epitelio, es un epitelio cilíndrico simple, donde se forman pliegues que se les conoce como glándulas, pliegues circulares, microvellosidades, vellosidades que tienen como objeto aumentar la superficie de absorción. En el esófago este epitelio tiene forma de un epitelio plano estratificado no queratinizado. Su función principal es la absorción.

2. Submucosa

Es una capa muy celular (células inmunitarias) y vascular (vasos sanguíneos). Está formada por una capa de tejido conectivo denso e irregular y en su interior se va a formar el plexo mientérico de Meissner, que se encarga de la secreción de las glándulas y de la motilidad muscular de la mucosa.

3. Zona Muscular

Todo el tracto va a estar formado por dos tónicas musculares:

- Una tónica muscular interna, que tiene fibras circulares, en forma de anillo.
- Una tónica muscular externa, que tiene fibras longitudinales.
- En el estómago, se añade una tercera capa, que es una capa de fibras oblicuas.

- Entre la túnica circular y longitudinal, encontramos el plexo mientérico de Auerbach, que está encargado del control de las fibras musculares.
- En ciertas porciones se engrosan y forman esfínter.

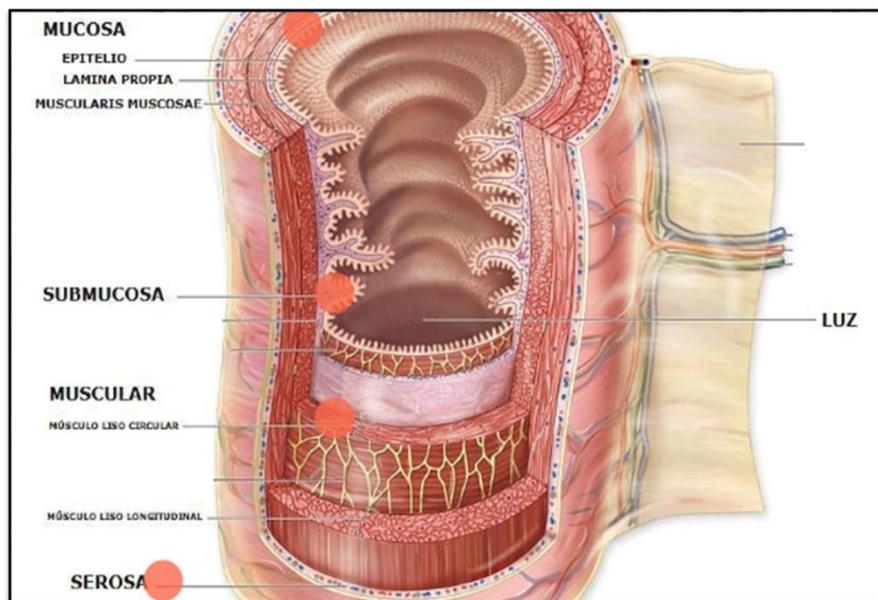
4. Túnica serosa

Tejido conectivo con una capa de células epiteliales planas, llamadas mesotelio.

En conjunto forman el peritoneo, que a nivel histológico va a estar formado por una hoja parietal y visceral y entre ambas hojas una cavidad, que estará llena de líquido que facilita los movimientos de locomoción, evita la fricción y actúa como barrera física e inmunológica para cada uno de los órganos que conforman el tracto gastrointestinal.

Figura 58

“Vista anatómica de la túnica serosa y su función como recubrimiento visceral”



Nota. Extraído de: “Udocz”

Circulación Gastrointestinal

La función digestiva requiere una irrigación eficaz proporcionada por la circulación esplácnica (arterias mesentéricas y gástricas).

- **Vena porta hepática:** Lleva los nutrientes absorbidos al hígado para su procesamiento.
- Funciones de la circulación digestiva:

- Aporte de oxígeno y nutrientes.
- Eliminación de desechos metabólicos.
- Regulación del equilibrio hidroelectrolítico.

Durante la digestión, la mucosa libera sustancias vasodilatadoras que incrementan el flujo sanguíneo. El flujo en contracorriente en las vellosidades permite un intercambio eficiente, aunque limitado, de oxígeno.

Actividad Eléctrica

La actividad eléctrica gastrointestinal es única. A diferencia de los demás tejidos que solo existe un potencial reposo y otro potencial de acción, sin puntos intermedios, la actividad gastrointestinal si tiene variaciones del potencial de acción, divididas en dos ondas; 1) Ondas lentas y 2) Espigas.

El potencial de reposo es aproximadamente y en promedio -56 mV (milivoltios).

1. **Ondas Lentas:** Conocidas como el ritmo eléctrico básico, son fluctuaciones rítmicas y espontaneas y ondulantes del potencial de membrana que oscilan - 50 y -60 mV, que producen contracciones rítmicas por las células intersticiales de Cajal, que son células en marcapasos como las del corazón. Se presentan en distintas zonas a lo largo del tracto intestinal
2. **Espigas:** Estas se encuentran en las puntas de las ondas lentas en formas de púas y son menos electronegativas, consideradas como verdaderos potenciales de acción que se desencadenan cuando las ondas lentas alcanzan un valor de -40 mV a una frecuencia de una a diez veces por segundo y suelen durar de 10 a 20 milisegundos. Se producen cuando hay presencia de alimentos, la estimulación del músculo por acetilcolina, nicotina, cafeína o sustancias que haga excitar el músculo y estimulación de hormonas **gastrointestinales**.

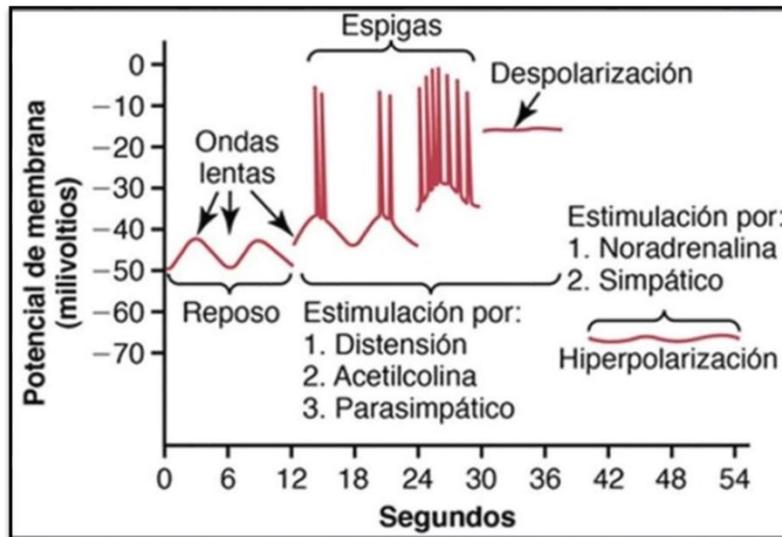
En la actualidad se considera un tercer patrón de ondas:

Complejo motor migratorio: Contracciones rítmicas que se observan durante el tiempo de ayuno, a pesar de no haber alimentos o sustancias. Este patrón de movimiento de inicia en el estómago y termina en el ilion. Tiene la función de barrer el material no digerido con bacterias y otros microorganismos que pueden ser excretados y empieza a las 3 horas tras la última ingesta de comida y se repiten hasta el nuevo

alimento.

Figura 59

“Representación de las ondas lentas y espigas en el músculo liso intestinal”



Nota. Extraído de: Medicosis Perfectionalis

Regulación de la Motilidad Gastrointestinal por Estímulos Locales y Hormonales

La motilidad gastrointestinal es la capacidad que tiene el tubo digestivo para mover su contenido a lo largo del tracto. Esta función es esencial para garantizar una digestión y absorción eficiente de los nutrientes. Los movimientos del sistema digestivo, como la segmentación, la peristalsis y los movimientos en masa, no son aleatorios: están cuidadosamente regulados por mecanismos nerviosos, hormonales y locales que permiten responder a las necesidades del cuerpo en cada etapa del proceso digestivo.

Regulación Nerviosa

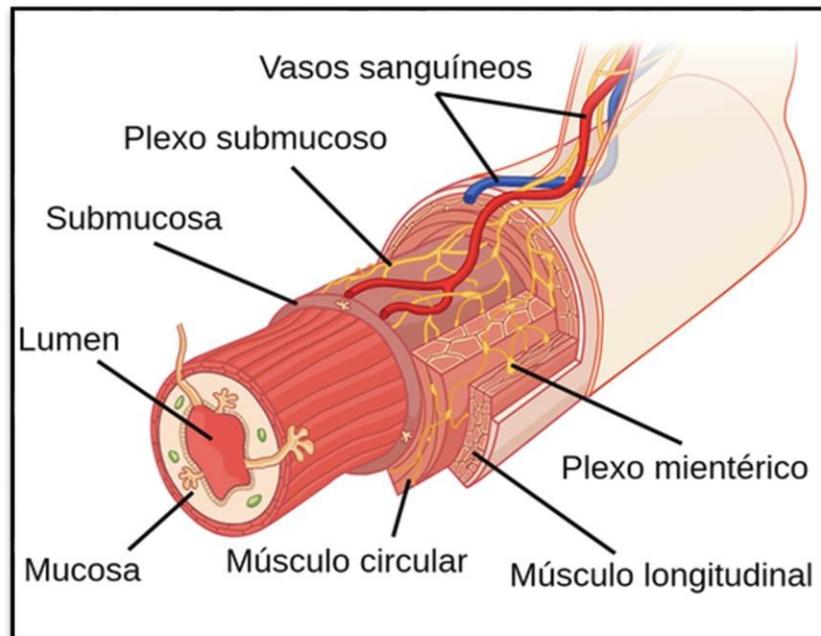
Una parte fundamental en la regulación de la motilidad es el sistema nervioso entérico (SNE), también llamado el "cerebro del intestino". Este sistema autónomo está formado por millones de neuronas distribuidas a lo largo de la pared del tubo digestivo. Se compone de dos redes principales:

- **Plexo mientérico (de Auerbach):** se localiza entre las capas musculares del tubo digestivo y regula principalmente la motilidad (las contracciones musculares que permiten el movimiento del contenido intestinal).

