TEMA 8 – FISIOLOGÍA RENAL

1. FUNCIONES DE LOS RIÑONES

El riñón no es solo un órgano excretor. Es, ante todo, un **órgano regulador del medio interno**. Si uno entiende esto, entiende toda la fisiología renal.

1.1. Función excretora

Elimina productos de desecho del metabolismo, sin esta función, la vida sería incompatible en pocos días.



1.2. Función reguladora (la más importante)

El riñón regula: volumen sanguíneo, presión arterial, electrolitos, osmolaridad y pH plasmáticos.

Por todo ello, es el gran estabilizador del equilibrio interno (homeostasis).

1.3. Función endocrina

Produce: **Renina**, **Eritropoyetina** y **Vitamina D activa (calcitriol)**.

Es decir, no solo filtra: también actúa como glándula endocrina.

⇒ ESTRUCTURA FUNCIONAL DEL RIÑÓN. FILTRACIÓN GLOMERULAR. MECANISMOS DE REABSORCIÓN Y SECRECIÓN EN LA FORMACIÓN DE ORINA. FISIOLOGÍA RENAL

Vamos a estudiar en profundidad **cómo el riñón fabrica orina** para mantener estable el medio interno.

Comenzamos con una idea clave que conviene fijar de entrada:

El riñón no "**hace orina**" como objetivo final; la orina es el **resultado** de su misión principal: **regular** agua, sales y equilibrio ácido-base. La eliminación de desechos viene "**incluida**", pero el gran papel del riñón es mantener constantes internas compatibles con la vida.

Los tres procesos que nombra el título (filtración, reabsorción, secreción) no son tres "fases bonitas": son tres decisiones fisiológicas distintas:

- **Filtración glomerular**: el riñón "pone a disposición" del túbulo una muestra enorme del plasma (sin células ni proteínas), como si dijera: "aquí tengo material; ahora decidiré qué conservo y qué tiro".
- **Reabsorción**: recuperar del túbulo a la sangre lo que el cuerpo necesita: agua, Na^+ (catión sodio), glucosa, bicarbonato, etc.
- **Secreción**: lo contrario en dirección: pasar sustancias desde la sangre al túbulo para eliminarlas: H^+ (hidrógeno), K^+ (potasio), ciertos fármacos, ácidos/orgánicos, etc.

El título también dice "estructura funcional". Eso significa que, en riñón, más que en casi ningún órgano, **cada tramo anatómico está hecho para una función concreta**: no es un tubo uniforme; es una cadena de segmentos especializados.

⇒ OBJETIVOS DE APRENDIZAJE

1. **Funciones y estructura funcional del riñón**

Antes de números y presiones, hay que entender "para qué existe" el riñón: homeostasis. La estructura (nefrona y vasos) está diseñada para esa misión.

2. **Procesos básicos en la formación de orina**

Se centra en tres acciones fundamentales:

- Filtración (en el glomérulo)
- Reabsorción (a lo largo del túbulo)
- Secreción (sobre todo túbulos proximal y distal/colector, según sustancia)

3. **Mecanismos que condicionan la filtración glomerular**

Aquí hay dos pilares:

- **Barrera de filtración**: qué pasa y qué no pasa.
- **Fuerzas de Starling**: por qué pasa (las presiones que empujan o frenan la filtración).

4. **Regulación de la hemodinámica renal**

No basta con saber filtrar: el organismo regula el flujo sanguíneo renal para:

- Mantener la filtración cuando conviene
- Reducirla cuando hay emergencia (hemorragia, hipotensión intensa)
- Ajustarla según sodio, volumen, hormonas

5. **Procesos de función tubular**

Aquí está el "trabajo fino": el riñón convierte un ultrafiltrado "parecido al plasma" en una orina final muy distinta, ajustada al estado del organismo.

6. **Reflejo de micción**

La micción es neurofisiología aplicada: almacenamiento, distensión, reflejos autónomos y control voluntario.

La razón de incluir micción al final es lógica: primero fabricas orina, luego la almacenas, finalmente la expulsas.

⇒ **FUNCIONES DE LOS RIÑONES**

Aquí vamos a ver la triple identidad del riñón:

1) Órgano excretor

Elimina desechos nitrogenados (creatinina, urea, ácido úrico, etc.) y sustancias extrañas (fármacos, toxinas).

Fisiológicamente, esto evita toxicidad y, sobre todo, evita acumulación de solutos que alterarían el equilibrio osmótico y ácido-base.

2) Órgano regulador

Aquí está lo grande:

- **Equilibrio hídrico**: regula el volumen sanguíneo → regula presión arterial.
- **Electrolitos**: ajusta Na^+, K^+, Ca^{2+}, Cl^-, fosfato…

  El más determinante para volumen extracelular es el **sodio**.
- **Osmolaridad plasmática**: ajusta agua en relación con solutos: la hormona antidiurética (ADH) es crucial).
- **pH plasmático**: excreta H^+ (hidrógeno) y conserva/forma HCO_3 (bicarbonato).

  Esto no es "un detalle": el pH condiciona proteínas, enzimas y excitabilidad celular.

3) Órgano endocrino

Produce o activa:

- **Renina**: inicia el sistema renina–angiotensina–aldosterona (presión arterial y sodio).
- **Eritropoyetina**: regula la masa de glóbulos rojos (oxigenación tisular).
- **Vitamina D activa**: metabolismo del calcio y hueso.

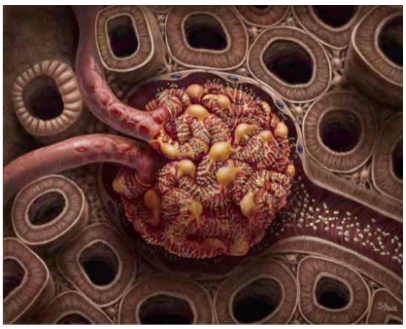
→ **Conclusión**:

Si el riñón falla, no falla "solo la orina": fallan presión arterial, sangre, hueso, equilibrio eléctrico del corazón, pH… todo.

⇒ ESTRUCTURA FUNCIONAL DEL RIÑÓN

Aquí entramos en la organización interna del riñón: **corteza y médula**.

- **Corteza renal**: contiene los corpúsculos renales (glomérulos) y parte de los túbulos.
- **Médula renal**: organizada en pirámides; contiene asas de Henle y conductos colectores.



Esta disposición no es estética, es funcional.

La médula permite generar un **gradiente osmótico vertical**, desde la corteza (menos concentrada) hacia la papila (más concentrada). Ese gradiente es el que hace posible:

- Concentrar la orina cuando hay deshidratación.
- Diluirla cuando sobra agua.

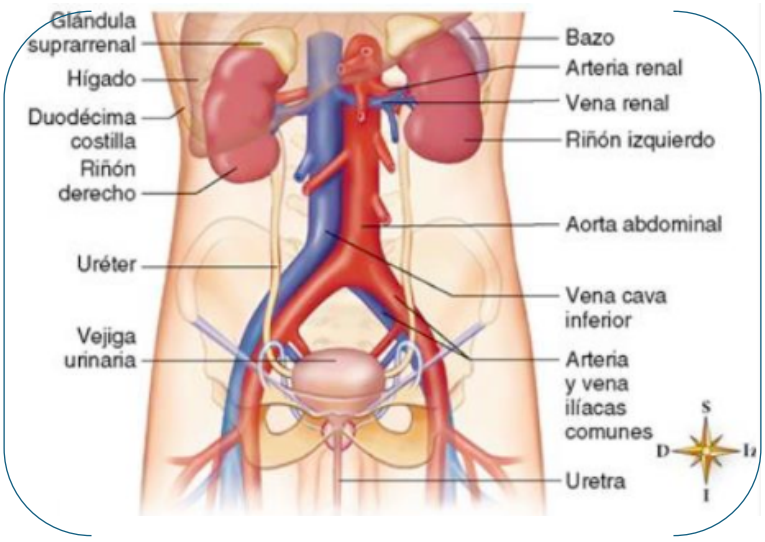
Sin organización **corticomedular** no existiría capacidad de concentración urinaria. Y sin concentración urinaria, la vida terrestre sería inviable.

El término **corticomedular** se refiere a la transición entre la corteza externa y la médula interna de órganos como el riñón, también ganglios linfáticos o glándulas suprarrenales.

⇒ RIÑONES Y VÍAS URINARIAS

Vamos a analizar estas cuatro estructuras:

1. Riñones
2. Uréteres
3. Vejiga urinaria
4. Uretra



1. RIÑONES

→ Qué son

Órganos pares, con forma de alubia, situados en posición **retroperitoneal** (detrás del peritoneo), a ambos lados de la columna vertebral.

→ Cómo funcionan

Reciben sangre por la arteria renal.

