

10-1-2021

# Anatomía y fisiología renal

Clínicas médicas complementarias

Dr. Ricardo Acuña de Saz

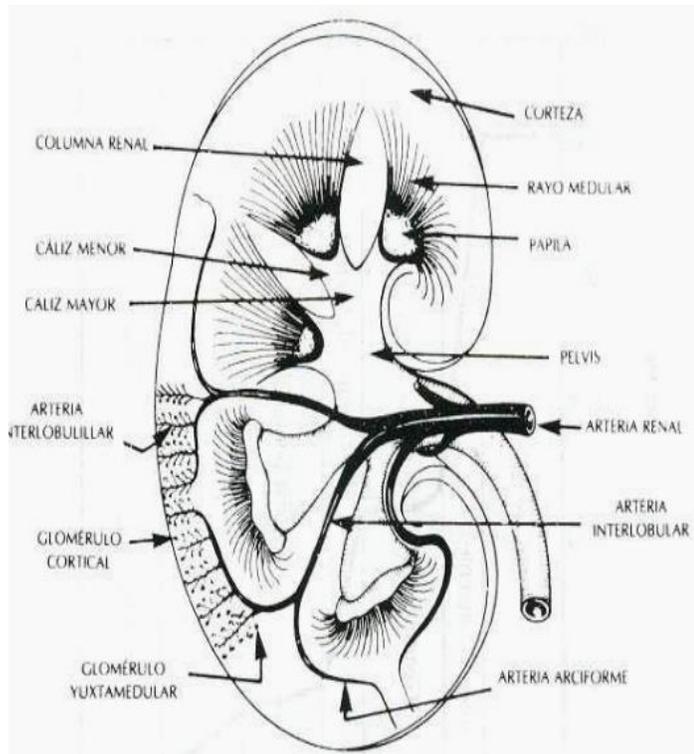
Medicina humana

Séptimo semestre

Cuarto parcial

## ANATOMÍA

El riñón es un órgano par que se ubica en la región retroperitoneal, entre el nivel de la doceava vertebra torácica y la tercera vértebra lumbar, su aspecto normal semeja un frijol de gran tamaño, el riñón derecho se ubica en posición más baja al ser desplazado por el hígado, tienen una longitud de 12+/- 2 cm, amplitud 6 cm y grosor 3 cm, su peso en un adulto normal es de 150 a 170 gramos. Por el hilio renal a cada riñón llega una



arteria y egresa una vena, la vena renal del lado izquierdo es más larga que la del lado derecho. Cada riñón está rodeado de la grasa perirrenal, tejido abundante también en el hilio donde ecográficamente genera imágenes características por su ecogenicidad (ecodensas). En la parte superior de los riñones se encuentran las glándulas suprarrenales.

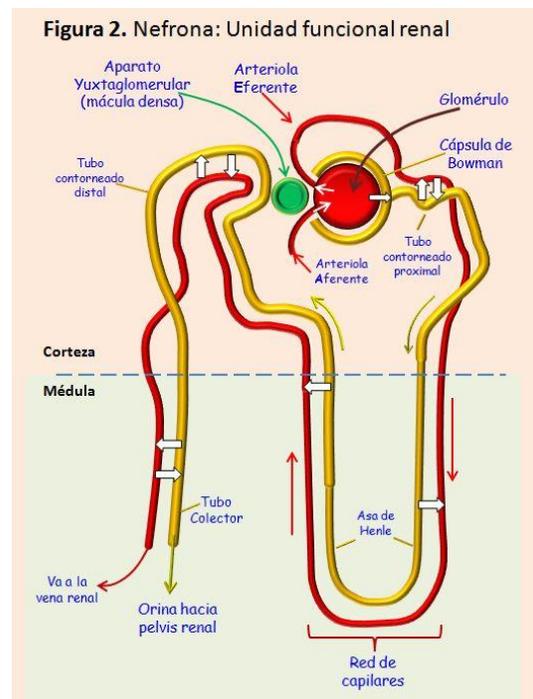
El sistema vascular del riñón inicia con la arteria renal que da lugar de quien emergen las arterias interlobares, de ellas las arterias arcuatas paralelas a la superficie del riñón, continuándose con las arterias interlobulares, quienes van a suplir a cada uno de los glomérulos por intermedio de las arteriolas aferentes. Estas últimas dan origen a 5 a 6 capilares, los cuales forman el glomérulo o penacho glomerular. De cada glomérulo emerge la arteriola eferente, de quien surge una red de capilares peritubulares y vasas rectas descendentes. El sistema venoso se inicia con las vasas rectas ascendentes, quienes drenan a las venas interlobulares, arcuatas, interlobares y finalmente a la vena renal.

