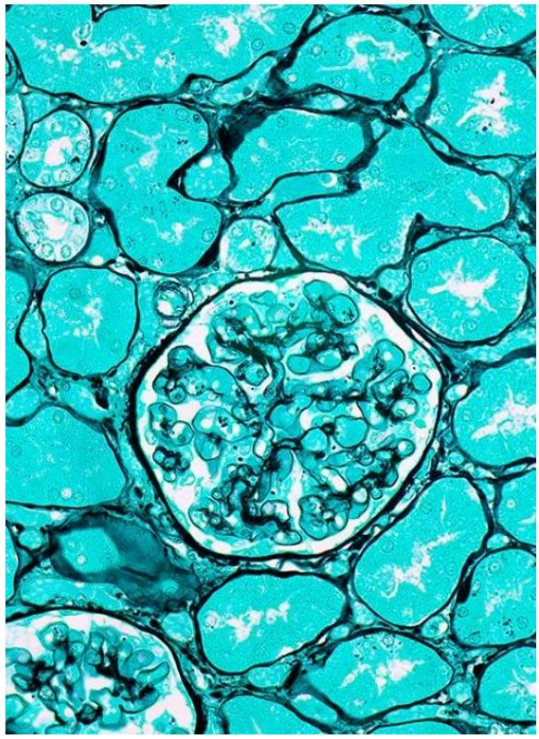
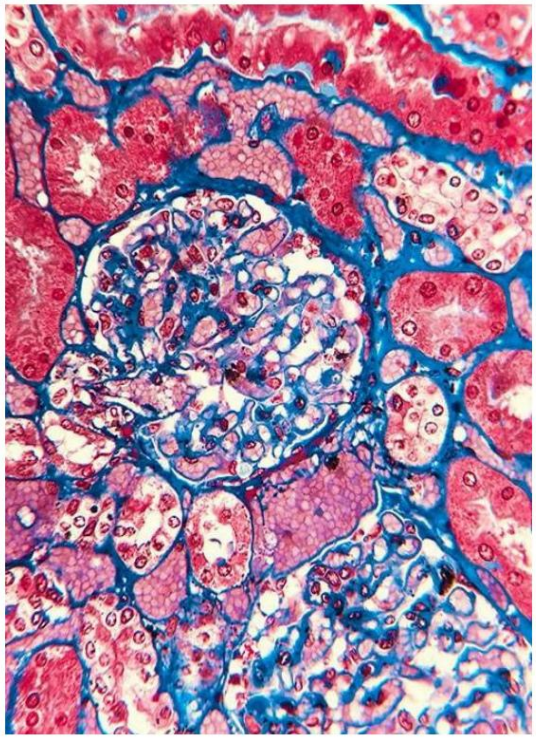
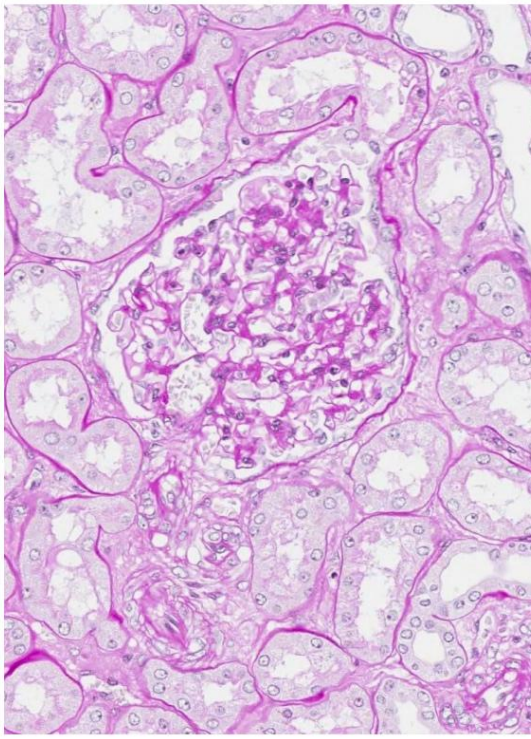
Organismo Humano I · Histología

Sistema urinario

Docente: T.M. Camila Vera Montenegro, Mg.

Universidad de Valparaíso · Campus San Felipe

Medicina

Funciones del sistema urinario

Los riñones filtran la sangre y modifican el líquido filtrado hasta formar la orina. Los uréteres la conducen a la vejiga, donde se almacena, y la uretra permite su eliminación. Esta división distingue dos tareas: **formar una orina con composición regulada** y **transportarla sin modificar de manera importante su contenido**.

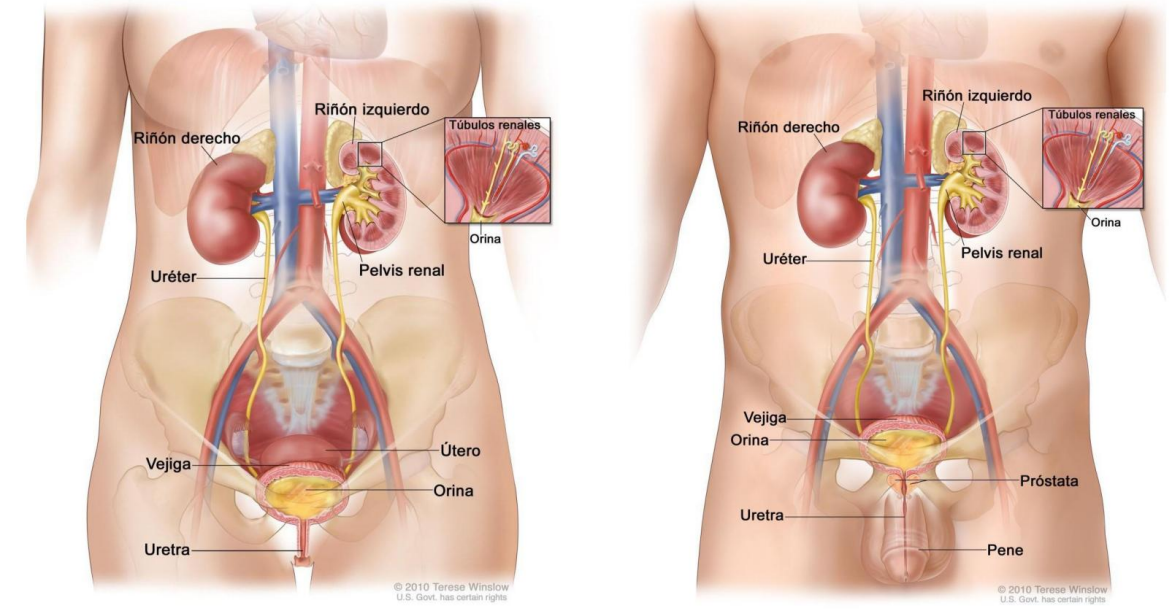


Figura 1. Organización del sistema urinario femenino y masculino. Los uréteres conducen a la vejiga y la uretra comunica con el exterior. (Diapositiva 3.)

La función renal comprende procesos estrechamente relacionados:

- **Filtración y eliminación de desechos.** Parte del agua y de los solutos plasmáticos pasa al espacio urinario del corpúsculo renal. A lo largo de los túbulos se determina qué sustancias se recuperan y cuáles se eliminan.
- **Equilibrio del agua y de los electrolitos.** La reabsorción devuelve sustancias desde el líquido tubular hacia la sangre; la secreción tubular incorpora sustancias al líquido que se está formando.
  - El manejo de sodio, cloruro, potasio y otros iones se vincula con el volumen de agua corporal.
  - La regulación del agua y de los solutos también participa en el control de la presión arterial.
- **Equilibrio ácido base.** El transporte de iones contribuye a mantener el pH del medio interno.
- **Funciones hormonales y metabólicas.** Incluyen la participación en el sistema renina–angiotensina–aldosterona, la regulación de la eritropoyesis, la hidroxilación de la vitamina D y la gluconeogénesis.
  - La actividad renal se integra con señales hormonales relacionadas con la hipófisis y la glándula suprarrenal.

La forma del epitelio ayuda a comprender estas tareas. Una barrera delgada favorece el intercambio, mientras que una célula que debe reabsorber intensamente necesita aumentar su superficie de contacto. La comparación con el intestino delgado resulta útil: las **microvellosidades** amplían la superficie disponible para absorber. En el riñón, esa misma relación entre estructura y función se reconoce en el túbulo proximal.

Organización del riñón

Cápsula y parénquima

El riñón posee una **cápsula de tejido conectivo denso irregular**, con **fibras colágenas de tipo I**, **fibras elásticas** y **miofibroblastos**. Las fibras aportan resistencia y elasticidad; los miofibroblastos reúnen propiedades de sostén y capacidad contráctil. Bajo la cápsula se encuentra el parénquima, organizado en una corteza externa y una médula más profunda.

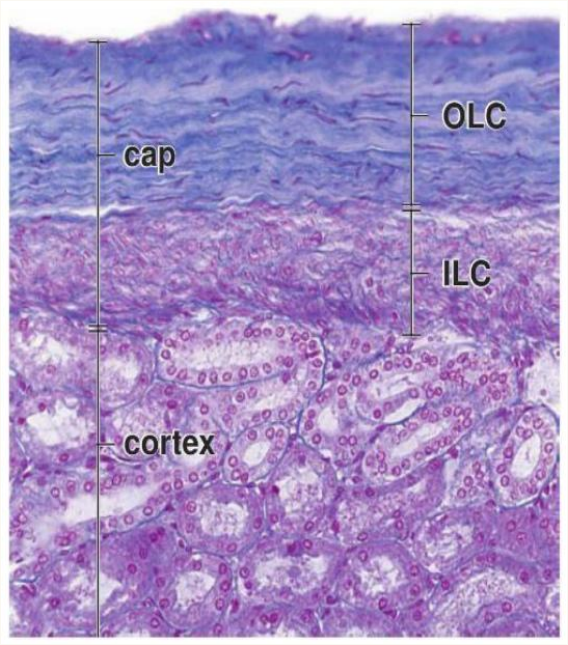


Figura 2. Cápsula renal y corteza subyacente. Debajo comienzan los perfiles tubulares de la cápsula empiezan los perfiles tubulares. (Diapositiva 7.)

- **Estroma:** tejido de sostén que incluye la cápsula y el tejido intersticial entre las estructuras funcionales.
- **Parénquima:** estructuras que realizan la filtración y el procesamiento tubular del filtrado.
  - La **corteza** contiene todos los corpúsculos renales y numerosos túbulos.
  - La **médula** presenta principalmente segmentos tubulares rectos y conductos colectores, organizados con un trayecto más paralelo.

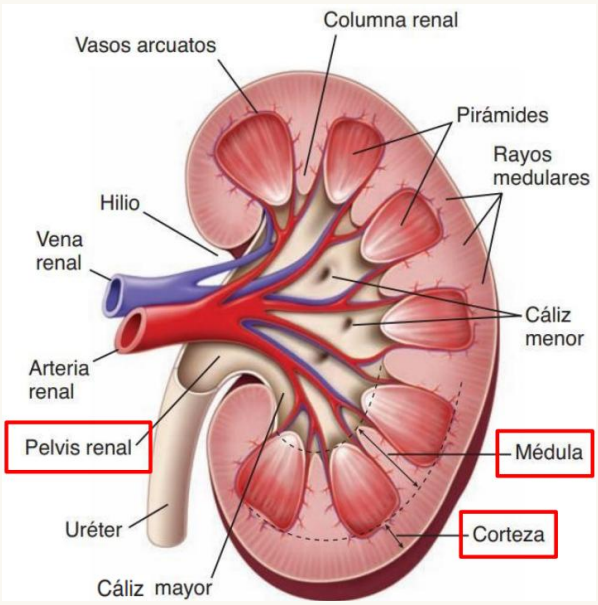


Figura 3. Corte renal con corteza, médula, pirámides, cálices y pelvis. La continuidad de las cavidades permite seguir la salida de la orina. (Diapositiva 5.)

La médula forma las **pirámides renales**, que pueden describirse como unas 6 a 12. El vértice de cada pirámide constituye la papila renal. Los conductos que llegan a la papila desembocan en un cáliz menor; los cálices menores confluyen en cálices mayores y estos se continúan con la pelvis renal y el uréter. Las **columnas renales** son prolongaciones de corteza situadas entre las pirámides.

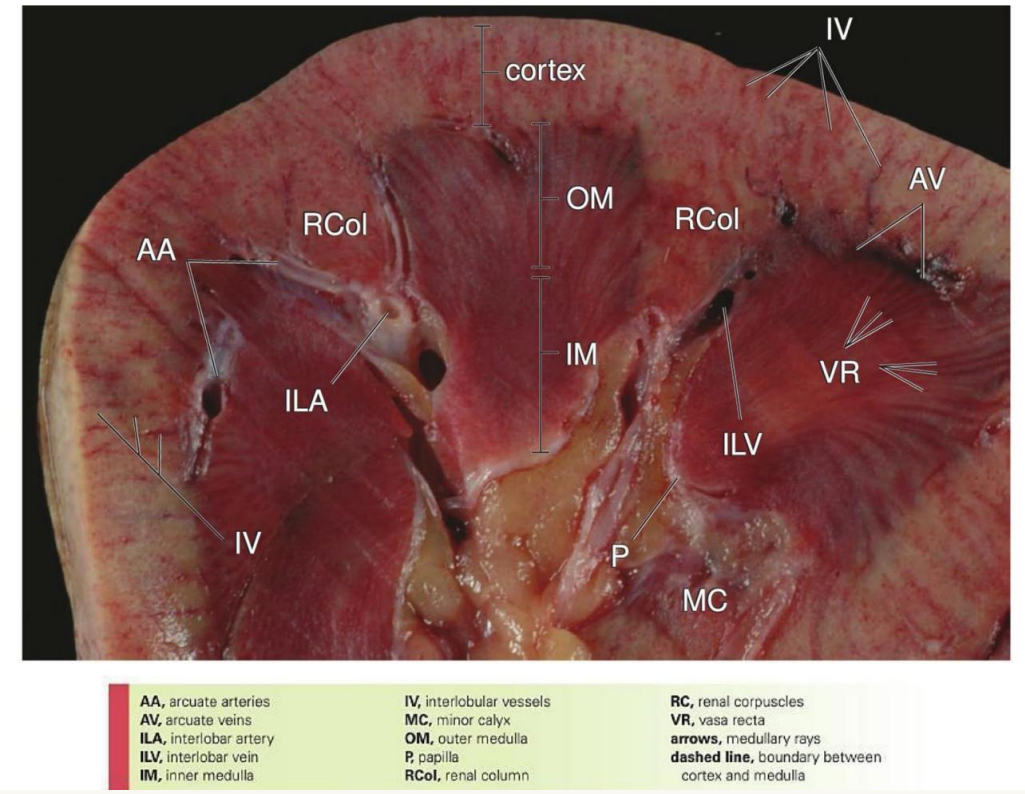


Figura 4. Sección macroscópica renal. La corteza rodea las pirámides; las columnas renales se interponen entre ellas. (Diapositiva 6.)

Lóbulo y lobulillo renal

Estas dos unidades describen la organización espacial del órgano y no deben confundirse con la nefrona.

- El **lóbulo renal** comprende una **pirámide medular** y la **corteza relacionada** con ella.
- El **lobulillo renal** se organiza **alrededor de un rayo medular** y comprende el laberinto cortical que drena hacia su sistema colector.
  - El rayo medular ocupa el eje central.
  - Las arterias interlobulillares constituyen referencias para delimitar los lobulillos dentro de la corteza.

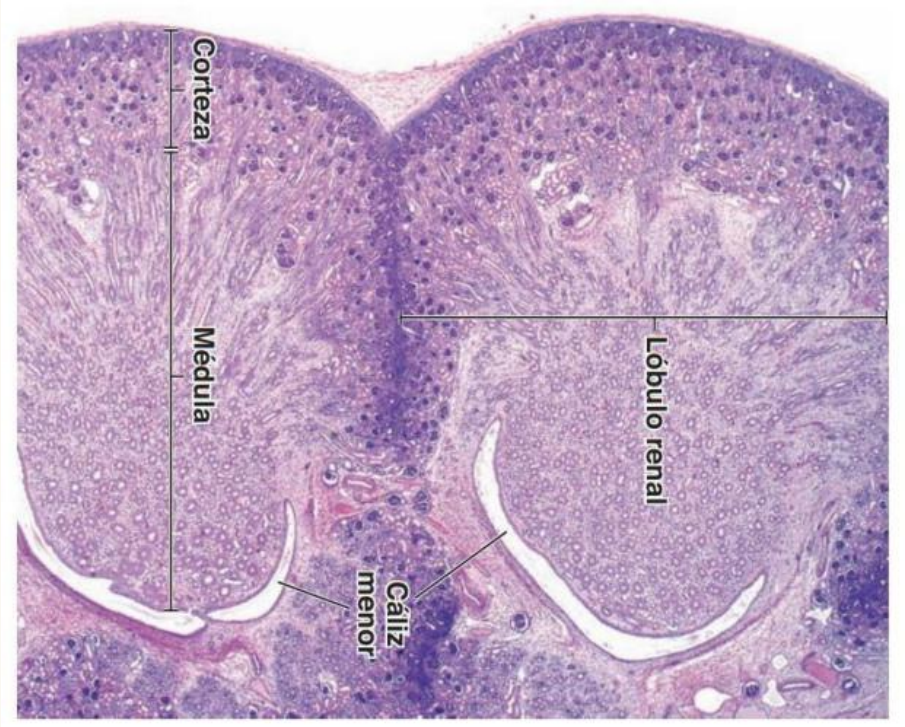


Figura 5. Un lóbulo renal reúne una pirámide medular y la corteza asociada. La papila se proyecta hacia un cáliz menor. (Diapositiva 7.)

Irrigación y dos redes capilares sucesivas

La sangre que entra al riñón debe alcanzar tanto el sitio de filtración como los túbulos que modifican el filtrado. Por eso la disposición vascular está directamente vinculada con la función renal.

El recorrido arterial puede seguirse en este orden:

1. **Arteria renal**, que ingresa por el hilio en el borde cóncavo del órgano.
2. **Arterias segmentarias** y luego **interlobares**, que avanzan entre las pirámides.
3. **Arterias arciformes o arcuatas**, ubicadas en la unión entre corteza y médula.
4. **Arterias interlobulillares**, que ascienden por la corteza.

5. **Arteriola aferente**, que lleva sangre al corpúsculo renal.
6. **Capilares glomerulares**, donde se produce la filtración.
7. **Arteriola eferente**, que sale del corpúsculo y origina otra red capilar.

