

SISTEMA URINARIO: ANATOMÍA

Definición del Sistema urinario

- **LOS RIÑONES:**

Situación y principales relaciones anatómicas

Inervación e Irrigación

Morfología externa: hilio renal, cápsula fibrosa, cápsula adiposa y aponeurosis renal

Morfología interna: seno, parénquima renal (corteza y médula) y vascularización

Las nefronas: corpúsculos, túbulos y Aparato yuxtaglomerular

- **LAS VÍAS URINARIAS:**

Las vías urinarias intrarrenales: cálices menores, mayores y pelvis renal

Las vías urinarias extrarrenales: uréteres, vejiga urinaria, uretra femenina y uretra masculina.

DEFINICIÓN DEL SISTEMA URINARIO

El sistema urinario es el conjunto de órganos que participan en la formación y evacuación de la orina. Está constituido por **dos riñones**, órganos densos productores de la orina, de los que surgen sendas **pelvis renales** como un ancho conducto excretor que al estrecharse se denomina **uréter**, a través de ambos uréteres la orina alcanza la **vejiga urinaria** donde se acumula, finalmente a través de un único conducto, la **uretra**, la orina se dirige hacia el **meato urinario** y el exterior del cuerpo.

Los riñones filtran la sangre y producen la orina, que varía en cantidad y composición, para mantener el medio interno constante en composición y volumen, es decir para mantener la homeostasis sanguínea.

Concretamente, los riñones regulan el volumen de agua, la concentración iónica y la acidez (equilibrio ácido base y pH) de la sangre y fluidos corporales, además regulan la presión arterial, eliminan residuos hidrosolubles del cuerpo, producen hormonas y participan en el mantenimiento de la glucemia, en los estados de ayuno.

• LOS RIÑONES

SITUACIÓN Y PRINCIPALES RELACIONES ANATÓMICAS

Los riñones están situados en el abdomen a ambos lados de la región dorsolumbar de la columna vertebral, aproximadamente entre la 12ª vértebra dorsal y la 3ª vértebra lumbar, situándose el derecho en un plano inferior al izquierdo, debido a la presencia del hígado. La cara posterior de cada riñón se apoya en la pared abdominal posterior formada por los **músculos posas mayor, cuadrado de los lomos y transversos del abdomen** de cada lado, su cara anterior está recubierta por el peritoneo, de ahí que se consideren órganos retroperitoneales. A través de la membrana peritoneal, los riñones se relacionan con los órganos intraabdominales vecinos.

El riñón derecho se relaciona con la vena cava inferior, la segunda porción del duodeno, el hígado y el ángulo hepático del colon, con los dos últimos a través del peritoneo.

El riñón izquierdo se relaciona con la arteria aorta abdominal, el estómago, el páncreas, el ángulo esplénico del colon y el bazo.

El polo superior de cada riñón está cubierto por la glándula suprarrenal correspondiente, que queda inmersa en la cápsula adiposa.

INERVACIÓN E IRRIGACIÓN

La inervación de ambos riñones corre a cargo de los **nervios renales** que se originan en el **ganglio celíaco**, estructura nerviosa del sistema nervioso autónomo simpático situada sobre la arteria aorta abdominal, a ambos lados del tronco arterial celíaco, justo por debajo del diafragma. Los nervios renales forman el plexo renal que penetra en los riñones acompañando a las arterias renales, la mayoría son vasomotores (inervan vasos sanguíneos), de manera que regulan el flujo sanguíneo renal.

La irrigación de los riñones es muy abundante en relación a su peso y se debe a la función de depuración sanguínea que éstos realizan; las **arterias renales derecha e izquierda** son ramas de la arteria aorta abdominal, de la cual se originan a nivel de la primera vértebra lumbar, al penetrar por el hilio renal forman parte del pedículo renal (ver hilio renal). Ambas arterias aseguran un aporte de sangre de unos 1200 ml por minuto, en reposo, volumen que representa entre un 20 y 25 % del gasto cardíaco en reposo. El retorno venoso de los riñones se produce a través de las **venas renales derecha e izquierda** que drenan a la vena cava inferior.

MORFOLOGIA EXTERNA

Los riñones son de color rojizo, tienen forma de habichuela, en el adulto pesan entre 130 g y 150 g cada uno y miden unos 11cm. (de largo) x 7cm. (de ancho) x 3cm. (de espesor). En cada riñón se distingue un polo superior y uno inferior; dos caras, la anterior y la posterior; dos bordes, el externo o lateral convexo y el medial o interno cóncavo que presenta en su porción central el **hilio renal**, éste es una ranura por donde entran y salen nervios, vasos linfáticos, vasos arteriovenosos y la pelvis renal, estos últimos constituyen el **pedículo renal** que se dispone de la siguiente forma, de delante a atrás: vena renal, arteria renal y pelvis renal.

Envolviendo íntimamente al parénquima renal se encuentra primero la **cápsula fibrosa**, por fuera de ésta se encuentra la **cápsula adiposa** y aún más externamente se sitúa la **aponeurosis renal**.

MORFOLOGIA INTERNA: SENO, PARÉNQUIMA RENAL (CORTEZA Y MÉDULA) Y VASCULARIZACIÓN

En un corte frontal del riñón observamos dos elementos bien diferenciados: una cavidad llamada **seno renal**, cuyo orificio es el hilio renal y el tejido llamado **parénquima renal**, que a su vez presenta dos zonas de distinto aspecto y coloración: la **corteza renal** lisa y rojiza, en la periferia y la **médula renal** de color marrón, situada entre la corteza y el seno renal.

El **seno renal** es la cavidad del riñón que se forma a continuación del hilio renal, contiene las arterias y venas renales segmentarias e interlobulares, los ramos nerviosos principales del plexo renal y las vías urinarias intrarrenales (ver vías urinarias): los cálices renales menores y mayores y la pelvis renal, todos ellos rodeados de tejido graso que contribuye a inmovilizar dichas estructuras.

El **parénquima renal** es la parte del riñón que asegura sus funciones, está constituido por las **nefronas**, cada una con una porción en la corteza y otra en la medula renal.

La corteza renal es la zona del parénquima situada inmediatamente por debajo de la cápsula fibrosa, tiene un aspecto liso, rojizo y un espesor aproximado de 1cm., se prolonga entre las pirámides formando las columnas de Bertin. En la corteza y las columnas se disponen los corpúsculos renales y los conductos contorneados de las nefronas (ver las nefronas), además de los vasos sanguíneos más finos.

La médula renal es de color marrón y textura estriada, consta de 8 a 18 estructuras cónicas, las llamadas pirámides renales o de Malpighi, cuyos vértices, dirigidos hacia el seno renal, se denominan **papilas**.