- **Plexo submucoso (de Meissner):** se encuentra en la submucosa y participa en el control de las secreciones intestinales y el flujo sanguíneo local.

Figura 60

“Esquema que muestra la localización y función del plexo submucoso, encargado de controlar secreciones y flujo sanguíneo a nivel de la submucosa intestinal”



Nota. Extraído de: “Labster. Myenteric plexus”

Ambos plexos permiten reflejos locales, sin necesidad de intervención del sistema nervioso central. Sin embargo, el sistema nervioso autónomo también influye:

- **Sistema parasimpático:** estimula la motilidad intestinal y aumenta la secreción de jugos digestivos.
- **Sistema simpático:** reduce la motilidad y secreciones; predomina en situaciones de estrés o peligro, cuando la digestión no es prioritaria.

Estos mecanismos permiten que el intestino responda rápidamente a señales como la presencia de alimentos, la distensión del tubo digestivo o los cambios en el pH.

Estímulos Locales

El tubo digestivo tiene la capacidad de detectar cambios en su entorno inmediato gracias a sensores especializados (receptores mecánicos, químicos y osmóticos) ubicados en la mucosa y submucosa. Estos receptores reaccionan ante:

- Distensión de la pared intestinal (por la llegada de alimento o líquidos).
- Presencia de ácidos, grasas, proteínas o productos de la digestión.
- Cambios en la osmolaridad o el pH.

Estos estímulos activan reflejos locales que generan contracciones musculares o liberación de secreciones digestivas. Por ejemplo, la presencia de alimento en el intestino delgado desencadena movimientos de segmentación para mezclarlo y favorecer su absorción.

Regulación Hormonal

El sistema digestivo también funciona como un sistema endocrino: contiene células enteroendocrinas que liberan hormonas directamente a la sangre en respuesta a la presencia de nutrientes o la acidez.

Las principales hormonas que regulan la motilidad gastrointestinal son:

Hormona	Origen	Acción principal sobre la motilidad
Gastrina	Células G del estómago	Estimula la motilidad gástrica y la secreción de ácido.
Secretina	Duodeno (células S)	Inhibe la motilidad gástrica, facilita secreciones alcalinas del páncreas.
CCK	Duodeno y yeyuno (células I)	Inhibe el vaciamiento gástrico, estimula la contracción de la vesícula biliar.
Motilina	Intestino delgado (durante ayuno)	Estimula el complejo motor migrante para limpiar el tubo digestivo.
GIP	Duodeno y yeyuno	Inhibe motilidad gástrica y secreción ácida.

La regulación nerviosa y hormonal no actúan por separado, sino que trabajan de forma coordinada para ajustar la motilidad de acuerdo con las necesidades digestivas en cada momento. Por ejemplo:

- Al ingerir alimentos, el estómago se distiende, lo cual activa reflejos nerviosos que estimulan la producción de gastrina.
- Esta hormona, a su vez, aumenta la motilidad gástrica y prepara al intestino delgado para recibir el quimo.
- Más adelante, cuando el quimo ácido llega al duodeno, se libera secretina, que disminuye la motilidad gástrica para permitir una digestión más lenta y eficiente en el intestino delgado.

La motilidad gastrointestinal está finamente regulada por una interacción compleja entre señales nerviosas, hormonales y estímulos locales. Esta regulación permite que los alimentos se desplacen de forma controlada a lo largo del tracto digestivo, se mezclen adecuadamente con las secreciones y se absorban de forma eficiente. Gracias a estos mecanismos, el sistema digestivo se adapta a diferentes tipos de alimentos, cantidades y situaciones fisiológicas.

Control Nervioso del Tubo Digestivo: Sistema Nervioso Entérico

Sistema Nervioso Entérico

El Sistema nervioso entérico es una de las partes más complejas del sistema nervioso periférico, y aunque mucha gente no lo conoce, es fundamental para el sistema digestivo funcione correctamente. Está formado por entre 80 a 100 millones de neuronas, lo cual es más de lo que tiene la médula espinal.

Este sistema tan complejo se desarrolla a partir de unas células especiales llamadas células de la cresta neural, principalmente de la región llamada vagal. Estas células comienzan a migrar hacia el tubo digestivo durante la cuarta semana del embarazo

También tienen que transformarse en distintos tipos de neuronas y células gliales que puedan cumplir funciones específicas dentro del intestino. Este proceso es muy delicado, y si algo falla, pueden producirse enfermedades, como por ejemplo la enfermedad de Hirschsprung, donde partes del intestino no tienen neuronas y no pueden moverse adecuadamente.

Neuronas Especializadas

Neuronas Aferentes Intrínsecas Primarias (NAIP): Estas neuronas detectan estímulos dentro del intestino, como el estiramiento de las paredes o la presencia de ciertos químicos. Aunque no conducen información sensorial de forma directa, reciben

señales que provienen de unas células llamadas enterocromafines, que sí actúan como sensores. Se encuentran tanto en el plexo mientérico como en el submucoso y utilizan principalmente el neurotransmisor acetilcolina.

Neuronas Motoras: Estas son las neuronas que hacen que el intestino se mueva, que las glándulas secreten, y que los vasos sanguíneos se dilaten o contraigan, pueden ser:

- **Excitatorias**, que estimulan la contracción de los músculos. Utilizan neurotransmisores como acetilcolina y sustancia P.
- **Inhibitorias**, que relajan la musculatura. Usan varios transmisores como óxido nítrico, PIV, GABA, ATP y monóxido de carbono. Subgrupos de estas neuronas son las secretomotoras, que regulan la secreción de agua y sales, y las vasomotoras, que controlan el flujo de sangre en la zona.

Interneuronas: Estas neuronas funcionan como intermediarias. Reciben la información desde las NAIP y la envían a las neuronas motoras, ayudando a coordinar la respuesta. Se dividen en:

- **Interneuronas ascendentes**, que llevan información hacia arriba y son principalmente colinérgicas.
- **Interneuronas descendentes**, que llevan información hacia abajo, y tienen una mayor complejidad química.

Neuronas intestinofugas: Sus cuerpos están en el plexo mientérico, pero sus prolongaciones van hasta los ganglios nerviosos fuera del tubo digestivo, como el ganglio mesentérico o el ganglio celíaco.

Funcionan como receptores del estiramiento o la presión intestinal, y ayudan a conectar el SNE con otras partes del sistema nervioso autónomo. Algunas de estas neuronas transmiten señales directamente sin pasar por otras neuronas intermedias.

El Sistema Inmune Y Su Relación con el Intestino

El papel principal del sistema inmune es reconocer y defendernos de sustancias extrañas o peligrosas, como bacterias dañinas. Pero también debe aprender a tolerar cosas normales como los alimentos, bacterias buenas o proteínas comunes.

Células dendríticas: Son las encargadas de "vigilar" lo que entra al intestino.

En condiciones normales, reconocen los antígenos sin activar una respuesta de defensa agresiva, promoviendo la tolerancia. Sí detectan una amenaza, se activan y hacen que las células T inicien una respuesta inmune.

IgA: Es el principal anticuerpo presente en las mucosas intestinales. Se fabrica principalmente en las placas de Peyer, y su función es evitar que los patógenos entren en el cuerpo a través del intestino.

Mastocitos: Son unas células inmunes que viven en la lámina propia del intestino. Están muy cerca de los nervios, lo que permite una comunicación directa entre el sistema inmune y el sistema nervioso entérico.

Células gliales entéricas: Antes se pensaba que solo servían de soporte para las neuronas, pero hoy sabemos que también protegen la mucosa, participan en la inflamación y ayudan a transmitir señales entre los sistemas inmune y nervioso.

Células Intersticiales de Cajal (CIC): los marcapasos del intestino: Las CIC son células mesenquimales especializadas, que se encuentran entre las neuronas entéricas y las células musculares lisas del tubo digestivo. Genera y transmite las llamadas “ondas lentas”.

Estas son pequeñas descargas eléctricas rítmicas que se propagan al músculo liso del intestino y que controlan la frecuencia (cronotropismo) y la fuerza (inotropismo) de las contracciones. Tienen forma alargada, están conectadas entre sí y cumplen un rol vital en la coordinación del movimiento intestinal.