La inervación renal está dada exclusivamente por fibras simpáticas postganglionares. Las fibras eferentes proceden de los ganglios simpáticos pre y

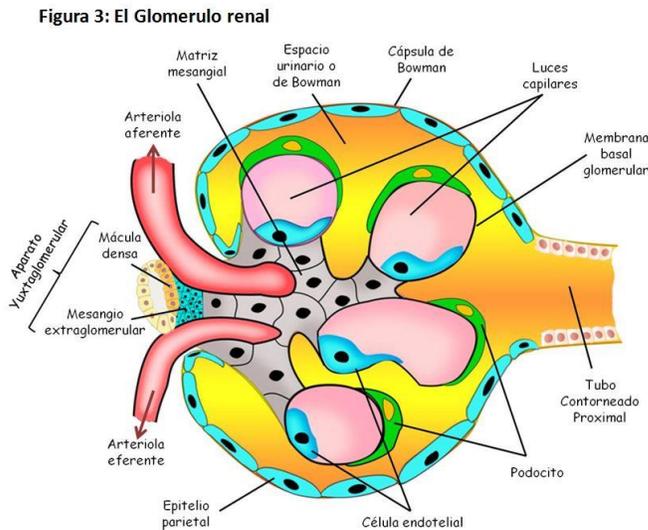
paravertebrales, y corren a lo largo de los tejidos periarteriales, alcanzando segmentos tubulares proximales, y las células granulosas yuxtaglomerulares. Estimulan la liberación de renina y reabsorción tubular proximal de sodio, con lo cual afectan la resistencia vascular renal y sistémica. Los vasos linfáticos renales se inician con terminales ciegas en la corteza en la vecindad de las arteriolas aferentes y pueden atravesar la capsula, o continuar paralelos al sistema de drenaje venoso hasta alcanzar el hilio. Tiene la capacidad de drenar un volumen de linfa de aproximadamente 0,5 ml/minuto, y su función es principalmente drenar las proteínas reabsorbidas a nivel tubular.

A nivel microscópico, se establece una unidad funcional renal, la nefrona. Cada riñón humano contiene alrededor de 800.000 a 1.000.000 nefronas, cada una de las cuales es capaz de formar orina. A lo largo del envejecimiento renal normal, por lesión o por enfermedad, el número de nefronas se puede reducir gradualmente debido a que no se pueden regenerar. Sin embargo, la pérdida de nefronas no suele comprometer la función renal porque se producen cambios adaptativos que suplen la funcionalidad en el resto del sistema.

Cada nefrona está formada por un agrupamiento de vasos capilares llamado glomérulo, por el que se filtran grandes cantidades de líquido desde la sangre, y por un túbulo largo en el que el líquido filtrado se convierte en orina en su trayecto hacia la pelvis renal.



Los capilares glomerulares se ramifican y anastomosan y, comparados con otros capilares de otros sistemas, tienen una presión hidrostática elevada (alrededor de 60 mmHg). Todo el glomérulo está cubierto por la denominada cápsula de Bowman.



El líquido filtrado desde los capilares glomerulares circula hacia la cápsula de Bowman y después al túbulo proximal. Estas estructuras de la nefrona se encuentran en la corteza del riñón. Desde el túbulo proximal, el líquido filtrado discurre hacia el asa de Henle, que desciende hasta la médula renal. El asa de Henle está constituida por una

rama descendente y otra ascendente. Las paredes de la rama descendente y el segmento inferior de la rama ascendente del asa de Henle son muy finas, y se llaman segmento fino del asa de Henle. Una vez la rama ascendente del asa de Henle vuelve a la corteza renal, la pared se engruesa denominándose segmento grueso del asa ascendente. En la zona final del segmento grueso de la rama ascendente del asa de Henle, se localiza una placa de células epiteliales especializadas que es la mácula densa, cuya función es fundamental. A continuación del asa de Henle, el líquido llega al túbulo distal que se localiza en la corteza renal.