En las pirámides se sitúan las asas de Henle, los conductos colectores y los conductos papilares, todos ellos conductos microscópicos que forman parte de las nefronas.

Dentro de cada riñón, la arteria renal sufre sucesivas divisiones, dando ramas de calibre cada vez menor. La denominación de cada subdivisión arterial es como sigue: de la **arteria renal** nacen, a nivel del seno renal, las **arterias segmentarias**; éstas, a nivel de las columnas renales, se ramifican en **arterias interlobulares**; de éstas se forman las **arterias arciformes** que rodean las pirámides renales entre la corteza y la médula, a su vez, a nivel de la corteza renal, las arciformes se ramifican en **arterias interlobulillares**, que emiten las **arteriolas aferentes** y éstas, los **capilares glomerulares o glomérulo** en íntimo contacto con la **cápsula de Bowman** de las nefronas.

A diferencia de otros órganos, aquí los capilares glomerulares no confluyen en una vénula, sino que dan lugar a la **arteriola eferente** de la cual se origina la segunda red capilar renal, los llamados **capilares peritubulares**, además de algunos capilares largos en forma de asa que acompañan las asas de Henle de las nefronas y que reciben el nombre de **vasos rectos**; a partir de aquí y siguiendo un recorrido paralelo pero inverso los **capilares venosos, vénulas i venas** de calibre creciente drenan la sangre a la **vena renal** que sale por el hilio renal.

LAS NEFRONAS: CORPÚSCULOS, TÚBULOS Y APARATO YUXTAGLOMERULAR

Al observar microscópicamente el parénquima renal, se constata que cada riñón está constituido por más de 1 millón de elementos tubulares plegados y ordenados, sustentados por tejido conjuntivo muy vascularizado, que denominamos **nefronas**.

En función de la posición en el parénquima se distinguen las **nefronas corticales** (80% aprox.) con el corpúsculo situado en la zona más externa de la corteza y el segmento tubular denominado asa de Henle que penetra a penas en la zona superficial de la pirámide medular y las **nefronas yuxtamedulares** (20%) que tienen el corpúsculo situado en la zona de la corteza próxima a la médula y el asa de Henle larga que penetra profundamente en la pirámide medular.

Cada nefrona consta del **corpúsculo renal** y del **túbulo renal**.

El **corpúsculo renal** está constituido por los **capilares glomerulares** alojados en una cápsula esférica llamada la **cápsula de Bowman**.

Podemos imaginar la cápsula como un globo parcialmente desinflado en el que se hunde el glomérulo como un puño, de manera que los capilares glomerulares quedan rodeados por una doble pared de la cápsula de Bowman, la pared **visceral**, en íntimo contacto con la pared de los capilares, que forman la **membrana de filtración** y por fuera la **pared parietal**, entre las dos capas está el espacio capsular que se continua sin interrupción con la luz del túbulo renal.

La arteriola **Aferente** que precede al glomérulo y la **Eferente** que le sigue, se sitúan ambas al mismo nivel y constituyen el polo vascular del corpúsculo, opuesto a éste se encuentra el polo urinario con el inicio del túbulo renal. En el corpúsculo sucede la filtración del plasma sanguíneo y la formación del filtrado glomerular

El **túbulo renal** nace a continuación de la cápsula de Bowman, presenta cuatro segmentos con características histológicas, funcionales y topográficas distintas, rodeados por la red capilar peritubular (ver riñón: Morfología interna: seno, parénquima renal (corteza y médula) y **vascularización**), su función es la de

concentrar el filtrado hasta conseguir una orina definitiva ajustada a las necesidades homeostáticas de la sangre.

(1) El **túbulo contorneado proximal** es un tubo sinuoso de 13 mm de longitud aprox., se dispone a continuación del corpúsculo renal, consta de un epitelio cuboide simple, cuyas células poseen un borde en cepillo de microvellosidades que aumenta su capacidad de absorción. Su función principal es la de **reabsorber el 80% aprox. del filtrado glomerular**.

(2) El **asa de Henle** está constituida por dos ramas en forma de horquilla: la **rama descendente** que parte a continuación del tubo contorneado proximal y se introduce en la pirámide medular a más o menos profundidad, dependiendo de si se trata de una nefrona cortical o yuxtamedular y la **rama ascendente**, a continuación, que retorna hacia la corteza renal.

En la porción ascendente del asa de Henle de las nefronas yuxtamedulares, se distingue el segmento delgado seguido del segmento grueso, este último presenta un epitelio cuboide simple, a diferencia del resto del asa que se caracteriza por un epitelio escamoso simple. Estas asas largas **crean un gradiente de concentración de sodio en el intersticio de la médula renal** (mayor concentración salina cuanto más cerca de la papila) que hace posible la formación de escasa orina concentrada cuando el cuerpo necesita ahorrar agua.

(3) El **túbulo contorneado distal** es de epitelio cuboide simple con algunas células principales poseedoras de receptores para las hormonas antidiurética y aldosterona. Este segmento sigue la rama ascendente del asa de Henle y en su porción inicial se sitúa entre las arteriolas aferente e eferente, la confluencia de estas tres estructuras forma el denominado **aparato yuxtaglomerular** que presenta células muy especializadas reguladoras de la tasa de filtración glomerular

(4) El **túbulo o conducto colector**, Es un tubo rectilíneo que se forma por confluencia de los túbulos contorneados distales de varias nefronas, a su vez, varios túbulos colectores confluyen en un conducto papilar que junto con otros similares drena en un cáliz menor. Estos conductos, se prolongan desde la corteza hasta la papila renal, atravesando en altura toda la pirámide.

El colector se asemeja al distal en cuanto al tipo de epitelio que lo constituye, además de las células principales posee muchas células intercaladas que intervienen en la homeostasis del pH sanguíneo.

• VÍAS URINARIAS

INTRARRENALES: CÁLICES Y PELVIS RENAL

Son el conjunto de canales excretores que conducen la orina definitiva desde su salida del parénquima renal hasta el exterior del riñón: los **cálices menores y mayores**, la **pelvis renal**.