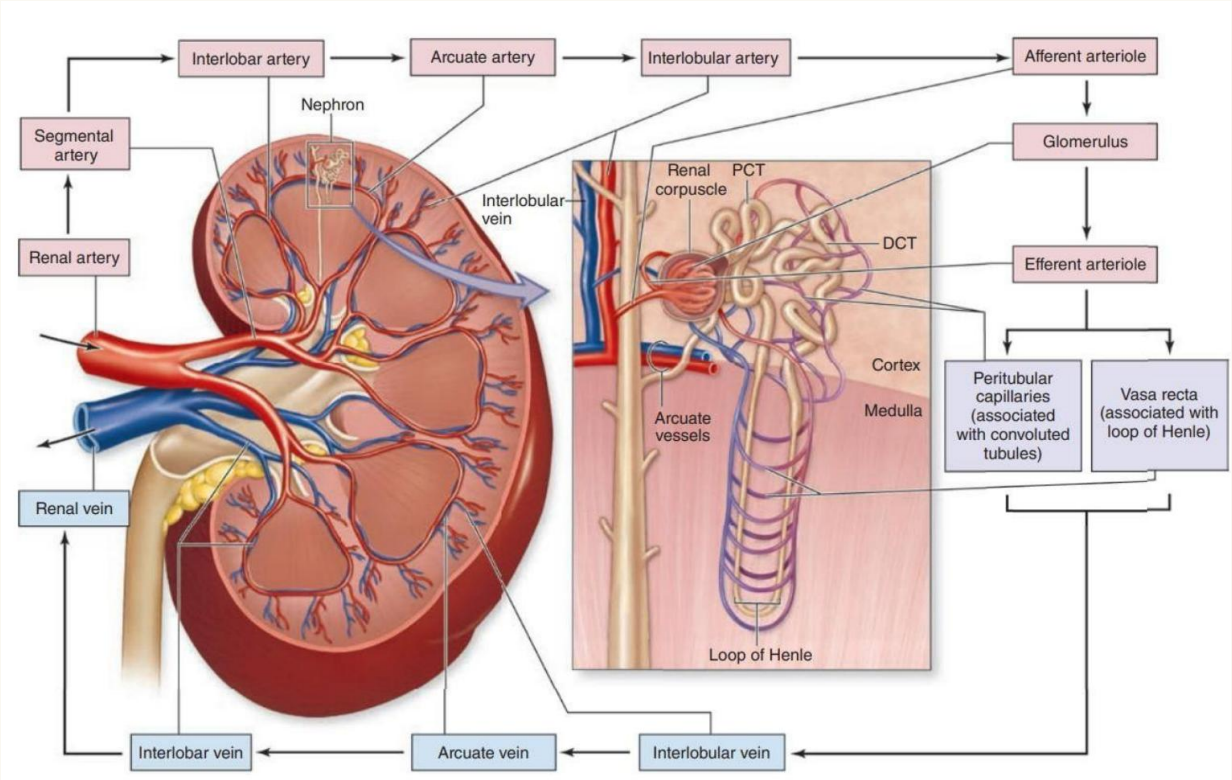


Figura 6. Recorrido vascular renal y sus dos lechos capilares. La arteriola eferente comunica el glomérulo con los capilares peritubulares o los vasos rectos. (Diapositiva 8.)

La característica distintiva es que la primera red capilar no desemboca de inmediato en una vénula: de ella sale una **arteriola eferente**. Esta conexión arterial entre dos lechos capilares se describe como un **sistema porta arterial**.

- Los **capilares peritubulares** se distribuyen alrededor de los túbulos, especialmente en la corteza, y participan en el intercambio asociado con reabsorción y secreción.
- Los **vasos rectos o vasa recta** acompañan los trayectos tubulares en la médula, particularmente en relación con las nefronas de asas largas.
- El retorno venoso recoge la sangre a través de vasos interlobulillares, arciformes e interlobares hasta la vena renal.

Corteza y médula en el corte histológico

Laberinto cortical y rayos medulares

La corteza contiene dos componentes que se intercalan. Para diferenciarlos, conviene comenzar por localizar los **corpúsculos renales**, estructuras redondeadas que solo se encuentran en la corteza.

- **Laberinto cortical.** Contiene corpúsculos renales, túbulos contorneados proximales y distales, además de pequeños segmentos del sistema de conexión y colección.
  - Los túbulos contorneados se cortan en distintos planos y producen perfiles redondeados, ovalados o irregulares.
  - La combinación de corpúsculos y perfiles tubulares de orientación variable da al conjunto su aspecto de laberinto.
- **Rayos medulares.** Son haces de túbulos rectos proximales y distales y de conductos colectores situados dentro de la corteza.
  - Su disposición paralela contrasta con la del laberinto.
  - No contienen corpúsculos renales.

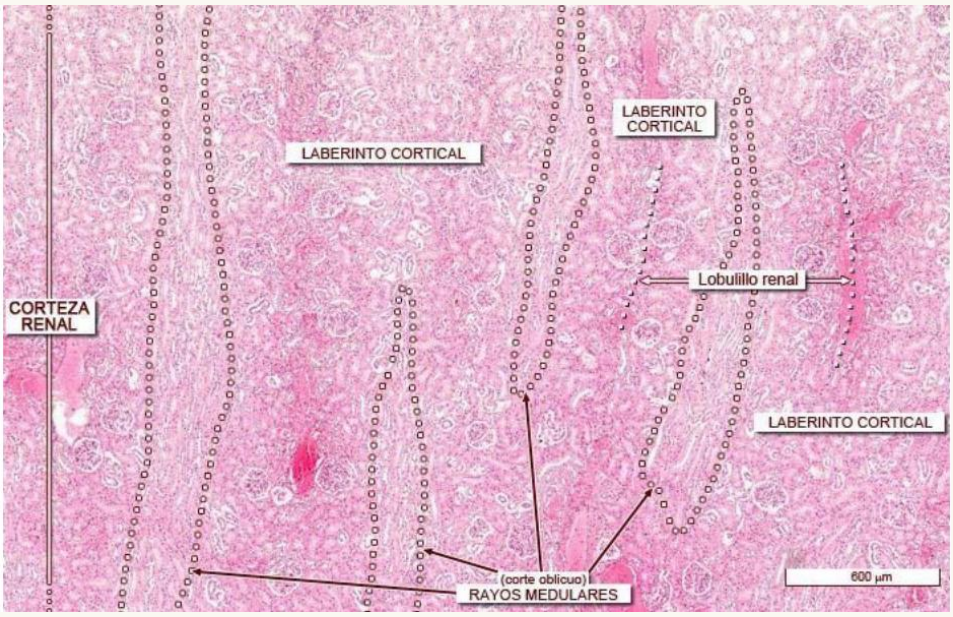


Figura 7. Corteza con laberinto cortical y rayos medulares. Los corpúsculos permiten reconocer el laberinto; los haces rectos constituyen los rayos. (Diapositiva 10.)

Aclaración: El nombre «rayo medular» puede inducir a error: el rayo pertenece a la corteza. La presencia de túbulos rectos sin corpúsculos en un campo pequeño no basta, por sí sola, para concluir que se está observando médula.

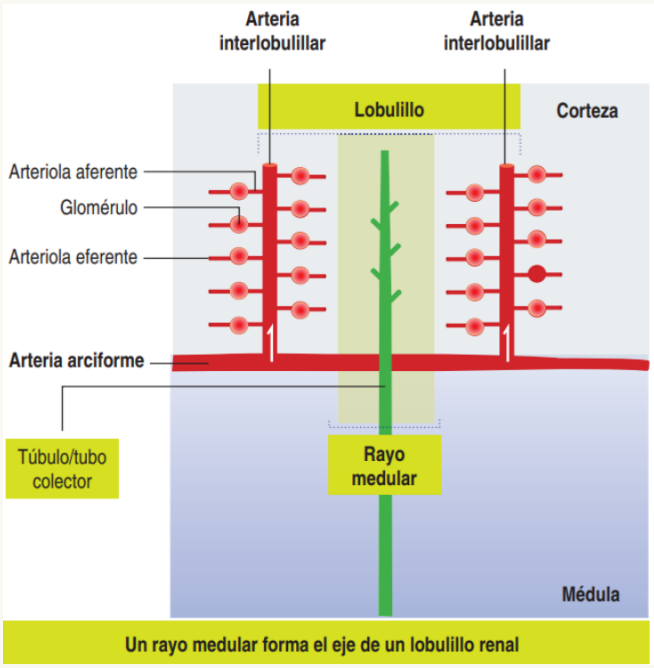


Figura 8. El rayo medular forma el eje de un lobulillo renal. Las arterias interlobulillares ayudan a delimitarlo y las arciformes marcan la unión corticomedular. (Diapositiva 11.)

Las arterias arciformes ayudan a reconocer el límite corticomedular. Dentro de la corteza, los rayos medulares forman ejes hacia los que se organiza el tejido cortical circundante. Al aumentar la imagen se distinguen los túbulos rectos del rayo y, a sus lados, los corpúsculos y túbulos contorneados del laberinto.



Figura 9. Laberinto cortical junto a un rayo medular a mayor aumento. En el rayo se distinguen túbulos rectos proximales y distales y conductos colectores. (Diapositiva 12.)

Qué aportan las tinciones

Las tinciones permiten reconocer componentes que con hematoxilina y eosina pueden resultar menos evidentes:

- La **impregnación argéntica** delimita en oscuro las membranas basales. Así se destaca el contorno de los túbulos y de las estructuras glomerulares.
- Las tinciones que resaltan el **colágeno** muestran el tejido conectivo de sostén. Su distribución debe distinguirse del epitelio que reviste cada estructura.
- La reacción de **ácido periódico de Schiff o PAS** resalta componentes ricos en carbohidratos y permite reconocer membranas basales con coloración magenta.
  - PAS también puede marcar otras estructuras; una zona positiva no debe identificarse automáticamente como membrana basal.

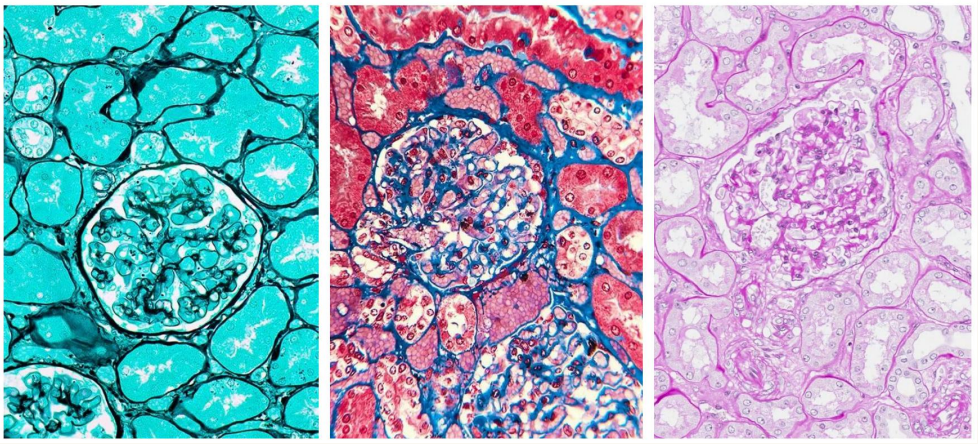


Figura 10. Tinciones complementarias de la corteza. De izquierda a derecha: impregnación argéntica, tinción del colágeno y PAS. Compárese la delimitación. (Diapositiva 13.)

La membrana basal se interpone entre el epitelio y el tejido conectivo subyacente. En los túbulos forma un límite continuo; en el corpúsculo, la membrana basal glomerular participa además en la barrera de filtración.

Médula renal y papila

La médula corresponde a la porción interna del parénquima. Contiene **porciones rectas de los túbulos proximales y distales**, **segmentos delgados del asa de Henle, túbulos colectores medulares y conductos papilares**.

Su reconocimiento depende de dos rasgos combinados: **abundancia de perfiles tubulares paralelos** y **ausencia de corpúsculos renales**. En un corte longitudinal se ven conductos alargados; en un corte transversal, sus luces aparecen como perfiles redondeados. El aspecto relativamente más claro de algunas imágenes deriva de esa organización y de la abundancia de luces, pero el color aislado no sustituye la identificación de estructuras.

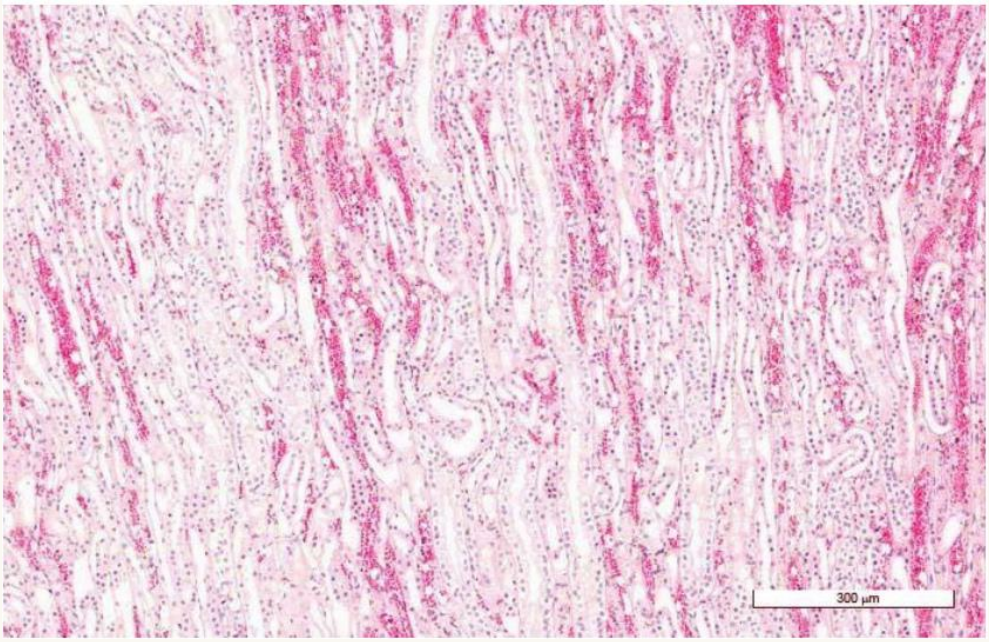


Figura 11. Médula renal con abundantes perfiles tubulares paralelos y sin corpúsculos. La orientación del corte modifica el aspecto de sus lúmenes. (Diapositiva 14.)

La médula se subdivide en **externa e interna**. La médula externa presenta una franja externa y otra interna. A medida que los conductos colectores avanzan hacia la papila, convergen en **conductos papilares de Bellini**, cuyas desembocaduras se sitúan en el área cribosa del vértice papilar.

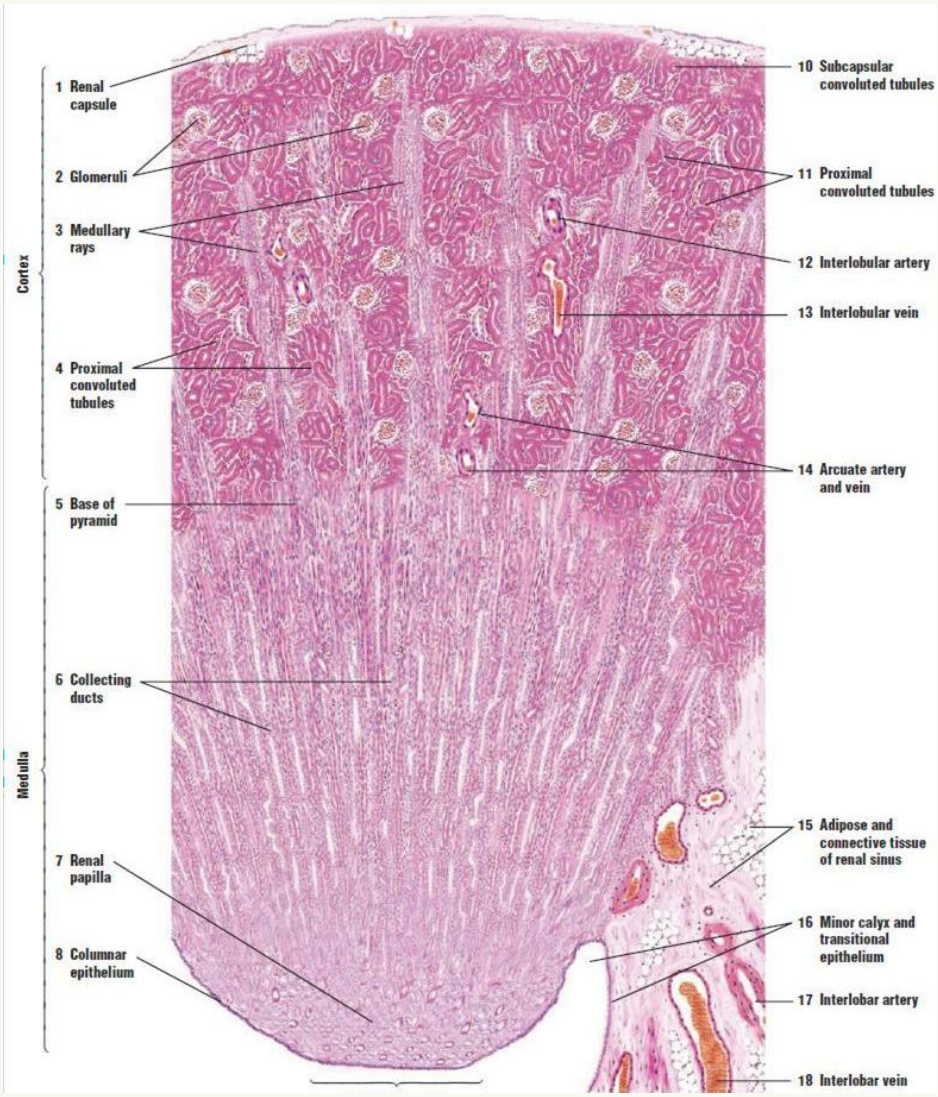


Figura 12. Recorrido histológico desde la cápsula hasta la papila y el cáliz menor. Los rótulos permiten relacionar regiones y segmentos tubulares. (Diapositiva 15.)

La corteza conserva los corpúsculos incluso cuando estos se ubican cerca del límite con la médula. Lo que se prolonga hacia la profundidad son los segmentos tubulares y los vasos que los acompañan; el glomérulo no desciende con ellos.

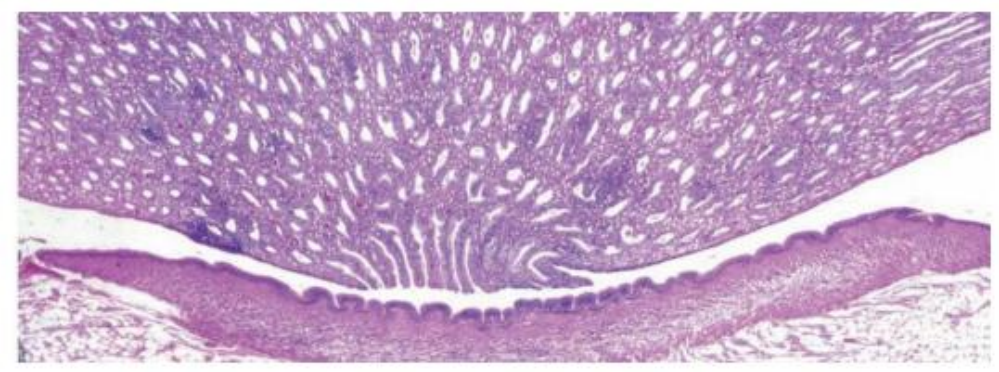


Figura 13. Papila renal. Los conductos convergen hacia su extremo y se abren al sistema calicial. (Diapositiva 16.)

Túbulo urinífero y nefronas

Componentes de la unidad funcional

El **túbulo urinífero** integra la nefrona y el sistema colector que recibe su producto. Es una unidad estructural y funcional dedicada a la formación de orina; su número es muy elevado, con una cifra orientativa de alrededor de 1,3 millones por riñón.

- **Nefrona**
  - **Corpúsculo renal:** inicia la formación del **filtrado**.
  - **Túbulos renales:** modifican ese líquido mediante **reabsorción** y **secreción**. Comprenden el túbulo proximal, los segmentos del asa de Henle y el túbulo distal.
- **Sistema colector**
  - Recibe el líquido procedente de varias nefronas.
  - Incluye segmentos corticales, medulares externos e internos y conductos papilares.