Dentro de ellos se realiza:

- Filtración glomerular.
- Reabsorción tubular.
- Secreción tubular.
- Regulación hormonal.

En su interior se organiza la nefrona (unidad funcional), que transforma plasma en orina.

→ Para qué sirven

- Mantener volumen sanguíneo.
- Mantener presión arterial.
- Regular electrolitos.
- Regular pH.
- Eliminar desechos.
- Producir hormonas (renina, eritropoyetina, vitamina D activa).

Son el órgano central de la homeostasis crónica.

2. URÉTERES

→ **Qué son**

Dos conductos musculares que conectan cada riñón con la vejiga.

→ **Cómo funcionan**

No son simples "tubos pasivos".
Tienen músculo liso que realiza **movimientos peristálticos**.

Esto significa que:

- La orina no cae por gravedad.
- Es impulsada activamente hacia la vejiga.

Incluso en posición tumbada, la orina progresa.

→ **Para qué sirven**

Transportar la orina desde la pelvis renal hasta la vejiga sin permitir reflujo.
Poseen un mecanismo de entrada oblicua en la vejiga que actúa como válvula antirreflujo.

3. VEJIGA URINARIA

→ **Qué es**

Órgano muscular hueco con paredes elásticas.

→ **Cómo funciona**

Su pared contiene el músculo **detrusor** (músculo liso).

Funciones:

- Almacena orina.
- Se distiende sin aumentar excesivamente la presión interna (propiedad de complacencia).
- Cuando se activa el reflejo de micción, el detrusor se contrae.

Tiene dos esfínteres:

1. Interno (músculo liso, involuntario).
2. Externo (músculo estriado, voluntario).

→ **Para qué sirve**

Permitir almacenamiento temporal y controlado de la orina.
Esto es crucial en animales sociales como nosotros: la micción es voluntariamente modulada.

4. URETRA

→ **Qué es**

Conducto final que comunica la vejiga con el exterior.

→ **Cómo funciona**

Su apertura está controlada por el esfínter externo.
En el hombre además cumple función reproductiva.

→ **Para qué sirve**

Permitir la expulsión controlada de la orina.

→ **Epitelio urinario (urotelio)**

El epitelio urinario o epitelio de transición, es un tejido especializado y estratificado que reviste las vías urinarias (pelvis renal, uréteres, vejiga y parte de la uretra). Su función principal es impermeabilizar y adaptarse a la distensión, permitiendo que la vejiga se llene sin romperse gracias a sus células en paraguas.

→ **Qué significa esto**

Una vez que la orina sale del riñón:

- No se reabsorben solutos.
- No se modifica su composición.
- No se altera osmolaridad.

Esto es fundamental: toda la regulación ocurre en el riñón, no en la vejiga.

→ **Enorme capacidad de reserva renal**

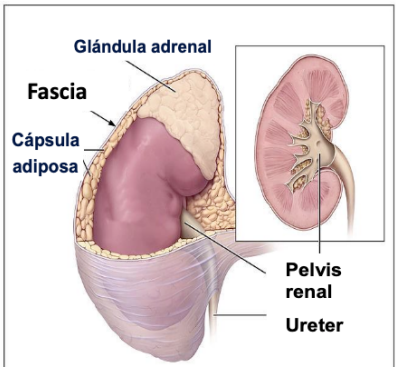
Podemos perder hasta el 70% de la masa renal y mantener función casi normal.

¿Por qué?

- Porque cada nefrona tiene capacidad de aumentar su filtración (hiperfiltración compensadora).
- Porque la filtración basal está muy por encima de lo estrictamente necesario.

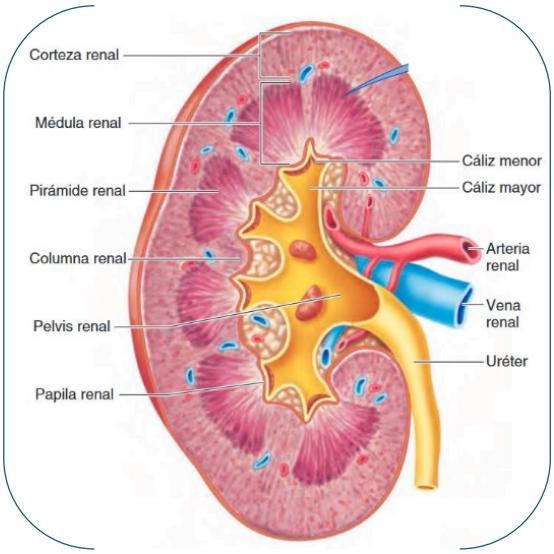
Pero esta compensación tiene un precio: a largo plazo puede acelerar daño si la pérdida es progresiva.

⇒ **<u>ANATOMÍA DEL RIÑÓN</u>**



En la imagen se observan:

- Cápsula fibrosa.
- Cápsula adiposa.
- Fascia renal.
- Glándula suprarrenal.
- Pelvis renal.
- Uréter.



Pero desde el punto de vista fisiológico lo crucial es el **patrón vascular**:

El riñón recibe aproximadamente **el 25% del gasto cardíaco**.

Eso es enorme para un órgano de su tamaño.

→¿Por qué tanta sangre?

- Porque la función renal depende del flujo.
- Sin flujo suficiente no hay filtración.
- Y sin filtración no hay regulación.

La fisiología renal es inseparable de la hemodinámica.

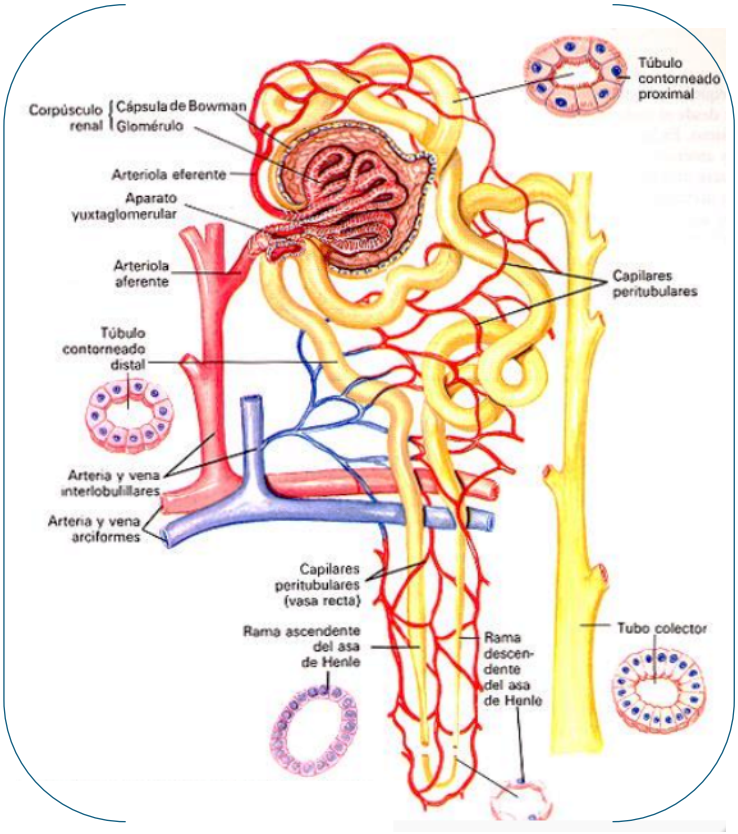
⇒ UNIDAD FUNCIONAL DEL RIÑÓN: LA NEFRONA

→ Cada riñón tiene aproximadamente 1 millón de nefronas (son estructuras microscópicas).

Componentes:

1. **Corpúsculo renal**
   - Glomérulo
   - Cápsula de Bowman
2. Túbulo contorneado proximal
3. Asa de Henle
4. Túbulo contorneado distal
5. Túbulo colector

→ Cada segmento tiene epitelio diferente, transportadores distintos y permeabilidad específica.



La nefrona es un sistema secuencial:

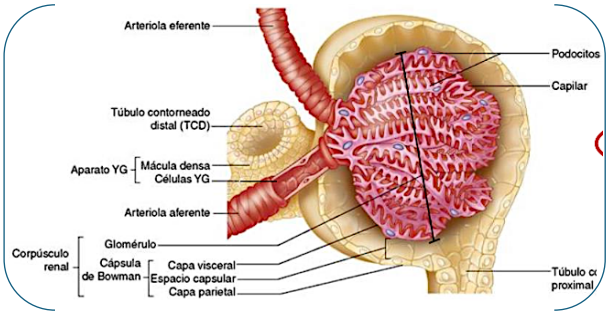
- El glomérulo filtra.
- El túbulo proximal reabsorbe masivamente.
- El asa crea gradiente.
- El distal ajusta electrolitos.
- El colector decide el volumen final.