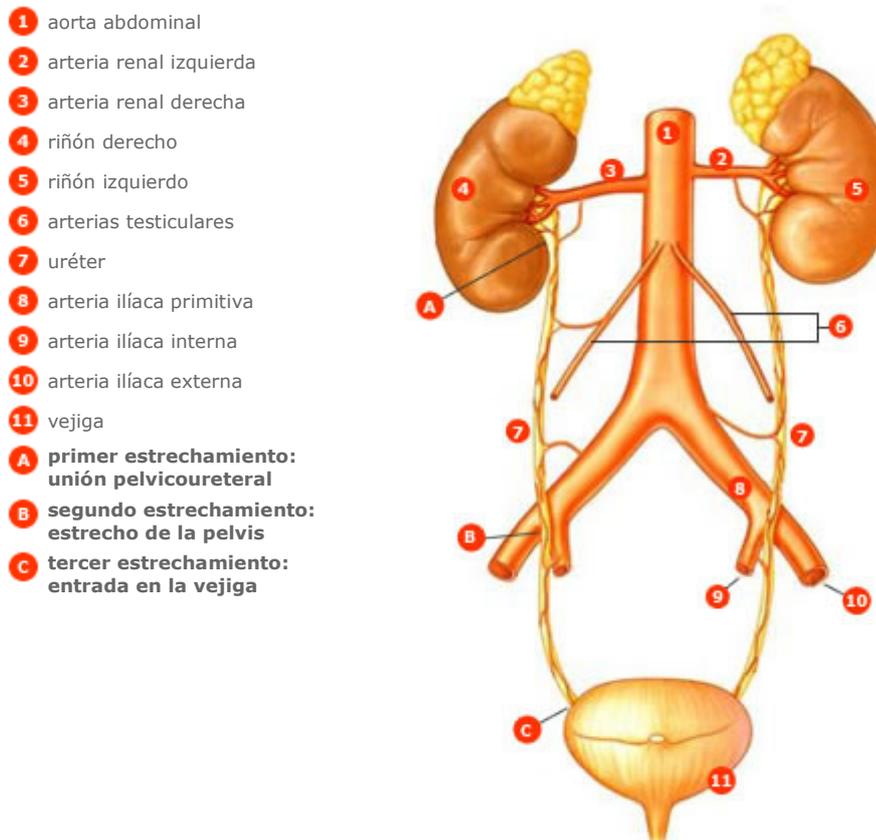
Los **cálices menores** son unas estructuras visibles macroscópicamente, en forma de copa, situados en el seno renal. Recogen la orina procedente de los conductos papilares que desembocan en la papila renal (vértice agujereado de cada pirámide medular). En cada riñón hay tantos cálices menores como pirámides, es decir entre 8 y 18 aprox.

Los **cálices mayores**, en número de 2 a 3 por riñón, conducen la orina de los cálices menores a la pelvis renal.

La pelvis renal se forma por la reunión de los cálices mayores, es un reservorio con capacidad para 4-8 cm³ de orina, tiene actividad contráctil que contribuye al avance de la orina hacia el exterior. La pelvis renal tiene una porción intrarrenal, situada en el seno renal y una porción extrarrenal, a partir del hilio, que se hace progresivamente más estrecha hasta continuarse con el uréter.

EXTRARRENALES: URÉTERES, VEJIGA Y URETRA

Son los **uréteres**, la **vejiga urinaria**, la **uretra**: La pelvis renal de cada riñón se continua con el uréter correspondiente éstos son dos finos conductos músculo-membranosos (entre 4 y 7 mm de diámetro), retroperitoneales, que terminan en la base de la vejiga urinaria, dibujando un trayecto de entre 25 a 30 cm., con una porción abdominal y una pelviana.



Fuente: Richard L. Drake, Wayne Vogl, Adam W. M. Mitchell. Gray anatomía para estudiantes. Elsevier 2005; pag 325, figura 4.126

En su **trayecto abdominal**, los uréteres descienden verticalmente, apoyados sobre la pared muscular abdominal posterior (a lo largo del músculo Psoas), recubiertos por el peritoneo. Al penetrar en la cavidad pélvica, cruzan los vasos ilíacos comunes iniciándose su **trayecto pélvico**. A continuación, en el hombre, los uréteres pasan por debajo de los conductos deferentes, mientras que en la mujer lo hacen por debajo de las arterias uterinas. Finalmente los dos uréteres llegan al fondo vesical donde se abocan, atraviesan la pared vesical siguiendo un trayecto oblicuo de arriba abajo y de fuera adentro. Este trayecto explica la ausencia de reflujo

vesicoureteral cuando la vejiga está llena, y se puede considerar una verdadera válvula fisiológica.

La pared de los uréteres consta de tres capas: la mucosa, que recubre la luz del tubo, la muscular intermedia, compuesta por células musculares lisas con actividad contráctil y la serosa externa constituida a base de fibras conjuntivas

La vejiga urinaria es un órgano muscular hueco situado en la cavidad pélvica, es un reservorio de orina con capacidad máxima fisiológica de hasta 800 ml, aunque en determinadas patologías puede exceder bastante este volumen.

Cuando está vacía, la vejiga adopta una forma triangular de base ancha situada hacia atrás y hacia abajo, el **fundus**, el cuerpo vesical se estrecha hacia delante coincidiendo en su borde anterior con el borde superior de la sínfisis púbica. La cara superior (sobre la cual se apoya el útero en la mujer) es ligeramente cóncava, a no ser que contenga un gran volumen de orina (700cl aprox.), en cuyo caso, la cara superior forma una cúpula que sobrepasa la sínfisis púbica.

En el fundus vesical hay tres orificios, los dos ureterales, separados por unos 4-5 cm. y el orificio uretral, punto de partida de la uretra, los tres delimitan un espacio triangular denominado **trígono vesical**.

La capa muscular de la pared vesical está constituida por una potente red de fibras musculares lisas, **músculo detrusor**, que permiten una contracción uniforme de este órgano. La capa muscular está revestida interiormente por la mucosa y submucosa.

El orificio uretral y el inicio de la uretra están rodeados por dos esfínteres: uno de control involuntario formado por haces del **músculo pubovesical** y otro de control voluntario formado por fibras del **músculo transverso profundo del periné** que forma parte del diafragma urogenital.

La uretra femenina es un conducto de unos 3-4 cm. de longitud destinado exclusivamente a conducir la orina. Nace en la cara inferior de la vejiga, desciende describiendo un trayecto ligeramente cóncavo hacia delante, entre la sínfisis púbica por delante y la pared vaginal por detrás, desemboca en el **meato uretral externo** de la vulva, entre el clítoris por delante y el orificio vaginal por detrás. Poco antes del meato, la uretra atraviesa el **músculo transverso profundo del periné que constituye su esfínter externo, de control voluntario**.

La uretra masculina tiene una longitud de entre 20-25 cm repartidos en varios segmentos:

(1) **uretra prostática**, segmento de unos 3-4cm de longitud y 1cm de diámetro que atraviesa la próstata.

(2) **uretra membranosa** de 1cm aprox. de longitud, que atraviesa el músculo transverso profundo del periné, el esfínter voluntario del conducto.

(3) **uretra esponjosa**, que se dispone a todo lo largo del cuerpo esponjoso del pene, hasta el meato uretral.