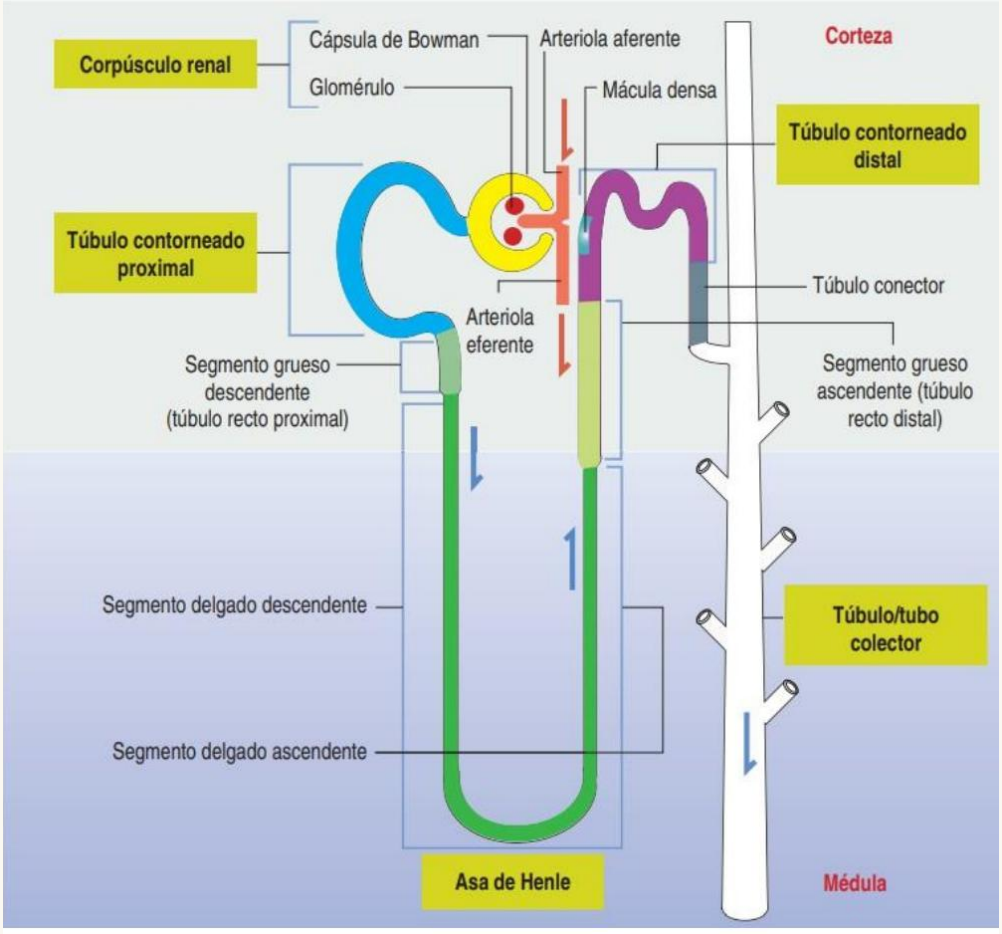


Figura 14. Componentes del túbulo urinífero y ubicación de sus segmentos en corteza y médula. El colector recibe el producto de varias nefronas. (Diapositiva 18.)

Aclaración: El conducto colector forma parte del túbulo urinífero en esta organización, pero se distingue de la nefrona. Tampoco deben usarse como sinónimos glomérulo y corpúsculo: el glomérulo es el ovillo capilar incluido dentro del corpúsculo.

El recorrido tubular comienza en el **polo urinario** del corpúsculo. Continúa por el túbulo proximal, desciende y vuelve a ascender a través del asa de Henle, alcanza el túbulo distal y se conecta con el **sistema colector**. El túbulo distal vuelve a aproximarse al polo vascular del corpúsculo del que se originó la nefrona; esa relación es esencial para comprender el **aparato yuxtaglomerular**.

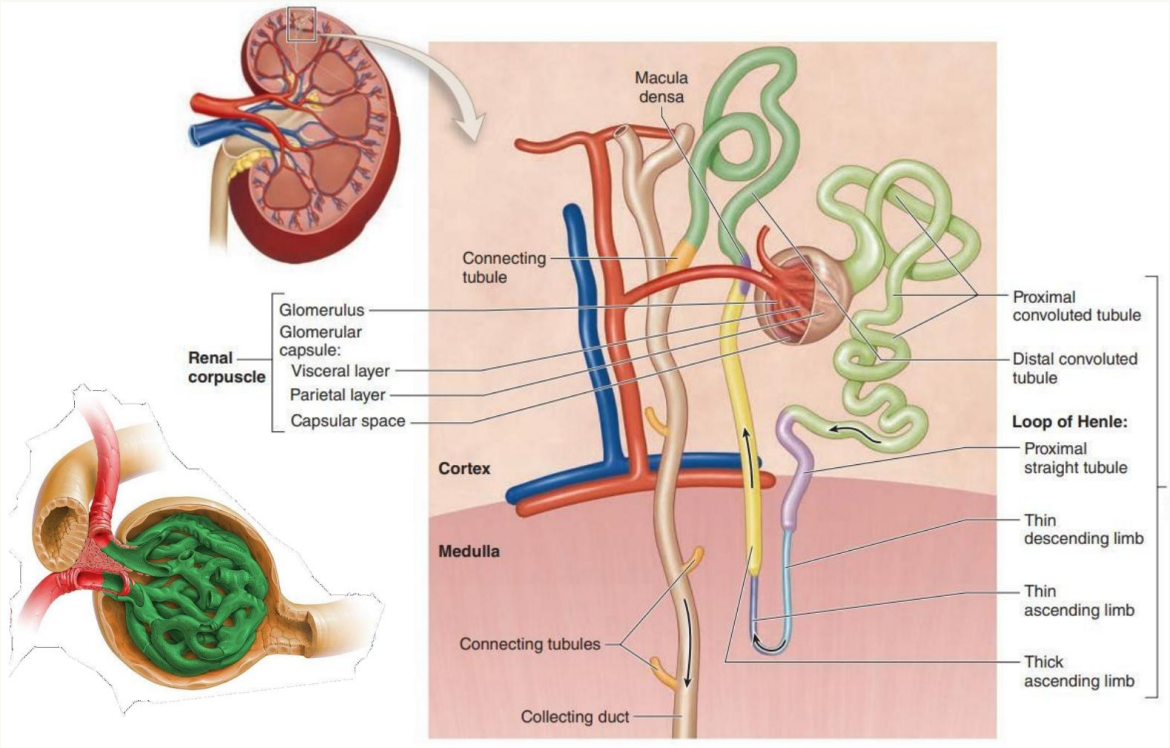


Figura 15. Relación espacial entre corpúsculo, túbulos renales, asa de Henle y conducto colector. La frontera entre corteza y médula permite localizar cada trayecto. (Diapositiva 9.)

Nefronas corticales y yuxtamedulares

Las nefronas comparten sus componentes, pero difieren en la posición del corpúsculo y en la longitud de sus segmentos tubulares.

Rasgo	Nefrona cortical	Nefrona yuxtamedular
Posición del corpúsculo	Región más externa de la corteza	Corteza profunda, cerca de la médula
Asa de Henle	Más corta; penetra menos en la médula	Más larga; puede alcanzar la médula interna

Rasgo	Nefrona cortical	Nefrona yuxtamedular
Red posterior a la arteriola eferente	Predomina la red capilar peritubular cortical	Se desarrollan vasos rectos que acompañan los trayectos medulares

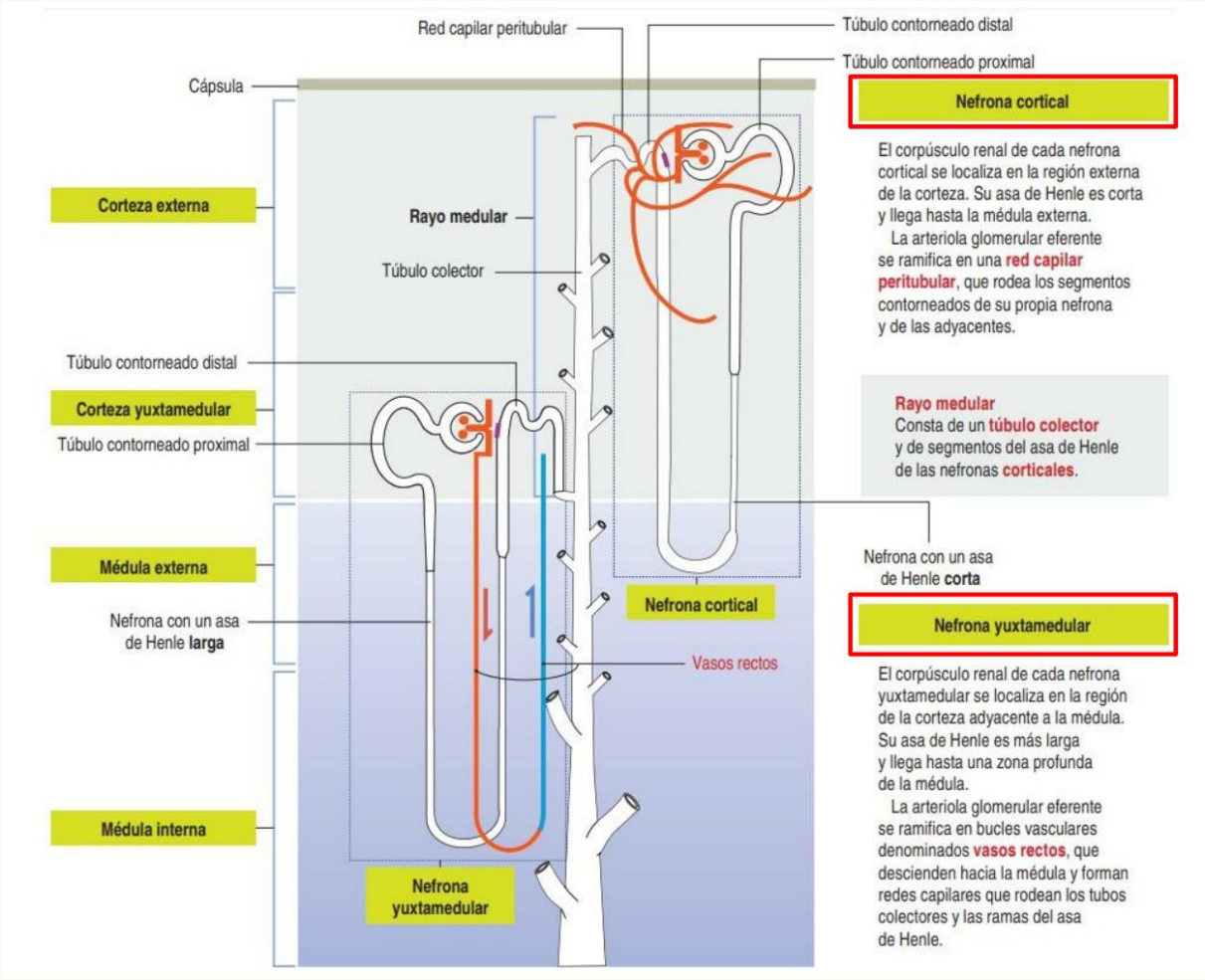


Figura 16. Nefrona cortical y yuxtamedular. La profundidad del corpúsculo se relaciona con la longitud del asa y con el desarrollo de los vasos rectos. (Diapositiva 19.)

La expresión «asa larga y delgada» describe el mayor desarrollo de segmentos delgados de las nefronas yuxtamedulares. No significa que toda su asa tenga una pared delgada: los segmentos gruesos y delgados se reconocen por su epitelio, como se desarrolla más adelante.

Corpúsculo renal y filtración

Organización del corpúsculo

El **corpúsculo renal o de Malpighi** es una estructura redondeada de unos **200 a 250 µm de diámetro**. Está compuesto por el **glomérulo y la cápsula de Bowman**. Entre el ovillo capilar y la hoja parietal de la cápsula queda el **espacio urinario o espacio de Bowman**, que recibe el filtrado.

Se reconocen dos polos:

- **Polo vascular:** entra la arteriola aferente y sale la arteriola eferente. Junto a ellas se organiza el aparato yuxtaglomerular.
- **Polo urinario:** el espacio de Bowman se continúa con la luz del túbulo contorneado proximal. Por aquí abandona el corpúsculo el líquido filtrado.

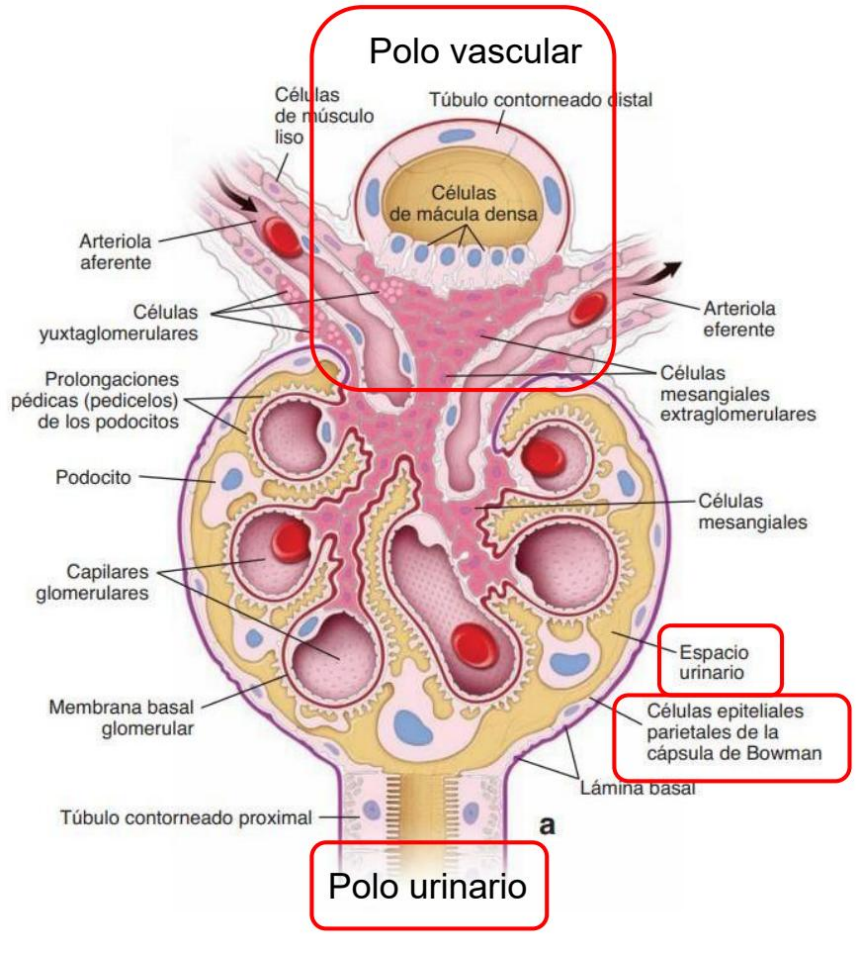


Figura 17. Corpúsculo renal y sus dos polos. El espacio urinario se continúa con el túbulo proximal; el polo vascular reúne las arteriolas y el aparato yuxtaglomerular. (Diapositiva 20.)

La **cápsula de Bowman** posee dos hojas:

- **Parietal: epitelio plano simple** apoyado sobre su lámina basal. En microscopía óptica, sus núcleos aplanados rodean el espacio urinario.
- **Visceral:** formada por **podocitos** que recubren las asas capilares. Sus prolongaciones participan en la barrera de filtración.

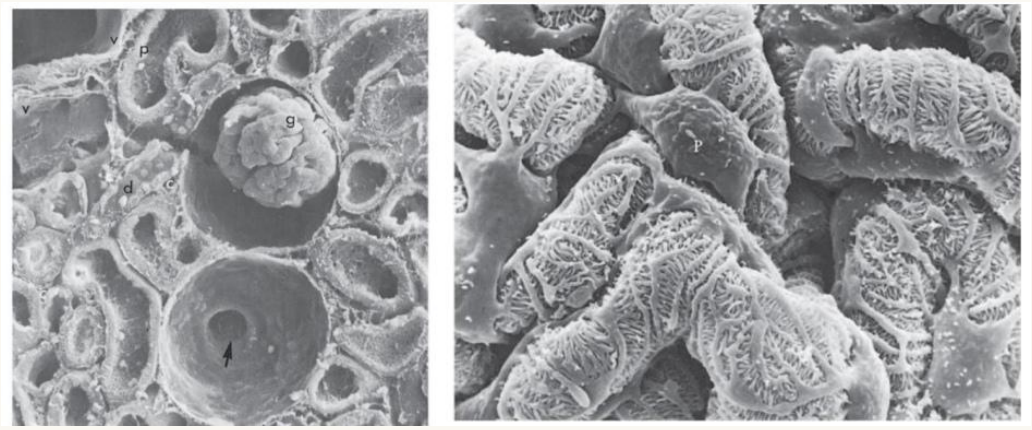


Figura 18. Microscopía electrónica de barrido del corpúsculo y de su ovillo capilar. El mayor aumento muestra la cubierta de podocitos. (Diapositiva 20.)

Los capilares del glomérulo forman un ovillo, semejante a una madeja. La sangre circula dentro de sus luces, mientras el filtrado atraviesa la pared y llega al espacio de Bowman. Esta separación permite entender por qué un eritrocito puede verse dentro de un capilar sin formar parte del contenido normal del espacio urinario.

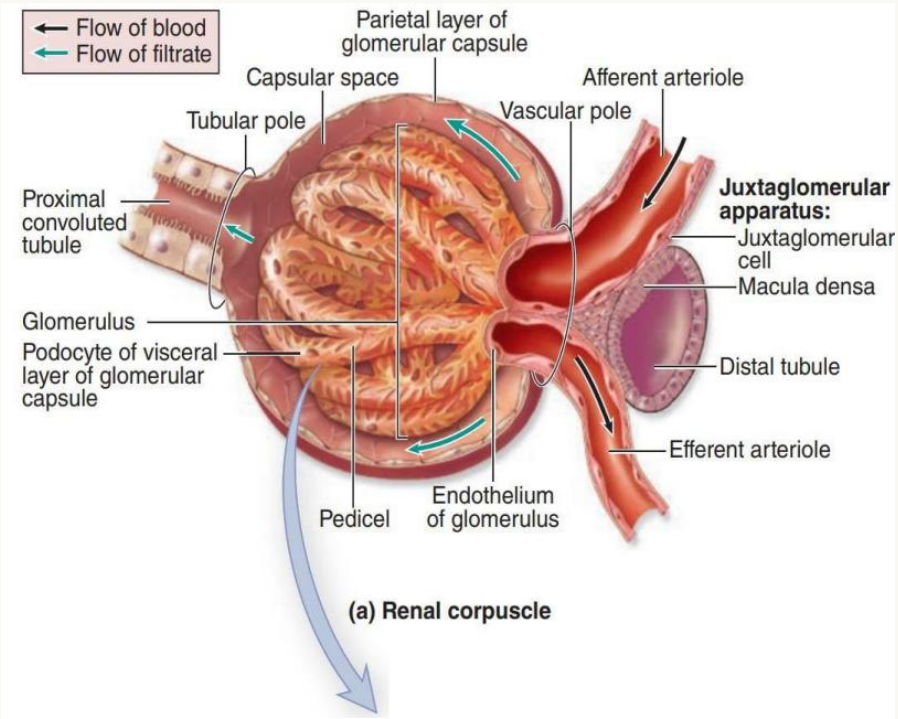


Figura 19. Organización tridimensional del corpúsculo. Las flechas originales distinguen el trayecto de la sangre del recorrido del filtrado hacia el polo urinario. (Diapositiva 22.)

Podocitos y pedicelos

Los podocitos son células epiteliales especializadas de la **hoja visceral**. Su cuerpo celular emite prolongaciones primarias; de estas parten prolongaciones más finas, los **pedicelos**, que se apoyan sobre la membrana basal glomerular y se interdigitan con los de células vecinas.

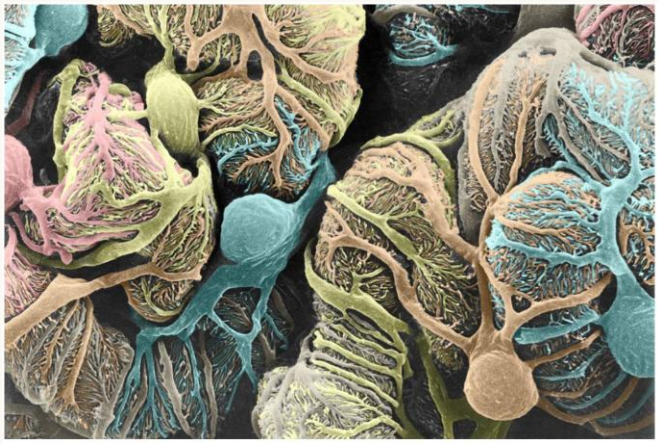


Figura 20. Podocitos coloreados sobre las asas capilares. Cada cuerpo celular emite prolongaciones que se distribuyen por la superficie vascular. (Diapositiva 21.)