Reflejos Gastrointestinales y Control Extrínseco

Reflejo Gastrointestinal

El sistema digestivo cuenta con un sistema complejo de movimientos de los alimentos y regulación de la secreción, las cuales son vitales para el funcionamiento óptimo del cuerpo humano. Los movimientos que ayudan al funcionamiento de este sistema son:

- Movimientos largos
- Movimientos cortos
- Y reflejos del sistema gastrointestinal

Reflejos Largos

Involucran al sistema nervioso central y se desencadenan por estímulos que se originan fuera del tracto gastrointestinal.

Estos se forman por una neurona sensorial que envía información al cerebro, Esta información sensorial puede provenir desde dentro del sistema digestivo, o desde fuera del cuerpo en forma de respuesta emocional, peligro, o una reacción a los alimentos.

Estas respuestas sensoriales alternativas desde fuera del sistema digestivo también se conocen como reflejos feedforward. Las respuestas emocionales también pueden desencadenar respuestas GI, como las mariposas en el estómago que se sienten cuando están nerviosas.

Reflejos Cortos

El control del sistema digestivo también es mantenido por el sistema nervioso entérico (SNE), que puede ser considerado como un cerebro digestivo que ayuda a regular la motilidad, secreción y crecimiento. El sistema nervioso entérico puede actuar como una respuesta rápida e interna a los estímulos digestivos. Cuando esto ocurre, se llama reflejo corto.

Tres tipos principales de reflejo gastrointestinal

- **Reflejo Enterogástrico:** El reflejo enterogástrico es estimulado por la presencia de niveles de ácido en el duodeno a un pH de 3—4 o en el estómago a un pH de 1.5. Cuando se estimula este reflejo, se cierra la liberación de gastrina de las células G- en el antro del estómago. A su vez, esto inhibe la motilidad gástrica y la secreción de ácido gástrico (HCl). La activación del reflejo enterogástrico provoca disminución de la motilidad.
- **Reflejo Gastrocólico:** El reflejo gastrocólico es el reflejo fisiológico que controla la motilidad, o peristalsis, del tracto gastrointestinal. Así, este reflejo es responsable del impulso de defecar después de una comida. El reflejo gastrocólico también ayuda a dejar espacio para la comida en el estómago.
- **Reflejo Gastroileal:** Funciona con el reflejo gastrocólico para estimular el impulso de defecar. Este impulso es estimulado por la apertura de la válvula ileocecal y el movimiento de los contenidos digeridos desde el íleon del intestino delgado hacia el colon para su compactación.

Influencia del Sistema Simpático y Parasimpático en la Función Gastrointestinal

El aparato gastrointestinal (GI) está dotado de una compleja red neurohumoral que regula su función motora, secretora, absorptiva e inmunológica. Esta regulación es ejercida a través de un sistema integrado, conformado por tres niveles funcionales: el sistema nervioso entérico (SNE), el sistema nervioso autónomo extrínseco (simpático y parasimpático), y el sistema nervioso central (SNC). El sistema simpático y el parasimpático actúan como moduladores extrínsecos del SNE, modulando su función según el estado fisiológico del organismo (reposo, estrés, digestión, etc.), con el objetivo de optimizar la eficiencia digestiva en función de la homeostasis sistémica.

Sistema Parasimpático:

Estimulación Digestiva

Organización anatómica y neurotransmisores

El sistema parasimpático se origina en núcleos del tronco encefálico y en la médula sacra (S2-S4), innervando el tracto gastrointestinal principalmente a través del nervio vago (hasta el ángulo esplénico del colon) y los nervios pélvicos (colon descendente, sigmoide y recto). El principal neurotransmisor es la acetilcolina (ACh), que actúa sobre receptores muscarínicos M1 y M3 en el SNE.

Funciones fisiológicas

- Estimulación de la motilidad gastrointestinal.
- Estimulación de la secreción exocrina y endocrina.
- Relajación de esfínteres.
- Coordinación de reflejos largos vago-vagales.

Sistema Simpático: Inhibición y Contención del Tránsito Digestivo

Organización anatómica y neurotransmisores

El sistema simpático se origina en la médula toracolumbar (T5-L2), haciendo sinapsis en ganglios prevertebrales. Las fibras postganglionares innervan el tubo digestivo, usando noradrenalina como neurotransmisor.

Funciones fisiológicas

- Inhibición de la motilidad intestinal.
- Vasoconstricción esplácnica.
- Contracción de esfínteres.
- Inhibición de secreciones.

Análisis crítico y fisiopatológico

El equilibrio entre el sistema simpático y parasimpático es esencial para la homeostasis gastrointestinal. Alteraciones en estos sistemas están implicadas en trastornos funcionales como el síndrome del intestino irritable, y en enfermedades como la diabetes y Parkinson. La comprensión y manipulación terapéutica de estos reflejos es clave en la medicina digestiva.

La influencia del sistema simpático y parasimpático sobre el tracto gastrointestinal constituye un eje fundamental en la regulación funcional del aparato digestivo. Su interacción con reflejos neuroentéricos como el gastrocólico, enterogástrico o duodenogástrico permite un control dinámico y adaptativo del tránsito y procesamiento digestivo.

Flujo Sanguíneo Gastrointestinal: Circulación Esplácnica

La circulación esplácnica abastece de sangre a los órganos digestivos, el bazo, el páncreas y el hígado. La sangre del intestino llega al hígado por la vena porta, donde se filtra antes de volver a la circulación general.

Procesamiento Hepático

- Nutrientes como carbohidratos y proteínas son absorbidos y almacenados en el hígado.
- Las grasas viajan por los linfáticos, evitando el hígado inicialmente.

Anatomía e Irrigación

- Arterias circulares penetran la pared intestinal y abastecen las vellosidades.
- Vellosidades contienen asas capilares entre arteriolas y vénulas.

Aumento del Flujo Postprandial

- Estimula vasodilatación por acción de colecistoquinina, secretina y péptido vasoactivo intestinal.
- Se liberan cininas como calidina y bradiginina.

Flujo en Contracorriente

- El oxígeno puede difundirse directamente de arteriolas a vénulas antes de alcanzar los extremos de las vellosidades, limitando su disponibilidad.

Control Nervioso del Flujo

- Estimulación parasimpática aumenta flujo y secreción. Simpática provoca vasoconstricción transitoria, revertida por mecanismos autorreguladores locales.
- Este sistema de control permite redistribuir el flujo sanguíneo según la demanda, priorizando otros órganos durante el ejercicio o el estrés.

Capítulo 8

Tejido muscular cardíaco

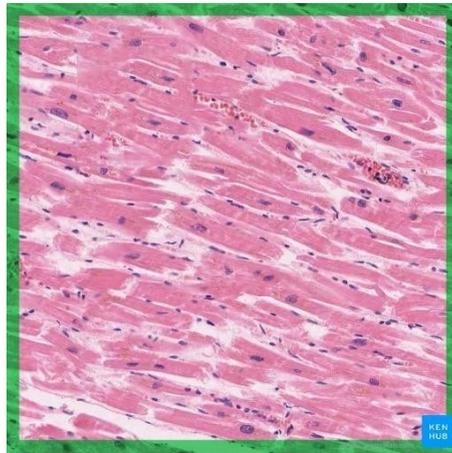
El tejido muscular cardíaco, también conocido como miocardio, constituye el motor incansable del cuerpo humano. Presente exclusivamente en las paredes del corazón, este tejido especializado combina características únicas de los músculos estriados con la capacidad de contraerse de manera involuntaria y rítmica, manteniendo la circulación sanguínea de forma continua durante toda la vida. Su estructura microscópica, sus mecanismos de contracción y su sistema de conducción interno lo convierten en una pieza clave para entender cómo late el corazón sin necesidad de órdenes conscientes. Esta guía tiene como objetivo explorar las particularidades del tejido cardíaco, desde su arquitectura celular hasta los procesos eléctricos y fisiológicos que regulan cada latido, ofreciendo una visión clara y completa que permita comprender su vital importancia en el contexto anatómico y funcional del cuerpo humano.

Definición y características del tejido muscular cardíaco

El tejido muscular cardíaco, también denominado miocardio, es un tipo especializado de músculo estriado que se encuentra exclusivamente en las paredes del corazón. Su principal función es producir contracciones involuntarias y rítmicas que permiten la circulación de la sangre. A diferencia del músculo esquelético, el músculo cardíaco no requiere control consciente para activarse, ya que posee un sistema interno de conducción y automatismo propio.

Figura 61

“La imagen corresponde a tejido muscular cardíaco visto al microscopio con tinción de hematoxilina y eosina (H&E)”



Nota. Extraído de: KenHub

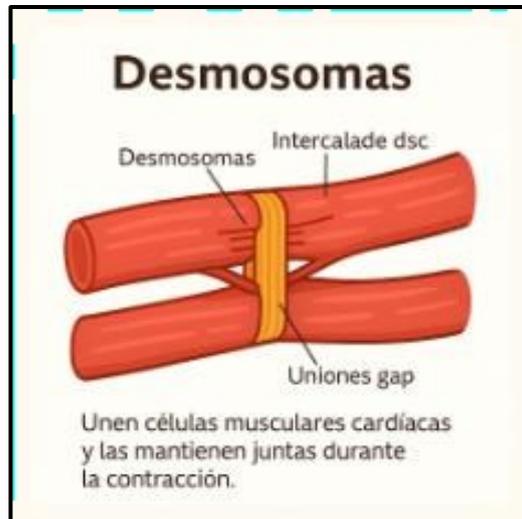
Estructura microscópica del músculo cardíaco

Las fibras del músculo cardíaco son células alargadas, ramificadas y generalmente poseen uno o dos núcleos centrales. Estas células se unen entre sí mediante discos intercalares, estructuras especializadas que permiten una conexión mecánica y eléctrica entre las células. Dentro de estos discos se encuentran:

- Desmosomas, que mantienen unidas las células durante la contracción.
- Uniones gap, que permiten el paso de iones y la transmisión rápida de impulsos eléctricos.
- Esta disposición permite que las células del miocardio se contraigan de forma sincronizada, actuando como un solo músculo funcional.