SISTEMA URINARIO: FISIOLOGIA

• FORMACIÓN DE LA ORINA

La Filtración glomerular (membrana de filtración),

La Reabsorción tubular

La Secreción tubular

Agua y cloruro sódico a través de la nefrona: Efecto de las hormonas antidiurética y aldosterona.

Potasio, calcio, urea e hidrogeniones a través de la nefrona.

Función endocrina de los riñones

La micción

• EQUILIBRIO OSMÓTICO O HIDROELECTROLÍTICO

Volumen y composición de los compartimentos fluidos del organismo.

Ganancias y pérdidas diarias de agua y electrolitos

Control de la ganancia de agua

Control de las pérdidas de agua y solutos

• EQUILIBRIO ACIDO BASE

Introducción

Sustancias ácidas y básicas: acidez, basicidad y pH

Mecanismos reguladores de equilibrio ácido base:

Sistemas amortiguadores: proteico, bicarbonato y fosfato

Regulación de la ventilación pulmonar

Control renal

• FORMACIÓN DE LA ORINA

La formación de la orina pasa por tres etapas fundamentales:

- (1) la **filtración glomerular**
- (2) la **reabsorción tubular**
- (3) la **secreción tubular**

La mayor parte de sustancias excretadas, es decir las que se encuentran en la orina definitiva, pasan por las dos primeras.

LA FILTRACIÓN GLOMERULAR

La filtración glomerular es la etapa inicial en la formación de la orina, consiste en el paso de parte del plasma sanguíneo que circula por los capilares glomerulares del riñón, hacia el espacio capsular de Bowman, atravesando la **membrana de filtración**, ésta es un filtro complejo formado por tres estructuras: la **membrana basal** y el **endotelio** fenestrado, ambos, constituyentes de los capilares glomerulares y la **capa de podocitos**, propia de la **pared visceral de la cápsula de Bowman**, que los rodea. Los podocitos son células epiteliales muy modificadas con largas prolongaciones citoplasmáticas llamadas pedicelos.

Los elementos formes de la sangre (hematíes leucocitos y plaquetas) así como las proteínas plasmáticas no pueden atravesar la membrana de filtración, de ahí que el **filtrado, orina primitiva u orina inicial** que se recoge en el espacio de Bowman tenga una composición similar a la del plasma, excepto en lo que concierne a las proteínas.

Para que haya filtración glomerular debe haber suficiente presión sanguínea en los capilares glomerulares, esto se consigue si la **presión arterial sistémica (PAS)** es igual o superior a 60 mmHg, ya que cifras menores no producen una presión capaz que forzar el paso del agua y solutos del plasma hacia el espacio capsular de Bowman.

Gracias a distintos mecanismos reguladores en los que, entre otras, intervienen hormonas producidas por el propio riñón (en el aparato yuxtglomerular), **se consigue que la filtración glomerular se mantenga constante entre 80 y 180 mmHg de PAS.**

La **Presión neta de filtración (PNF)** que hace posible la filtración glomerular, es el resultado de las siguientes fuerzas contrapuestas: 1) la **presión hidrostática de la sangre en el glomérulo (PHSG)** que depende de la PAS y favorece la filtración, 2) la **presión hidrostática del filtrado en la cápsula de Bowman (PHC)** y 3) la **presión coloidosmótica (oncótica) de la sangre glomerular (PC)**, ambas opuestas a la filtración.

Substituyendo los valores medios reales de estas tres fuerzas obtenemos el valor de la PNF que es de aprox. 10 mmHg.

$$\text{PNF} = \text{PHSG} - (\text{PHC} + \text{PC}) = 55 \text{ mm Hg} - (15 \text{ mmHg} + 30 \text{ mmHg}) = 10 \text{ mm Hg}$$

La **tasa de filtración glomerular (TFG)** es otro de los parámetros a saber de la fisiología renal, es el volumen de filtrado que se produce por unidad de tiempo, es

de unos **120mL/min. aprox.**, que en 24 horas supone **la elevada cifra de 180 L.**

Este enorme volumen de filtrado se debe a la gran cantidad de sangre que reciben ambos riñones por unidad de tiempo, unos 1200 mL/min., que representa del 20 al 25% del gasto cardíaco en reposo (5000 mL/min.). Se comprende la necesidad de la reabsorción tubular para alcanzar el volumen definitivo de orina, que en general, en el adulto es de unos 2 L/día.

Se puede estudiar la TFG midiendo, en orina, la concentración de sustancias que como la **inulina** o la **creatinina**, cumplen los siguientes requisitos: se filtran en forma de molécula libre, no ligada a proteínas, no se reabsorben ni se secretan a nivel tubular, no se producen ni destruyen por el riñón, ni modifican el funcionamiento del mismo.

LA REABSORCIÓN TUBULAR

La reabsorción tubular es el retorno de gran parte del filtrado al torrente sanguíneo: las sustancias imprescindibles para el cuerpo como el agua, la glucosa, los aminoácidos, vitaminas, parte de la urea, los iones Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Cl^- , HCO_3^- (bicarbonato), HPO_4^{2-} (fosfato) abandonan los túbulos de las nefronas e ingresan en los capilares peritubulares, atravesando las paredes de ambas estructuras.

El motor de la reabsorción tubular de gran parte del filtrado es el continuo funcionamiento de **las bombas de Sodio/potasio (ATPasa de Na^+/K^+)** ubicadas en la cara basal de las células tubulares. Estos dispositivos moleculares consumen energía en forma de ATP para poder transportar ambos iones en contra de su gradiente de concentración (transporte activo). Las bombas de Na^+/K^+ crean un flujo de sodio desde el filtrado hacia los capilares que directa o indirectamente propicia la reabsorción de todo lo demás.

La **reabsorción del 99% del filtrado** sucede a todo lo largo del túbulo renal especialmente en el segmento contorneado proximal (un 80% aprox.) mientras que el ajuste preciso del volumen y composición de orina definitiva se efectúa en el túbulo contorneado distal y colector.

SECRECIÓN TUBULAR

La secreción tubular es la transferencia de materiales desde la sangre de los capilares peritubulares y de las células de los túbulos renales hasta el líquido tubular, con el objetivo de regular la tasa de dichas sustancias en el torrente sanguíneo y de eliminar desechos del cuerpo. Las principales sustancias secretadas son H^+ , K^+ , NH_4^+ (iones amonio), creatinina y ciertos fármacos como la penicilina.

AGUA Y CLORURO SÓDICO A TRAVÉS DE LA NEFRONA: EFECTO DE LAS HORMONAS ANTIDIURÉTICA Y ALDOSTERONA

En el glomérulo renal se filtra toda la sal (NaCl o cloruro sódico) y el agua del plasma a razón de 120mL/min. En los 180 L de filtrado producidos diariamente hay 1,5 Kg. de NaCl , del que sólo será excretado el 1%.