La imagen de una célula que «abraza» un capilar ayuda a visualizar su distribución. Sin embargo, el componente decisivo para la filtración es la disposición de los pedicelos y de los espacios que quedan entre ellos. Esos espacios constituyen las **hendiduras de filtración**, atravesadas por un **diafragma** especializado.

En microscopía óptica se distinguen núcleos de podocitos hacia la superficie de las asas capilares, núcleos endoteliales relacionados con sus luces y células mesangiales en los espacios intercapilares. Los pedicelos individuales y el diafragma requieren microscopía electrónica para analizarse con detalle.

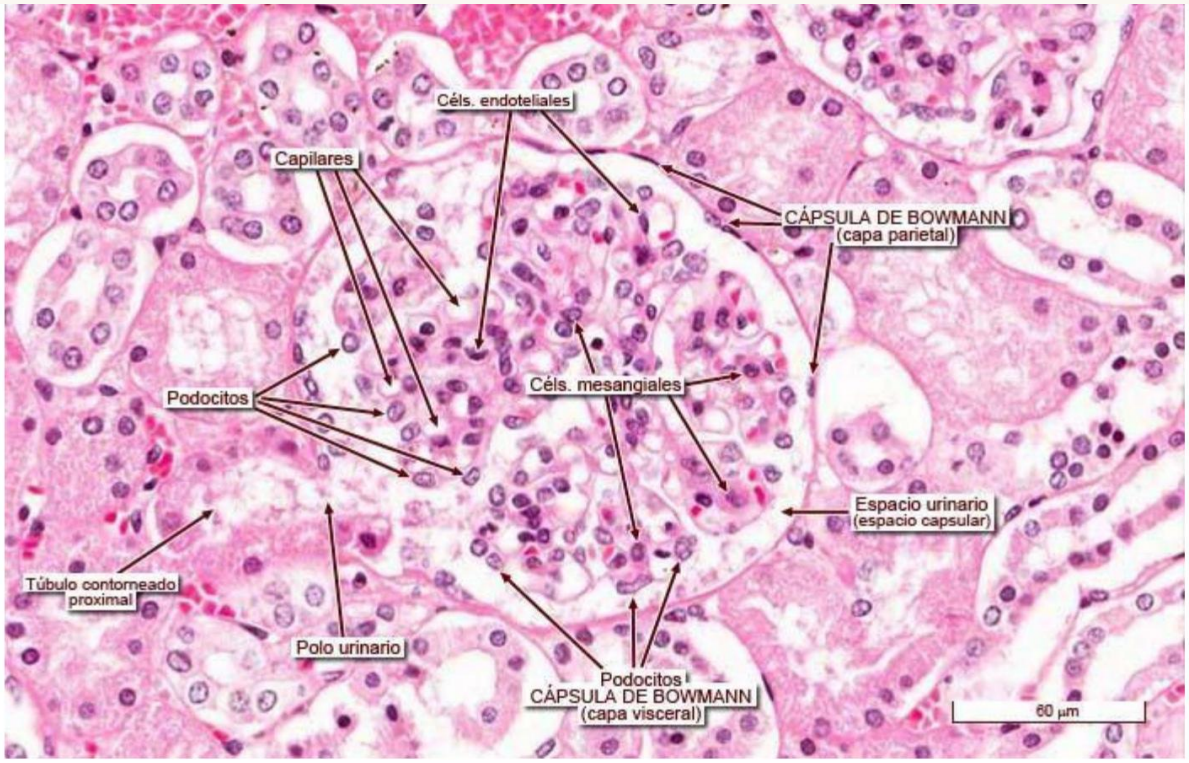


Figura 21. Corpúsculo renal en microscopía óptica. Se identifican cápsula parietal, espacio urinario, capilares, podocitos, mesangio y continuidad con el túbulo proximal. (Diapositiva 23.)

Componentes de la barrera de filtración

La barrera separa la sangre capilar del espacio urinario. El líquido que la atraviesa encuentra, en secuencia, **endotelio fenestrado, membrana basal glomerular y hendiduras con diafragma entre los pedicelos**.

1. **Endotelio de los capilares glomerulares.** Es plano y posee fenestras que favorecen el paso de agua y solutos. Las fenestras glomerulares normalmente carecen de diafragma.
2. **Membrana basal glomerular o MBG.** Es continua y constituye un componente central de la barrera.
   - Contiene colágeno tipo IV, laminina, fibronectina y proteoglucanos, entre ellos heparán sulfato.
   - En la descripción ultraestructural clásica se distinguen una **lámina rara interna**, cercana al endotelio; una **lámina densa** central; y una **lámina rara externa**, próxima a los pedicelos.
3. **Pedicelos y diafragmas de hendidura.** Los pedicelos delimitan espacios entre sí; el paso del filtrado ocurre a través de estas hendiduras y sus diafragmas, no atravesando el citoplasma del pedicelo.

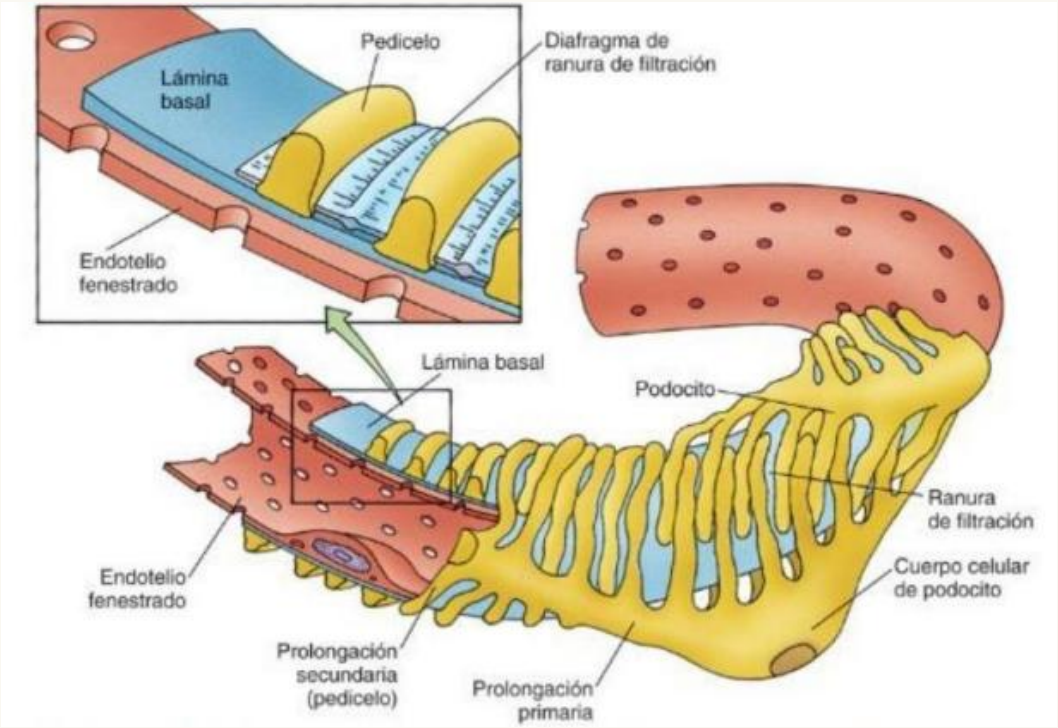


Figura 22. Prolongaciones del podocito, pedicelos y hendiduras de filtración sobre la membrana basal y el endotelio fenestrado. (Diapositiva 24.)

Aclaración: Las fenestras son poros a través de las células endoteliales, no separaciones amplias entre células propias de un endotelio discontinuo. Además, el diafragma de la hendidura entre pedicelos es distinto de un diafragma de fenestra endotelial. La ausencia habitual del segundo no implica ausencia del primero. [1, 2]

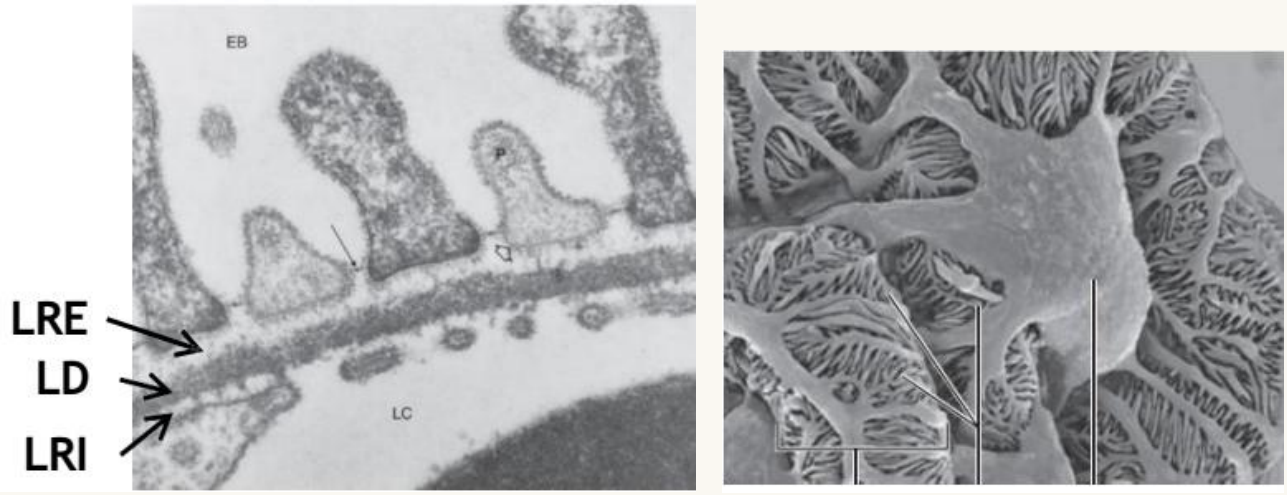


Figura 23. Ultraestructura de la membrana basal glomerular y de los pedicelos. LRE: lámina rara externa; LD: lámina densa; LRI: lámina rara interna. (Diapositiva 24.)

La analogía de un cedazo o de una tela usada para filtrar leche de almendras permite comprender la **selección**: una trama deja pasar ciertos componentes y retiene otros. En el corpúsculo renal, esa trama corresponde a varios componentes biológicos organizados de manera conjunta. El filtrado contiene agua y solutos pequeños, como iones, glucosa, aminoácidos y urea; las células sanguíneas y las proteínas grandes se retienen normalmente del lado vascular.

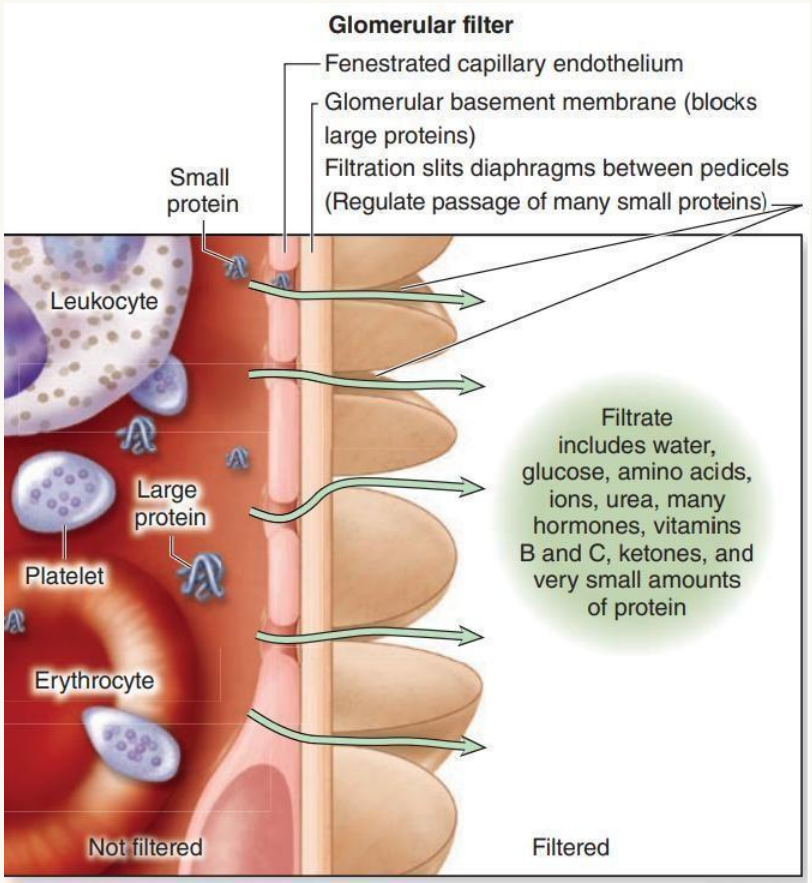


Figura 24. Selección a través de la barrera glomerular. Las células sanguíneas y las proteínas grandes quedan del lado vascular; agua y solutos pequeños integran el filtrado. (Diapositiva 24.)

Por lo tanto, filtrar no equivale a extraer exclusivamente sustancias tóxicas. También se filtran sustancias útiles que deben recuperarse después. Esta es la razón de que la filtración glomerular deba ir seguida de reabsorción y secreción tubular.

Reconocimiento de la barrera en microscopía electrónica

Para interpretar una micrografía, conviene recorrerla desde la luz capilar hacia el espacio urinario:

- Localizar la **luz capilar**, que puede contener un eritrocito.
- Seguir el **endotelio delgado** y reconocer sus fenestras.
- Identificar la **membrana basal continua**.
- Reconocer los **pedicelos** apoyados sobre ella.
- Ubicar las **hendiduras y sus diafragmas** entre pedicelos, abiertas hacia el espacio de Bowman.

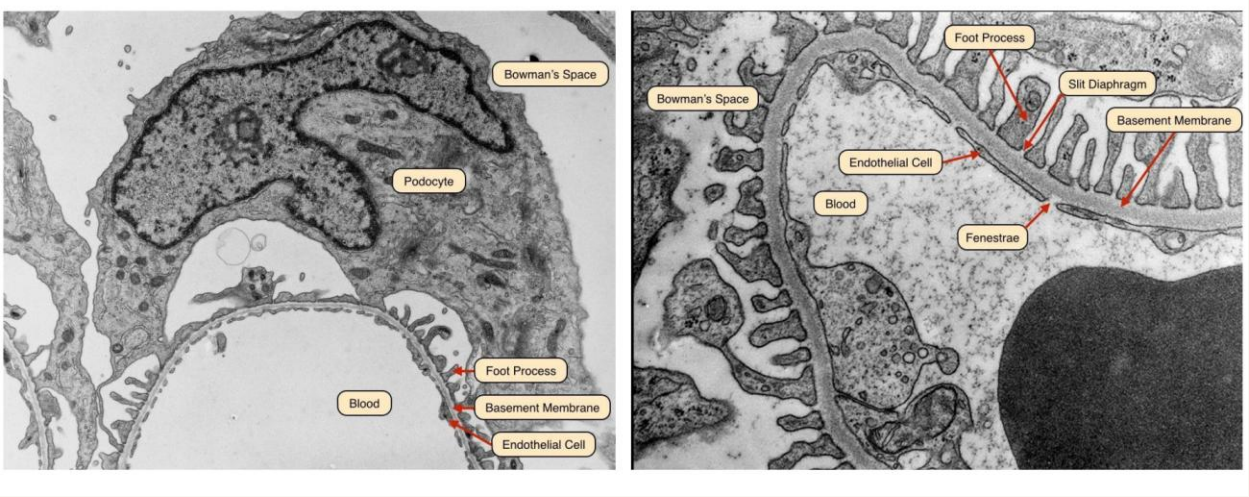


Figura 25. Microscopía electrónica de transmisión de la barrera. Localícense luz capilar, endotelio, fenestras, membrana basal, pedicelos y diafragma de hendidura. (Diapositiva 25.)

En las imágenes ópticas del corpúsculo, los polos no siempre quedan incluidos en un mismo plano de corte. El polo urinario se reconoce por la continuidad con el túbulo proximal; el vascular, por las arteriolas y su vecindad con el túbulo distal. La posición aparente «arriba» o «abajo» en una fotografía no define el polo.

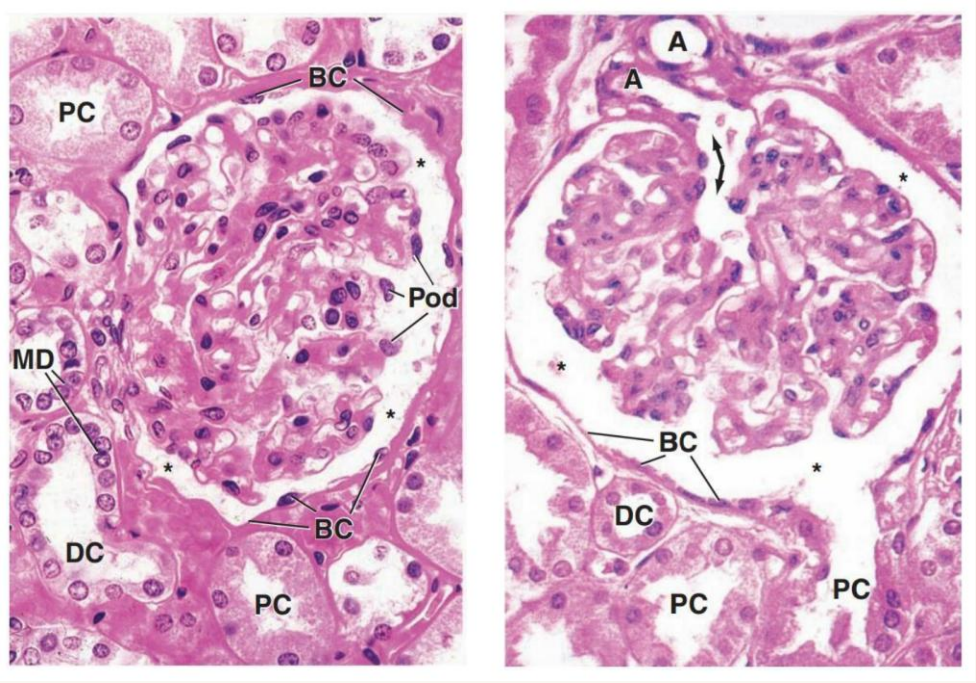


Figura 26. Dos cortes del corpúsculo. BC identifica la cápsula de Bowman; PC y DC, túbulos proximales y distales; MD, mácula densa; Pod, podocitos; A, arteriolas. (Diapositiva 27.)

Del filtrado al túbulo proximal

Una vez en el espacio de Bowman, el filtrado entra al túbulo contorneado proximal. Allí comienza una **recuperación intensa de agua y solutos**. El transporte de sodio y otros iones favorece el movimiento de agua por ósmosis; así disminuye el volumen del líquido tubular y se recuperan componentes que el organismo necesita conservar.