Al túbulo distal le siguen el túbulo colector cortical. Hay de 8 a 10 conductos colectores corticales que se unen para formar un solo conducto colector mayor que discurre hacia el interior de la médula y se convierte en el conducto colector medular. Los conductos colectores se van uniendo y formando progresivamente conductos cada vez mayores que vacían su contenido en la pelvis renal.

## FISIOLOGÍA

La función renal, es la capacidad para mantener la homeostasis líquida en nuestro organismo a través de la capacidad para depurar sustancias circulantes en el plasma sanguíneo. Esta es una actividad estrechamente relacionada con la capacidad de los riñones para regular la concentración de agua, la composición de iones inorgánicos, y mantener el equilibrio ácido-base.

Como una consecuencia de esta actividad reguladora del medio líquido, los riñones excretan productos como la urea, generada del catabolismo de proteínas, el ácido úrico producido a partir de ácidos nucleicos, la creatinina, derivada en gran medida de la actividad muscular, o productos finales de la degradación de la hemoglobina.

1. Eliminación de productos por la orina: Sistema de filtrado de productos y toxinas de la sangre	Desechos metabólicos	
	Sustancias extrañas, químicas y fármacos	
2. Regulación del agua, del equilibrio de iones inorgánicos, osmolaridad y del equilibrio ácido-base (en cooperación con los pulmones) en el medio interno.	Volemia: cantidad de líquido en la sangre	
	Composición iónica de la sangre: Los niveles plasmáticos de diversos iones, como sodio (Na <sup>+</sup> ), potasio (K <sup>+</sup> ), calcio (Ca <sup>2+</sup> ), cloruro (Cl <sup>-</sup> ) y fosfato (HPO <sub>4</sub> ) son regulados a nivel renal	
	pH sanguíneo. La excreción de una cantidad variable de iones hidrogeno (H <sup>+</sup> ) hacia la orina y la conservación de los iones bicarbonato (HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ), intervienen para amortiguar los H <sup>+</sup> de la sangre y mantener constante el pH sanguíneo.	
	Mantenimiento de la osmolaridad de la sangre. Mediante la regulación de la pérdida de agua y de la pérdida de solutos en la orina, se mantiene la osmolaridad sanguínea relativamente constante.	
3. Producción de hormonas y enzimas	Regulación la tensión arterial. Los riñones secretan la enzima renina, que activa el sistema renina-angiotensina aldosterona. El aumento de la renina eleva la tensión arterial.	
	Regulación endocrina, mediante la producción de	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>Calcitriol</i>, forma activa de la vitamina D que participa en la regulación de la homeostasis del calcio</li> <li>- <i>Eritropoyetina</i>, estimula la producción de eritrocitos</li> </ul>
4. Gluconeogénesis	Mantenimiento de la glucemia. Los riñones pueden utilizar el aminoácido glutamina para la gluconeogénesis, síntesis de nuevas moléculas de glucosa, y luego liberar glucosa hacia la sangre para mantener la glucemia.	

### Formación de la orina, filtrado glomerular

Desde una perspectiva funcional, la formación de la orina se inicia en la cavidad glomerular.

La filtración glomerular (la formación de un ULTRAFILTRADO DEL PLASMA a través de la estructura nefronal básica: el glomérulo), la pared capilar glomerular por la que “se filtra”, consta de 3 capas, la célula endotelial fenestrada, la membrana

basal glomerular (MBG) y las células epiteliales (podocitos: células altamente especializadas y diferenciadas unidas a la MBG por los pedicelos y, conectados entre sí mediante el diafragma en hendidura. Su principal función es la de “seleccionar” los solutos que se filtran, consiguiendo así un “ultrafiltrado del plasma”. La presión hidrostática de la arteria aferente empuja literalmente a la sangre contra la membrana de filtración glomerular.