Figura 62

“Ilustración explicativa sobre desmosomas. Se observan dos células musculares cardíacas unidas entre sí mediante una región amarilla denominada disco intercalar (etiquetado como "Intercalade dsc")”



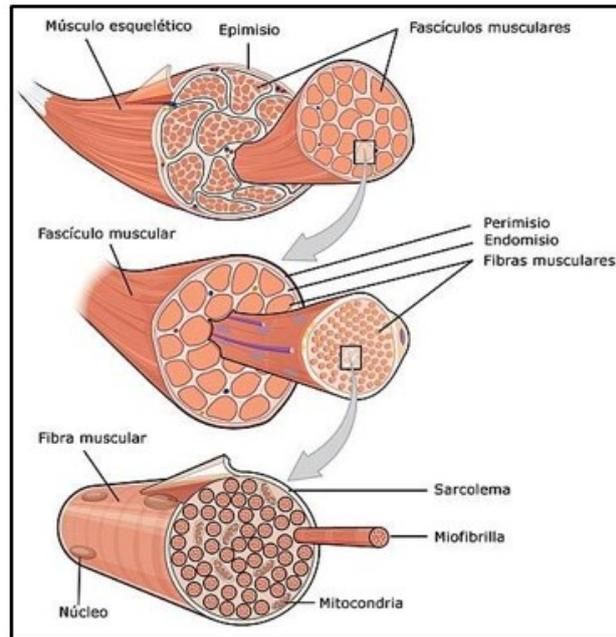
Nota. Extraído de: Khan Academy

Sarcómeros y estriación

El músculo cardíaco presenta una organización en sarcómeros, que son unidades contráctiles formadas por filamentos de actina y miosina. Esta estructura le otorga al músculo un aspecto estriado bajo el microscopio. La disposición ordenada de estos sarcómeros permite contracciones potentes y eficientes, similares a las del músculo esquelético.

Figura 63

“Estructura del músculo esquelético desde una vista macroscópica hasta una microscópica”



Nota. Extraído de: Khan Academy

Contracción involuntaria y rítmica

Una de las principales características del músculo cardíaco es su capacidad de contracción espontánea, involuntaria y rítmica, gracias a la existencia de células especializadas capaces de generar y conducir impulsos eléctricos sin estímulos externos. Esta propiedad, conocida como automatismo cardíaco, permite que el corazón lata de manera continua durante toda la vida.

- Estructura histológica del músculo cardíaco

El músculo cardíaco es un tipo de músculo estriado que comprende la capa muscular del corazón conocida como miocardio. Es capaz de realizar contracciones fuertes, continuas y rítmicas que se generan automáticamente.

Las contracciones del miocardio (músculo del corazón) son reguladas por nervios autónomos y por el sistema de conducción del corazón, lo que significa que está más allá del control de nuestra voluntad. La contractilidad puede ser alterada por el sistema nervioso autónomo y por hormonas. Además, este tipo de tejido tiene altas demandas metabólicas, energéticas y vasculares. La función principal del músculo cardíaco es permitir al corazón bombear sangre de forma rítmica para proveer de oxígeno y nutrientes a los tejidos del cuerpo.

Fisiología de la Contracción Cardíaca

- ¿Cómo se contrae el músculo cardíaco?

La contracción del músculo cardíaco es un proceso fundamental para la función de bombeo del corazón. Esta contracción es iniciada por impulsos eléctricos que se traducen en una acción mecánica mediante un mecanismo conocido como acoplamiento excitación-contracción. El miocardio, tejido muscular del corazón, está formado por células especializadas llamadas miocitos cardíacos, las cuales responden a estímulos eléctricos con una contracción coordinada.

- Potencial de acción en una célula cardíaca

El potencial de acción cardíaco es la señal eléctrica que desencadena la contracción. A diferencia del músculo esquelético, el potencial de acción de las células cardíacas tiene una duración mucho mayor (200-300 ms) y presenta una fase característica llamada meseta. Se genera principalmente en el nodo sinoauricular (SA), que actúa como marcapasos, y se propaga a través del sistema de conducción del corazón.

- Fases del potencial de acción: despolarización, meseta y repolarización

El potencial de acción en las células cardíacas contráctiles (ventriculares y auriculares) se divide en cinco fases:

- Fase 0 – Despolarización rápida: Ocurre una entrada masiva de iones de sodio (Na^+) a través de canales rápidos, lo que despolariza rápidamente la membrana.
- Fase 1 – Repolarización inicial: Salida transitoria de iones de potasio (K^+) que inicia una breve repolarización.
- Fase 2 – Meseta: Entrada prolongada de calcio (Ca^{2+}) a través de canales tipo L, que se equilibra con la salida de K^+ . Esta fase prolonga el potencial de acción, lo cual es esencial para evitar contracciones tetánicas y permite una contracción sostenida.
- Fase 3 – Repolarización rápida: Se cierran los canales de calcio y aumenta la salida de potasio, lo que devuelve la célula a su potencial de reposo.
- Fase 4 – Potencial de reposo: La célula mantiene un potencial estable gracias a la bomba Na^+/K^+ -ATPasa y al equilibrio iónico.

Entrada de calcio y acoplamiento excitación-contracción

Durante la fase de meseta, el calcio que entra a la célula no es suficiente por sí solo para causar la contracción, pero activa los receptores de rianodina en el retículo sarcoplásmico, provocando la liberación de grandes cantidades de calcio almacenado en la célula. Este mecanismo se denomina liberación de calcio inducida por calcio.

El aumento de calcio citoplasmático permite que este ion se una a la troponina C, lo que inicia el desplazamiento de la tropomiosina y permite la interacción entre los filamentos de actina y miosina, generando la contracción.

- Comparación con la contracción esquelética

Aunque ambos tipos de músculo utilizan el mecanismo de deslizamiento de filamentos, existen diferencias clave:

Tabla 1

“Características y clasificación del músculo cardíaco y el músculo esquelético”

Característica	Músculo cardíaco	Músculo esquelético
Control	Involuntario (autónomo)	Voluntario (sistema somático)
Potencial de acción	Larga duración con meseta	Corta duración
Fuente de calcio	Extracelular + retículo sarcoplásmico	Principalmente retículo sarcoplásmico
Acoplamiento excitación-con.	Liberación de Ca^{2+} inducida por Ca^{2+}	Acoplamiento directo por canales sensibles al voltaje
Uniones celulares	Discos intercalares con uniones GAP	No existen uniones eléctricas entre fibras
Contracción sostenida	No posible (período refractario largo)	Posible (tetania)

Rol del calcio intracelular y extracelular

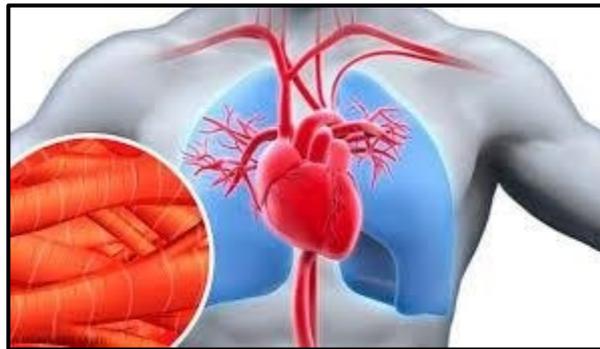
El calcio es el regulador clave de la contracción cardíaca. A diferencia del músculo esquelético, donde el calcio necesario proviene casi exclusivamente del retículo sarcoplásmico, el miocardio depende tanto del calcio extracelular como del intracelular.

- El calcio extracelular, que entra durante la fase de meseta, actúa como gatillo.
- El calcio intracelular, liberado desde el retículo sarcoplásmico, es el que finalmente permite la contracción del sarcómero.

La regulación de la concentración de calcio dentro del miocito es esencial para controlar la fuerza de contracción del corazón. Alteraciones en estos mecanismos pueden dar lugar a arritmias o insuficiencia cardíaca.

Figura 64

“Corazón y los pulmones, destacando el sistema circulatorio. En la esquina inferior izquierda, se muestra tejido muscular cardíaco, mostrando su estructura estriada”



Nota. Extraído de: Wikipedia

Sistema de conducción cardíaco

- Función
- ¿Cómo late el corazón solo?

El corazón humano tiene la capacidad de latir de manera autónoma, es decir, sin necesidad de recibir órdenes directas del cerebro para cada latido. Esta función automática es posible gracias a una red especializada de células conocida como sistema de conducción cardíaco. Este sistema genera y transmite impulsos eléctricos que hacen que el corazón se contraiga de forma rítmica y ordenada.