👉 No hay redundancia inútil. Hay especialización.

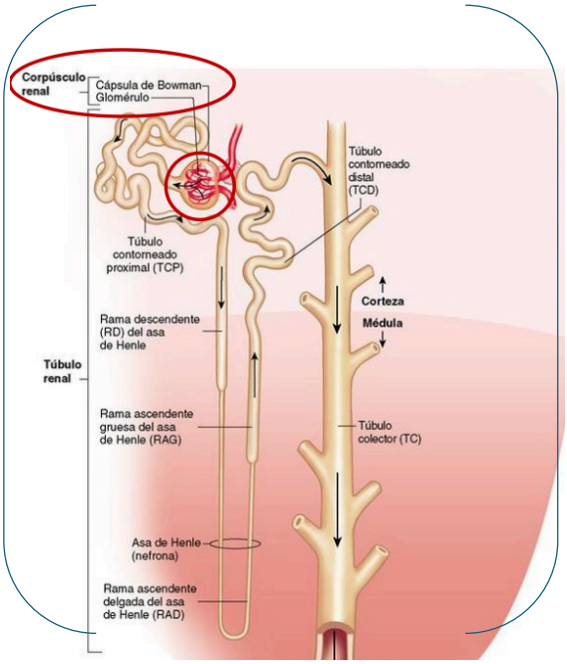
⇒ CORPÚSCULO RENAL

Está formado por:

- Un ovillo capilar (glomérulo).
- Rodeado por la cápsula de Bowman.

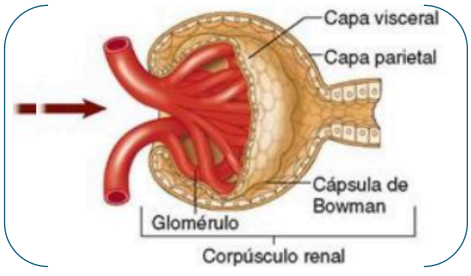


👉 Aquí ocurre la **filtración glomerular**.



La sangre entra por la arteriola aferente y sale por la eferente.

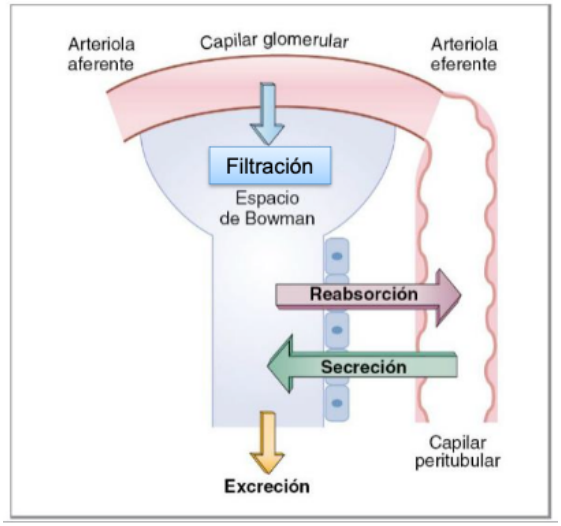
Este detalle es importante: ambos extremos son arteriolas, no venas.



Eso permite mantener una **presión hidrostática elevada dentro del capilar glomerular**, necesaria para filtrar.

→ El glomérulo no es un capilar cualquiera; es un filtro de alta presión diseñado para producir ultrafiltrado continuo.

⇒ PROCESOS EN LA FORMACIÓN DE LA ORINA



Aquí vemos los tres procesos fundamentales:

1. Filtración
2. Reabsorción
3. Secreción

La ecuación conceptual:
Excreción = Filtración + Secreción − Reabsorción

→ Esto significa que la cantidad final eliminada de una sustancia depende de tres decisiones fisiológicas distintas.

Ejemplo claro:

- La glucosa se filtra.
- Se reabsorbe completamente.
- No se secreta.

Resultado: excreción cero (en condiciones normales).

En cambio:

- El potasio se filtra.
- Se reabsorbe en parte.
- Puede secretarse en el distal.

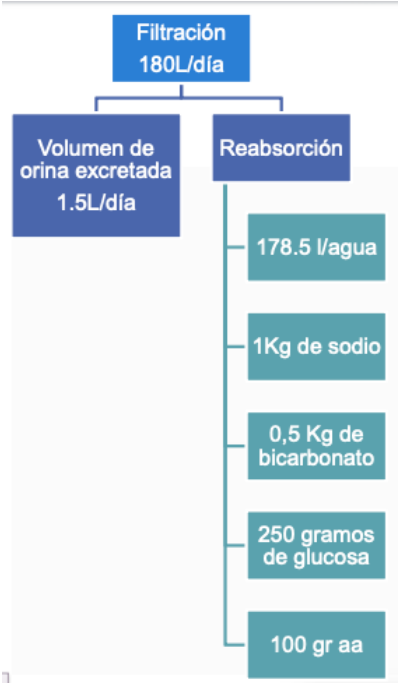
Resultado: excreción variable según necesidades.

👉 El riñón no actúa de forma automática; actúa regulando.

https://www.youtube.com/watch?v=9Du13PjFTQI

https://www.youtube.com/watch?v=e6jMBa-KhPc

⇒ VOLÚMENES Y MAGNITUDES



→ Datos impactantes:

- 180 litros/día son filtrados.
- 1,5 litros/día son excretados.

Esto implica que se reabsorbe el 99% del agua filtrada (178,5 litros).

Además:

- 1 kg de sodio reabsorbido.
- 0,5 kg de bicarbonato.
- 250 g de glucosa.
- 100 g de aminoácidos.

→ Estas cifras muestran que el riñón trabaja con cantidades masivas.

👉 La estrategia es clara:
Filtrar mucho → recuperar selectivamente.
Es un sistema de control fino con amplio margen de seguridad.

⇒ FILTRACIÓN GLOMERULAR

Este es el primer paso real en la formación de orina.

La Tasa de Filtración Glomerular (TFG) normal en ambos riñones es aproximadamente 125 ml/min.

El ultrafiltrado:

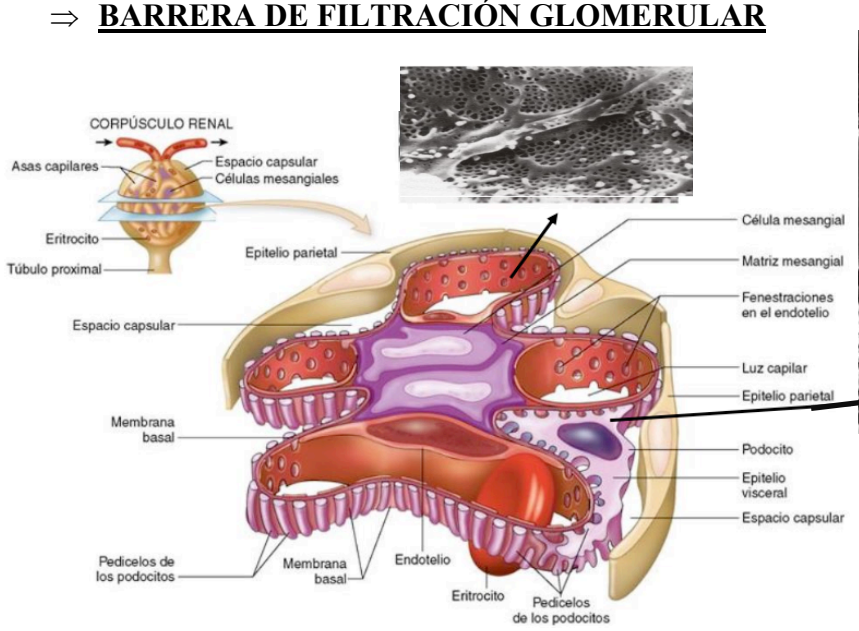
- Es isoosmolar con el plasma.
- No contiene proteínas.
- No contiene células.

La filtración depende de dos elementos:

1. Características estructurales de la barrera.
2. Fuerzas físicas (**Starling**).

A partir de aquí entramos ya en física aplicada a biología.

⇒ BARRERA DE FILTRACIÓN GLOMERULAR





En esta diapositiva se muestra la **estructura microscópica que permite la filtración del plasma sanguíneo en el glomérulo**. Esta barrera determina **qué sustancias pueden pasar desde la sangre al espacio de Bowman** y cuáles deben permanecer en la circulación.

La filtración renal no es un simple "colador". Es un **sistema altamente selectivo**, capaz de dejar pasar agua y pequeñas moléculas, pero impedir el paso de células sanguíneas y la mayoría de las proteínas plasmáticas.

👉 La barrera de filtración está formada por **tres capas sucesivas**.