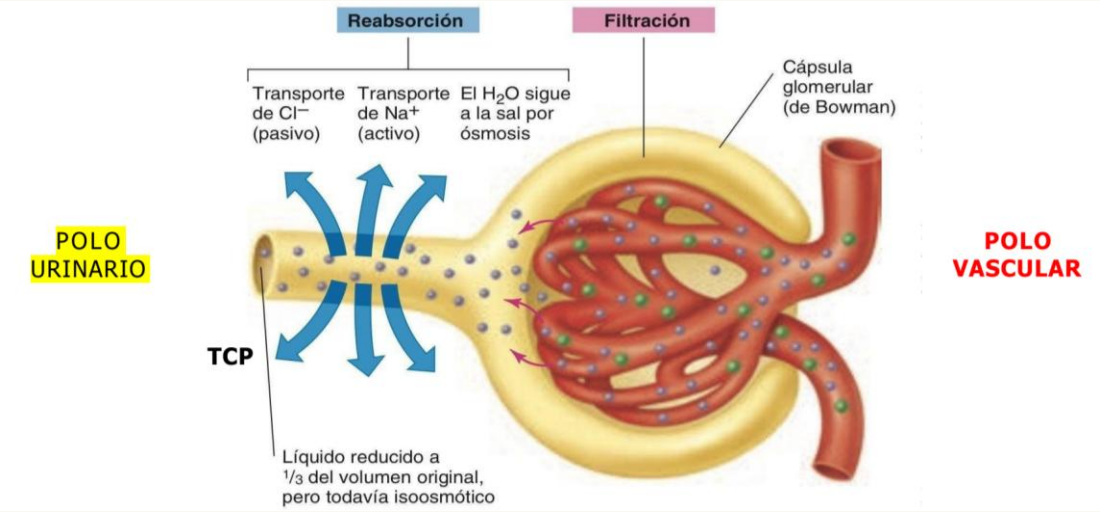


Figura 27. Filtración glomerular y reabsorción proximal. El agua acompaña el movimiento de solutos; la reducción del volumen tubular no equivale aún a la orina definitiva. (Diapositiva 26.)

El líquido que sale del corpúsculo es **filtrado glomerular**, todavía sujeto a modificaciones. La orina definitiva resulta del conjunto de procesos que ocurren a lo largo de los túbulos y del sistema colector.

Mesangio renal

El **mesangio** está constituido por **células mesangiales** y **matriz mesangial**. Ocupa los espacios entre las asas capilares y contribuye a mantener la organización del ovillo glomerular.

- Las **células mesangiales intraglomerulares** se encuentran entre los capilares del glomérulo.
- Las **células mesangiales extraglomerulares** se ubican en el polo vascular, próximas a las arteriolas y a la mácula densa. Forman parte del **aparato yuxtaglomerular**.

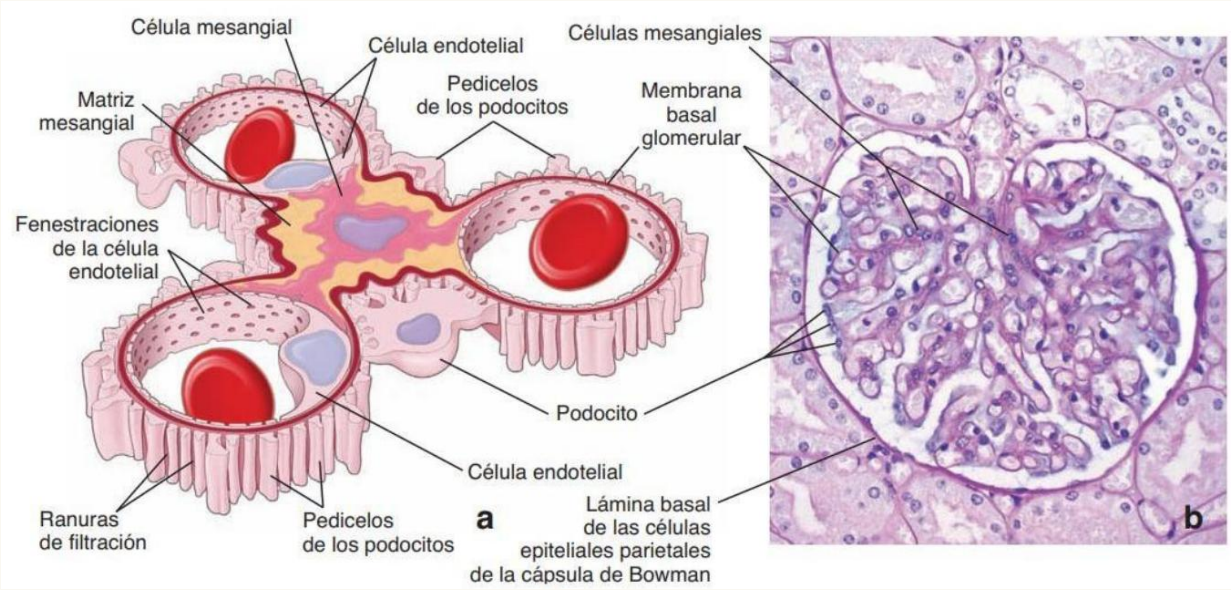


Figura 28. Mesangio intraglomerular. Sus células y matriz sostienen las asas capilares; los podocitos se ubican en su superficie externa. (Diapositiva 29.)

Sus funciones principales son:

- **Sostén estructural:** mantienen unidas y organizadas las asas capilares.
- **Actividad contráctil:** contribuye a modificar la superficie capilar disponible para filtración y a regular la dinámica glomerular.
- **Fagocitosis:** permite retirar material acumulado y restos celulares.
- **Producción de mediadores:** se incluyen endotelina y prostaglandinas, mencionadas como parte de su actividad reguladora.

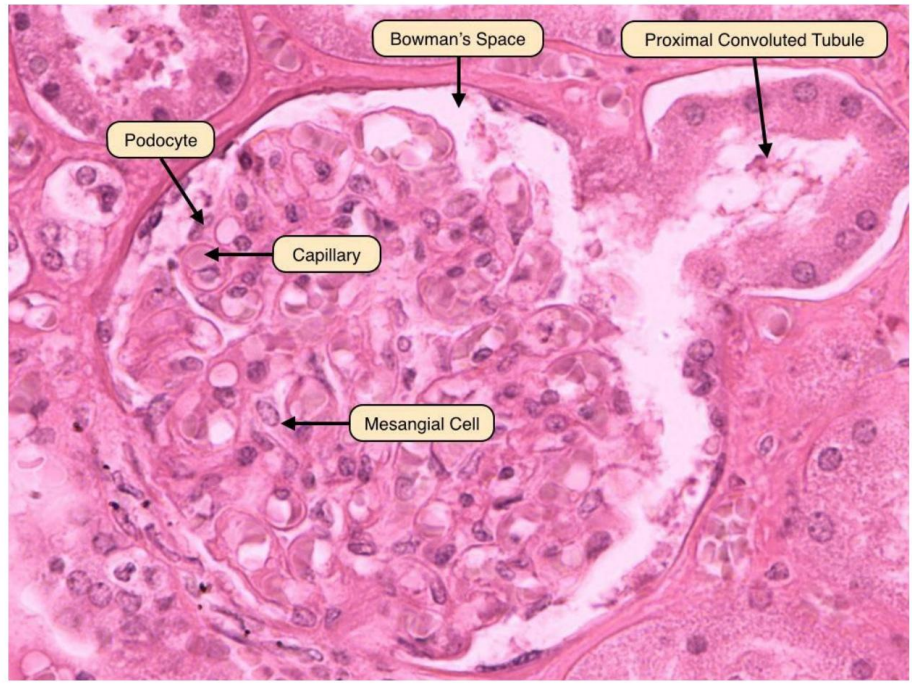


Figura 29. Células mesangiales en el centro del ovillo, entre las luces capilares. Los podocitos se reconocen hacia la superficie de las asas y el espacio urinario. (Diapositiva 28.)

En un corte glomerular, las células mesangiales tienden a verse en zonas centrales entre varias luces capilares. La asociación de una célula con el centro del ovillo es más útil que su color aislado; la tinción y el plano de corte modifican el aspecto de sus núcleos y citoplasma.

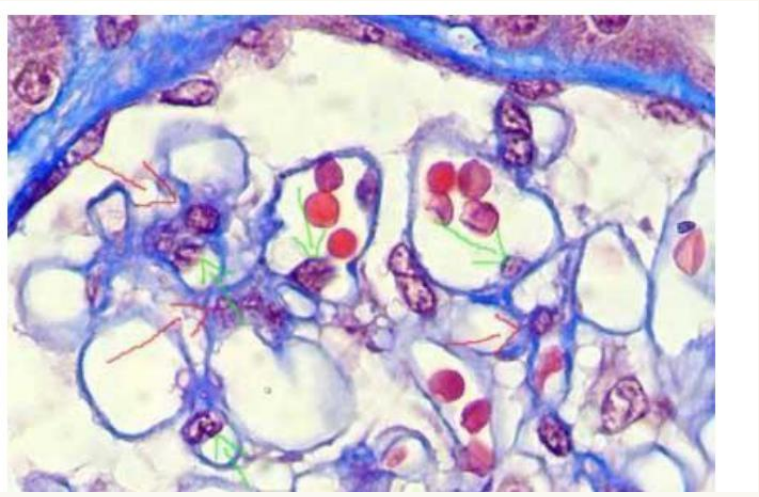


Figura 30. Relación entre matriz mesangial, asas capilares y eritrocitos con una tinción que destaca el tejido de sostén. (Diapositiva 30.)

Túbulos renales y sistema colector

Cambios del epitelio a lo largo del recorrido

El filtrado circula por una serie de segmentos con distinta capacidad de transporte. Sus epitelios reflejan esa especialización: **células cúbicas con abundantes microvellosidades** en el **proximal**, **células planas** en los **segmentos delgados del asa**, **epitelio cúbico sin borde en cepillo prominente** en el **distal** y **células de límites nítidos** en los **colectores**.

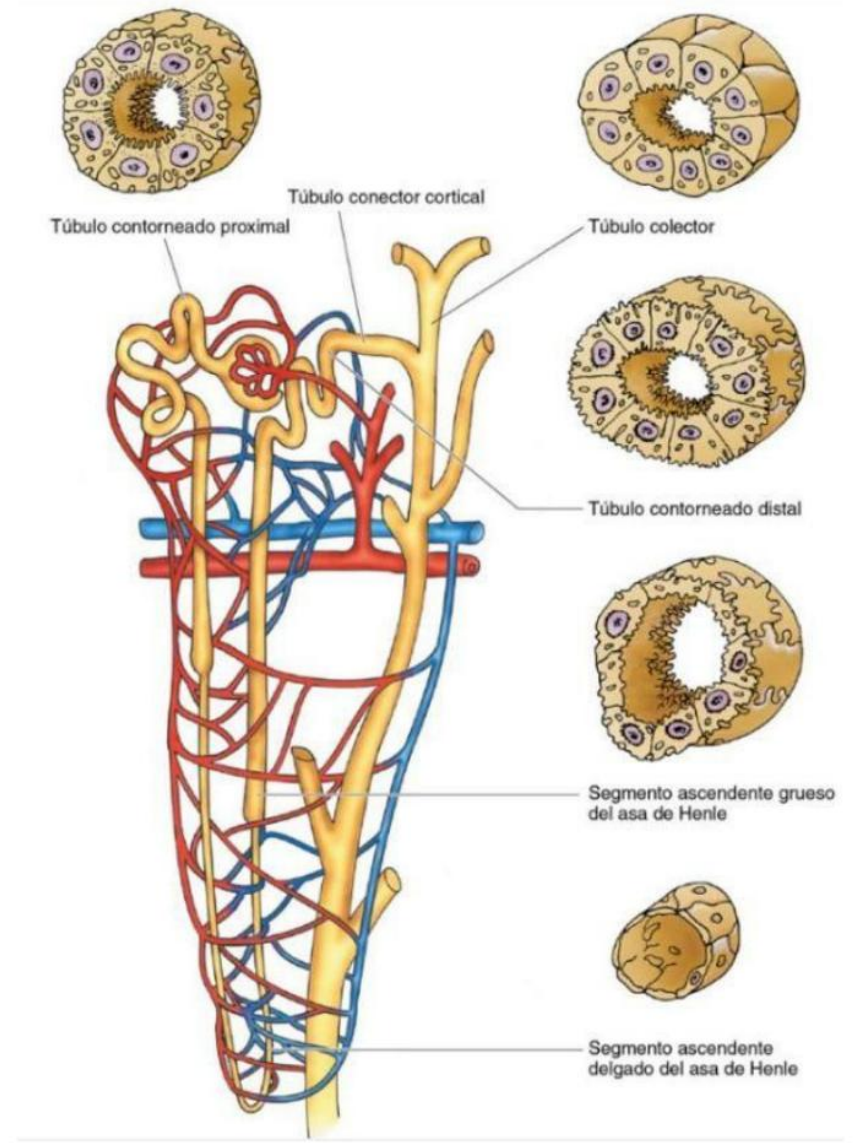


Figura 31. Relación entre el trayecto tubular y el aspecto de su epitelio. (Diapositiva 32.)

La reabsorción recupera sustancias desde la luz tubular hacia el intersticio y la sangre. La secreción realiza el movimiento hacia la luz tubular. Por eso una sustancia que aparece en la orina puede haber llegado por filtración, por secreción o por ambas; su cantidad final también depende de cuánto se haya reabsorbido.

Túbulo contorneado proximal

El **túbulo contorneado proximal**, abreviado aquí **TCP**, se origina en el polo urinario del corpúsculo. Realiza una **reabsorción muy intensa**: recupera aproximadamente el **65–80 % del agua filtrada**, además de reabsorber Na^+, Cl^- y K^+. También se recuperan glucosa y aminoácidos y se secretan determinados metabolitos.

Su epitelio cúbico simple presenta especializaciones coherentes con esta actividad:

- **Dominio apical con borde en cepillo.** Las numerosas microvellosidades amplían la superficie de reabsorción.
  - Se proyectan hacia la luz y le dan un contorno irregular, poco definido o de aspecto estrellado.
  - La descripción de una luz «sucia» alude a ese aspecto histológico; no implica que exista suciedad dentro del túbulo.
- **Dominio basolateral con pliegues e interdigitaciones.** Aumenta la superficie de membrana e interconecta estrechamente las células vecinas.
  - Sus límites laterales resultan difíciles de seguir con microscopía óptica.
- **Citoplasma eosinófilo y numerosas mitocondrias.** El citoplasma suele verse más rosado que el de los túbulos distales.
- **Núcleo central.** Se reconoce dentro de células que forman un revestimiento relativamente grueso.

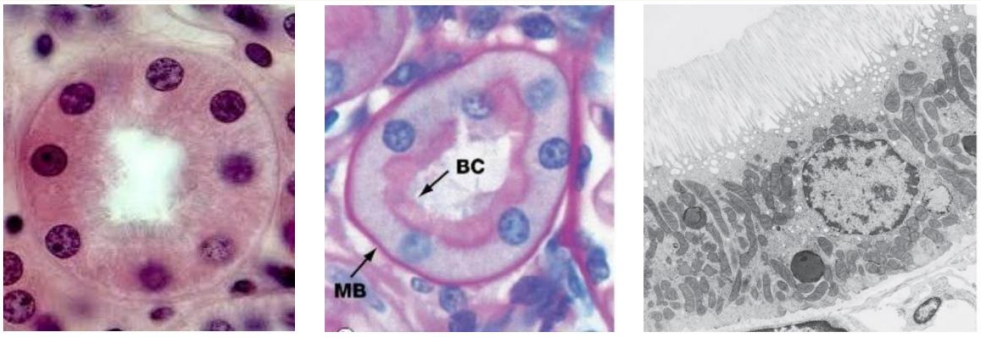


Figura 32. Túbulo proximal: microscopía óptica y ultraestructura. (Diapositiva 35.)

En un campo cortical con varios túbulos, el proximal se reconoce combinando citoplasma intensamente eosinófilo, borde en cepillo, límites celulares poco claros y luz irregular. Ninguno de estos rasgos debe interpretarse de manera aislada: un corte oblicuo o una preparación poco conservada pueden modificar la luz.

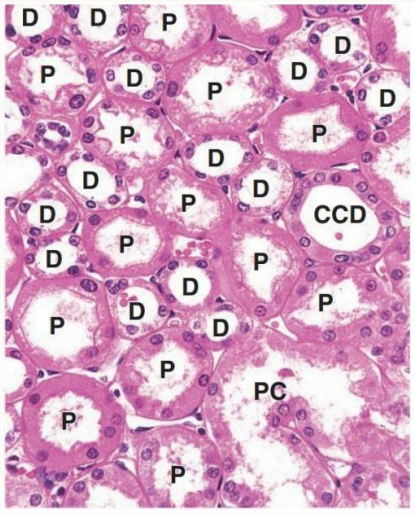


Figura 33. Perfiles corticales. P identifica túbulos proximales; D, distales; CCD, un conducto colector cortical. Compárese el borde apical y la nitidez de cada luz. (Diapositiva 35.)

Relación con la lesión tubular aguda

Las microvellosidades abundantes y las numerosas mitocondrias permiten inferir una actividad de transporte elevada. Las microvellosidades aportan superficie; las mitocondrias generan ATP para los mecanismos de transporte activo. Esa demanda energética vuelve al epitelio proximal especialmente vulnerable cuando una isquemia o un tóxico reducen la disponibilidad de ATP o dañan sus células. Esta relación estructura–función explica su participación en la lesión tubular aguda sin requerir que el daño se reconozca en una imagen normal.

Asa de Henle y túbulos rectos

El asa conecta el trayecto proximal con el distal mediante un recorrido que desciende hacia la médula y vuelve a ascender. Para interpretar su epitelio hay que distinguir **dirección del trayecto** y **grosor del segmento**.

Segmento	Revestimiento	Relación funcional destacada
Túbulo recto proximal o porción descendente gruesa	Epitelio cúbico simple	Continúa la especialización del túbulo proximal
Rama delgada descendente	Epitelio plano simple	Permeable al agua; permite su reabsorción
Rama delgada ascendente		Impermeable al agua; integra el trayecto ascendente de recuperación de solutos
Túbulo recto distal o porción ascendente gruesa	Epitelio cúbico simple, relativamente bajo	Reabsorbe Na^+, K^+ y Cl^- sin acompañamiento de agua

Aclaración: «Descendente» no equivale a «grueso» ni «ascendente» a «delgado». Ambas direcciones pueden incluir segmentos distintos; las porciones delgadas son planas y las gruesas son cúbicas.

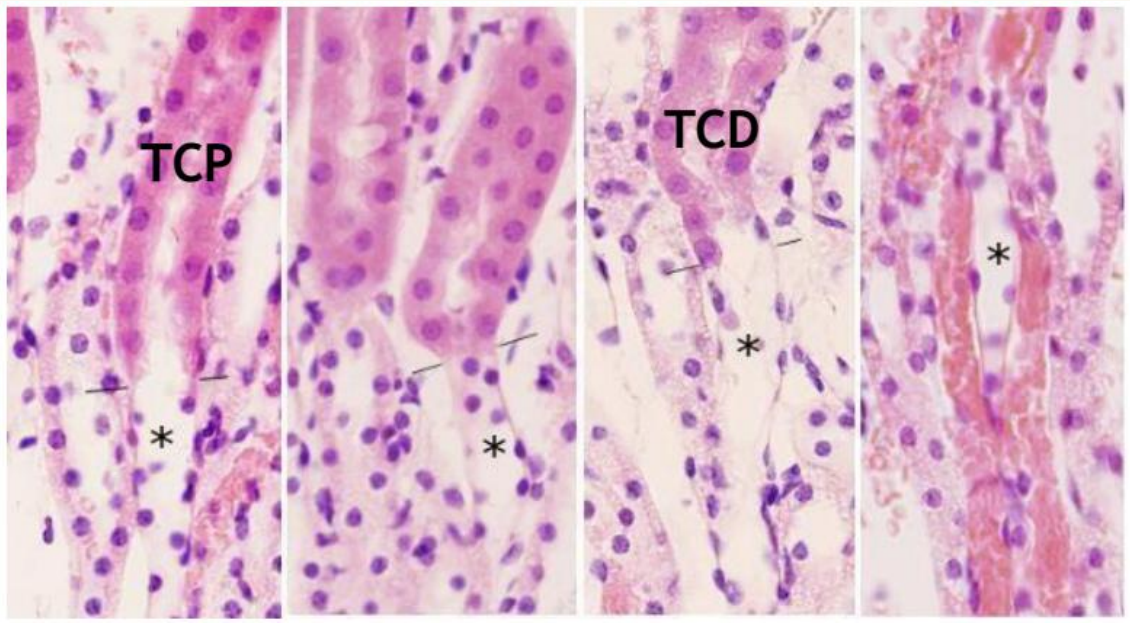


Figura 34. Segmentos tubulares en cortes longitudinales. (Diapositiva 36.)

