



Anatomía y Fisiología Glomerular

Descripción

La **Fisiología Glomerular** es uno de los temas centrales en la Fisiología renal y un aspecto medular o central en la comprensión de enfermedades como la Injuria o Insuficiencia Renal Aguda, Enfermedad Renal Crónica o síndromes clásicos como el Síndrome Nefrítico o Síndrome Nefrotico

¿Que es el Glomérulo Renal?

El Glomérulo Renal es una de las partes de la Nefrona. **Es un ovillo de capilares que surgen de la Arteriola Renal Aferente y que terminan en la Arteriola Renal eferente.**

En términos prácticos el Glomérulo Renal es como una planta de tratamiento de la sangre.

Lo que hace en esencia es **funcionar como un filtro de sustancias que si queremos que pasen a la orina y aquellas que requerimos permanezcan en la sangre.**

Anatomía del Glomérulo Renal

Glomérulo Renal Unknown

El Glomérulo Renal esta compuesto por:

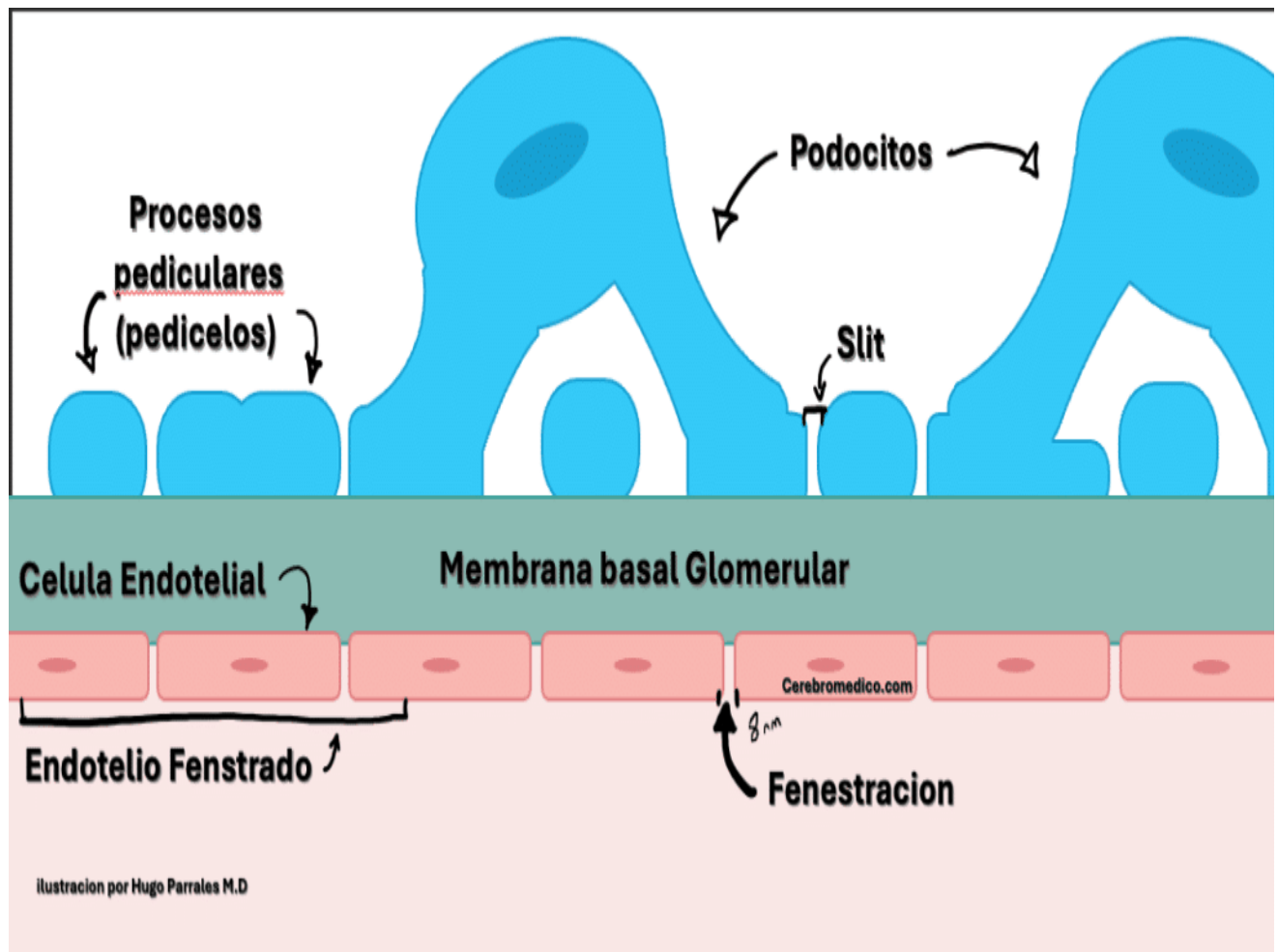
- Arteriola Aferente
- Capilares Glomerulares
- Endotelio glomerular
- Membrana basal glomerular
- Mesangio Renal
- Podocitos
- Arteriola Eferente
- Capsula de Bowman