#### Membrana de filtración glomerular.

Esta membrana constituye una barrera que evita el paso al túbulo renal de células y de la mayor parte de las proteínas plasmáticas, generando un “ultrafiltrado” compuesto fundamentalmente por agua y elementos de pequeño tamaño circulantes en la sangre. Para realizar esta función, la membrana de filtración consta de un endotelio capilar fenestrado, es decir, con poros capilares cuyo tamaño impide el paso de células o la mayor parte de las proteínas.

#### Membrana basal.

Situada entre la capa endotelial y la epitelial. Presenta un grosor de 240 a 340 nm. Está constituida fundamentalmente por colágenos de tipo IV y V, glicoproteínas, y proteoglicanos como el heparán sulfato. Esta composición hace que presente una carga electronegativa que repele a pequeñas proteínas y otros elementos cargados negativamente que hubiesen atravesado la barrera endotelial fenestrada.

#### Membrana podocitaria.

Los podocitos son células polarizadas, con una parte apical orientada hacia el espacio de la cápsula de Bowman y otra hacia la lámina basal del endotelio. Presentan un citoplasma aplanado, que emite multitud de prolongaciones a modo de dedos que literalmente abrazan a la lámina basal del endotelio, constituyendo los “pies interdigitados”. Estos pies, suelen contactar con otros “pies” de podocitos vecinos mediante complejos moleculares para formar diafragmas de ranura, a través de los cuales moléculas de pequeño tamaño y elementos líquidos pasaran de la estructura glomerular al túbulo.

La actividad más relevante de los podocitos en el filtrado glomerular sea la ligada a su función en la arquitectura de la capsula glomerular. De una parte, al abrazar mediante los pies interdigitados a los capilares glomerulares, contribuyen a que estos soporten la presión hidrostática, ya que los podocitos tienen un citoesqueleto formado sobre todo por filamentos de actina que al formar el complejo actina-miosina modulan la respuesta de los capilares a la presión hidrostática. Por otra parte, a través de las ranuras que dejan estos pies podocitarios, el líquido y las pequeñas moléculas que atraviesan las membranas precedentes salen del glomérulo renal. Para ello, resulta clave la distribución homogénea de las podocitos mantenida gracias a su baja actividad replicativa, y también que en las ranuras podocitarias se expresen moléculas de adhesión y proteínas de superficie que mantienen una constante interacción entre podocitos vecinos.

Como resultado del proceso de filtración en la estructura glomerular, las moléculas de menos de 3 nm de diámetro, como el agua, la glucosa, aminoácidos y desechos nitrogenados, atraviesan este filtro; mientras que las moléculas más complejas y con cargas eléctricas como proteínas o ciertos oligoelementos, permanecen en la sangre, lo que resulta clave para el mantenimiento de la presión coloidal osmótica en la misma, entre otras ventajas.

### **Tasa de filtración glomerular**

La cantidad de filtrado glomerular que se forma en todos los corpúsculos renales de ambos riñones por minuto es la tasa de filtración glomerular (TFG), que suele ser de unos 125 mL/min, en los hombres, y algo menor, unos de 105 mL/min, en las mujeres.

### **Regulación del filtrado glomerular**

El proceso de filtrado glomerular está condicionado por la presión hidrostática capilar, que tiene que ser constante para garantizar una actividad funcional eficaz de los riñones.

- Presión hidrostática sanguínea. La presión hidrostática en capilares glomerulares es esencialmente la fuerza principal que empuja a la sangre

contra la barrera de filtración glomerular. Por esta razón, la presión sanguínea en el glomérulo renal es excepcionalmente elevada (aproximadamente 55 mmHg).

- La presión hidrostática capsular. Es la presión hidrostática ejercida contra la membrana de filtración por el líquido del espacio capsular. Esta presión se opone a la filtración hacia el túbulo renal y oscila alrededor de 15 mm Hg.
- Presión osmótica coloidal en los capilares glomerulares. Es la presión ejercida por las proteínas en la sangre, que tiende a recuperar el agua filtrada. A nivel de la capsula glomerular se mantiene de forma más o menos constante una presión coloidal de aproximadamente 30 mmHg.