En el **túbulo contorneado proximal (TCP)** se reabsorbe el **75% del Na^+ por transporte activo** a través de las **Bombas de Sodio/Potasio o ATPasa de Na^+/K^+** , una proporción similar de iones Cloro le sigue por la diferencia de cargas

eléctricas que se crea (gradiente eléctrico) y el agua acompaña a ambos siguiendo un gradiente osmótico. Al final de este segmento, el volumen de filtrado se ha reducido mucho pero se mantiene isotónico con respecto al plasma sanguíneo, es decir ambos fluidos presentan una similar concentración de sal.

En la **porción descendente del asa de Henle**, siguiente segmento tubular de la nefrona, apenas sucede transporte activo de Na^+ y consecuentemente tampoco de Cl^- , en cambio, sus paredes son muy permeables al agua.

La **porción ascendente del Asa de Henle** presenta características contrapuestas a la anterior, es decir, una activa reabsorción de NaCl y gran impermeabilidad al agua.

Esta configuración del Asa de Henle, típica de las nefronas yuxtamedulares, produce una progresiva concentración de la orina primitiva a medida que desciende por el asa y su posterior dilución a medida que recorre el tramo ascendente, de manera que la orina que llega al túbulo contorneado distal (TCD) contiene menos NaCl que el plasma sanguíneo, es orina diluida o hipotónica con respecto al plasma.

Si a esta curiosa configuración del Asa le añadimos la pobre vascularización de las pirámides medulares, por donde éstas hacen su recorrido de ida y vuelta hacia la corteza, tenemos las condiciones necesarias para que se produzca una gran concentración de sal (mayor cuanto más nos acercamos a la papila) en el intersticio de esta región.

La elevada salinidad de la medula renal va a permitir que se pueda concentrar la orina, cuando el cuerpo precise agua, esto sucederá en el último segmento tubular de las nefronas, el conducto colector y siempre que haya **hormona antidiurética o ADH** (segregada por la hipófisis posterior) en sangre.

En el túbulo contorneado distal (TCD) sólo sucede la reabsorción de Na^+ en presencia de **Aldosterona** (hormona suprarrenal), ambas hormonas intervienen para regular, de forma precisa, la excreción de agua y sal en función de las necesidades del organismo.

En ausencia de ADH, la pared de la porción terminal del TCD y toda la pared del CC son casi impermeables al agua, es el caso del exceso de agua en el organismo que se compensa con la producción de más volumen de orina hipotónica u orina diluida.

El déficit de agua en el organismo, sin embargo, estimula la secreción de la ADH ésta hace que el último tramo de la nefrona sea permeable al agua y el agua difunde de la luz tubular hacia los capilares sanguíneos de la médula renal gracias al gradiente de salinidad generado por el asa de Henle, el resultado es poco volumen de orina concentrada, (ver equilibrio osmótico).

En la porción terminal del TCD y la porción inicial del CC, la reabsorción de Na^+ sólo se produce de forma significativa en presencia de la Aldosterona.

En caso de disminución del volumen plasmático o descenso de la presión arterial se estimula la secreción de Aldosterona y la reabsorción de sodio (ver equilibrio osmótico).

POTASIO, CALCIO, UREA E HIDROGENIONES A TRAVÉS DE LA NEFRONA

El potasio juega un papel crucial en la excitabilidad neuromuscular, de ahí que, cambios por exceso o por defecto de sus valores sanguíneos, ($[\text{K}^+] = 4,5-5 \text{ mmol/L}$) pueden originar trastornos graves de la conductibilidad y contractibilidad cardíacas.

Tras ser filtrado, el potasio es totalmente reabsorbido en el TCP y sólo aparece en la orina cuando por efecto de la Aldosterona y en respuesta a un exceso de potasio o un déficit de sodio en sangre (hiperkaliemia) se secreta y elimina en el segmento terminal.

La hipocalcemia (descenso del calcio sanguíneo, Ca^{2+}) aumenta la excitabilidad neuromuscular. El calcio tras filtrarse en el glomérulo es reabsorbido pasivamente a todo lo largo del túbulo renal, a excepción del segmento contorneado distal, donde su reabsorción sucede en presencia de la **Paratohormona**, hormona hipercalcemiante secretada por las glándulas paratiroides.

La urea es un producto residual del metabolismo de los aminoácidos y de otros compuestos nitrogenados, además de filtrado a nivel glomerular, es secretado a todo lo largo del túbulo renal y en parte reabsorbido en el AH y en el CC de manera que se produce un continuo reciclamiento de la misma a nivel de la médula renal.

La secreción de hidrogeniones (también llamados protones o H^+) sucede en el TCP y en el CC de cara a mantener el equilibrio ácido base del organismo.

Los riñones segregan sustancias reguladoras como la renina, la eritropoyetina y la forma activa de la vitamina D.

(1) La **renina** es una sustancia segregada por el aparato yuxtaglomerular renal que participa en el sistema Renina-Angiotensina-Aldosterona que contribuye al equilibrio osmótico del organismo (ver equilibrio hidroelectrolítico del organismo).

(2) La **eritropoyetina** es segregada por las células medulares del riñón y actúa sobre la médula ósea estimulando la maduración y proliferación de los glóbulos rojos.

(3) El riñón produce la **forma activa de la vitamina D o 1,25 Dihidroxicolecalciferol** que estimula la absorción activa de calcio a nivel intestinal y favorece la actividad hipercalcemiante de la paratohormona a nivel renal y óseo.

LA MICCIÓN

Es el vaciado vesical que permite la evacuación de la orina.

Cuando el volumen de orina en la vejiga es menor de 350 mL aprox., los esfínteres uretrales interno y externo están contraídos y el orificio uretral está cerrado.

Un mayor volumen de orina desencadena el llamado **reflejo de la micción, en este arco reflejo**, la distensión de las paredes vesicales estimula sus presorreceptores que captan y propagan la señal de estiramiento a través de fibras nerviosas que alcanzan el centro medular de la micción situado entre S2 y S3 de la médula espinal lumbosacra, a partir de aquí, fibras parasimpáticas conducen la respuesta motora hasta la vejiga provocando la contracción del músculo detrusor y la relajación del esfínter.

Al mismo tiempo, el centro de la micción inhibe las motoneuronas somáticas, con centro en la corteza cerebral, que inervan el esfínter uretral externo, así, solo se produce la micción cuando el músculo vesical se contrae y los esfínteres interno y externo se relajan.

El control voluntario de la micción, por lo tanto, se efectúa gracias al esfínter uretral externo, constituido por fibras del gran músculo estriado llamado diafragma pélvico. La correcta hidratación del cuerpo depende tanto del volumen preciso de agua corporal como de la proporción adecuada de sustancias iónicas (electrolitos) disueltas en ella.