Cada uno de estos compuestos cumple una función específica en la **Fisiología glomerular**

Fisiología Glomerular

Como ya mencionamos la fisiología glomerular son todos los procesos que permiten al Glomerulo funcionar como un filtrador de la sangre.

La filtración glomerular consta en esencia de 3 capas: Endotelio Fenestrado o capilar, Membrana basal, Podocitos (capa de celular epiteliiales)



Endotelio Fenestrado

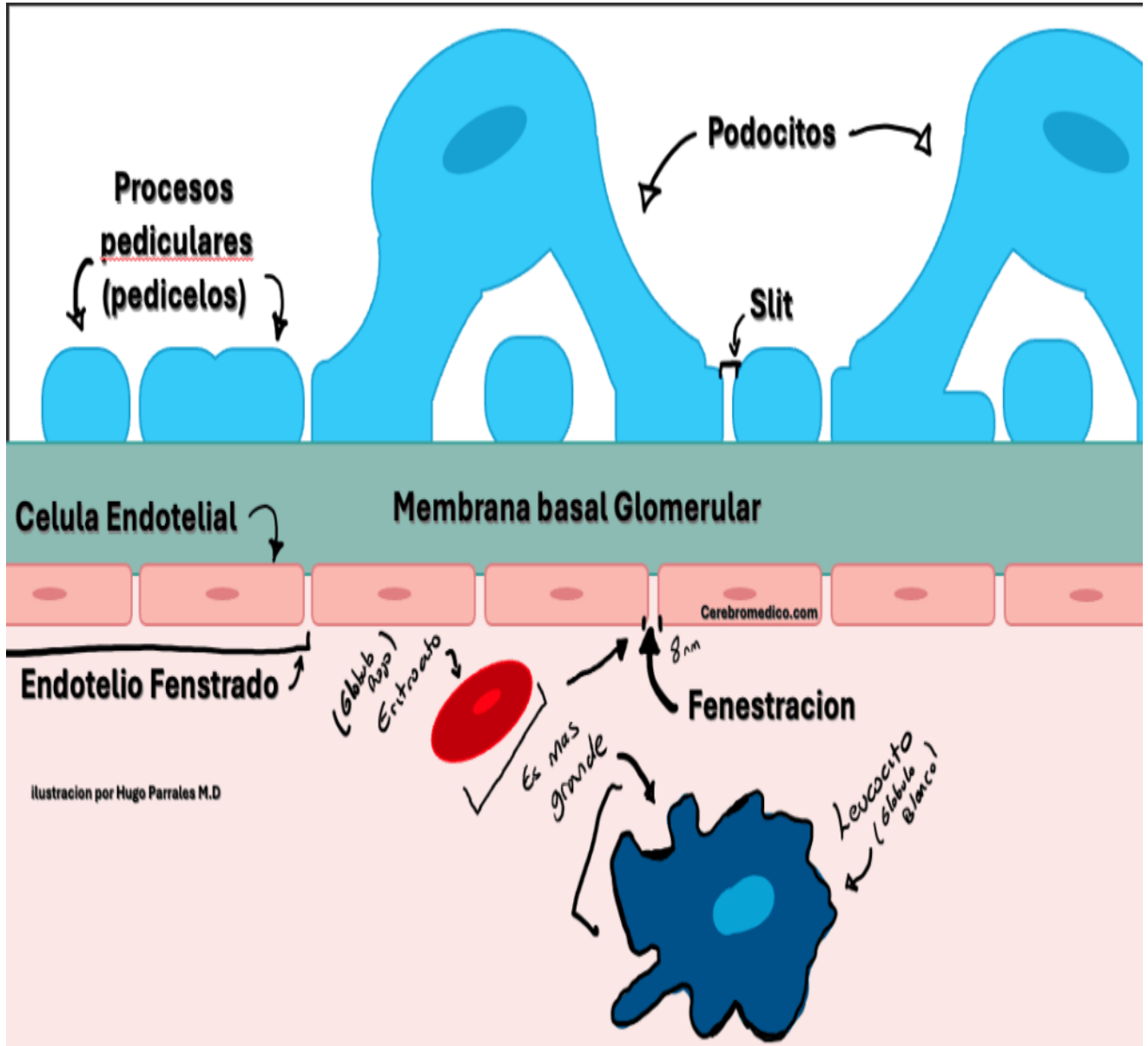
El Endotelio Fenestrado o Endotelio Capilar esta formado por las células endoteliales, que estan seperadas entre si por diminutos espacios llamados fenestraciones. Esta es la primera capa que se encuentra a nivel de los capilares glomerulares