1. ENDOTELIO CAPILAR GLOMERULAR

Es la capa más interna, la que está en contacto directo con la sangre.

→ Características estructurales

- Está formado por células endoteliales.
- Posee **fenestraciones** (poros microscópicos).
- Los poros tienen un diámetro aproximado de **70–100 nm**.

→ Cómo funciona

Estas fenestraciones permiten el paso fácil de:

- agua
- iones
- glucosa
- aminoácidos
- urea
- creatinina

Pero **impiden el paso de células sanguíneas**:
- eritrocitos
- leucocitos
- plaquetas

Esto ocurre porque las células son mucho mayores que los poros.

→ **Para qué sirve**

Su función principal es permitir una **filtración muy rápida del plasma**, evitando al mismo tiempo la pérdida de elementos celulares de la sangre.

2. MEMBRANA BASAL GLOMERULAR

Es la capa intermedia y **la principal barrera real de filtración**.

Está formada por una red de proteínas estructurales:
- colágeno tipo IV
- laminina
- proteoglicanos

Tiene aproximadamente **300–350 nm de grosor**.

→ **Características fisiológicas importantes**

Esta membrana posee **carga eléctrica negativa**.

Esto tiene una consecuencia crucial:
Las proteínas plasmáticas también tienen carga negativa (especialmente la albúmina).
Por lo tanto, **son repelidas electrostáticamente**.

→ **Cómo funciona**

La membrana basal actúa como un filtro basado en:
1. **Tamaño molecular**
2. **Carga eléctrica**

Moléculas pequeñas atraviesan la barrera.
Proteínas grandes y negativas quedan retenidas.

→ **Para qué sirve**

Evita la pérdida de proteínas plasmáticas en la orina.

Cuando esta barrera se altera (por ejemplo, en enfermedades renales), aparece **proteinuria**, uno de los signos clásicos de daño renal.

3. PODOCITOS Y HENDIDURAS DE FILTRACIÓN

Es la capa más externa, en contacto con la **cápsula de Bowman**.
Los **podocitos** son células especializadas del epitelio visceral de la cápsula de Bowman.

→ **Características estructurales**

Poseen prolongaciones llamadas:
- **pedicelos** o "pies".

Entre los pedicelos quedan pequeños espacios llamados: **hendiduras de filtración**

Estas hendiduras están cubiertas por una estructura proteica denominada **diafragma de filtración**.

→ **Cómo funciona**

Las hendiduras tienen un tamaño aproximado de **25–40 nm**, lo que constituye el último control de paso de moléculas.

Actúan como un **filtro de precisión**, que regula el tamaño final de las partículas que pueden atravesar la barrera.

→ **Para qué sirven**

- Mantener la selectividad del filtro.
- Estabilizar estructuralmente el glomérulo.
- Regular la filtración según cambios mecánicos.

Cuando los podocitos se dañan (por ejemplo, en síndrome nefrótico), se pierde esta selectividad y aparecen grandes cantidades de proteínas en la orina.

→ **CONCLUSIÓN FISIOLÓGICA**

La barrera de filtración glomerular funciona mediante **dos criterios de selección fundamentales**:

CRITERIO	CONSECUENCIA
Tamaño molecular	Moléculas pequeñas atraviesan el filtro
Carga eléctrica	Moléculas negativas (proteínas) son repelidas

Por ello el **ultrafiltrado glomerular** es prácticamente igual al plasma, **pero sin proteínas ni células**.

👉 Este filtrado inicial será posteriormente modificado por los túbulos renales para producir la orina final.

⇒ FUERZAS DE STARLING Y PRESIÓN NETA DE FILTRACIÓN GLOMERULAR

En este tema se explica **la base física que produce la filtración glomerular**.

No basta con tener un filtro (la barrera glomerular). Hace falta una **fuerza que empuje el líquido a través de él**.

Ese movimiento del líquido se explica mediante las **fuerzas de Starling**, que describen cómo se mueve el agua a través de las paredes capilares dependiendo de presiones hidrostáticas y presiones osmóticas.

→ En el glomérulo intervienen **tres fuerzas principales**.

1. PRESIÓN HIDROSTÁTICA DEL CAPILAR GLOMERULAR (PCG)

Es la **presión de la sangre dentro de los capilares del glomérulo**.

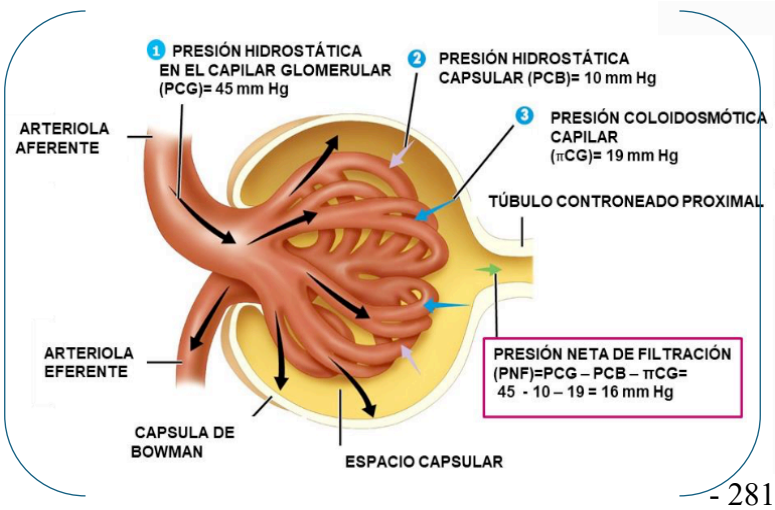
Su origen es la presión arterial que llega al riñón a través de la arteria renal.

Valor aproximado: ≈ **55 mmHg**

→ **Cómo funciona**

Esta presión empuja el plasma hacia fuera del capilar, atravesando:

- endotelio
- membrana basal
- podocitos



y entrando en el **espacio de Bowman**.

→ **Para qué sirve**

Es la **fuerza principal que produce la filtración**. Sin esta presión, el filtrado no se produciría.

2. PRESIÓN HIDROSTÁTICA DE LA CÁPSULA DE BOWMAN (PCB)

Es la presión del líquido que ya está presente dentro de la cápsula de Bowman.

Valor aproximado: ≈ **15 mmHg**

→ **Cómo funciona**

Actúa en sentido contrario a la filtración.

El líquido que ya está dentro del espacio de Bowman empuja hacia el capilar e intenta impedir que siga entrando más filtrado.

→ **Para qué sirve**

Actúa como una **fuerza de resistencia**, limitando la filtración excesiva.

En situaciones patológicas (por ejemplo, una obstrucción urinaria), esta presión puede aumentar y reducir mucho la filtración glomerular.

3. PRESIÓN ONCÓTICA DEL CAPILAR GLOMERULAR (πCG)

También llamada **presión coloidosmótica**.

Es la presión osmótica generada por las **proteínas plasmáticas** (principalmente albúmina).

Valor aproximado: ≈ **30 mmHg**

→ **Cómo funciona**

Las proteínas plasmáticas no se filtran.

Por ello ejercen una fuerza osmótica que **atrae agua hacia el interior del capilar**.

Esta fuerza se opone a que el líquido salga hacia la cápsula de Bowman.

→ **Para qué sirve**

Actúa como **mecanismo de retención del agua en la sangre**, oponiéndose a la filtración.

→ **CÁLCULO DE LA PRESIÓN NETA DE FILTRACIÓN**

Las fuerzas se combinan de la siguiente forma:

Presión neta de filtración = PCG − (PCB + πCG)

Sustituyendo valores aproximados: 55 − (15 + 30)

Resultado: ≈ **10 mmHg**

→ Esta es la presión real que impulsa la filtración.

Aunque parezca pequeña, es suficiente porque:

- el área de filtración glomerular es muy grande
- la membrana es muy permeable

Gracias a ello se producen aproximadamente **125 ml de filtrado por minuto**.

→ **CONSECUENCIA FISIOLÓGICA**

El riñón funciona como un **sistema de filtración continua, impulsado por presión**.

Si cambia cualquiera de estas presiones, cambia la filtración glomerular.