En los segmentos delgados, la pared es muy fina y los núcleos pueden sobresalir hacia la luz. Por eso pueden confundirse con vasos sanguíneos. La presencia de eritrocitos dentro de una luz favorece la identificación de un vaso.

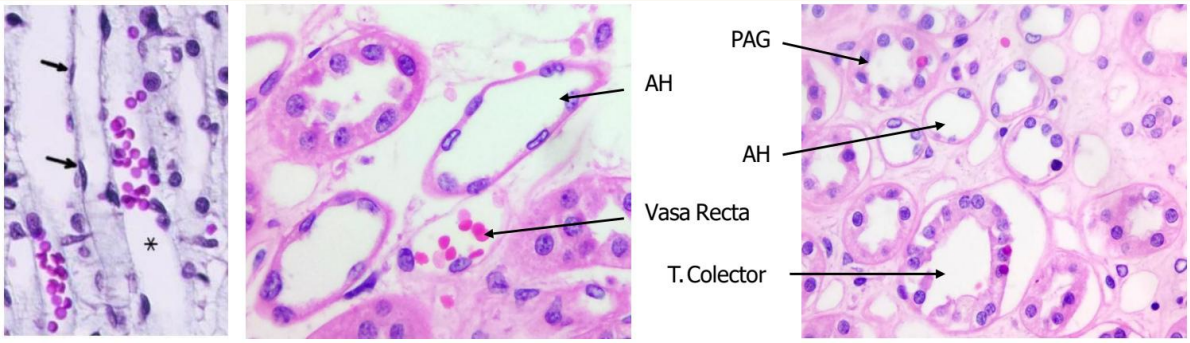


Figura 35. AH identifica asas delgadas; PAG, la porción ascendente gruesa. Los vasos rectos contienen eritrocitos y el colector presenta una pared cúbica alrededor de una luz amplia. (Diapositiva 36.)

Aclaración: Un capilar puede aparecer vacío en un corte histológico, por ejemplo, debido a la preparación de la muestra. Para distinguirlo de un túbulo delgado se necesita integrar el revestimiento, el contexto y la continuidad observable; «sin eritrocitos» no es un criterio definitivo. [1]

El comportamiento diferente de las ramas permite separar la recuperación de agua de la de solutos. En la rama descendente delgada puede salir agua; en el trayecto ascendente se recuperan solutos

sin que el agua los acompañe de la misma manera. La distribución de estos segmentos varía con la longitud del asa y, por tanto, con el tipo de nefrona.

Túbulo contorneado distal

El **túbulo contorneado distal o TCD** se encuentra en la corteza. Al regresar hacia el corpúsculo renal, una porción del túbulo distal se aproxima al polo vascular y presenta una especialización epitelial: la **mácula densa**.

- Está revestido por **epitelio cúbico simple**, con núcleo redondo central.
- Su citoplasma puede ser acidófilo, pero suele verse **más claro que el del proximal**.
- No presenta un **borde en cepillo prominente**.
  - Puede tener microvellosidades cortas y escasas, que no producen la franja apical característica del TCP.
- La luz suele ser **más limpia, regular y definida**.
- A menudo se aprecia una mayor cantidad de núcleos alrededor de la luz que en un perfil proximal comparable.

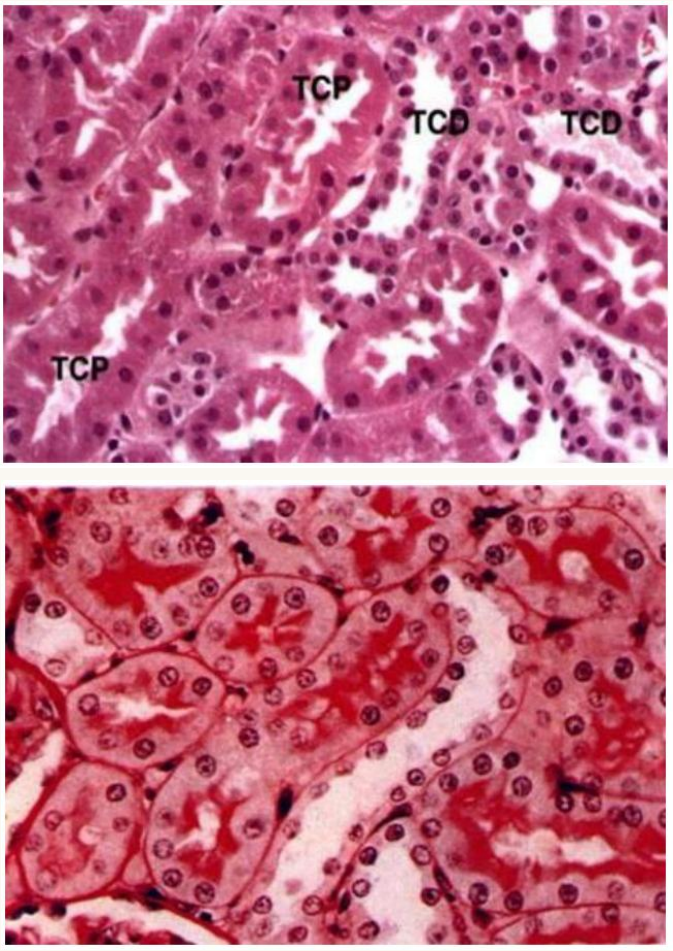


Figura 36. Contraste entre túbulos proximales y distales en dos preparaciones. (Diapositiva 37.)

La actividad del segmento distal incluye reabsorción de Na^+ y Cl^- y participación en la regulación de iones y pH. Se destaca especialmente la **reabsorción de Ca^{2+}**. Cerca del polo vascular, el cambio local hacia células más altas y estrechas permite reconocer la mácula densa; no todo el túbulo distal tiene ese aspecto.

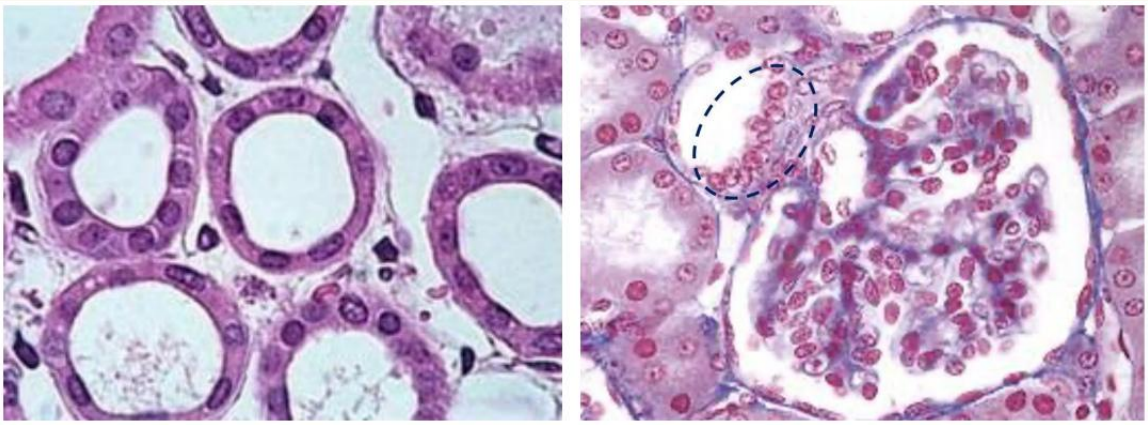


Figura 37. Túbulo distal y su relación con el polo vascular. (Diapositiva 37.)

La proximidad a un glomérulo ayuda a orientarse, pero no identifica por sí sola un perfil tubular como distal: los túbulos proximales también rodean los corpúsculos. Debe reconocerse su epitelio y, cuando está presente, la relación de la mácula densa con el polo vascular.

Túbulos y conductos colectores

El sistema colector recibe el líquido que llega desde varias nefronas y lo dirige hacia los conductos papilares y las vías excretoras intrarrenales. Durante ese recorrido aún participa en la regulación de la composición final de la orina.

Sus rasgos histológicos más útiles son:

- **Luz amplia y regular**, de mayor calibre que muchos perfiles tubulares vecinos.
- **Células relativamente claras** y límites laterales bien definidos, que permiten individualizarlas con facilidad.
- **Epitelio cúbico simple**, que aumenta de altura hacia los conductos de mayor calibre y puede hacerse cilíndrico simple.
- **Membrana basal prominente y reconocible**, que ayuda a delimitar el conducto.

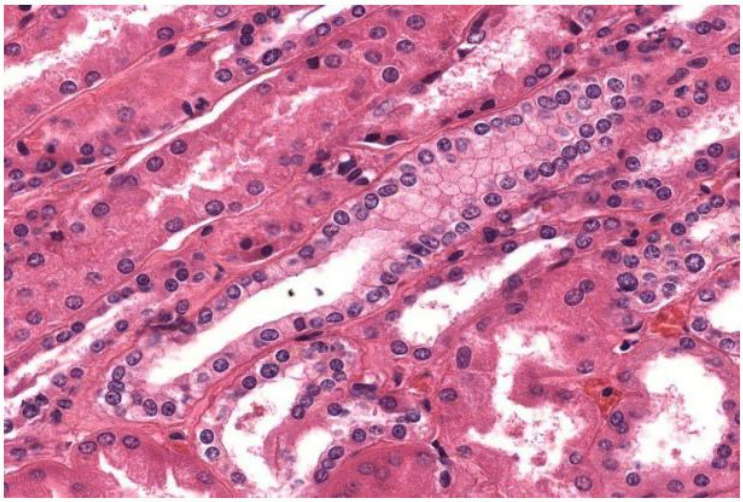


Figura 38. Conductos colectores en corte longitudinal. (Diapositiva 38.)

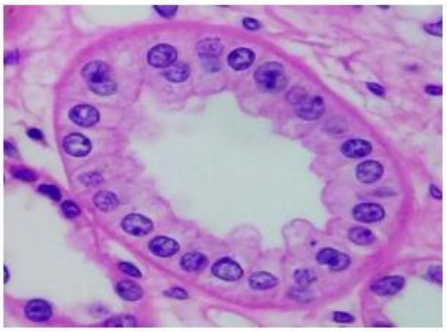
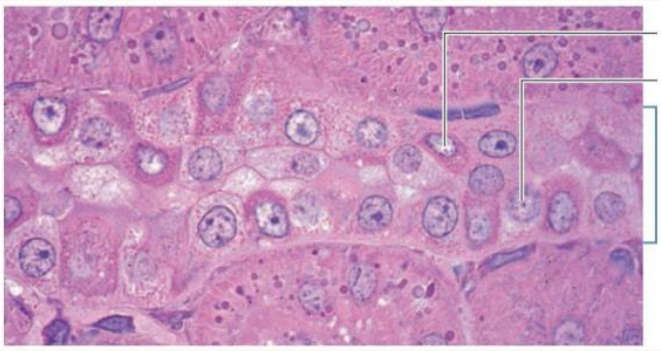


Figura 39. Conducto colector en corte transversal. (Diapositiva 38.)

Se distinguen dos poblaciones celulares:

- **Células principales:** más claras, con un cilio primario. Participan en el manejo de sodio y agua; la reabsorción de agua está regulada por la hormona antidiurética, **ADH o vasopresina**.
- **Células intercalares:** más oscuras y eosinófilas. Se relacionan con la regulación ácido base.

En conjunto, los segmentos distales y colectores participan en reabsorción de agua y Na^+ y en secreción de K^+ y H^+, según la población celular y las condiciones de regulación. El colector no es simplemente una tubería pasiva: además de conducir, interviene en el ajuste final del líquido urinario.



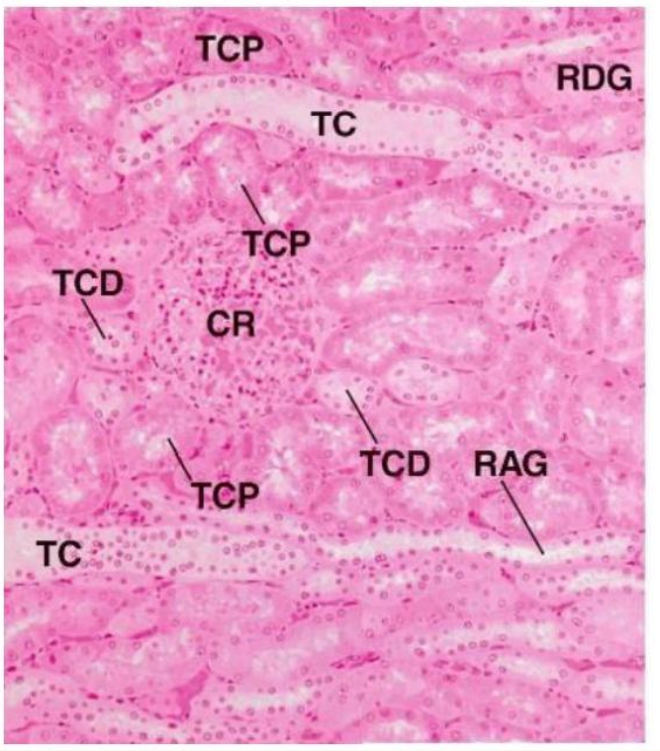


Figura 40. Conducto colector y contexto tubular. TC: colector; CR: corpúsculo; RDG y RAG: ramas descendente y ascendente gruesas. (Diapositiva 38.)

El esquema de transporte reúne los movimientos de agua y solutos descritos. Sus símbolos distinguen transporte activo, difusión y regulación hormonal; permite relacionar el epitelio de cada segmento con el sentido del intercambio.

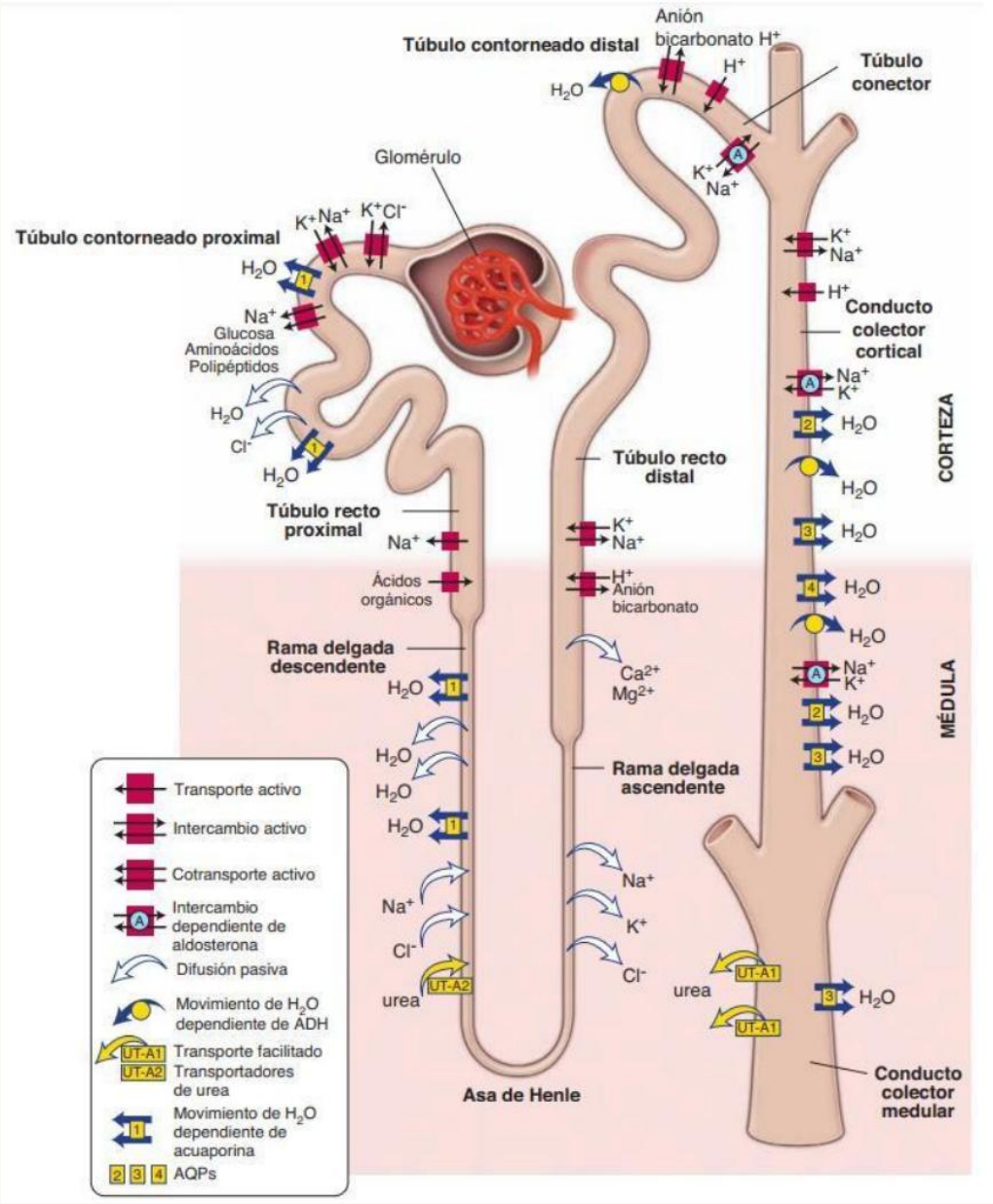


Figura 41. Transporte de agua y solutos a lo largo del sistema tubular. (Diapositiva 34.)

Comparación para el reconocimiento histológico

El diagnóstico de un perfil tubular se apoya en una combinación de rasgos. El tamaño de la luz depende también de la orientación del corte; por eso conviene valorar primero el epitelio y después integrarlo con la luz y el entorno.