Las Fenestraciones son pequeñas aberturas de apenas unos 8 nanometros (unos 80 angstroms)

El tamaño promedio de los eritrocitos es de unos 7.5 micrómetros es decir unos 7500 nanometros. Un tamaño que supera por mucho el de las aberturas del epitelio fenestrado. El tamaño promedio por

ejemplo de los Leucocitos (Glóbulos blancos) es entre 8 y 20 micrómetros, unos 8000 nanometros.

El proceso de filtración del Endotelio Fenestrado es una simple cuestión de tamaño. Los poros de 8 nanometros impiden el paso de aquellas moléculas de gran tamaño.



Es evidente entonces que toda molécula que tenga un tamaño mayor al de las fenestraciones no podrá pasar hacia el Espacio de Bowman.

Por ello es que usualmente se hace referencia a que el Endotelio Fenestrado funciona como un colador.

Membrana Basal Glomerular

La Membrana Basal Glomerular o MBG es una capa en esencia formada por Colágeno de tipo IV y rica en proteínas como la Laminina, Heparan Sulfato, Entactina, entre otras.

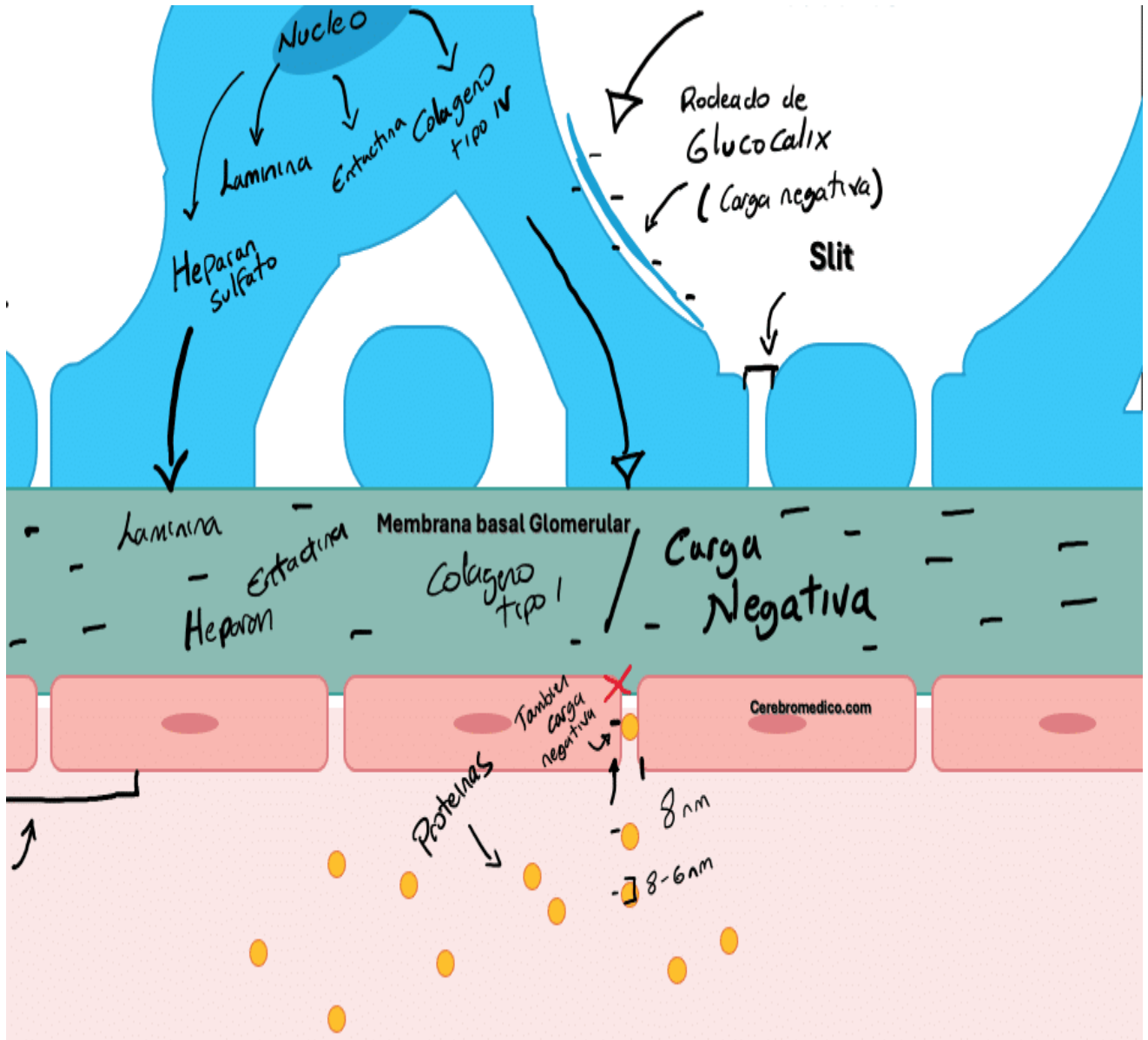
Estas proteínas son sintetizadas a nivel de los Podocitos y liberadas en un proceso Exocitosis hacia la Membrana Basal Glomerular.