Ejemplos:

CAMBIO	EFECTO
Baja presión arterial	disminuye filtración
Obstrucción urinaria	aumenta presión en Bowman y baja filtración
Disminución proteínas plasmáticas	aumenta filtración

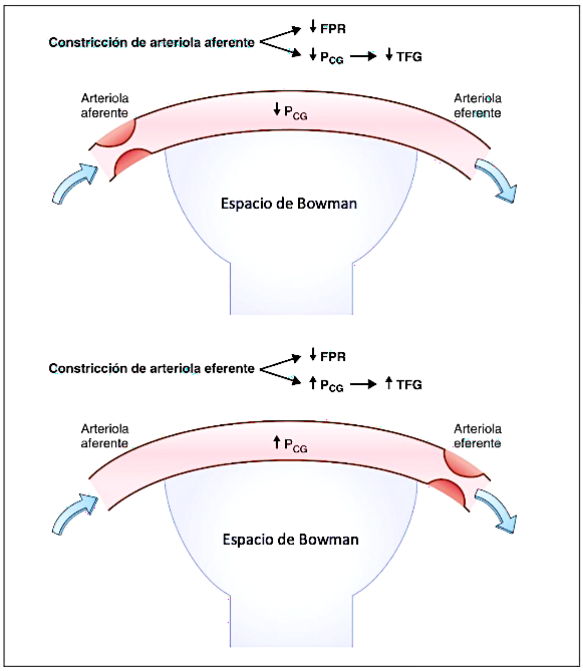
👉 Por eso el riñón está íntimamente ligado a la **hemodinámica cardiovascular**.

⇒ RELACIÓN ENTRE EL FLUJO PLASMÁTICO RENAL (FPR) Y LA TASA DE FILTRACIÓN GLOMERULAR (TFG)

Vamos a ver **cómo el flujo de sangre que llega al riñón condiciona la filtración glomerular**.

Es importante recordar que el riñón funciona como un sistema hidráulico: si cambia el flujo o la resistencia de los vasos, cambia la cantidad de filtrado.

Primero vamos a definir los dos conceptos principales:



Flujo plasmático renal (FPR)

Es el volumen de **plasma sanguíneo** que atraviesa los riñones por unidad de tiempo.

En términos aproximados:

- Flujo sanguíneo renal ≈ **1200 ml/min**
- Como el plasma es aproximadamente el 55 % de la sangre, el **FPR ≈ 600–700 ml/min**

Tasa de filtración glomerular (TFG)

Es el volumen de filtrado que producen todos los glomérulos de ambos riñones por minuto.

Valor normal: ≈ **125 ml/min**

Esto significa que aproximadamente **una quinta parte del plasma que llega al glomérulo se filtra**.

Este porcentaje se denomina **fracción de filtración**, y la Fracción de filtración es ≈ **20 %**

⇒ RELACIÓN ENTRE PRESIÓN, RESISTENCIA Y FLUJO

Esta es la ecuación fundamental de la hemodinámica:

→ donde:

Q = flujo
ΔP = gradiente de presión entre arteria y vena renal
R = resistencia vascular renal

$$Q = \frac{\Delta P}{R}$$

→ Esto significa que el flujo de sangre que llega al riñón depende de dos factores:

1. **la presión arterial que impulsa la sangre**
2. **la resistencia de los vasos renales**

→ La resistencia vascular renal depende principalmente del calibre de dos vasos:

- **arteriola aferente**
- **arteriola eferente**

→ **PAPEL DE LA ARTERIOLA AFERENTE**

Es el vaso que **lleva la sangre al glomérulo**.

→ Si se **contrae (vasoconstricción)**:

- disminuye el flujo sanguíneo hacia el glomérulo
- baja la presión en los capilares glomerulares
- disminuye la TFG

→ Si se **dilata (vasodilatación)**:

- entra más sangre en el glomérulo
- aumenta la presión de filtración
- aumenta la TFG

→ **PAPEL DE LA ARTERIOLA EFERENTE**

Es el vaso que **saca la sangre del glomérulo**.
Su efecto es diferente.

→ Si se **contrae moderadamente**:

- la sangre "se acumula" dentro del glomérulo
- aumenta la presión hidrostática glomerular
- **aumenta la filtración**

Pero si la vasoconstricción es **muy intensa**:

- disminuye el flujo renal
- aumenta mucho la presión oncótica capilar
- finalmente **disminuye la filtración**

→ **CONSECUENCIA FISIOLÓGICA**

El control del diámetro de estas dos arteriolas permite al riñón:

- mantener la filtración relativamente constante
  - adaptarse a cambios en la presión arterial
  - regular la cantidad de orina producida

👉 Este mecanismo es fundamental porque el riñón debe seguir filtrando incluso cuando la presión arterial cambia.

⇒ **IDEA CLAVE DE ESTE PUNTO**

La **TFG depende directamente del flujo sanguíneo renal y del calibre de las arteriolas aferente y eferente**.

El riñón regula estos vasos continuamente para ajustar la filtración según las necesidades del organismo.

⇒ **<u>REGULACIÓN DE LA HEMODINÁMICA RENAL</u>**

Vamos a explicar **cómo el organismo regula el flujo sanguíneo renal y la tasa de filtración glomerular (TFG)**.

El riñón no filtra siempre igual: la filtración cambia según las necesidades del organismo.

→ **REGULACIÓN POR EL SISTEMA NERVIOSO SIMPÁTICO**

El sistema nervioso simpático se activa en situaciones de estrés fisiológico, como, por ejemplo:

- ejercicio intenso
- descenso de la presión arterial
- hemorragia
- shock

En estas situaciones el organismo necesita **preservar la presión arterial y el flujo hacia órganos vitales** (cerebro y corazón).

Por ello ocurre lo siguiente:

1. Aumenta la actividad simpática.
2. Se liberan catecolaminas (adrenalina y noradrenalina).
3. Se activan **receptores α1** en las arteriolas renales.

👉 Estos receptores son especialmente abundantes en la **arteriola aferente**.

→ **EFECTO SOBRE EL RIÑÓN**

La activación simpática produce:

→ **Vasoconstricción de la arteriola aferente**

Esto provoca:

- disminución del flujo sanguíneo renal
- disminución de la presión glomerular
- disminución de la filtración glomerular (TFG)

Consecuencia final:

→ **disminuye la producción de orina**

Esto tiene una finalidad fisiológica clara:

El organismo intenta **conservar agua y volumen sanguíneo**.

→ **SIGNIFICADO FISIOLÓGICO**

En situaciones de emergencia el cuerpo prioriza:

- perfusión cerebral
- perfusión cardíaca

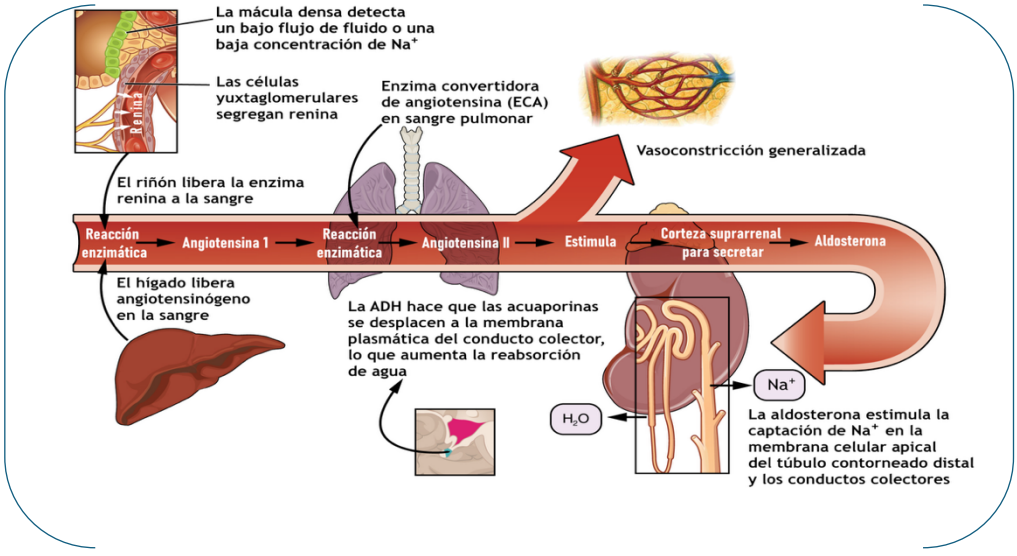
El riñón reduce temporalmente su filtración para **mantener la presión arterial y el volumen circulante**. Este un mecanismo de supervivencia.

⇒ **<u>REGULACIÓN HORMONAL: SISTEMA RENINA-ANGIOTENSINA</u>**

Aquí se explica uno de los sistemas más importantes de regulación de la presión arterial y del volumen sanguíneo: **el sistema renina-angiotensina-aldosterona (SRAA)**.