- Ritmicidad y automatismo cardíaco

El automatismo cardíaco es la capacidad del corazón para generar impulsos eléctricos por sí mismo. Esto se debe a que algunas células especializadas tienen una propiedad llamada ritmicidad, que consiste en despolarizarse espontáneamente, es decir, generar un impulso sin estímulo externo. Esta es la base del latido cardíaco regular.

- Rol del nodo SA como marcapasos natural

El principal generador de estos impulsos es el nodo sinoauricular (SA), localizado en la aurícula derecha, cerca de la desembocadura de la vena cava superior. Es conocido como

el marcapasos natural del corazón porque tiene la frecuencia de despolarización más alta de todas las estructuras del sistema de conducción.

Este nodo genera impulsos eléctricos aproximadamente entre 60 y 100 veces por minuto en condiciones normales. Cuando el nodo SA emite un impulso, este se propaga por ambas aurículas, provocando su contracción y el paso de la sangre hacia los ventrículos. Además, el nodo SA tiene la capacidad de ajustar la frecuencia cardíaca según las necesidades del cuerpo, por ejemplo, durante el ejercicio o el reposo, mediante la acción del sistema nervioso autónomo (simpático y parasimpático).

- Retraso fisiológico en el nodo AV

Después de que el impulso pasa por las aurículas, llega al **nodo auriculoventricular (AV)**, que se encuentra entre las aurículas y los ventrículos. En este nodo ocurre un retraso fisiológico breve de aproximadamente 0.1 segundos, que es fundamental para que las aurículas tengan tiempo de vaciar completamente la sangre hacia los ventrículos antes de que estos se contraigan. Este retraso es una parte clave de la coordinación del latido ya que, si no existiera, los ventrículos empezarían a contraerse mientras aún están siendo llenados, lo que provocaría una circulación ineficaz.

Velocidad de conducción en las diferentes estructuras

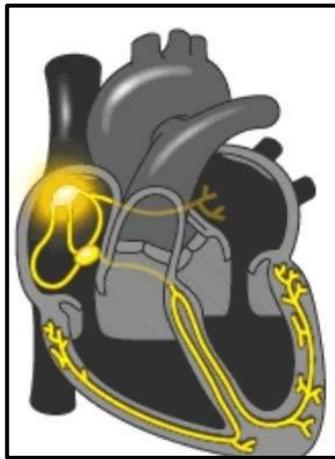
La velocidad de conducción del impulso eléctrico varía según la parte del sistema de conducción:

- Nodo SA: genera el impulso, pero su conducción es lenta.
- Aurículas: el impulso se propaga rápidamente por las fibras auriculares.
- Nodo AV: tiene una conducción lenta, por el retraso mencionado.
- Haz de His y fibras de Purkinje: conducen el impulso muy rápidamente, permitiendo que la contracción de los ventrículos sea eficiente y simultánea.

Estas diferencias en velocidad son fundamentales para lograr una contracción cardíaca coordinada y eficaz.

Figura 66

“Ilustración del corazón con énfasis en el sistema de conducción eléctrica cardíaco. Se destaca en amarillo el nodo sinoauricular (SA)”



Nota. Extraído de: “ResearchGate.”

Coordinación entre contracción auricular y ventricular

El corazón late gracias a una secuencia perfectamente coordinada entre sus cámaras superiores (aurículas) e inferiores (ventrículos). Esta coordinación asegura que la sangre fluya de manera ordenada y eficiente hacia los pulmones y el resto del cuerpo.

Esto tiene un proceso el cual se cumple paso a paso:

- Llenado de las aurículas (fase de reposo o diástole general)

Durante la fase de reposo del corazón, todas las cámaras están relajadas. En este momento: La aurícula derecha se llena de sangre pobre en oxígeno que viene del cuerpo (a través de las venas cavas).

La aurícula izquierda se llena de sangre rica en oxígeno proveniente de los pulmones (a través de las venas pulmonares).

Los ventrículos están vacíos y relajados, listos para recibir la sangre.

- Contracción de las aurículas (sístole auricular)

El latido comienza cuando el nodo sinoauricular (SA), marcapasos natural del corazón, genera un impulso eléctrico. Este impulso se propaga por las aurículas y provoca su contracción.

- Resultado:

La contracción auricular empuja la sangre hacia los ventrículos, llenándolos casi por completo.

Este paso asegura que los ventrículos estén bien cargados antes de contraerse.

Retraso en el nodo auriculoventricular (AV)

Después de pasar por las aurículas, el impulso eléctrico llega al nodo AV, donde ocurre un breve retraso fisiológico.

Este retraso tiene un propósito muy importante:

Permite que los ventrículos tengan tiempo suficiente para llenarse completamente con la sangre proveniente de las aurículas.

Evita que aurículas y ventrículos se contraigan al mismo tiempo, lo cual sería ineficiente.

- Contracción de los ventrículos (sístole ventricular)

Pasado el retraso, el impulso eléctrico se transmite rápidamente a través del Haz de His, las ramas derecha e izquierda, y las fibras de Purkinje.

Esto desencadena una contracción fuerte y simultánea de ambos ventrículos:

El ventrículo derecho bombea sangre hacia los pulmones a través de la arteria pulmonar.

El ventrículo izquierdo bombea sangre hacia todo el cuerpo a través de la aorta.

El ventrículo izquierdo tiene paredes más gruesas, porque necesita generar más presión para enviar la sangre a todo el organismo.

- Relajación y reinicio del ciclo

Tras la contracción ventricular, el corazón entra nuevamente en reposo (diástole), y las aurículas comienzan a llenarse de sangre otra vez. En este momento, se cierra un ciclo y se prepara el siguiente latido.

Este proceso se repite de forma rítmica y continua, entre 60 y 100 veces por minuto en reposo.

Resumen visual del ciclo cardíaco:

1. Aurículas se llenan de sangre.
2. Aurículas se contraen → sangre pasa a los ventrículos.
3. Retraso en nodo AV permite llenado completo.
4. Ventrículos se contraen → sangre va a pulmones y cuerpo.
5. Relajación y reinicio.

Regulación Nerviosa y Hormonal del Sistema de Conducción Cardíaco

El sistema de conducción cardíaco es el conjunto de estructuras especializadas que generan y transmiten impulsos eléctricos para que el corazón se contraiga de manera coordinada. Este sistema está regulado por mecanismos nerviosos y hormonales que ajustan la frecuencia y fuerza de los latidos según las necesidades del organismo.

- Regulación Nerviosa
- ¿Por qué es importante la regulación nerviosa?

Aunque el corazón tiene un marcapasos natural (el nodo sinoauricular), su ritmo se modifica constantemente según lo que el cuerpo necesita: dormir, correr, comer, etc.

Esto se logra gracias al sistema nervioso autónomo, que actúa sin que lo controlemos conscientemente.

- Dato que impresiona:

“El corazón trasplantado late sin nervios, porque se pierde la inervación simpática y parasimpática. Aun así, sigue latiendo gracias al nodo SA, demostrando que el corazón tiene autonomía, pero necesita el sistema nervioso para adaptarse al mundo real.

La regulación nerviosa depende del sistema nervioso autónomo (SNA), que actúa de forma involuntaria y se divide en:

- Sistema Nervioso Simpático
 - Aumenta la frecuencia cardíaca (taquicardia).
 - Estimula el nodo sinoauricular (SA) y el nodo auriculoventricular (AV).
 - Incrementa la fuerza de contracción del miocardio.
 - Se activa en situaciones de estrés, ejercicio o peligro (respuesta de lucha o huida).

- Neurotransmisor principal: noradrenalina (norepinefrina).
- Sistema Nervioso Parasimpático
 - Disminuye la frecuencia cardíaca (bradicardia).
 - Actúa principalmente sobre el nodo SA a través del nervio vago (X par craneal).
 - Predomina en reposo, relajación y digestión.
 - Neurotransmisor principal: acetilcolina.

Figura 67

“Diagrama del sistema nervioso, parasimpático (celeste) y simpático (rojo)”



Nota. Extraído de: "www.medicity.com."

- Efecto de la adrenalina y noradrenalina

Estas dos hormonas (también llamadas catecolaminas) son claves en situaciones de estrés o peligro.

- Adrenalina(epinefrina):

Liberada desde las glándulas suprarrenales, aumenta la frecuencia cardíaca, la contracción y la velocidad de conducción.

- Noradrenalina(norepinefrina):

Actúa como neurotransmisor en el sistema simpático y como hormona, potenciando el efecto acelerador sobre el corazón.