El Heparan Sulfato por ejemplo es un Proteoglicano que es sintetizado en los Podocitos y liberado a la MBG. El Heparan Sulfato esta cargado negativamente lo que provee a la Membrana Basal Glomerular de carga negativa.

Las otras proteínas participan también pero en menor medida en la carga negativa de la MBG y tienen funciones mas de soporte estructural.

Función de la Membrana Basal Glomerular

La principal función de la Membrana Basal Glomerular es servir como un filtro directo para las proteínas y moléculas con carga negativa.



En un contexto fisiológico las proteínas no tendrían porque pasar al Espacio de Bowman. Es decir que en un paciente relativamente sano no debería haber paso de proteínas hacia la orina y de hacerlo tendrían que ser una mínima cantidad.

Sin embargo si observamos el tamaño promedio de las proteínas, incluso el de la Albúmina, una de las proteínas mas grandes esta mide apenas entre 8 y 6 nm. Teóricamente es del tamaño justo para pasar por los pequeños canales o fenestraciones del Epitelio Fenestrado.

Pero las proteínas no pueden pasar hacia la Membrana Basal Glomerular. ¿Por que? fácil... esto es debido a que las proteínas tienen también carga negativa.

En la Fisiología glomerular las proteínas son repelidas por la carga negativa de la Membrana Basal Glomerular.

Recordemos que negativo con negativo se repele... Matematicas ?

Podocitos

Los podocitos son células renales especializadas, que mediante sus prolongaciones (pedicelos), forman la capa visceral de la cápsula de Bowman y son fundamentales para el filtrado selectivo y mantenimiento estructural del filtro glomerular.

Los podocitos tienen múltiples funciones dentro de la fisiología glomerular.

Dado que los podocitos están rodeados de Glucocalix también poseen una carga negativa. Al igual que como pasaba con la MBG esta carga negativa les permite repeler a las proteínas como la Albumina. Entonces aun si una proteína logra pasar a la MBG seria rechazada por la carga negativa de los Podocitos.