Este sistema se activa cuando el organismo detecta:

- disminución del volumen sanguíneo
- disminución de la presión arterial
- baja concentración de sodio en el filtrado tubular

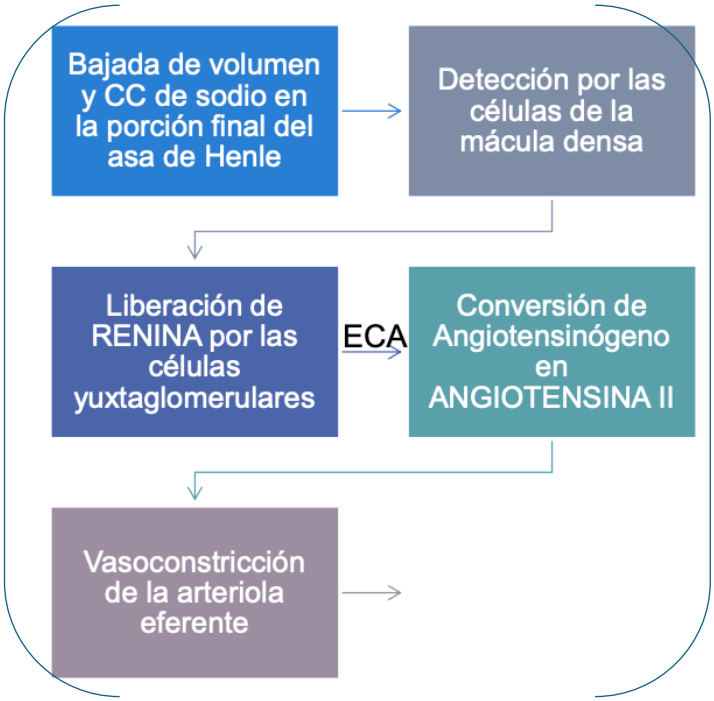


→ PAPEL DE LA MÁCULA DENSA

En la porción final del **asa de Henle** existe un grupo especializado de células llamado **mácula densa**.

Estas células detectan la concentración de sodio y cloro en el filtrado tubular.

Si detectan **baja concentración de NaCl**, interpretan que el filtrado glomerular está disminuyendo o que el volumen circulante es bajo.



→ LIBERACIÓN DE RENINA

La señal de la mácula densa estimula las **células yuxtaglomerulares**, que liberan la enzima **renina** al torrente sanguíneo.

La renina inicia una cadena de reacciones:

1. Renina convierte **angiotensinógeno** (producido en el hígado) en **angiotensina I**.
2. La enzima convertidora de **angiotensina** (ECA) transforma la **angiotensina I** en **angiotensina II**.

→ EFECTOS DE LA ANGIOTENSINA II

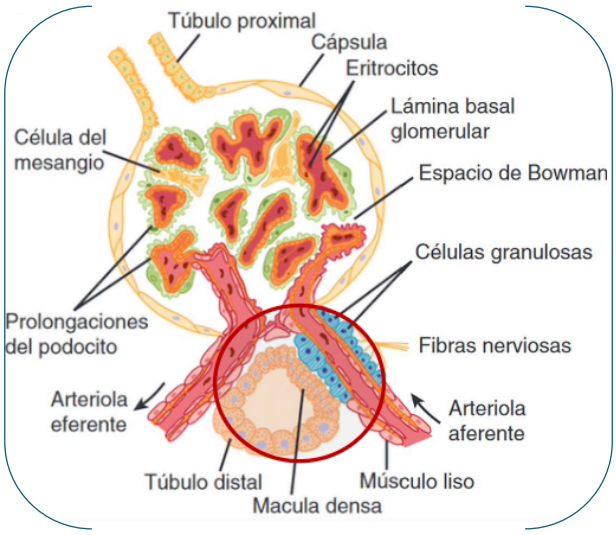
La angiotensina II tiene varios efectos fisiológicos:

1. **Vasoconstricción de la arteriola eferente del glomérulo**
2. Aumento de la presión dentro del glomérulo
3. **Aumento o mantenimiento de la filtración glomerular**

Esto permite que el riñón **mantenga la filtración incluso cuando el flujo sanguíneo renal disminuye**.

Además, la angiotensina II:

- estimula la liberación de **aldosterona**
- aumenta la **reabsorción de sodio y agua**
- eleva la **presión arterial**



→ SIGNIFICADO FISIOLÓGICO

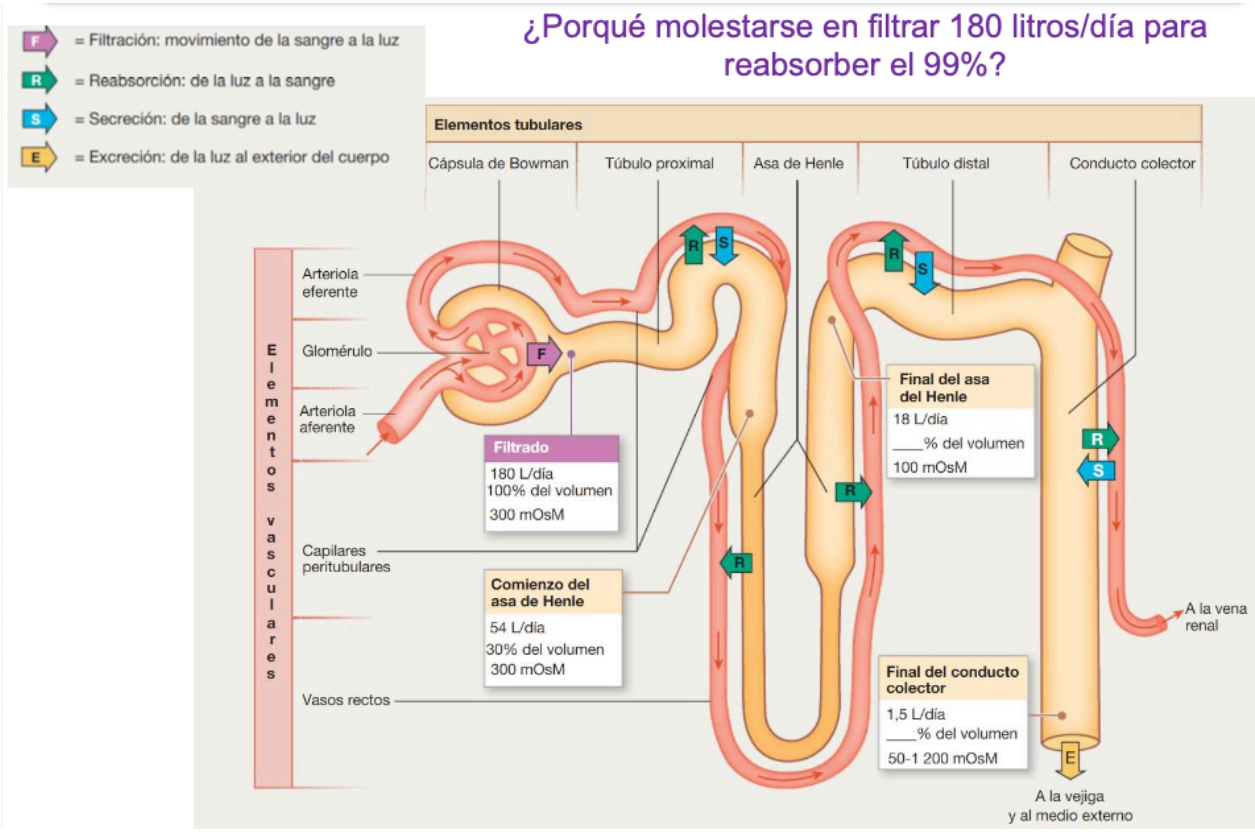
El sistema renina-angiotensina permite al organismo:

- mantener la filtración renal
- conservar sodio
- conservar agua
- recuperar volumen sanguíneo

👉 Es uno de los mecanismos más importantes para **evitar la caída de la presión arterial**.

⇒ PROCESOS EN LA FORMACIÓN DE LA ORINA

Aquí se plantea una pregunta paradójica:
Si el organismo solo elimina **alrededor de 1,5 litros de orina al día**, ¿por qué el riñón filtra aproximadamente **180 litros de plasma al día**?



→ A primera vista parece un sistema ineficiente, pero en realidad es **una estrategia fisiológica extremadamente eficaz de control del medio interno**.

1. EL RIÑÓN UTILIZA UNA ESTRATEGIA DE "FILTRAR Y SELECCIONAR"

El riñón no analiza previamente qué sustancias necesita eliminar.
En lugar de ello utiliza un mecanismo más simple y seguro:

1. **Filtra masivamente el plasma**
2. **Después recupera selectivamente lo que el organismo necesita**

Es decir, el riñón actúa como un sistema de **filtración seguida de selección tubular**.
Esto permite que cualquier sustancia potencialmente peligrosa sea filtrada rápidamente.

2. PERMITE ELIMINAR SUSTANCIAS TÓXICAS CON RAPIDEZ

Muchas sustancias dañinas para el organismo son moléculas pequeñas que atraviesan fácilmente la barrera glomerular.