Sistema de conducción cardiaco

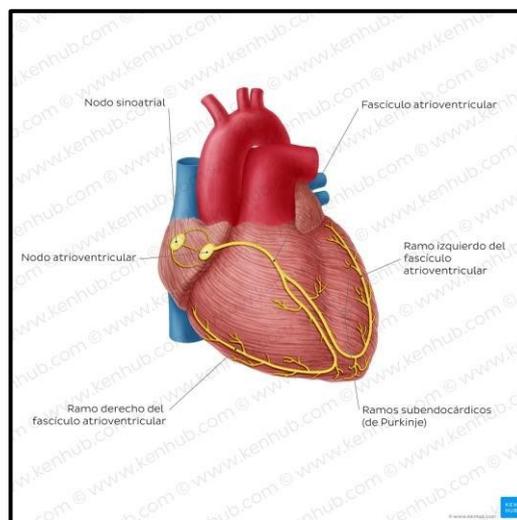
- Cables eléctricos del corazón

Este sistema está formado por estructuras especializadas que funcionan como si fueran cables eléctricos que transmiten señales. Aquí encontramos el:

- Nódulo sinoauricular (SA)
- Nódulo auriculoventricular (AV)
- Haz de His, ramas derecha e izquierda
- Fibras de Purkinje

Figura 68

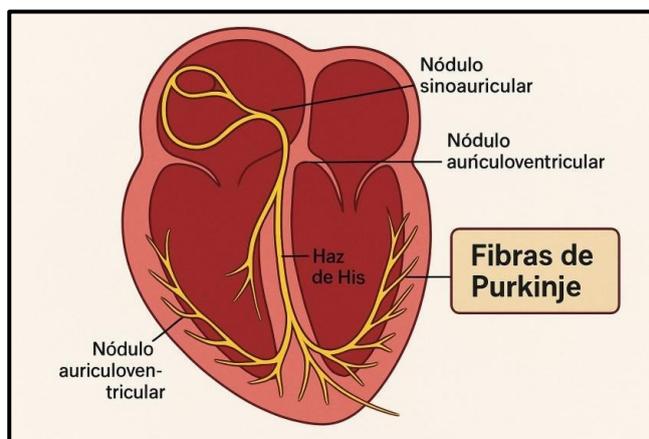
“La imagen muestra el sistema de conducción eléctrica del corazón, encargado de coordinar los latidos”



Nota. Extraído de: KenHub

Figura 69

“Sistema que controla los latidos del corazón. Nódulo sinoauricular, nódulo auriculoventricular, Haz de His, fibras de Purkinje”



Nota. Extraído de: Wikipedia

Sistema de conducción cardíaco

Estas estructuras forman en conjunto el sistema de conducción cardíaco: una secuencia precisa de estructuras que actúan como cables eléctricos internos del corazón, regulando el ritmo y sincronización de cada latido. Los impulsos generados y transmitidos por este sistema permiten que el corazón actúe como una bomba eficiente. Las fibras de Purkinje, en particular, son células altamente especializadas, con abundante glucógeno, pocos miofilamentos y una conducción extremadamente rápida del estímulo eléctrico, lo que permite una despolarización casi simultánea de todo el músculo ventricular. Este sistema es vital para mantener la homeostasis circulatoria y cualquier alteración en su funcionamiento puede dar lugar a arritmias cardíacas, algunas de las cuales pueden ser potencialmente mortales si no se corrigen.

El Haz de His y las fibras de Purkinje son componentes esenciales del sistema de conducción cardíaco, cuyo papel es garantizar que la contracción del corazón sea organizada, eficiente y secuencial, permitiendo un bombeo adecuado de la sangre hacia los pulmones y el resto del cuerpo. El Haz de His es una estructura de tejido especializado ubicada en el tabique interventricular, justo por debajo del nódulo auriculoventricular (AV). Este haz actúa como una vía única de conexión eléctrica entre las aurículas y los ventrículos, ya que el tejido fibroso del esqueleto cardíaco aísla eléctricamente ambas cámaras. El impulso eléctrico generado inicialmente por el nódulo sinoauricular viaja hasta el nódulo AV, y desde allí pasa al Haz de His, que se encarga de conducirlo de forma

rápida hacia los ventrículos. El Haz de His se divide en dos ramas principales: la rama derecha y la rama izquierda, que descienden por ambos lados del tabique interventricular. La rama izquierda a su vez suele subdividirse en fascículos anterior y posterior. Estas ramas permiten que el impulso se distribuya de manera simétrica hacia ambos ventrículos.

Al final de estas ramas se encuentran las fibras de Purkinje, que son una red extensa de fibras especializadas que recorren el endocardio ventricular. Estas fibras están diseñadas para transmitir el impulso eléctrico de forma extremadamente rápida, asegurando que la contracción del miocardio ventricular se inicie casi simultáneamente en todas las regiones del ventrículo, particularmente comenzando desde el ápex hacia la base del corazón.

Conclusión

La fisiología humana estudia los procesos que permiten mantener el equilibrio interno del cuerpo y garantizar su correcto funcionamiento frente a los constantes cambios del entorno. Uno de los principios fundamentales es la homeostasis, que se regula mediante mecanismos biológicos de control que equilibran los compartimentos líquidos corporales, el pH y los niveles de electrolitos, incluso ante condiciones como el envejecimiento.

El sistema endocrino, en especial las hormonas hipofisarias, desempeña un papel clave en la regulación de múltiples funciones, desde el metabolismo hasta el crecimiento y la reproducción. De igual manera, la anatomía funcional del riñón permite entender su rol esencial en la filtración, regulación del equilibrio hidroelectrolítico y ácido-básico. A su vez, el sistema gastrointestinal demuestra una compleja coordinación entre motilidad, control nervioso y circulación para asegurar la digestión y absorción de nutrientes. También, permiten relacionar el estado sistémico del paciente con su salud oral, considerando el impacto de enfermedades renales y digestivas sobre tejidos dentales y periodontales.

El estudio del tejido muscular cardíaco y el sistema de conducción permite comprender cómo se genera y regula el latido cardíaco, mientras que la ventilación pulmonar asegura el intercambio gaseoso indispensable para la vida. En el ámbito neurológico, la función de la sinapsis neuronal es clave para la transmisión de señales entre neuronas, y se relaciona directamente con la contracción del músculo esquelético, regulada por el potencial de membrana y mecanismos de contracción.

El sistema hematológico es esencial para mantener la integridad vascular y la defensa del organismo. La coagulación de la sangre, junto con el conocimiento de trastornos como la hemofilia y la trombocitopenia, permite entender las causas y consecuencias de las hemorragias excesivas.

Finalmente, los sentidos del gusto y olfato complementan la integración sensorial del cuerpo humano, mostrando cómo la fisiología abarca desde funciones vitales internas hasta la percepción del entorno. Esta guía ofrece una visión integral de los sistemas fisiológicos más relevantes, promoviendo la comprensión de los procesos que sostienen la vida y la salud del ser humano.

Bibliografía

- American Liver Foundation. (s.f.). *Bleeding Disorders and Liver Disease*.
<https://liverfoundation.org/patients/diseases-of-the-liver/bleeding-disorders-and-liver-disease/>
- Apollo Hospitals. (s.f.). Thrombocytopenia (Low platelet count).
<https://www.apollohospitals.com/es/diseases-and-conditions/thrombocytopenia-low-platelet-count>
- Álvarez-Román, M. T. & Fernández-Bello, I. (2023). Recent advances in the mechanisms and treatment of ITP. *EBioMedicine*, 76, 103820.
<https://doi.org/10.1016/j.ebiom.2023.103820>
- Aréchiga, H. (2000). *Conceptos homeostasis*. UNAM.
- Arias, S. S. (6 de julio de 2023). *Mejorconsalud AS*. <https://mejorconsalud.as.com/que-es-el-equilibrio-hidroelectrolitico/>
- Balada, F. (2024). *Qué son los botones sinápticos*. Neurociencia.
- Barnaclinic. (s.f.). *Trastornos de la motilidad intestinal, cómo evitar graves consecuencias*.
<https://www.barnaclinic.com/blog/digestivo/motilidad-intestinal/>
- Bear, M. F., Connors, B. W. y Paradiso, M. A. (2020). *Neurociencia: La exploración del cerebro* (4.ª ed.). Lippincott Williams & Wilkins.
- Beltrán, I. (28 de 12 de 2024). *Biolaster energy physiology*.
<https://www.biolaster.com/rendimiento-deportivo/metabolismo-energetico/>
- Bengochea, K. (2024). *Potenciales postsinápticos*. Universidad Regis.
- Bengochea, T. (2022). Definición de Exocitosis- mecanismos constitutivo y regulada, y moléculas exportadas. Enciclopedia.
- Betts, J.G., Young, K.A., Wise, J.A., Johnson, E., Poe, B., Kruse, D.H., et al. (2013). *Anatomy and Physiology* [Internet]. OpenStax. <https://openstax.org/books/anatomy-and-physiology/pages/1-introduction>
- Biomodel. (2025). *Surfactante pulmonar*. <https://biomodel.uah.es/model2/lip/surfac-lung.htm>
- Calvo, I. (2023). *Botones Sinápticos: Funciones en el Sistema Nervioso*. Mentees Abiertas Psicología S.L.
- Cannon, W.B. (1932). *The Wisdom of the Body*. W.W. Norton.