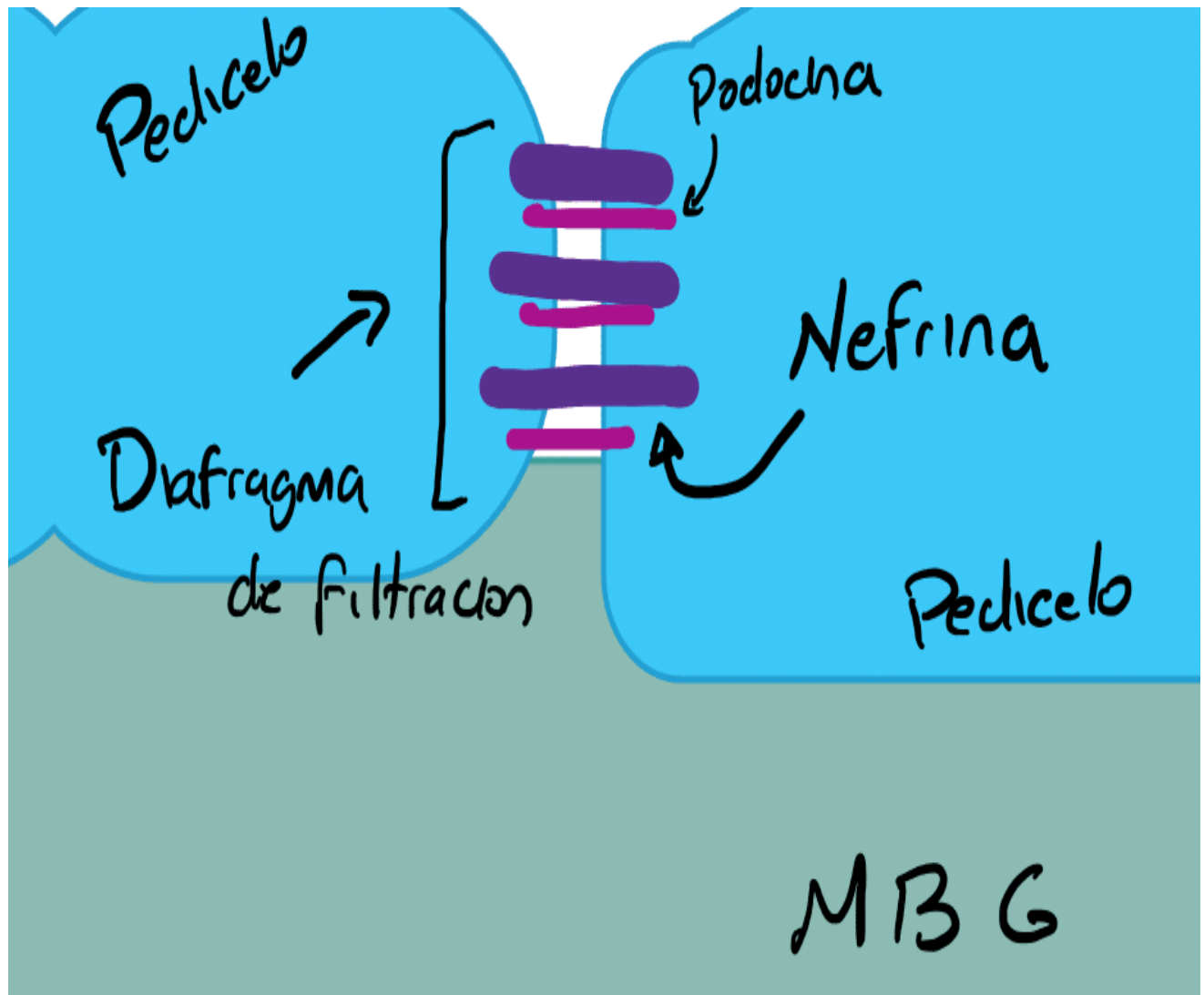
Ademas como ya mencionamos antes los Podocitos son los encargados de la síntesis de los elementos que conforman a la MBG. Dentro de ellos el Colágeno de tipo IV, Laminina, Entactina y el Heparan Sulfato.

Diafragma de Filtración en la fisiología glomerular

Los podocitos generan extensiones o prolongaciones de su cuerpo celular. Estas extensiones reciben el nombre de Pedicelos.

Entre los Pedicelos se crean estructuras proteicas que pertenecen a las familias de las Inmunoglobulinas, la principal estructura es la Nefrina.

La Nefrina funciona como un segundo filtro ya que se unen y convergen formando un nuevo manto fenestrado. Esta estructura se complementa con la Podocina, otra proteínas que se forma entre 2 Pedicelos.



Entonces aunque una molécula con carga negativa lograra pasar a la MBG sería detenida por el diafragma de filtración y por repelida por el campo eléctrico negativo generado por los Podocitos.

El Diafragma de filtración glomerular entonces es una capa extra de filtrado dentro de la fisiología glomerular.

Moléculas permeables en la fisiología glomerular

Hasta el momento solo hemos mencionado las moléculas que no son capaces de atravesar la barrera de filtrado glomerular

Sin embargo existen muchas moléculas que si son permeables a la barrera de filtrado glomerular.

En términos generales **las moléculas que si atraviesan la barrera de filtrado glomerular son aquellas que tienen un tamaño por lo general menor a los 8 nm** (algunas literaturas incluso mencionan los 4 nm)

Ademas estas moléculas como ya aprendimos deben tener una carga positiva o una carga neutra.

Otra característica que deben cumplir es su peso molecular, en general las moléculas que atraviesan son las que tienen menos de **69 kDa**.