### Transporte en el túbulo proximal

Aproximadamente cada 22 minutos, la totalidad del plasma sanguíneo ha sido filtrado en los glomérulos. Esto quiere decir que los riñones filtran aproximadamente 180 L/día de plasma. Sin embargo, el volumen de orina en 24 horas suele ser algo inferior a 1,5 litros, de los que aproximadamente el 95 % es agua y el 5% restante son sustancias de desecho. Por tanto, la composición del ultrafiltrado glomerular, durante su paso por los túbulos renales es modificado para que gran parte del agua y los oligoelementos filtrados sean reabsorbidos y transportados a los capilares peritubulares para ser reutilizados. Todos los nutrientes orgánicos como la glucosa y los aminoácidos se reabsorben por completo para mantener o restaurar concentraciones plasmáticas dentro de un rango de normalidad.

- Reabsorción de Grandes moléculas. A pesar del dintel de filtración glomerular, unos 30 g de proteínas con peso molecular inferior a 70.000 atraviesan diariamente el glomérulo. Estas proteínas, junto con otros

elementos como pequeñas hormonas peptídicas, se recuperan en su totalidad en el túbulo proximal mediante un proceso de endocitosis que tiene lugar en el borde en cepillo de la cara apical del túbulo proximal.

- Reabsorción de glucosa y otras moléculas importantes para el organismo. Glucosa, aminoácidos y vitaminas son también reabsorbidos en su práctica totalidad en el túbulo proximal por un mecanismo de transporte activo secundario, mediante cotransporte con el Na<sup>+</sup>. Este mecanismo de transporte utiliza bombas y otras unidades de transporte específicas situadas principalmente en la membrana luminal de la célula tubular, que son diferentes a las encontradas en la membrana basolateral. Esta distribución polarizada de transportadores permite un desplazamiento transcelular neto de sustancias. En general, la máxima absorción de estos elementos se produce en la primera porción del túbulo contorneado proximal. En la cara apical de las células del túbulo, y más concretamente, a nivel del borde en cepillo de las mismas, transportadores de Na<sup>+</sup> ionizado cotransportan estos elementos al interior de la célula tubular. Desde aquí, los aminoácidos salen por difusión pasiva o facilitada hacia el líquido intersticial. Otros elementos utilizaran bombas de transporte como la Na, K-ATPasa, o canales de cloro para ser extraídos al espacio intersticial. Quizás el elemento de esta familia mejor estudiado es el transporte de glucosa. Aproximadamente se filtran 180g de glucosa cada día, de los que más del 99% es reabsorbida a nivel tubular. Este proceso ocurre a diferentes niveles en el túbulo y dado que la glucosa no difunde a través de la bicapa lipídica celular, se hace a expensas de los transportadores de membrana de sodio y glucosa SGLT (sodium-glucose transporters). El 90% de la glucosa se reabsorbe en el segmento contorneado del túbulo proximal utilizando transportadores SGLT2, mientras que el 10% restante se reabsorbe en el segmento recto del túbulo proximal descendente mediante transportadores SGLT1.
- Agua, iones y algunos nutrientes son reabsorbidos fundamentalmente a nivel del túbulo proximal por diferentes mecanismos. El agua, seguirá un proceso de transporte pasivo por arrastre osmótico. Por el contrario, iones y algunos

pequeños nutrientes no reabsorbidos utilizarán transportadores que necesitan energía. Esta energía, será aportada en gran medida por intercambiadores ligados al sodio.

- Reabsorción de cloro: Se produce por vía paracelular, sin requerir energía para su transporte, en el último segmento del túbulo proximal, y asa de Henle. Pero un pequeño porcentaje de cloro es absorbido mediante un cotransportador  $\text{Na}^+ / 2\text{Cl}^- / \text{K}^+$ , que aprovecha el movimiento de cargas positivas para recuperar cloro.
- Transporte del Agua: En el asa de Henle, la permeabilidad de las células del túbulo cambia, y esta modificación, tiene una función primordial en la capacidad renal para concentrar la orina en función de la dinámica de reabsorción del agua mediante un mecanismo de intercambio a contracorriente condicionado en gran medida por su disposición en forma de U, paralela al conducto colector, y penetrando hasta la papila de la médula renal, lo que ocasiona que las nefronas se dispongan de forma radial en el riñón.