Diversos mecanismos homeostáticos nerviosos y hormonales actúan continuamente para mantener constante la proporción de estas sustancias, a base de regular ganancias y pérdidas de las mismas.

• EQUILIBRIO OSMÓTICO O HIDROELECTROLÍTICO

VOLUMEN Y COMPOSICIÓN DE LOS COMPARTIMENTOS FLUIDOS DEL ORGANISMO

De forma abstracta podemos considerar el cuerpo humano como la suma de dos grandes compartimentos o espacios rellenos de fluidos: **el celular** que comprende el **líquido o fluido intracelular** (LIC) de todas las células de todos los tejidos y **el extracelular** que contiene **el líquido o fluido extracelular** (LEC), subdividido en **líquido intersticial** del espacio intersticial (75% del LEC) y **plasma sanguíneo** del espacio vascular (25% del LEC).

El 55-60% de la masa corporal total de una persona adulta corresponde al agua, dos terceras partes de este gran volumen acuoso constituyen el LIC, mientras que el tercio restante corresponden al LEC.

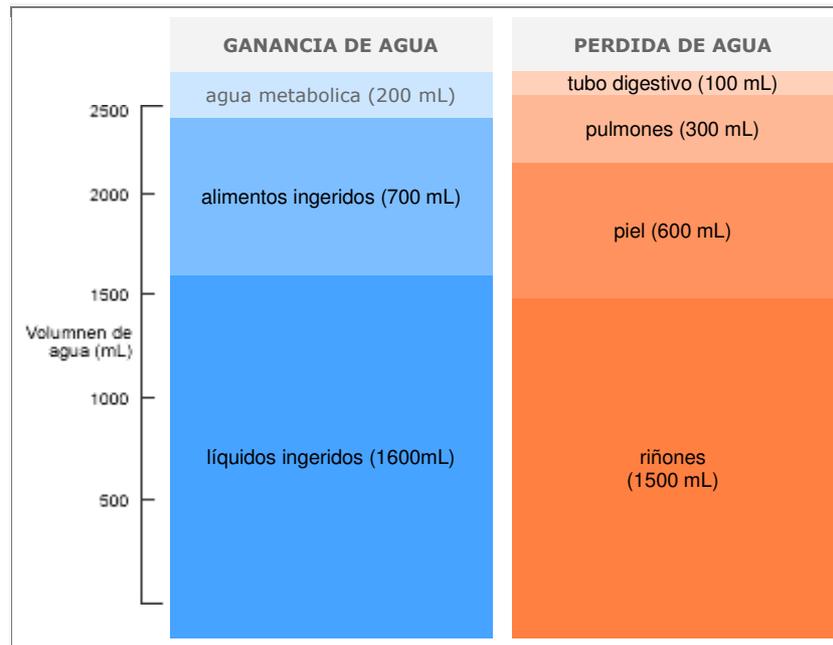
La barrera que separa el compartimiento celular del espacio intersticial circundante es la membrana citoplasmática de todas las células, muy selectiva al paso de iones y pequeñas moléculas, mientras que entre el líquido intersticial y el plasma sanguíneo se dispone la membrana endotelial de los capilares sanguíneos que permite el paso de agua, iones y moléculas de bajo peso molecular.

La proporción de electrolitos en los compartimentos intra y extracelulares se mantiene constante alrededor de los 300 mEq/L, a expensas de los principales iones que en el LIC son K^+ , $HPO_4^{=}$, $H_2PO_4^-$ y proteínas⁻ principalmente, mientras que en el LEC son Na^+ , Cl^- y HCO_3^- .

GANANCIAS Y PÉRDIDAS DIARIAS DE AGUA Y ELECTROLITOS

Generalizando, se puede considerar que el adulto sano obtiene unos 2500 mL de agua al día a partir de los alimentos (30%), de las bebidas (60%) y del agua metabólica, que resulta de la oxidación intracelular de los compuestos nutritivos durante la respiración celular (10%).

Fuentes de pérdida y ganancia diaria de agua en condiciones normales. Las cifras son el promedio para adultos. En condiciones normales, la pérdida de agua equivale a la ganancia.



Fuente: Gerard J. Tortora y Bryan Derrickson. PRINCIPIOS DE ANATOMIA Y FISILOGIA. Panamericana 2006; **pág. 1045, figura 27-2**

Para mantener la constancia hídrica del medio interno, las pérdidas hídricas son proporcionales a las ganancias, de modo que se pierden unos 2500 mL /día por 4 vías: la renal que excreta un 60% aprox. de este volumen en forma de orina, la dérmica que, a través del sudor, elimina un 8%, la pulmonar que, a través del aliento, elimina aproximadamente un 28% y la gastrointestinal que elimina un 4% en el agua incluida en las heces.

Tanto las ganancias como las pérdidas de agua van acompañadas de las correspondientes de electrolitos, principalmente de Na^+ , Cl^- y K^+ .

CONTROL DE LA GANANCIA DE AGUA

Cuando las pérdidas de agua del cuerpo superan a las ganancias, el **centro hipotalámico de la sed** genera la necesidad de beber o conducta de la sed, de cara a evitar la disminución del volumen de líquido y el aumento de la concentración de los electrolitos disueltos (osmolaridad), situación que se conoce como **deshidratación**.

Los estímulos y señales que desencadena la conducta de la sed son los siguientes:

- (1) el aumento de la osmolaridad del plasma detectado por los osmorreceptores hipotalámicos
- (2) la sensación de boca seca producida por la disminución de saliva que genera impulsos nerviosos estimuladores del centro de la sed
- (3) la disminución de la presión arterial detectada por los barorreceptores del sistema cardiocirculatorio (receptores de la presión arterial).

(4) el aumento de la Angiotensina II circulante como respuesta a la Renina secretada por el aparato yuxtglomerular renal ante la disminución de la presión arterial y el filtrado.

CONTROL DE LAS PÉRDIDAS DE AGUA Y SOLUTOS

La osmolaridad de los líquidos corporales está en relación directa con la concentración de NaCl y el volumen hídrico del plasma sanguíneo. **Los riñones**, regulando ambos parámetros bajo el control hormonal, modifican las características de la orina, contribuyendo al mantenimiento de la homeostasis hidroelectrolítica del organismo.

Las hormonas que más influyen sobre el riñón son:

(1) **La Angiotensina II** y (2) la **Aldosterona**, ambas promueven la reabsorción

de Na^+ y Cl^- , reduciendo las pérdidas urinarias de ambos iones, con lo que aumentan el volumen de líquidos corporales. El aumento de ambas hormonas responde, a su vez, al aumento de la **Renina** producida por el aparato yuxtglomerular renal, cuando éste detecta el descenso de la presión arterial y de la presión de filtración renal. Estos tres elementos reguladores forman el **sistema Renina-Angiotensina-Aldosterona**.