- Cáncer. (2011, 2 de febrero). *Diccionario de cáncer del NCI*.
<https://www.cancer.gov/espanol/publicaciones/diccionarios/diccionario-cancer/def/tubo-digestivo>
- Cardozo, E. (2022). *Fisiología de la hemostasia*. Apunty.
<https://apunty.com/doc/fisiologia-de-la-hemostasia-pdf-fisiologia-y>
- Castillero Mimenza, O. (2016, diciembre 20). *¿Qué es el espacio sináptico y cómo funciona?*
<https://psicologiaymente.com/neurociencias/espacio-sinapticoM>
- Castillo, F. (2019). *Capítulo 27: filtración glomerular, flujo sanguíneo renal y su control*.
<https://franciscocast22.wordpress.com/2019/04/16/capitulo-27-filtracion-glomerular-flujo-sanguineo-renal-y-su-control/>
- Ceresetto, J.M. (2017). Fisiología de la hemostasia. Introducción general. *Hematología*, 21(Extra), 4–6. <https://www.sah.org.ar/revistasah/numeros/vol21/extra/08-Vol%2021-extra.pdf>
- Chapin, J.C. & Flaumenhaft, R. (2019). The role of platelets in fibrinolysis. *J Thromb Haemost*, 17(9), 1329–39.
- Colman, R.W., Clowes, A.W., George, J.N., Marder, V.J. (2017). (editors). *Hemostasis and thrombosis: basic principles and clinical practice*. 6th ed. Wolters Kluwer.
- Concep-Biology. (1 de mayo de 2023). *Primary*. https://flexbooks.ck12.org/cbook/ck-12-conceptos-biologia/section/13.13/primary/lesson/contracci%C3%B3n-muscular/?utm_source
- Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC). (2023). *La restauración de sinapsis, nueva estrategia contra el alzhéimer*. <https://www.csic.es/es/actualidad-del-csic/la-restauracion-de-sinapsis-nueva-estrategia-contra-el-alzheimer>
- Crowther R. A., Padrón R. & Craig R. (1985). Arrangement of the heads of myosin in relaxed thick filaments from tarantula muscle. *J. Mol. Biol.*, 184, 429-439.
- CUN. (s.f.). *Púrpura trombocitopénica*. <https://www.cun.es/enfermedades-tratamientos/enfermedades/purpura-trombocitopenica>
- Depositphotos. (2024). *Riñón normal y pielonefritis crónica*.
<https://depositphotos.com/es/vector/normal-kidney-and-chronic-pyelonephritis-95710180.html>
- Diagnosing Thrombocytopenia. (2018, January 25). *Hematology-Oncology Associates of CNY*. <https://www.hoacny.com/patient-resources/blood-disorders/what-thrombocytopenia/what-causes-thrombocytopenia/diagnosing>

- Docsiy. (2024). *Producción de Orina. Esquemas y mapas conceptuales de Fisiología Animal*. <https://www.docsiy.com/es/docs/produccion-de-orina-fisiologia/11224638/>
- DrTango, Inc. (2023). *Conteo de plaquetas*. Medlineplus. <https://medlineplus.gov/spanish/ency/article/003647.htm#:~:text=Resultados%20normales&text=La%20cantidad%20normal%20de%20plaquetas,o%20podr%C3%AADan%20evaluar%20diferentes%20muestras.>
- Eclinpath. (s.f.). *Primary hemostasis*. <https://eclinpath.com/hemostasis/physiology/primary-hemostasis/>
- Fbbva. (2021). *Tipos de broncodilatadores y técnicas de inhalación | Libro de las enfermedades alérgicas de la Fundación BBVA y SEAIC*. <https://www.fbbva.es/alergia/el-tratamiento-de-las-enfermedades-alergicas/los-broncodilatadores/>
- FDCTimes Salud. (s.f.). *Tipos de trombocitopenia*. <https://salud.fdctimes.com/Salud/Enfermedades/1019169241.html>
- Garcia-Tsao, G. & Lim, J.K. (2009). Management of varices and variceal hemorrhage in cirrhosis. *N. Engl. J. Med.*, 361(13), 1277–87.
- Gerard, J.T. (2018). *Principios de anatomía y fisiología*. 15^a ed. DUO.
- George, J. N. & Nester, C. M. (2009). Syndromes of Thrombotic Microangiopathy. *New England Journal of Medicine*, 361(7), 651–665. <https://doi.org/10.1056/NEJMra0902925>
- Grimaldo Gómez, F.A. (2017). Fisiología de la hemostasia. *Rev. Mex. Anestesiología*, 40(2), S398–400. <https://www.medigraphic.com/pdfs/rma/cma-2017/cmas172b.pdf>
- Guggiana, M. F., García, M. C., Peynado, E. N. y López, A. V. (2014, May). *Hipófisis. Anatomía y principal patología tumoral*. European Congress of Radiology-SERAM 2014. <https://dx.doi.org/10.1594/seram2014/S-1009>
- Guyton, A. C. y Hall, J. E. (2021). *Tratado de fisiología médica* (14.^a ed.). Elsevier.
- Guyton, A. C. y Hall, J. E. (2016). *Tratado de Fisiología Médica*. 13^a edición. Editorial Elsevier.
- Hall, J. (2016). *Guyton & Hall. Tratado de fisiología médica*. Elsevier.
- Hall, J.E. (2015). *Guyton y Hall, libro de texto de fisiología médica* (13.^a ed.). WB Saunders. <https://www.youtube.com/watch?v=z1zwubrWls>

- Hasudungan, A. (2014, July 4). *Autonomic Nervous System - Anatomy & Physiology* [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=QY9NTVh-Awo>
- Hawkins, S., & Mingorance, J. (2024). *Arcada dental*. <https://clinicaceodent.es/arcada-dental-que-es-tipos/hidroelectrolítico>, E. (30 de julio de 2024). *Mdline Plus*. <https://medlineplus.gov/spanish/fluidandelectrolytebalance.html>
- Hoffman, M. & Monroe, D.M. (2021). A cell-based model of hemostasis. *Thromb Haemost*, 121(9), 1109–20.
- Hoffman, M., Monroe, D.M. & Roberts, H.R. (2022). Hemostasis and liver disease. *Clin Liver Dis*, 11(2), 263–75.
- Hyman, S. E. (2005). Neurotransmitters. *Current Biology*, 15(5), R154–R158.
- Instituto Nacional sobre el Envejecimiento. (2023). *¿Qué sucede en el cerebro en la enfermedad de Alzheimer?* <https://www.nia.nih.gov/espanol/alzheimer-causas-factores-riesgo/sucede-cerebro-enfermedad-alzheimer>
- Instituto Nacional del Cáncer. (2023). *Trombocitopenia: causas y tratamiento*. <https://www.cancer.gov/espanol/cancer/tratamiento/efectos-secundarios/trombocitopenia>
- Johnson, L.E. (2024). *Deficiencia de vitamina K [Internet]. Manual MSD versión para profesionales*. <https://www.msdmanuals.com/es/professional/trastornos-nutricionales/deficiencia-dependencia-e-intoxicación-vitamínica/deficiencia-de-vitamina-k>
- Junqueira & Carneiro, J. (s.f.). *Histología Básica: Texto y Atlas* (14ª edición ed.).
- Junqueira, L. C. y Carneiro, J. (2016). *Histología Básica: Texto y Atlas*. 14ª edición. Editorial McGraw-Hill.
- Kandel, E. R., Schwartz, J. H., Jessell, T. M., Siegelbaum, S. A. y Hudspeth, A. J. (2013). *Principios de neurociencia* (5.ª ed.). McGraw-Hill.
- Khan Academy Medicine. (2013, April 22). *Autonomic nervous system introduction* [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=71pCilo8k4M>
- Kenhub. (2023). *Sistema urinario*. <https://www.kenhub.com/es/library/anatomia-es/rinon-histologia>
- Kenhub. (2023). *Internal structure of the kidney*. <https://www.kenhub.com/en/library/anatomy/renal-corpuscle>
- Kenhub. (2023). *Sistema urinario*. <https://www.kenhub.com/es/library/anatomia-es/anatomia-de-los-rinones>

- Mayo Clinic. (2024). *Inhibidores selectivos de la recaptación de serotonina (ISRS)*.
<https://www.mayoclinic.org/es/diseases-conditions/depression/in-depth/ssris/art-20044825>
- Mayo Clinic. (s.f.). *Trombocitopenia: síntomas y causas*.
<https://www.mayoclinic.org/es/diseases-conditions/thrombocytopenia/symptoms-causes/syc-20378293>
- Mayo Clinic. (2023, 11 de julio). *Trombocitopenia (recuento bajo de plaquetas)*.
<https://www.mayoclinic.org/es/diseases-conditions/thrombocytopenia/symptoms-causes/syc-20378293>
- Mayo Clinic. (2023, 11 de julio). *Trombocitopenia: diagnóstico y tratamiento*.
<https://www.mayoclinic.org/es/diseases-conditions/thrombocytopenia/diagnosis-treatment/drc-20378298>
- M.D. M. M. (1999). Water Balance in Older Persons. En J. E. Morley, *Endocrinology of aging* (pp. 73-92). Humana Press.
- Médicas, N. (s.f.). *Desequilibrio hidroelectrolítico*.
<https://www.noticiasmedicas.es/salud/desequilibrio-hidroelectrolitico/>
- Meditip, El portal en salud. (03 de julio de 2018). *Hiperventilación: causas, síntomas y tratamiento*. Meditip. <https://www.meditip.lat/salud-de-la-a-z/enfermedades-respiratorias/hiperventilacion/>
- MedlinePlus. (s.f.). *Conteo de plaquetas: enciclopedia médica [Internet]*. National Library of Medicine. <https://medlineplus.gov/spanish/ency/article/003647.htm>
- MedlinePlus. (2024). *Trombocitopenia*.
<https://medlineplus.gov/spanish/ency/article/000586.htm>
- MedlinePlus. (2023, 15 de agosto). *Trombocitopenia*. Biblioteca Nacional de Medicina de EE. UU. <https://medlineplus.gov/spanish/thrombocytopenia.html>
- Merck Manuals. (2023). *Neurotransmisión - Trastornos neurológicos*.
<https://www.merckmanuals.com/es-us/professional/trastornos-neurol%C3%B3gicos/neurotransmisi%C3%B3n/neurotransmisi%C3%B3n>
- Mescher, A. L. (2021). *Histología: Texto y Atlas en Color*. 13ª edición. Editorial McGraw-Hill Education.
- Moles Guerrero, M. del M., et al. (2025). Recomendaciones actuales en trombocitopenia inmune primaria (PTI). *Revista Electrónica de Portales Médicos*.