Sustancia	Cantidad filtrada	Cantidad reabsorbida (%)	Cantidad excretada
Agua (litros)	180	99	1,8
Sodio ( $\text{Na}^+$ , g)	630	99,5	3,2
Glucosa (g)	180	100	0
Úrea (g)	54	44	30

- Transporte de sodio: La reabsorción de  $\text{Na}^+$  es el principal motor para el transporte de múltiples elementos que se acoplan a los intercambiadores de sodio en las células del túbulo. El  $\text{Na}^+$ , es el catión más abundante en el ultrafiltrado, y en función de la región del túbulo donde se reabsorba, parte del  $\text{Na}^+$  entra por difusión facilitada a través de canales situados en la cara apical de las células del túbulo. El sodio es transportado fuera de la célula del túbulo por un transportador activo primario, la bomba de  $\text{Na}^+ - \text{K}^+ - \text{ATPasa}$

de la membrana basolateral. A partir de ahí, el  $\text{Na}^+$  es arrastrado por el agua hacia los capilares peritubulares. Este arrastre es favorecido porque el agua fluye rápidamente por las diferencias de presiones entre un intersticio con muy baja presión osmótica hacia un capilar que al contener proteínas y otros coloides presenta una elevada presión osmótica. Es importante recordar que la bomba  $\text{Na}^+\text{-K}^+$ -ATPasa es una enzima ATPasa que saca tres iones sodio ( $\text{Na}^+$ ) a la vez que ingresa dos iones potasio ( $\text{K}^+$ ) en el interior de la célula, generando un gradiente electronegativo intracelular.

### Transporte en el Túbulo contorneado distal y conducto colector

En el túbulo contorneado y colector de la nefrona se va a regular la reabsorción de los elementos presentes en el ultrafiltrado en función de los requerimientos homeostáticos. Fundamentalmente una regulación endocrina a este nivel permitirá, adaptar la excreción o reabsorción de agua y otras sales a las necesidades hídricas en cada momento.

- Hormona antidiurética (ADH). Como su nombre indica, la ADH inhibe la secreción de agua y con ello la producción de orina al regular la cantidad de aquaporinas permeables para la reabsorción de agua. Cuando el cuerpo está sobrehidratado, desciende la osmolalidad del líquido extracelular, y en paralelo, desciende la secreción de ADH en la secreción por la hipófisis posterior. Como consecuencia, a nivel de túbulos colectores, la actividad de las aquaporinas desciende y se excreta más agua. Junto a esta actividad sobre las aquaporinas, la ADH aumenta la reabsorción de urea a nivel de túbulos colectores.
- Aldosterona. La aldosterona actúa modulando la reabsorción del  $\text{Na}^+$  que ha llegado hasta la región terminal de la nefrona. Una perspectiva fisiológica la función de la aldosterona se relaciona con la regulación de la presión arterial, para ejercer esta actividad, esta hormona que se sintetiza en la corteza de las glándulas suprarrenales tiene su efecto principalmente en el riñón, específicamente a nivel del túbulo contorneado distal y del túbulo colector donde se expresan receptores de mineralocorticoides. Tras su unión a estos

receptores, la aldosterona provoca la actividad de bombas de  $\text{Na}^+/\text{K}^+/\text{ATPasa}$ , provocando la reabsorción de  $\text{Na}^+$  y con el de  $\text{Cl}$  y agua en aquellas regiones con aquaporinas; y la salida de  $\text{K}^+$  hacia la zona luminal del túbulo que será excretado en la orina.

- Hormona paratiroidea (PTH). También actúa a este nivel, aumentando la reabsorción de  $\text{Ca}^{2+}$  principalmente en el tubo contorneado distal.

## Bibliografía

Carracedo, J. &. (07 de 06 de 2017). *nefrologiaaldia*. Obtenido de [www.nefrologiaaldia.org](http://www.nefrologiaaldia.org) › es-articulo-fisiologia-renal-3...