(3) **el péptido natriurético auricular (PNA)** promueve la natriuresis o excreción urinaria de Na^+ y Cl^- que se acompaña de pérdida de agua, de manera que disminuye el volumen de los líquidos corporales. El PNA se produce en las aurículas cardíacas como respuesta a un aumento de la presión arterial que aumenta la distensión de sus paredes.

(4) **la Hormona Antidiurética (HAD)** es el principal factor regulador del volumen de orina producida, esta hormona se segrega por la hipófisis posterior en respuesta a una disminución del volumen plasmático, en esta situación, la unión de la hormona a los receptores celulares de los **conductos colectores renales** aumenta su permeabilidad al agua y promueve su reabsorción, produciéndose una orina concentrada.

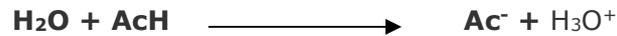
• EQUILIBRIO ÁCIDO BASE

La estructura funcional de nuestras proteínas, la mayoría de procesos fisiológicos del organismo y todas las reacciones químicas intracelulares, requieren unas condiciones de acidez constantes (próximas a la neutralidad) para desarrollarse con normalidad.

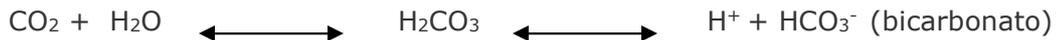
El equilibrio ácido base contempla los mecanismos moleculares y fisiológicos que tratan de mantener la acidez sanguínea constante y estable, alrededor de un pH de 7,4 (entre 7,35 y 7,45), lo cual asegura una concentración correcta de ácidos y bases a todos los niveles del cuerpo, tanto en la sangre como en los tejidos.

El metabolismo celular produce bases como el amoníaco (NH_3) y sobre todo sustancias ácidas como el ácido sulfúrico (H_2SO_4), el ácido fosfórico (H_3PO_4), el ácido úrico, el ácido láctico, el ácido acetoacético y el ácido β -hidroxibutírico. La cantidad de todos los anteriores, sin embargo es insignificante si se compara con la enorme cantidad de **ácido carbónico (H_2CO_3)** formado diariamente a partir del CO_2 liberado durante la respiración celular y del H_2O del medio.

Los ácidos en general (AcH) son compuestos que en disolución acuosa tienden a disociarse totalmente si son fuertes, o parcialmente si son débiles, produciendo en el medio un aumento en la concentración de iones hidrogeno, también llamados hidrogeniones o protones libres (H^+ o H_3O^+) (Arrhenius).



El carbónico es un ácido débil que se disocia parcialmente, creándose el equilibrio siguiente a nivel sanguíneo:



Las bases (B) son sustancias que en disolución acuosa tienden a disociarse totalmente si son fuertes o parcialmente si son débiles, disminuyendo la concentración de protones libres y aumentando la de iones hidroxilo, hidroxiliones libres, OH^- (Arrhenius)



Así, lo que da carácter ácido o básico a una disolución es la mayor o menor concentración de protones libres (H^+ o H_3O^+) en dicha disolución, **el pH es el parámetro que evalúa la acidez o basicidad de un medio**, se define como el valor que resulta de aplicar logaritmos negativos a la concentración de protones libres del medio, expresada en moles/L.

$$pH = - \log [H^+]$$

La concentración de protones de los fluidos biológicos suele ser muy pequeña, del orden de 0,0000001 molar o, lo que es lo mismo, 1×10^{-7} M. Si se expresa este valor en logaritmos negativos, tenemos que: $-\text{Log} [10^{-7}] = 7$, de ahí la comodidad de aplicar esta argucia matemática para simplificar su manejo.

Cuanto mayor es la concentración de protones, menor es el valor del pH y hablamos de pH ácido y al contrario, cuando menor es la concentración de protones, mayor es el valor del pH y hablamos de pH básico. Cuando la concentración de protones iguala la de hidroxiliones hablamos de pH neutro.

MECANISMOS REGULADORES DEL EQUILIBRIO ÁCIDO BASE

Los mecanismos reguladores del equilibrio ácido base del organismo son principalmente tres

- (1) **Sistemas amortiguadores**, que a nivel molecular actúan de forma inmediata para evitar cambios de pH del medio en los que actúan.
- (2) **Modificación de la ventilación pulmonar**, de su profundidad y del ritmo ventilatorio pulmonar, que se instaura a los pocos minutos de producirse una alteración del pH sanguíneo.
- (3) **Control renal por modificación de la composición de la orina** con excreción del exceso de ácido o de base. A pesar de ser el más lento, este mecanismo resulta el más eficaz en el control del equilibrio ácido base.

SISTEMAS AMORTIGUADORES

Las proteínas o tampón proteico son los sistemas amortiguadores orgánicos más eficaces y abundantes de la sangre, ya que poseen en sus aminoácidos constituyentes grupos funcionales de carácter ácido ($-COOH$) capaces de ceder

protones al medio y grupos básicos (-NH₂), capaces de captarlos siempre que la proporción de éstos se vea alterada.

La proteína **hemoglobina** de los hematíes capta los protones libres derivados de la disociación del ácido carbónico vertidos a los capilares tisulares durante la respiración celular, los iones bicarbonato liberados salen del hematíe al plasma, donde están disponibles para tamponar protones provenientes de la disociación de otros ácidos metabólicos no volátiles. Los iones bicarbonato son la reserva alcalina de la sangre y forman parte del tampón inorgánico bicarbonato/CO₂

Los **tampones inorgánicos** como el **bicarbonato/CO₂** y el **tampón fosfato** son una mezcla en el medio acuoso de un ácido débil y su sal o base conjugada. Al igual que las proteínas, son capaces de captar un exceso de protones (la base) o cederlos en caso de falta (el ácido), de modo que evitan cambios repentinos del pH del medio donde se encuentra.

En realidad, en presencia del tampón, los protones de los ácidos y los hidroxiliones de las bases fuertes vertidos a la sangre, se convierten en el ácido o base débiles del tampón, que al disociarse menos alteran en menor grado el pH del conjunto.

La eficacia del tampón es máxima cuando la relación [base]/ [ácido] es igual a 1, es decir cuando la concentración de la sustancia aceptora de H⁺ iguala a la de la dadora de protones.

REGULACIÓN DE LA VENTILACIÓN PULMONAR

El pH de los líquidos corporales se puede modificar, voluntariamente, en pocos minutos regulando el ritmo y la profundidad de la respiración:

En la hiperventilación voluntaria (más respiraciones profundas por unidad de tiempo) se exhala más CO₂, disminuye el ácido carbónico alveolar y paralelamente el plasmático, los protones libres disociados del carbónico disminuyen, de modo que disminuye la acidez del plasma.