Algunas de las moléculas mas comunes que atraviesan la barrera de filtrado glomerular son:

Tipo de Molecula	Ejemplo
Agua	H ₂ O
Electrolitos	Na ⁺ , K ⁺ , Cl ⁻ , HCO ₃ ⁻ , Ca ²⁺ , Mg ²⁺
Moléculas pequeñas	Urea, creatinina, glucosa, aminoácidos
Productos metabolicos	Ácido úrico, amoníaco
Hormonas	Insulina, hormona antidiurética (ADH)
Proteinas pequeñas	??-microglobulina (11.8 kDa), Mioglobina (~17 kDa), cadenas ligeras de inmunoglobulinas (~22 kDa)

En este punto si eres observador y has puesto atención, podrías preguntarte...

¿Porque el Cloro (Cl⁻) atraviesa la barrera de filtrado glomerular si tiene carga negativa?

Es importante aclarar que no es en si la carga negativa o positiva lo que permite o impide el paso de una molécula por la barrera de filtrado glomerular. Es el conjunto de las 3 capas de filtración lo que permite la fisiología glomerular.

Dentro de estas características quizá el aspecto mas importante es el tamaño de la molécula. Si recordamos la primera capa de filtrado es el Endotelio Fenestrado.

Si vemos el tamaño del electrolito cloro, podremos notar que este es de tan solo 0.18 nm. Lo que es considerablemente mas pequeño que el propio poro del endotelio, que recordemos es de 8 nm.

Ademas el Cl⁻ no suele viajar solo hacia el Endotelio, casi siempre va acompañado de los otros electrolitos con carga positiva, lo que genera que en grupo mantengan una polaridad neutra o positiva lo que permite un paso aun mas libre del Cloro hacia el Espacio de Bowman.

Tasa de Filtrado Glomerular

La **Tasa de Filtrado Glomerular (TFG)** es el volumen de plasma sanguíneo que es filtrado por todos los glomérulos renales juntos en un período determinado (usualmente expresado en **militros por minuto (ml/min)**).

En la fisiología glomerular entonces la Tasa de Filtrado Glomerular nos dice que tan bien están trabajando los glomérulos y por ende en un concepto mas general que tan bien se encuentran los riñones

Valor normal de la Tasa de Filtrado Glomerular

En un adulto sano el valor normal de la tasa de filtrado glomerular es de 125 mL/min. Este valor desciende de forma progresiva con la edad debido a que con la senectud o envejecimiento perdemos capacidad glomerular.

Se considera una TFG normal aquella que esta entre 90 y 120 mL/min

Determinantes de la Tasa de Filtrado Glomerular

La TFG depende esencialmente de tres factores principales, explicados en la **ley de Starling** aplicada al glomérulo.

En términos prácticos estos 3 factores son:

- **Coeficiente ultrafiltración (Kf)** (*permeabilidad × superficie*)
- **Presión neta de filtración (Puf)** (*diferencia entre hidrostática y oncótica*)
- **Flujo sanguíneo renal** (*afecta presión capilar glomerular*)

Suena complicado verdad, pero realmente es muy simple.

El primer elemento que afecta la TFG o capacidad de los glomérulos de filtrar es el propio glomérulo, a eso hace referencia el **Coeficiente ultrafiltración**.

El **Coeficiente ultrafiltración** se compone entonces de:

1. La superficie disponible para filtración: es decir el el área total funcional de capilares glomerulares.
2. La Permeabilidad hidráulica: es decir la facilidad con la que los elementos pasan a través de las barreras de filtrado

Entonces cualquier situación que afecte a estos elementos generara que aumente o disminuya la filtración glomerular como por ejemplo las enfermedades renales.

El segundo elemento o **Presión neta de filtración** depende de fuerzas hidrostáticas y oncóticas. Estas fuerzas estan en un balance pero cualquier ruptura de este equilibrio generara un cambio en la TFG

Uno de los determinantes mas claros en este punto es el Flujo Sanguíneo Renal. Esto debido a que el Flujo Sanguíneo Renal controla en gran medida las fuerzas hidrostáticas que participan en la filtración glomerular.

Entonces a mayor flujo sanguíneo mayor será la presión hidrostática y por ende mayor será la Tasa de Filtrado Glomerular.

En ese mismo sentido si el flujo sanguíneo renal disminuye también lo hará la presión hidrostática y por lo tanto también la Tasa de Filtrado Glomerular.

La presión hidrostática a nivel del glomérulo en promedio es de 60 mmHg.