Por ejemplo:

- fármacos
- toxinas
- metabolitos nitrogenados
- productos de degradación celular

Al filtrar grandes cantidades de plasma, el riñón puede **eliminar rápidamente estas sustancias del organismo**.
Si el filtrado fuese pequeño, la depuración de toxinas sería mucho más lenta.

3. FACILITA UN CONTROL MUY FINO DE LOS COMPONENTES DEL PLASMA

El mecanismo de reabsorción tubular permite ajustar con gran precisión la cantidad de:

- agua
- sodio
- potasio
- calcio
- bicarbonato
- glucosa
- aminoácidos

Por ejemplo:

- En el túbulo proximal se reabsorbe la mayor parte del sodio y del agua.
- En el túbulo distal y el colector se realiza el **ajuste fino**, regulado por hormonas como la **aldosterona** y la **ADH**.

De esta forma el riñón puede adaptar continuamente la composición de la orina a las necesidades del organismo.

4. MANTENER ESTABLE LA COMPOSICIÓN DEL MEDIO INTERNO

El verdadero objetivo del riñón no es producir orina, sino **mantener la homeostasis**.

La filtración masiva permite que el organismo mantenga constantes:

- volumen del líquido extracelular
- osmolaridad plasmática
- concentración de electrolitos
- equilibrio ácido-base

Sin este sistema de filtración y reabsorción continua, pequeñas variaciones en la ingesta de agua o sal producirían grandes desequilibrios.

5. PROTECCIÓN FRENTE A CAMBIOS BRUSCOS DEL ORGANISMO

El sistema "filtrar mucho y reabsorber selectivamente" tiene otra ventaja importante: permite responder rápidamente a cambios fisiológicos.

Por ejemplo:

- si ingerimos mucha agua → se reduce la reabsorción de agua → aumenta la diuresis
- si estamos deshidratados → la ADH aumenta la reabsorción de agua → disminuye la diuresis

El filtrado masivo proporciona un **gran margen de regulación**.

→ IDEA FISIOLÓGICA FUNDAMENTAL

El riñón funciona como un **sistema de depuración continua del plasma**.

Filtra grandes volúmenes para poder:

- eliminar sustancias indeseables
- regular con precisión agua y electrolitos
- mantener estable el medio interno

Por eso la filtración de **180 litros diarios no es un desperdicio de energía**, sino una estrategia eficaz de control fisiológico.

⇒ FUNCIÓN TUBULAR

Aquí vamos a introducir el concepto de **función tubular**, que es el conjunto de procesos mediante los cuales el riñón modifica el ultrafiltrado glomerular para producir la orina final.

Recordemos la secuencia:

1. **Filtración glomerular** → se forma el ultrafiltrado.
2. **Función tubular** → se modifica ese filtrado.
3. **Excreción urinaria** → resultado final.

La función tubular incluye dos procesos fundamentales:

- **Reabsorción tubular**
- **Secreción tubular**

→ Reabsorción tubular

Consiste en el paso de sustancias desde el interior del túbulo renal hacia los capilares peritubulares.

Se reabsorben sustancias útiles para el organismo:

- agua
- sodio
- glucosa
- aminoácidos
- bicarbonato
- calcio
- cloro

El objetivo es **recuperar lo que el organismo necesita conservar**.

→ Secreción tubular

Es el proceso inverso.
Consiste en transportar sustancias desde la sangre hacia el interior del túbulo renal.

Se secretan principalmente:

- protones (H^+)
- potasio
- fármacos
- metabolitos orgánicos

La secreción permite eliminar sustancias que no se filtraron o que deben eliminarse activamente.

⇒ FILTRADO AL SALIR DEL TÚBULO PROXIMAL

Cuando el filtrado abandona el **túbulo contorneado proximal** ya se ha producido una enorme reabsorción.
En este segmento se reabsorbe aproximadamente:

- **67 % del agua filtrada**
- **67 % del sodio**
- gran parte del cloro
- prácticamente **toda la glucosa**
- prácticamente **todos los aminoácidos**
- gran parte del bicarbonato



Este proceso ocurre porque las células del túbulo proximal poseen muchos transportadores y bombas iónicas.

La energía procede principalmente de la **bomba Na^+/K^+-ATPasa**, que genera un gradiente de sodio que impulsa el transporte de muchas otras moléculas.

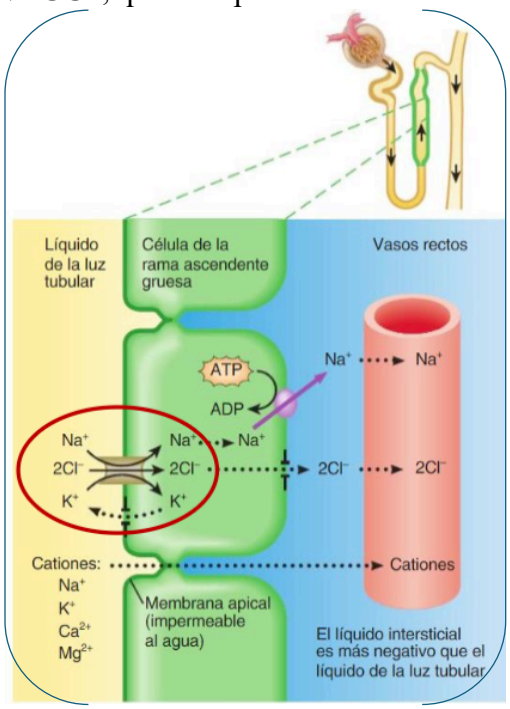
El filtrado que sale del túbulo proximal sigue siendo **isoosmolar con el plasma**, aunque su volumen se ha reducido aproximadamente un **70 %**.

⇒ REABSORCIÓN EN LA RAMA ASCENDENTE GRUESA DEL ASA DE HENLE

Esta parte del asa de Henle tiene una propiedad muy importante ya que **es impermeable al agua**. Esto significa que el agua no puede salir del túbulo en este segmento.
Sin embargo, sí se reabsorben activamente sales, principalmente **NaCl**.

→ El mecanismo principal es el **cotransportador NKCC2**, que transporta:

- sodio (Na^+)
- potasio (K^+)
- cloro (Cl^-)



Este transportador se encuentra en la membrana apical de las células tubulares.

→ **Función fisiológica**
La reabsorción de NaCl sin agua hace que el líquido tubular se vuelva **más diluido**.

Por ello este segmento se denomina:
→ **segmento diluyente del nefrón**.

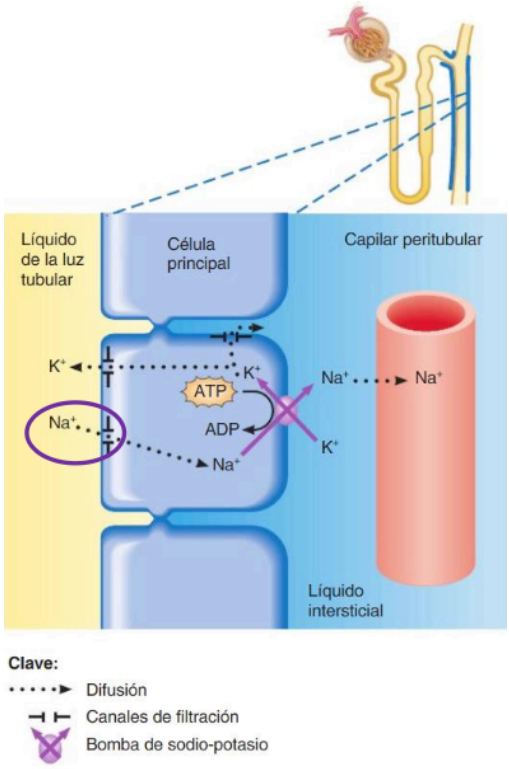
Además, esta reabsorción contribuye a generar el **gradiente osmótico de la médula renal**, fundamental para concentrar la orina.

→ **Importancia clínica** Los diuréticos de asa (como la **furosemida**) bloquean este transportador, lo que aumenta la eliminación de sodio y agua.

⇒ TRANSPORTE EN EL TÚBULO DISTAL TARDÍO Y TÚBULO COLECTOR

En estos segmentos se realiza el **ajuste fino de la composición de la orina**.

Las células principales poseen canales específicos para el transporte de sodio y potasio.



→ Reabsorción de sodio

El sodio entra a la célula tubular a través del canal **ENaC**.

Posteriormente es bombeado hacia la sangre por la Na^+/K^+-ATPasa.

→ Secreción de potasio

El potasio sale hacia el interior del túbulo mediante canales específicos.

Este proceso es importante para mantener estable la concentración de potasio plasmático.