Rasgo	TCP	Asa delgada	TCD	Colector
Epitelio	Cúbico simple, células relativamente voluminosas	Plano simple	Cúbico simple, más bajo que el proximal	Cúbico a cilíndrico simple

Rasgo	TCP	Asa delgada	TCD	Colector
Superficie apical	Borde en cepillo abundante	Sin borde en cepillo	Microvellosidades escasas; sin borde prominente	Sin borde en cepillo
Luz	Irregular, poco definida; suele parecer menor	Delimitada por una pared muy fina	Más limpia y definida	Amplia y regular
Citoplasma y límites	Eosinófilo; límites laterales poco evidentes	Muy escaso alrededor de la luz	Relativamente más claro	Células claras y oscuras; límites muy nítidos
Referencia adicional	Reabsorción intensa	Puede confundirse con un capilar	Mácula densa cerca del polo vascular	Recibe varias nefronas y aumenta de calibre

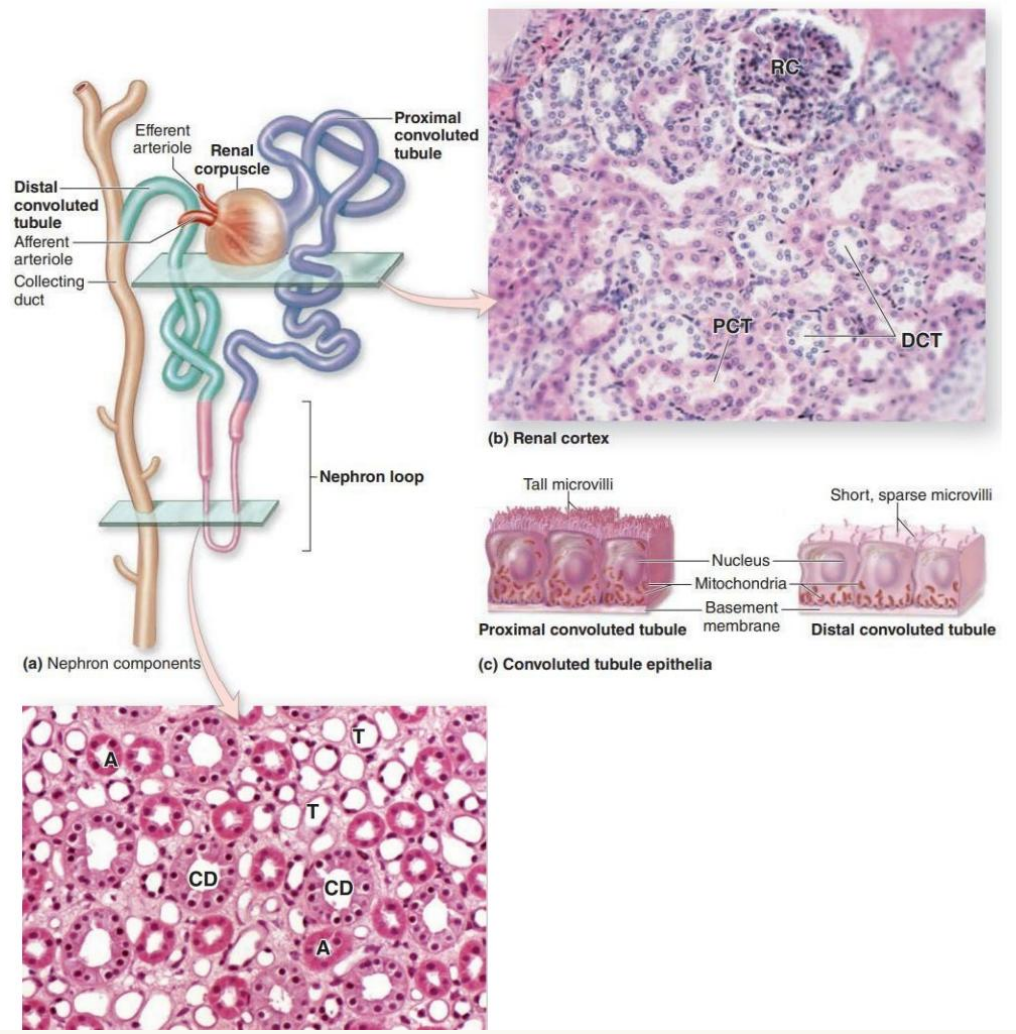


Figura 42. Relación entre trayecto y perfiles histológicos. RC: corpúsculo renal; PCT: TCP; DCT: TCD; CD: colector; A: segmento ascendente grueso; T: segmento delgado. Los dibujos contrastan microvellosidades altas del proximal con las cortas y escasas del distal. (Diapositiva 42.)

En la microfotografía sin rótulos, la identificación puede seguir un orden: localizar un corpúsculo, reconocer perfiles con borde apical irregular y después compararlos con las luces más definidas. Esto permite recuperar los criterios histológicos sin depender de un código de flechas o colores.

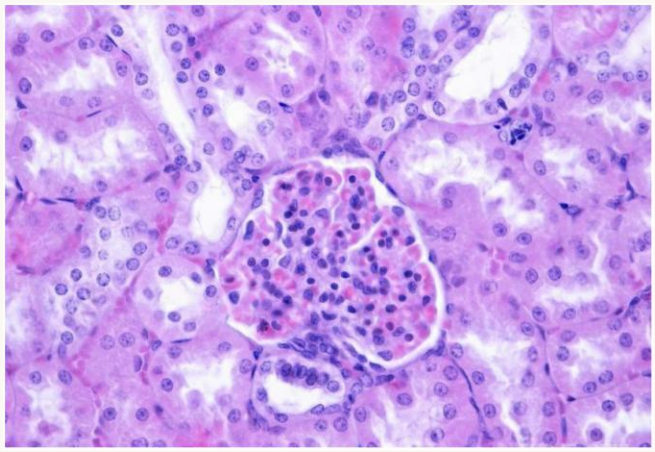


Figura 43. Integración del reconocimiento cortical en una preparación sin rótulos. (Diapositiva 43.)

Aparato yuxtaglomerular

Localización y componentes

El **aparato yuxtaglomerular** se sitúa en el **polo vascular**, donde el túbulo distal se aproxima a las arteriolas del corpúsculo. Vincula la información del líquido tubular con la regulación vascular y hormonal que contribuye al control de sodio, agua y presión arterial.

Lo forman tres componentes:

1. **Mácula densa.** Conjunto de células del túbulo distal, más altas y estrechas que las vecinas, de aspecto pálido, con núcleo central. Los núcleos quedan próximos entre sí y el agrupamiento produce una zona de mayor densidad nuclear.
2. **Células yuxtaglomerulares o granulares.** Células musculares lisas modificadas de la pared de la arteriola aferente. Presentan núcleos redondeados y gránulos citoplasmáticos de **renina**.
3. **Células mesangiales extraglomerulares.** Ocupan el espacio entre mácula densa, arteriolas aferente y eferente y polo vascular. Aportan sostén a esta región.

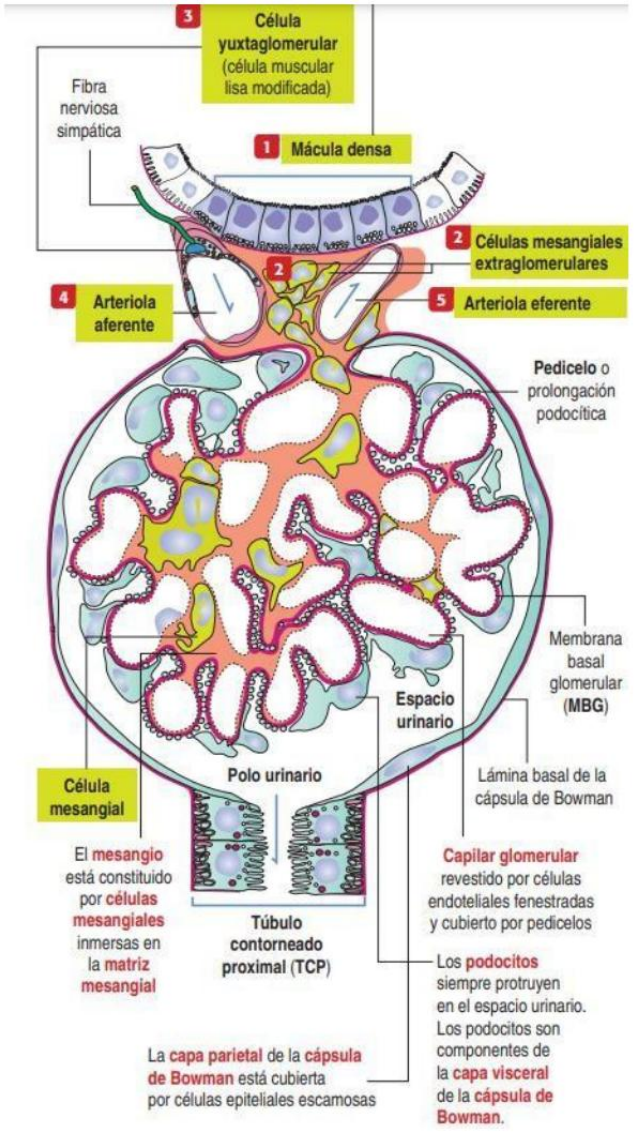


Figura 44. Organización del aparato yuxtaglomerular. (Diapositiva 44.)

La mácula densa se identifica por pertenecer a la pared de un túbulo; las células yuxtaglomerulares, por estar relacionadas con una arteriola; y el mesangio extraglomerular, por ocupar el espacio interpuesto entre esas estructuras. La ubicación es indispensable para distinguir células que en una tinción rutinaria pueden parecer semejantes.

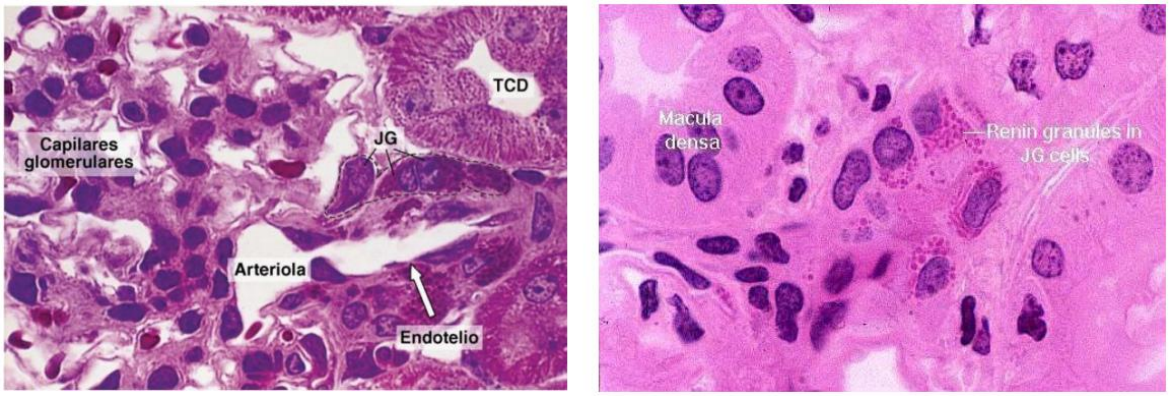


Figura 45. Aparato yuxtaglomerular. TCD: túbulo contorneado distal; JG: células yuxtaglomerulares. El panel derecho señala mácula densa y gránulos de renina. (Diapositiva 44.)

En una vista más amplia, la proximidad de la mácula densa al ovillo ayuda a reconocer el polo vascular. El polo urinario se busca en otro punto, donde el espacio de Bowman se continúa con el túbulo proximal.

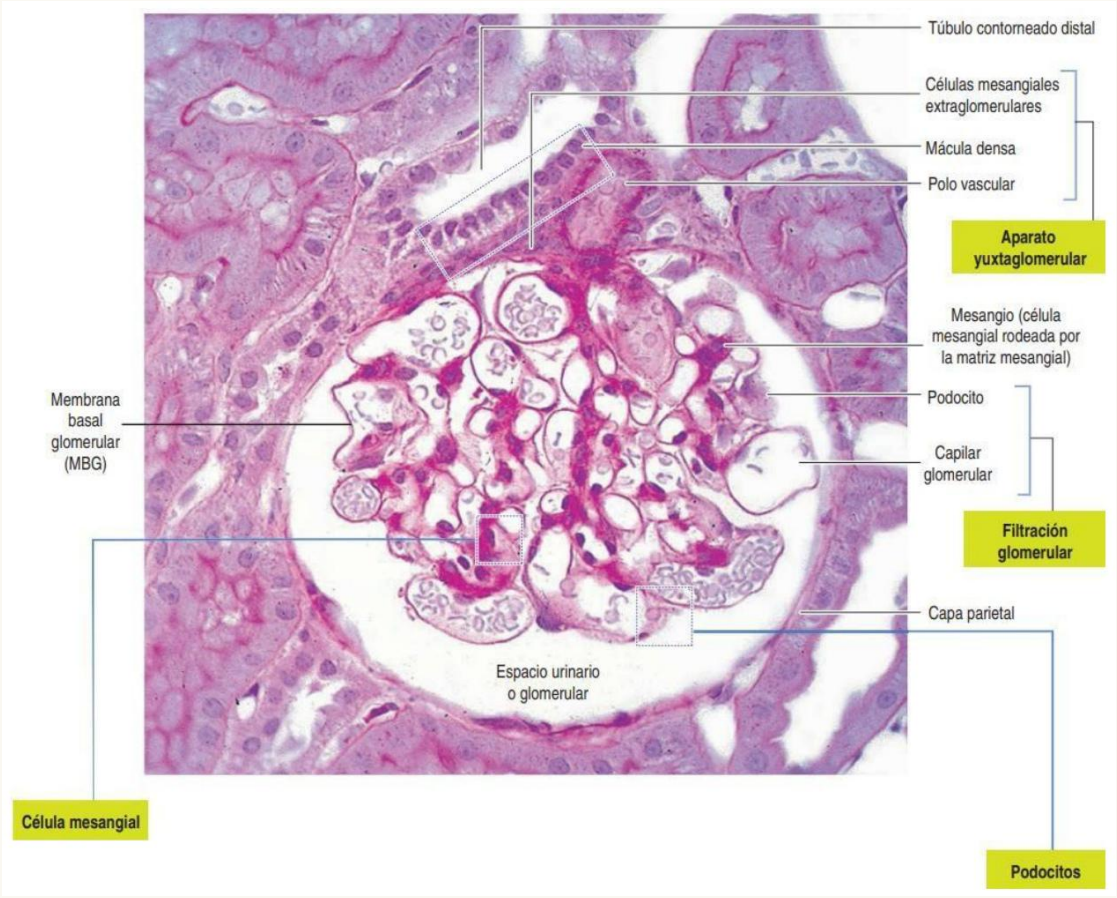


Figura 46. Corpúsculo renal y relación con el aparato yuxtaglomerular. (Diapositiva 31.)

Sistema renina angiotensina aldosterona

Una disminución de la presión de perfusión renal puede desencadenar la liberación de renina. El sistema encadena una señal renal con cambios vasculares y con la respuesta de la corteza suprarrenal:

1. Las **células yuxtaglomerulares liberan renina**.
2. La renina actúa sobre el **angiotensinógeno circulante, producido por el hígado**, y genera angiotensina I.
3. La **enzima convertidora de angiotensina o ECA**, asociada al endotelio vascular y destacada en la circulación pulmonar, convierte angiotensina I en **angiotensina II**.
4. La angiotensina II favorece la **vasoconstricción arteriolar** y estimula la secreción de **aldosterona** en la corteza suprarrenal.
5. La aldosterona favorece la **reabsorción de Na^+** y la **secreción de K^+**. La conservación de sodio se integra con la retención de agua y el aumento del volumen circulante.
6. El aumento del volumen sanguíneo y la vasoconstricción contribuyen a **elevar la presión arterial**. La vasopresina o ADH también participa en la conservación de agua.

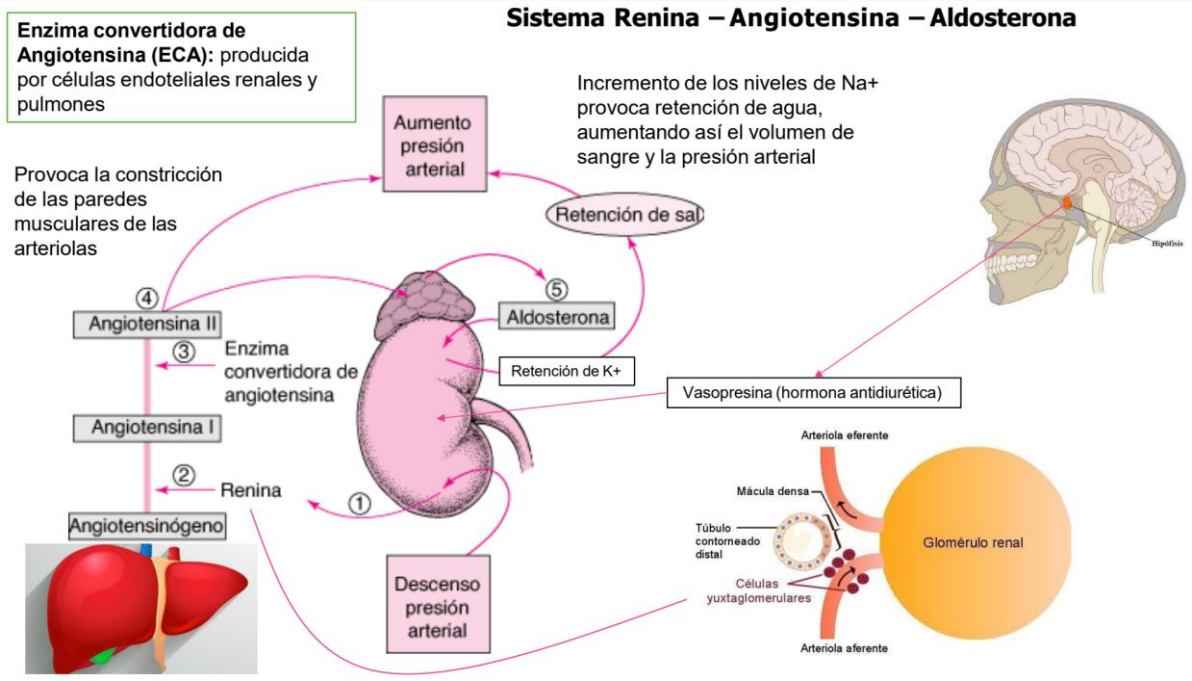


Figura 47. Sistema renina–angiotensina–aldosterona: esquema original. (Diapositiva 45.)

Aclaración: En el esquema original aparece «Retención de K^+». Esa etiqueta es una errata: la aldosterona favorece la secreción y eliminación renal de K^+, junto con la reabsorción de Na^+. Además, la renina no induce al hígado a liberar angiotensinógeno, sino que actúa sobre el angiotensinógeno ya presente en la circulación. Se conserva la figura original y se explicita aquí la corrección. [3]

Urotelio y vías de salida de la orina

Una barrera que permite distensión

Tras atravesar los conductos papilares, la orina pasa a cálices y pelvis renal, continúa por los uréteres, se almacena en la vejiga y se elimina por la uretra. Las vías urinarias requieren un revestimiento capaz de **resistir el contacto con la orina y adaptarse a cambios de volumen**.

El **urotelio o epitelio de transición** es un epitelio estratificado especializado. Reviste cálices, pelvis, uréteres, vejiga y la porción proximal de la uretra. Sus células se organizan en:

- **Capa basal**, apoyada sobre la lámina basal.
- **Capas intermedias**, con células de forma piriforme o semejante a una raqueta.
- **Capa superficial**, formada por células en cúpula o **células paraguas**.
  - Pueden ser binucleadas.
  - En reposo sobresalen hacia la luz; con la distensión se aplanan.

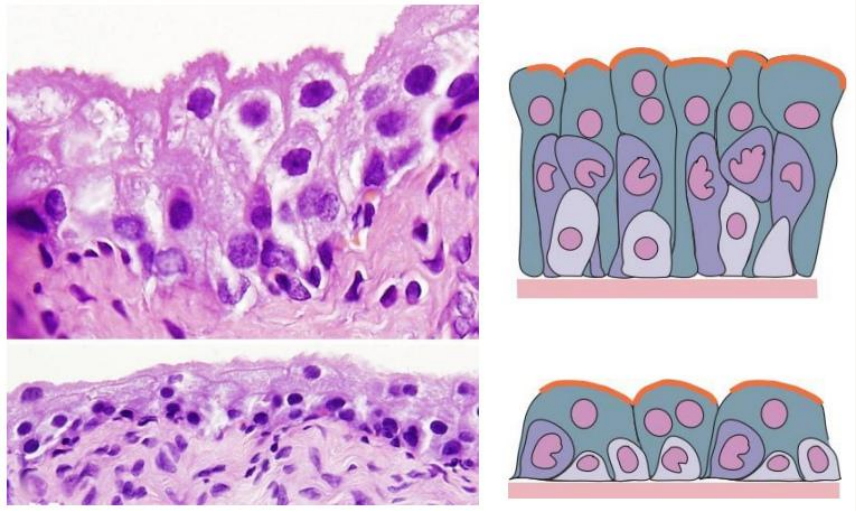


Figura 48. Cambio de forma del urotelio durante la distensión. (Diapositiva 47.)

La impermeabilidad depende especialmente de las **placas apicales con uroplaquinas** y de las **uniones ocluyentes** entre las células superficiales. De este modo, el epitelio limita el paso de componentes de la orina hacia el tejido subyacente mientras se modifica la forma de las células durante el llenado.