En la hipoventilación voluntaria, en cambio, se exhala menos CO₂, lo que aumenta el ácido carbónico alveolar, plasmático, y los protones libres disociados de éste, de modo que aumenta la acidez del plasma.

En situaciones patológicas vemos esta relación directa entre acidez plasmática y ventilación pulmonar: Cuando la producción de ácidos no volátiles aumenta anormalmente (como sucede en la descompensación diabética), el bicarbonato plasmático capta el exceso de protones libres convirtiéndose en ácido carbónico que se desdobra en CO₂, el aumento de este gas en el plasma es un fuerte estímulo para los centros respiratorios bulbares del sistema nervioso central que inducen una mayor actividad de los músculos inspiratorios, la respuesta hiperventilatoria puede eliminar el exceso de ácido volátil. En caso de no conseguirlo, hablamos de acidosis metabólica.

Cuando un proceso patológico pulmonar dificulta la respiración normal y la eliminación del CO₂, su concentración plasmática aumenta, acidificándose el pH, el exceso de protones sólo podrá ser eliminado por los riñones, pero si a pesar de ello, el pH plasmático continúa ácido, se habla de acidosis respiratoria. Aunque menos frecuentes también se dan las situaciones contrarias, alcalosis respiratoria y metabólica.

CONTROL RENAL

En condiciones normales, los riñones son capaces de responder a todas las modificaciones importantes de la concentración plasmática de protones libres y del pH, en unas horas.

La acidificación de la sangre estimula la excreción urinaria de protones, una reabsorción total del bicarbonato y la síntesis de bicarbonato nuevo en las células de los túbulos renales.

Cuando lo que sucede es una basificación de la sangre, las células renales reabsorben protones a cambio de excretar iones K^+ .

- **Autora:** Blanca Cutillas Arroyo
 - *Cargo:* Profesora Titular de la Escuela Universitaria de Enfermería. Universidad de Barcelona
 - *CV:* Licenciada en Medicina.

- **Colaboradora:** Julia Reiriz Palacios
 - *Cargo:* Profesora Titular de la Escuela Universitaria de Enfermería. Universidad de Barcelona
 - *CV:* Doctora en Medicina. Especialista en Neurología. Coordinadora de la materia de Estructura y Función del Cuerpo Humano del portal de salud La Enfermera Virtual.

Bibliografía general

- Agur MR, Dalley F. Grant. Atlas de Anatomía. 11ª ed. Madrid: Editorial Médica Panamericana; 2007.
- Berne RM y Levy MN. Fisiología. 3ª ed. Madrid: Harcourt. Mosby; 2001.
- Boron WF, Boulpaep EL. Medical Physiology. Updated edition. Filadelfia (EEUU): Elsevier Saunders. 2005.
- Burkitt HG, Young B, Heath JW. Histología funcional Wheater. 3ª ed. Madrid: Churchill Livingstone; 1993.
- Costanzo LS. Fisiología. 1ª ed. Méjico: McGraw-Hill Interamericana; 2000.
- Drake RL, Vogl W, Mitchell AWM. GRAY Anatomía para estudiantes. 1ª ed. Madrid: Elsevier; 2005.
- Fox SI. Fisiología Humana. 7ª ed. Madrid: McGraw-Hill-Interamericana; 2003.
- Fox SI. Fisiología Humana. 10ª ed. Madrid: McGraw-Hill-Interamericana; 2008.
- Gartner LP, Hiatt JL. Histología Texto y Atlas. 1ª ed. Méjico: Mc Graw Hill Interamericana; 1997.
- Guyton AC. Tratado de Fisiología Médica. 11ª ed. Madrid: Elsevier España. 2006.
- Jacob SW, Francone CA, Lossow WJ. Anatomía y Fisiología Humana. 4ª ed. Méjico: Nueva Editorial Interamericana; 1988.
- Jacob S. Atlas de Anatomía Humana. 1ª ed. Madrid: Elsevier España, S.A. 2003.
- Lamb JF, Ingram CG, Johnston IA, Pitman RM. Fundamentos de Fisiología. 2ª ed. Zaragoza: Ed. Acribia,SA; 1987.
- Lumley JSP, Craven JL, Aitken JT. Anatomía esencial. 3ª ed. Barcelona: Salvat Editores S.A. 1985.
- Moore KL. Anatomía con orientación clínica. 3ª ed. Buenos Aires: Editorial Médica Panamericana; 1993.
- Netter FH. Sistema Digestivo. Conducto superior. Colección Ciba de ilustraciones médicas. 1ª ed. Barcelona: Masson-Salvat Medicina; 1981.
- Netter FH. Interactive Atlas of Human Anatomy. CIBA MEDICAL EDUCATION & PUBLICATIONS. 1995.
- Netter FH. Atlas de Anatomía Humana. 3ª ed. Barcelona: Ed. Masson; 2003.
- Pocock G, Richards ChD. Fisiología Humana. 1ª ed. Barcelona: Ed. Masson; 2002.
- Pocock G, Richards ChD. Fisiología Humana. 2ª ed. Barcelona: Ed. Masson; 2005.
- Regueiro González JR, López Larrea C, González Rodríguez S, Martínez Naves E. Inmunología. Biología y patología del sistema inmune. 3ª ed. Madrid: Editorial Médica Panamericana; 2002.
- Rhoades RA, Tanner GA. Fisiología médica. 1ª ed. Barcelona: Ed. Masson-Little, Brown, S.A. 1997.
- Schmidt RF, Thews G. Fisiología Humana. 24ª ed. Madrid: Interamericana.McGraw-Hill. 1993.
- Stevens A, Lowe J. Histología Humana. 3ªed. Madrid: Elsevier/Mosby; 2006.

- Thibodeau GA, Patton KT. Anatomía y Fisiología. 2ª ed. Madrid: Mosby/Doyma Libros; 1995.
- Thibodeau GA, Patton KT. Anatomía y Fisiología. 4ª ed. Madrid: Ediciones Harcourt; 2000.
- Thibodeau GA, Patton KT. Anatomía y Fisiología. 6ª ed. Madrid: Elsevier España, S.A; 2007.
- Thibodeau GA, Patton KT. Estructura y Función del cuerpo humano. 10ª ed. Madrid: Harcourt Brace; 1998.
- Tortora GJ, Derrickson B. Principios de Anatomía y Fisiología. 11ª ed. Madrid: Editorial Médica Panamericana; 2006.
- West JB. Bases fisiológicas de la práctica médica. 12ª ed. Madrid: Editorial Médica Panamericana; 1993.