→ Regulación hormonal

Dos hormonas regulan estos procesos:

Aldosterona

- aumenta la reabsorción de sodio
- aumenta la secreción de potasio

Hormona antidiurética (ADH o vasopresina)

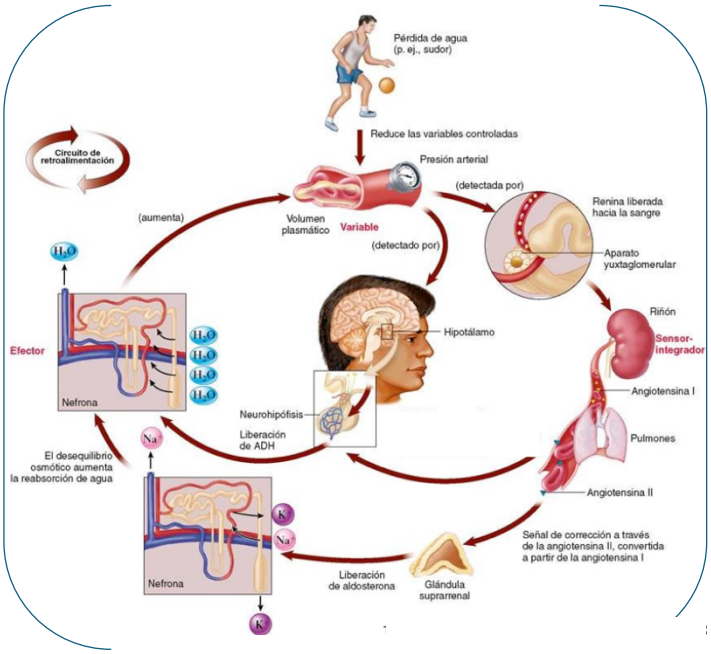
- estimula la inserción de **acuaporinas**
- aumenta la reabsorción de agua

Esto permite ajustar el volumen de orina según el estado de hidratación.

⇒ COLABORACIÓN ENTRE ADH Y ALDOSTERONA EN LA REGULACIÓN DEL VOLUMEN DE ORINA Y PLASMA

Este tema muestra cómo estas dos hormonas trabajan juntas para regular:

- el volumen de orina
- el volumen sanguíneo
- la presión arterial



→ ADH

Actúa principalmente sobre el **túbulo colector**.

Su efecto es aumentar la permeabilidad al agua mediante la inserción de acuaporinas.

Consecuencia: más agua se reabsorbe → la orina se concentra.

→ Aldosterona

Actúa principalmente sobre el **túbulo distal y colector**.

Su función es:

- aumentar la reabsorción de sodio
- aumentar la secreción de potasio

Cuando el sodio se reabsorbe, el agua tiende a seguirlo por ósmosis.

→ **Resultado conjunto**

Ambas hormonas contribuyen a:

- aumentar el volumen sanguíneo
- mantener la presión arterial
- reducir la pérdida de agua por la orina.

⇒ **RESUMEN DE LA FUNCIÓN RENAL**

Aquí se sintetiza todo el proceso de formación de la orina.

Secuencia general:

1. **Filtración glomerular**
2. **Reabsorción tubular**
3. **Secreción tubular**
4. **Excreción urinaria**

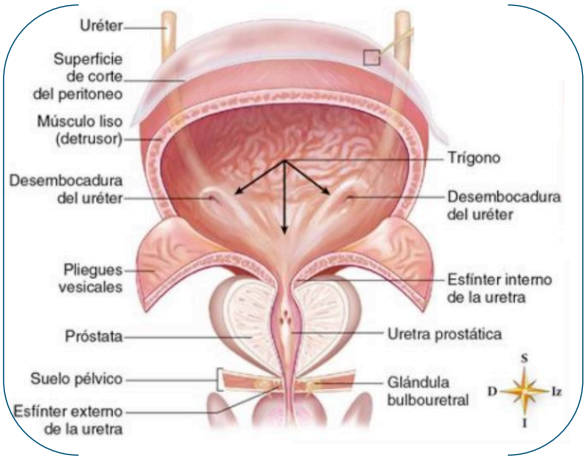
El filtrado inicial se modifica a lo largo de los distintos segmentos de la nefrona hasta convertirse en la orina final.

https://www.youtube.com/watch?v=4FpQQrAHTK8

⇒ **RECOGIDA Y EMISIÓN DE LA ORINA**

Una vez formada, la orina pasa por:

1. La pelvis renal
2. Los uréteres
3. La vejiga
4. La uretra

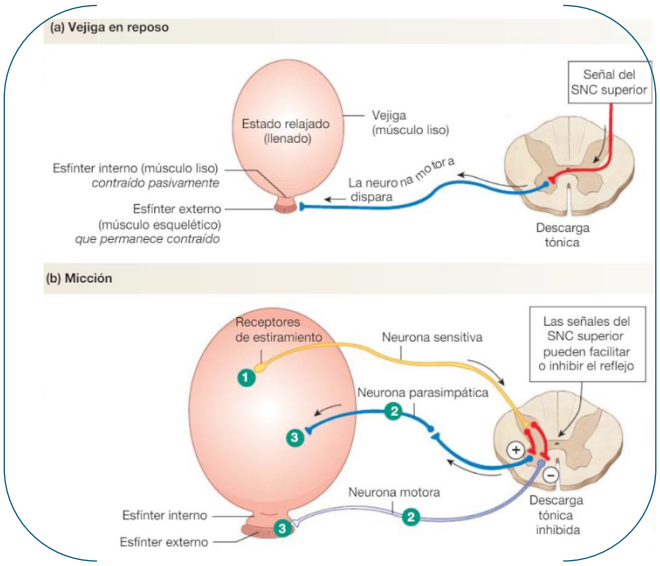


El epitelio que recubre el tracto urinario es **impermeable al agua y a los solutos**.

Esto significa que la orina **no se modifica después de salir del riñón para ser expulsada**.

La vejiga simplemente actúa como reservorio.

⇒ **MICCIÓN**



La micción es el proceso de expulsión de la orina.

Está controlada por un **reflejo neurológico**.

Cuando la vejiga se llena, los receptores de estiramiento de su pared se activan.

Esto desencadena señales nerviosas que:

- contraen el músculo detrusor
- relajan el esfínter uretral interno

El esfínter externo, formado por músculo esquelético, permite el **control voluntario** de la micción.

⇒ EVALUACIÓN DE LA FUNCIÓN RENAL

La función renal puede evaluarse mediante varias pruebas.

1. Análisis de orina
Se analizan:
- proteínas
- glucosa
- bilirrubina
- sedimento urinario

Valores normales:
- pH ≈ 5,5–6,5
- proteínas < 150–300 mg/24 h
- Sedimento: <10 hematíes/campo

2. Creatinina plasmática y BUN
Si estas sustancias aumentan en sangre, suele indicar que hay una **disminución de la filtración** glomerular, y esto supone una posible insuficiencia renal

3. Aclaramiento renal (clearance)
Se define como el volumen de plasma que queda completamente libre de una sustancia por minuto, o lo que es igual: volumen de plasma completamente depurado por minuto.

→ La sustancia ideal para medir la TFG es **la inulina**, porque:
- se filtra libremente
- no se reabsorbe
- no se secreta

⇒ RESUMEN GENERAL DEL SISTEMA URINARIO

El sistema urinario está formado por:
- riñones
- uréteres
- vejiga
- uretra

👉 La unidad funcional es la **nefrona**.

Los procesos básicos de formación de la orina son:
- filtración
- reabsorción
- secreción

⇒ PAPEL DEL FLUJO SANGUÍNEO RENAL

El flujo sanguíneo renal representa aproximadamente **el 25 % del gasto cardíaco**.
La filtración depende de:
- sistema nervioso simpático
- sistema renina-angiotensina
- mecanismos locales de autorregulación

Además, cada segmento tubular modifica el filtrado de forma específica.

⇒ **REGULACIÓN FINAL DEL SODIO, POTASIO Y AGUA**

En los segmentos finales del nefrón se realiza el ajuste definitivo de la orina.

- Aldosterona → regula sodio y potasio.
- ADH → regula la reabsorción de agua.

La vejiga almacena la orina sin modificar su composición.

La micción depende de reflejos autónomos y del control voluntario.

⇒ **PARA SABER MÁS**

Bibliografía de referencia:

- Silverthorn — *Fisiología Humana*
- Costanzo — *Fisiología*
- Fox — *Fisiología Humana*
- Patton y Thibodeau — *Estructura y función del cuerpo humano*

→ Estos son textos clásicos utilizados en enseñanza universitaria de fisiología.
→ Y estos son unos videos de interés sobre el funcionamiento de los riñones.

https://www.youtube.com/watch?v=IjevaIGe0Z4

https://www.youtube.com/watch?v=4FpQQrAHTK8&t=364s

https://www.youtube.com/watch?v=cFIsxxupCww