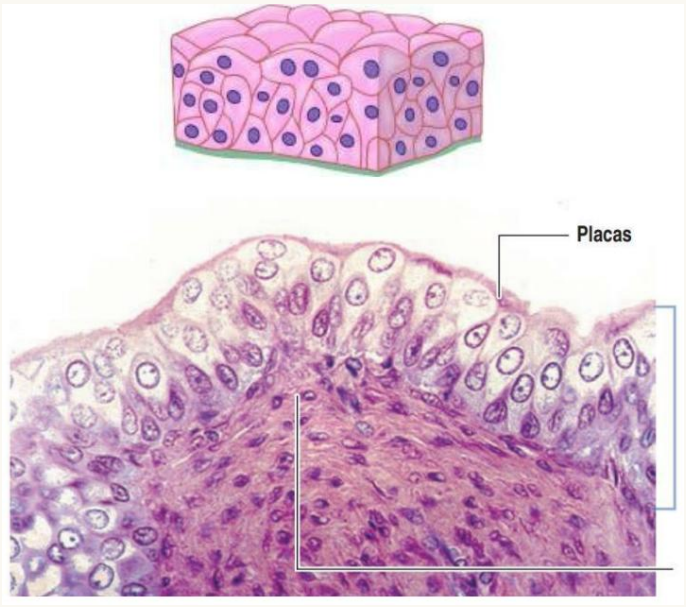


Figura 49. Organización del urotelio y placas apicales. (Diapositiva 47.)

La estratificación protege, pero la función de barrera no se explica solo por el número de capas. Las especializaciones apicales y las uniones celulares son esenciales. La distensión cambia el grosor aparente del epitelio sin convertirlo en un epitelio simple.

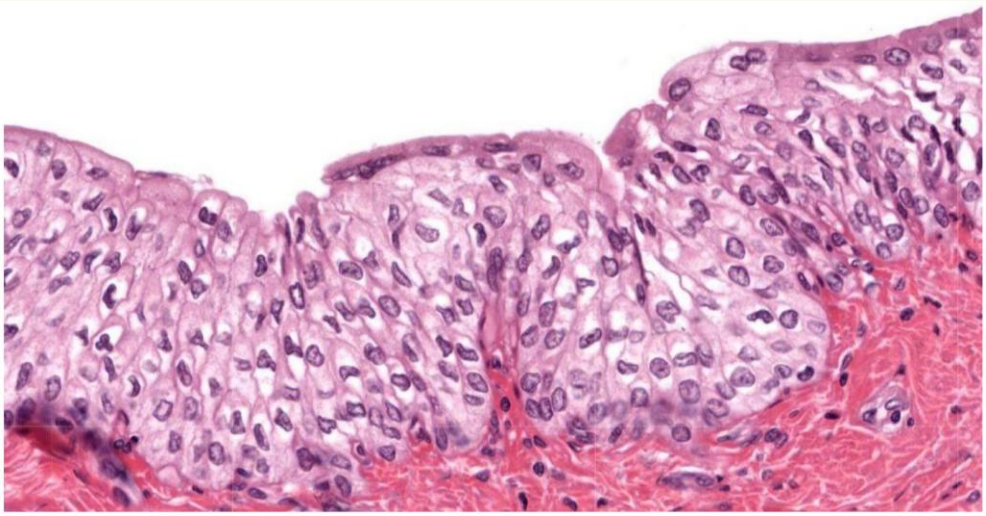


Figura 50. Detalle del urotelio y su tejido conectivo subyacente. (Diapositiva 54.)

Aclaración: La denominación urotelio no se aplica a toda la uretra. El revestimiento cambia a lo largo de su recorrido, por lo que debe relacionarse siempre con el segmento observado.

Uréteres

Los uréteres son conductos pares cuya función es transportar la orina desde la pelvis renal hasta la vejiga. Sus **pliegues mucosos** suelen producir una **luz estrellada** en el corte transversal.

La pared presenta:

- **Mucosa**
  - Urotelio con un espesor variable, de aproximadamente **3 a 10 capas celulares**, apoyado sobre una lámina basal.
  - Lámina propia de tejido conectivo denso irregular fibroelástico. Las fibras elásticas contribuyen a la adaptación de la pared.
- **Muscular propia**
  - Predominan una capa **longitudinal interna** y una **circular externa**.
  - Cerca de la vejiga se reconocen tres capas: longitudinal interna, circular media y longitudinal externa.
- **Adventicia**
  - Tejido conectivo laxo con vasos sanguíneos y adipocitos, que vincula el uréter con su entorno.



Figura 51. Uréter: pared, pliegues de la mucosa y detalle del urotelio. (Diapositiva 49.)

En un corte transversal, primero se localiza la luz plegada; luego se reconoce el urotelio y, por fuera, los haces musculares. El tejido conectivo y la grasa periféricos corresponden a la adventicia. La orientación de los núcleos y de los haces ayuda a distinguir los planos de la musculatura lisa.

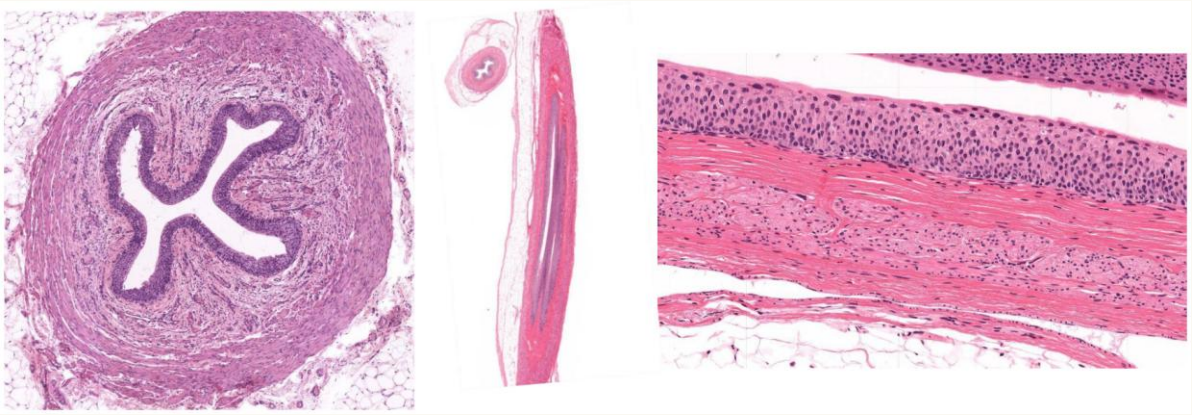


Figura 52. Uréter en cortes transversal y longitudinal. (Diapositiva 50.)

Aclaración: En la porción distal del uréter, la tercera capa que se agrega es la longitudinal externa. La circular pasa a ocupar una posición media al quedar entre las dos longitudinales.

Vejiga urinaria

La vejiga almacena orina y modifica de forma marcada su volumen durante el llenado. Comparada con el uréter, presenta una luz mucho más amplia y una pared muscular más desarrollada.

- **Mucosa:** urotelio y lámina propia de tejido conectivo denso irregular.
  - La región superficial de la lámina propia es más colagenosa.
  - La región profunda es más fibroelástica.
- **Muscular propia o músculo detrusor:** haces de músculo liso descritos en tres orientaciones generales: longitudinal interna, circular media y longitudinal externa.
- **Cubierta externa:** tejido conectivo con vasos y adipocitos. En las regiones no cubiertas por peritoneo corresponde a adventicia; la superficie peritoneal posee serosa.

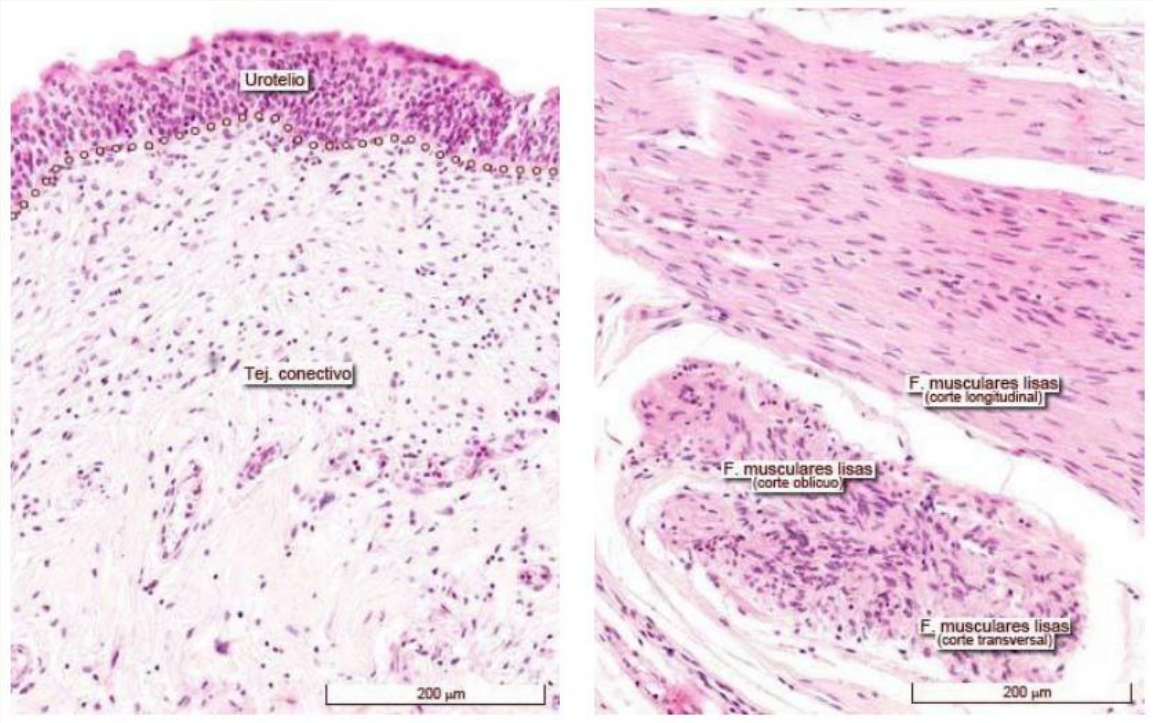


Figura 53. Vejiga: mucosa y fascículos del músculo detrusor. (Diapositiva 52.)

Aclaración: El detrusor es el conjunto de la musculatura lisa de la pared vesical, no un músculo adicional que se suma a tres capas previas. Sus haces se entrecruzan y no siempre permiten delimitar tres estratos tan nítidos como los de un esquema.

El aspecto del urotelio debe interpretarse según el estado de distensión:

- **Vejiga poco distendida:** la mucosa forma pliegues, el epitelio parece más grueso y las células paraguas muestran una superficie en cúpula prominente.
- **Vejiga distendida:** los pliegues disminuyen y las células superficiales se aplanan; el epitelio se observa más delgado.

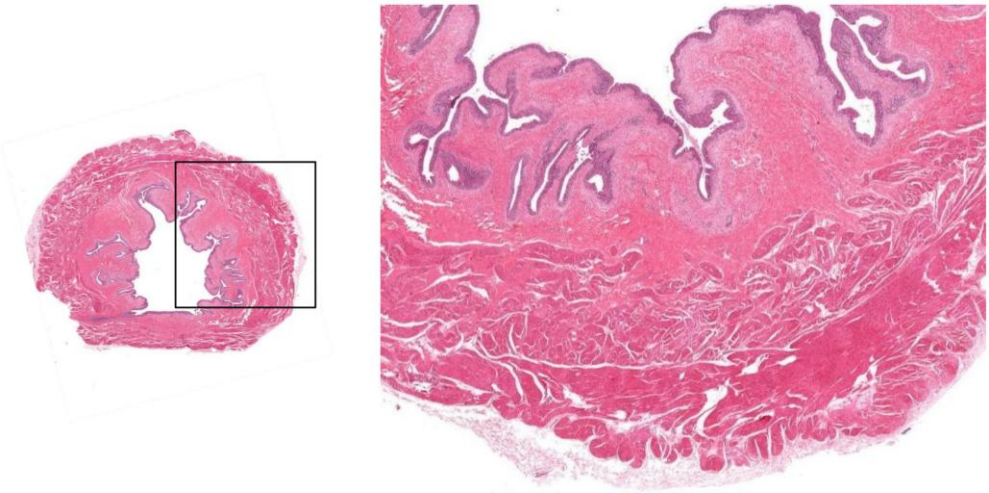


Figura 54. Pared vesical a bajo aumento. (Diapositiva 53.)

La binucleación de las células superficiales ayuda a reconocer el urotelio, pero no basta para decidir si la vejiga está llena o vacía. Para ello deben valorarse también la forma de las células, el grosor aparente del epitelio y el plegamiento de la mucosa.

Uretra

La uretra comunica la vejiga con el exterior. La femenina y la masculina difieren en longitud, función y revestimiento; la masculina es más extensa y también forma parte de la vía de salida del semen.

El revestimiento cambia a lo largo del trayecto:

- Próximo a la vejiga se encuentra **urotelio**.
- En porciones intermedias, especialmente en la uretra masculina, aparece **epitelio cilíndrico pseudoestratificado**.
- Hacia el extremo distal predomina **epitelio plano estratificado no queratinizado**, que se continúa con el epitelio cutáneo en la salida al exterior.

La lámina propia es de tejido conectivo fibroelástico. La musculatura lisa presenta una organización longitudinal interna y circular externa, cuya relación con los tejidos vecinos varía según el segmento.

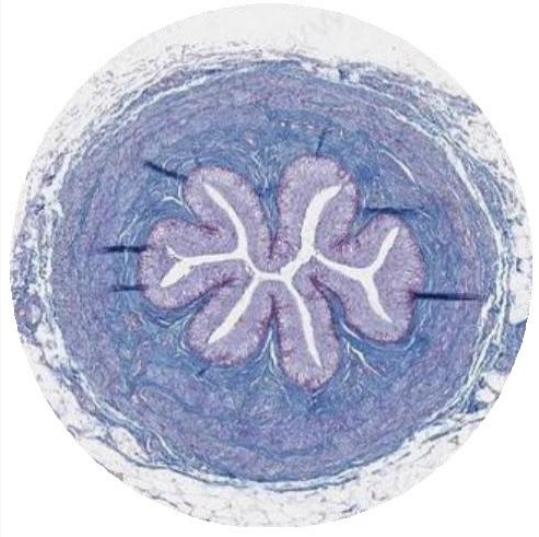


Figura 55. Uretra: vista panorámica de la pared. (Diapositiva 55.)

En la división de la uretra masculina utilizada aquí se reconocen tres segmentos principales:

Segmento	Relación anatómica	Revestimiento o referencia histológica
Prostático	Atraviesa la próstata	Predomina el urotelio
Membranoso	Segmento corto entre la región prostática y la esponjosa	Epitelio cilíndrico pseudoestratificado
Peneano o esponjoso	Atraviesa el cuerpo esponjoso del pene	Reconocer el tejido eréctil circundante y el cambio de epitelio hacia el extremo distal



Figura 56. Relación anatómica de la uretra femenina y masculina. (Diapositiva 56.)

El **cuerpo esponjoso** que rodea la uretra peneana es una referencia anatómica para identificarla. En el corte histológico, la región circundante importa tanto como la forma de la luz: una uretra esponjosa no se identifica solo por el epitelio, sino por su relación con ese tejido.

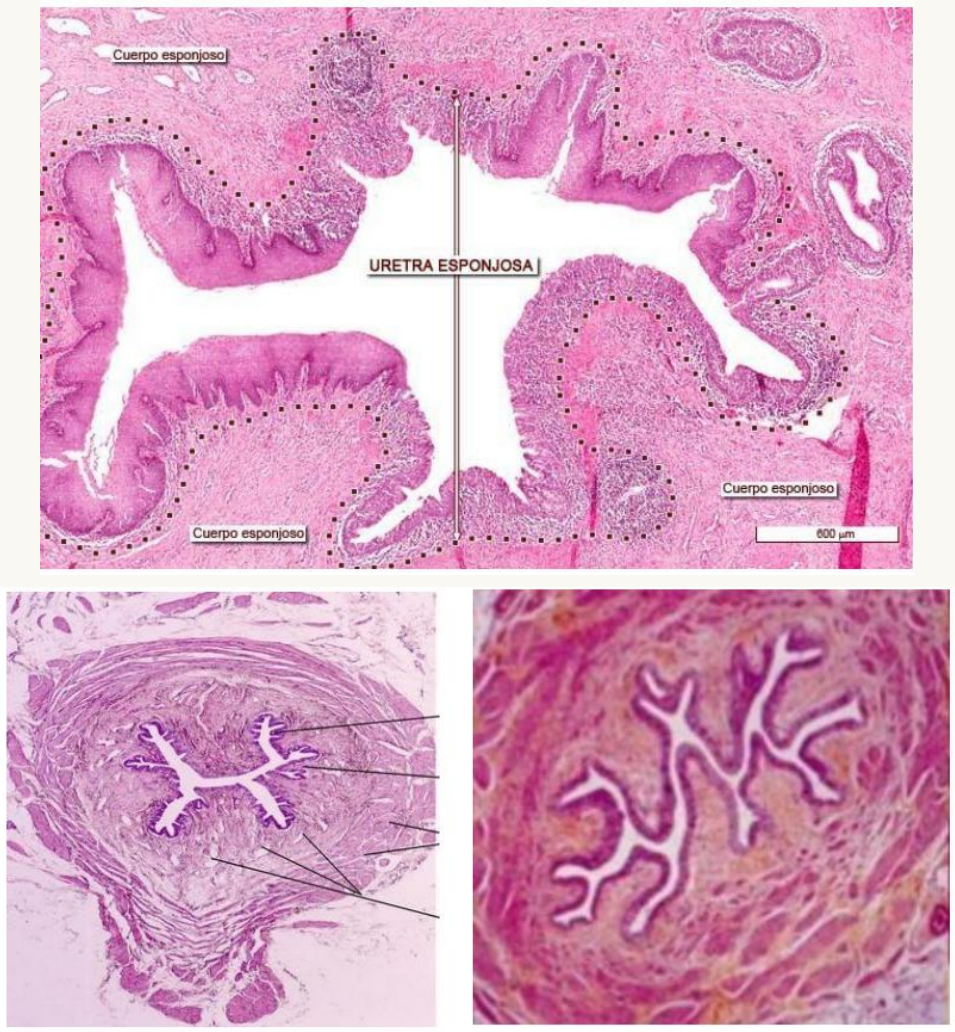


Figura 57. Uretra esponjosa y otras vistas de la pared uretral. (Diapositiva 56.)

Comparación de las vías urinarias

Estructura	Función predominante	Rasgos que orientan su reconocimiento
Uréter	Conducir orina a la vejiga	Luz habitualmente estrellada, mucosa plegada con urotelio y musculatura lisa organizada en dos o tres capas según la región
Vejiga	Almacenar y expulsar orina	Luz amplia, urotelio variable con la distensión y detrusor prominente
Uretra	Conducir la orina al exterior	Revestimiento variable por segmento; en la porción peneana, relación con cuerpo esponjoso

La continuidad funcional puede leerse en la histología: una barrera especializada inicia el filtrado, los epitelios tubulares lo modifican y el urotelio permite conducir y almacenar la orina manteniendo una superficie protectora y distensible. Reconocer cada estructura exige unir **ubicación, forma del epitelio y función**.

Referencias de las aclaraciones

El material visual procede de la presentación de Camila Vera Montenegro, **Sistema Urinario**, Histología, Organismo Humano I, Medicina, Universidad de Valparaíso, Campus San Felipe. Los pies conservan la referencia a las diapositivas de origen. Las siguientes fuentes respaldan únicamente las precisiones indicadas en las aclaraciones.

1. Duke University School of Medicine. **Urinary System**, Histology Learning Resources. Complemento sobre identidad celular, segmentos del asa y distinción entre túbulos delgados y capilares. https://histology.oit.duke.edu/NormalBody/Urinary/Urinary.html

2. Ichimura K, Stan RV, Kurihara H, Sakai T. **Glomerular Endothelial Cells Form Diaphragms during Development and Pathologic Conditions**. Journal of the American Society of Nephrology. 2008;19:1463–1471. https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC2488267/

3. Arai K, Papadopoulou-Marketou N, Chrousos GP. **Aldosterone Deficiency and Resistance**. Endotext. Sustento de la secuencia renina–angiotensinógeno y del efecto de la aldosterona sobre sodio y potasio. https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK279079/