<https://www.revista-portalesmedicos.com/revista-medica/recomendaciones-actuales-en-trombocitopenia-inmune-primaria-pti/>

Moore, K. L., Dalley, A. F. & Agur, A. M. R. (2014). *Clinically Oriented Anatomy* (7th ed.). Lippincott Williams & Wilkins.

Moore, K. L. y Agur, A. M. R. (2018). *Fundamentos de anatomía con orientación clínica* (7.^a ed.). Wolters Kluwer.

Moreno, H., & B. C. (2015). Transmisión sináptica-canales de calcio y liberación de neurotransmisores. *Revista Ciencias de la Salud*, 3(1).

Navarra. (2023). *Transmisión sináptica*. Clínica Universidad de Navarra.

National Cancer Institute. (s.f.). *Diccionario de cáncer del NCI*.

<https://www.cancer.gov/espanol/publicaciones/diccionarios/diccionario-cancer/def/plaqueta>

NCBI. (2009). *The ITP syndrome: Pathogenic and clinical diversity*.

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2710913/>

Labtestsonline. (2024). *Factores de la coagulación*.

<https://www.labtestsonline.es/tests/factores-de-la-coagulacion>

Labster. (2025). *Volúmenes pulmonares*. <https://theory.labster.com/es/lung-volumes/>

Lee, B. (2024). *Thrombocytopenia Due to Splenic Sequestration*. Merck Manuals

Professional. <https://www.merckmanuals.com/professional/hematology-and-oncology/thrombocytopenia-and-platelet-dysfunction/thrombocytopenia-due-to-splenic-sequestration>

Lippi, G., Favaloro, E.J. & Cervellin, G. (2020). Hemostasis and thrombosis. En: Burtis C.A., Bruns D.E., editores. *Clinical chemistry: theory, analysis, correlation*. 6th ed. Elsevier. pp. 696–729.

Locanto. (2025). *Otros servicios*. <https://www.locanto.com.mx/merida/Otros-servicios/502/>

Lodish, H., Berk, A., Kaiser, C. A. et al. (2021). *Molecular Cell Biology* (9th ed.). W. H. Freeman.

Osmosis. (2020, march 25). *Sympathetic vs Parasympathetic Nervous System* [Video]. YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=5Xf3_KGzD9I

Pascual, V. d. (15 de junio de 2020). *Cómo los alimentos influyen en nuestro equilibrio ácido/base*. Proyecto Sendo. <https://www.proyectosendo.es/como-los-alimentos-influyen-en-nuestro-equilibrio-acido-base/>

- Pérez, J. I. (18 de febrero de 2018). *El transporte de dióxido de carbono*. Cuaderno de Cultura Científica. <https://culturacientifica.com/2018/02/13/sistemas-respiratorios-transporte-dioxido-carbono/>
- Prado, J. E. (s.f.). Capítulo 38: Trastornos del metabolismo del agua en el paciente anciano. En G. A. Rosalía María del Carmen Rodríguez García, *Práctica de la geriatría*. McGraw Hill Education.
- Puerma, J. (2024). *Hipofisis y hormonas*.
- Purves, D., Augustine, G. J., Fitzpatrick, D., et al. (2018). *Neuroscience* (6th ed.). Oxford University Press.
- Quirónsalud. (2021, 17 de junio). *Motilidad gastrointestinal*.
<https://www.quironsalud.com/blogs/es/blogbisturi/motilidad-gastrointestinal>
- Raffino, Equipo editorial, Etecé (7 de septiembre de 2021). *Retroalimentación positiva y negativa*. <https://concepto.de/retroalimentacion-positiva-y-negativa/>
- Reinoso Suárez, F. (2016). *Neurociencia y conducta*. Editorial Médica Panamericana.
- Ross, M. H. y Pawlina, W. (2016). *Histología: Texto y Atlas con Correlación Funcional y Clínica*. 7ª edición. Editorial Wolters Kluwer.
- Rubio, N.M. (2022). *Alvéolos pulmonares: características, funciones y anatomía*.
<https://psicologiyamente.com/salud/alveolos-pulmonares>
- Sánchez Jordán, J. M., Paraíso, B. y Barranquero Gómez, M. (2025, 8 abril). *Hormona FSH: ¿cuáles son sus funciones y valores normales?*
<https://www.reproduccionasistida.org/fsh/#fsh-en-la-mujer>
- Smock, K. J. & Perkins, S. L. (2014). Thrombocytopenia: An Update. *International Journal of Laboratory Hematology*, 36(3), 269–278. <https://doi.org/10.1111/ijlh.12214>
- Sosa Romano, L. L. (s.f.). *Fisiología de la motilidad gastrointestinal*.
<https://fisiologia.facmed.unam.mx/index.php/funciones-gastrointestinales-digestion-y-absorcion-de-nutrimientos/>
- Sharma, S. K. (2020). Thrombotic Thrombocytopenic Purpura. *International Journal of Trend in Scientific Research and Development (IJTSRD)*, 4(4), 60-65.
<https://www.ijtsrd.com/papers/ijtsrd47659.pdf>
- Sociedad Chilena de Hematología. (2015). *Guías prácticas clínicas para el diagnóstico y tratamiento de trombocitopenia inmune*.
<https://www.sochihem.cl/bases/arch1303.pdf>
- Standring, S. (2016). *Gray's Anatomy* (41st ed.). Elsevier Churchill Livingstone.

- StatPearls. (2025). *Thrombocytopenia*. NCBI Bookshelf.
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK542208/>
- UNAM. (s.f.). *Regulación ácido-base. Control respiratorio y renal del pH*. UNAM.
<https://fisiologia.facmed.unam.mx/wp-content/uploads/2024/01/Practica-9.-Regulacion-acido-base.pdf>
- uDocz. (2023). *Volúmenes y Capacidades Pulmonares*.
<https://www.udocz.com/apuntes/620210/diapositiva-volumenes-y-capacidades-pulmonarespptx>
- uDocz. (2022). *Componentes de la Membrana*.
<https://www.udocz.com/apuntes/292478/1-componentes-de-la-membrana>
- Uyton & Hall. (1956). *Tratado de Fisiología Médica*. <https://cbtis54.edu.mx/wp-content/uploads/2024/04/Guyton-y-Hall-Tratado-de-Filosofia-Medica-John-E-Hall.pdf>
- Videa-Irias, E. O., Bonilla-Lanza, N. A. y Aguilar-Gudiel, K. J. (2015). Uso de inmunoglobulina en paciente con trombocitopenia inmune primaria: reporte de caso. *Revista Hematología*, 19(3), 212–216.
<https://sah.org.ar/revistasah/numeros/05%20Uso%20de%20inmunoglobulina%20vol%2019%20n3.pdf>
- Warkentin, T. E. (2023). *Immune Thrombocytopenia (ITP)*. Medscape.
<https://emedicine.medscape.com/article/779545-overview>
- Wikipedia. (s.f.). *Aparato respiratorio*.
https://www.wikiwand.com/es/articles/Aparato_respiratorio
- Wikipedia.org. (2007). *Túbulo renal*. https://es.wikipedia.org/wiki/T%C3%BAbulo_renal
- Wikipedia. (2008). *C. enfermedad causada por una infección aguda del tracto respiratorio superior*. https://es.wikipedia.org/wiki/Infecci%C3%B3n_respiratoria_alta
- Wolfsdorf, J. et al. (2025). *Trombocitopenia*. Nicklaus children's hospital.
<https://www.nicklauschildrens.org/condiciones/trombocitopenia>
- Young, B., O'Dowd, G. y Woodford, P. (2014). *Histología con Correlación Funcional*. 6ª edición. Editorial Elsevier.

Francisco José Borja Echeverría

Doctor en Medicina y Cirugía. Magíster en Seguridad y Salud Ocupacional. Especialista en Riesgo Ergonómico. Coordinador Cantonal de Riesgos del Trabajo del IESS. Subdirector de Seguridad y Salud del GAD Manta. Coautor de artículo científico. Jefe de la division del Cuerpo del Bomberos Manta. Docente de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí. Tutor de tesis pregrado.

Correos:

francisco.borja@uleam.edu.ec

rpanco00447@hotmail.com



Uleam

UNIVERSIDAD LAICA
ELOY ALFARO DE MANABÍ

ISBN: 978-9942-681-64-5



9789942681645

2025

Prohibida su venta