La presión hidrostática glomerular esta determinada por 3 elementos:

- Presión Arterial
- Resistencia Arteriolar aferente
- Resistencia Arteriolar eferente

En términos generales **cuando la presión arterial sistémica aumenta también lo hace la presión hidrostática glomerular y por consiguiente aumenta la TFG**

En relación a las Arteriolas aferentes y eferentes recordemos que estas son el punto de entrada y salida del glomérulo.

Si la Arteriola aferente (punto de entrada) aumenta su resistencia llegara menos sangre al glomérulo y por consiguiente menos flujo sanguíneo renal y menos presión hidrostática glomerular y por lo tanto la TFG disminuirá. Todo lo contrario si en lugar de aumentar su resistencia aumentamos su dilatación, esto generara aumento de la TFG

En el caso de la Arteriola eferente (punto de salida) pasa lo contrario, si aumentamos su resistencia mas sangre queda en el glomérulo porque menos sangre puede salir, por consiguiente se aumenta la presión hidrostática glomerular y el resultado es un aumento de la TFG

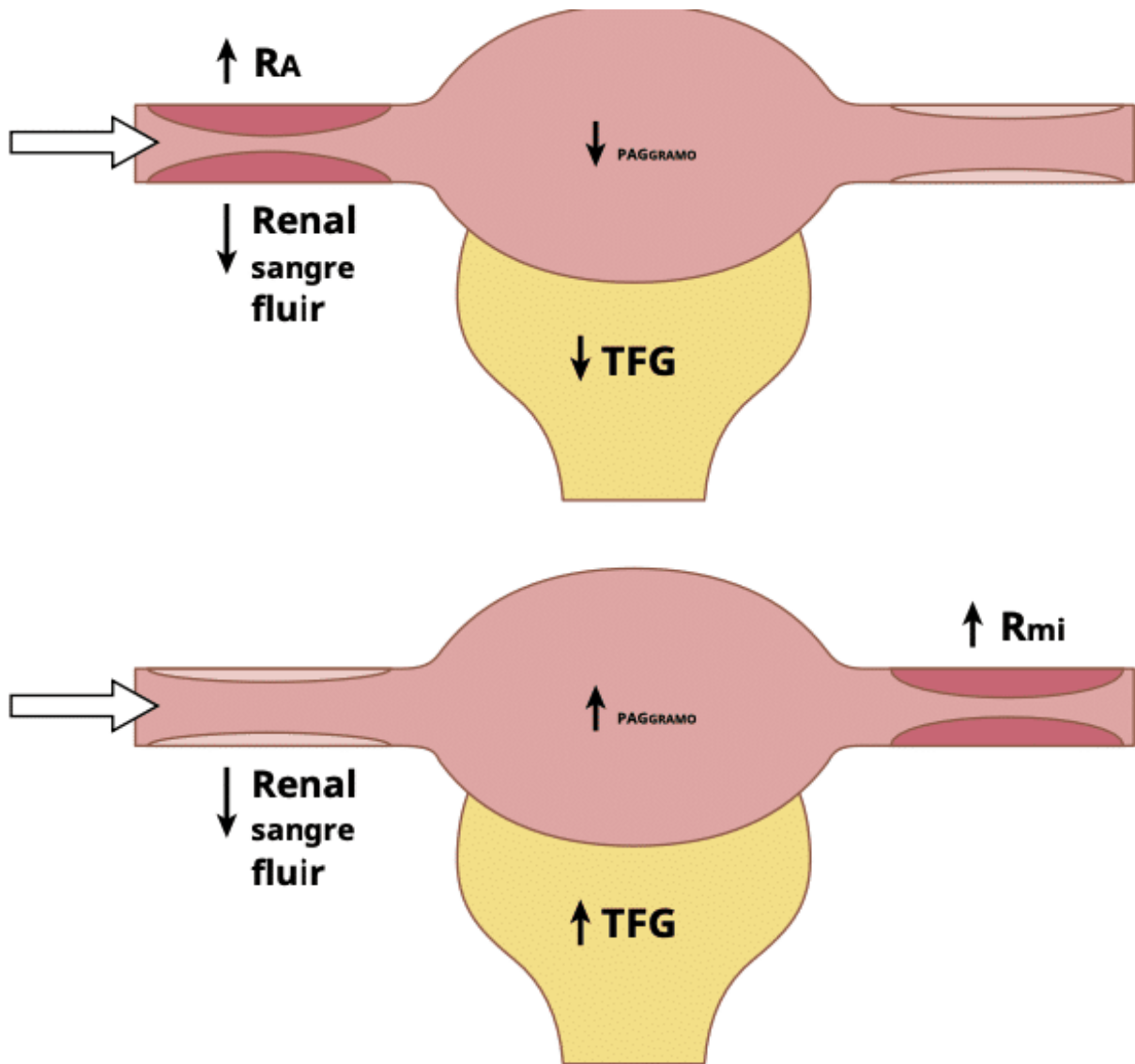


Figura 27-6. Efecto de los aumentos de la resistencia arteriolar aferente (RA, *panel superior*) o resistencia arteriolar eferente (R_{mi}, *panel inferior*) en el flujo sanguíneo renal, presión hidrostática glomerular (P_{GRAMO}) y glomerular tasa de filtración (TFG).

Factores que afectan la TFG

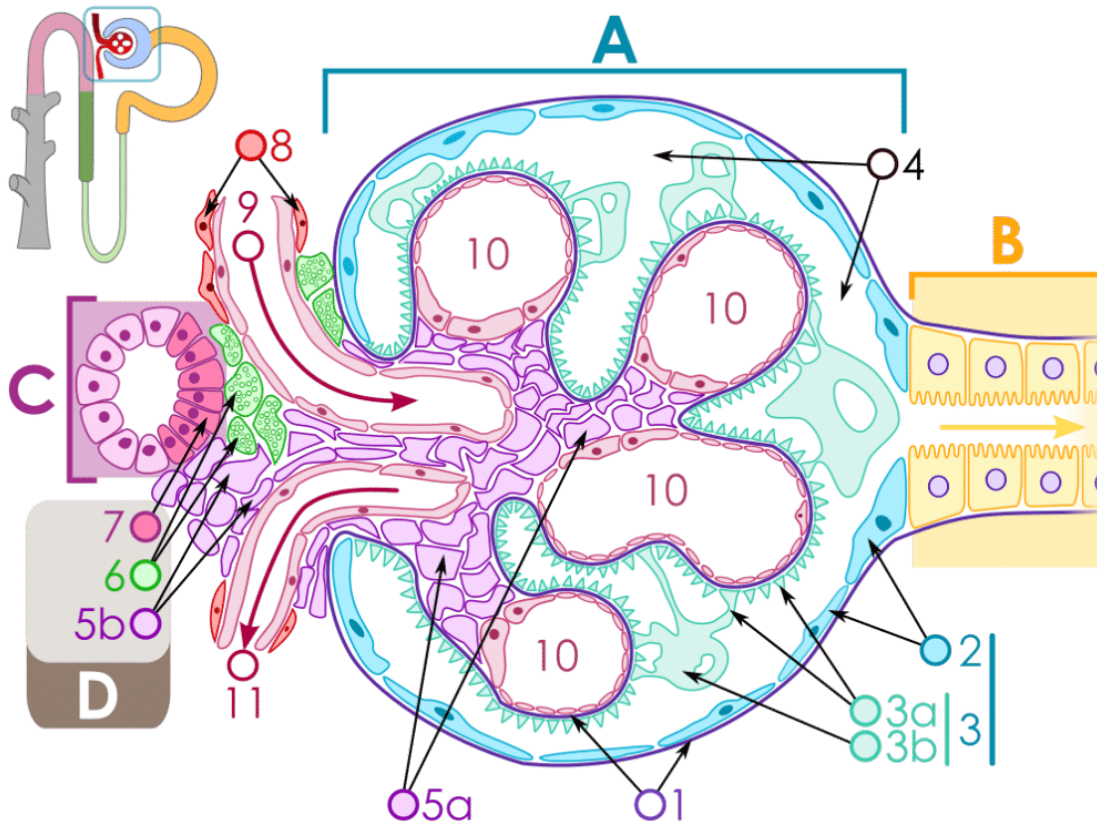
Factor	Efecto en la TFG	Mecanismo principal
Aumento presión arterial sistémica	?? Aumenta TFG	?? presión hidrostática (P _{gc})
Vasoconstricción arteriola aferente	?? Disminuye TFG	?? presión hidrostática (P _{gc})
Vasodilatación arteriola aferente	?? Aumenta TFG	?? presión hidrostática (P _{gc})
Vasoconstricción arteriola eferente leve	?? Aumenta TFG	?? presión hidrostática (P _{gc})

Factor	Efecto en la TFG	Mecanismo principal
Vasoconstricción arteriola eferente severa	?? Disminuye TFG	?? ?gc (aumenta presión oncótica glomerular)
Obstrucción urinaria	?? Disminuye TFG	?? presión en Bowman (Pbs)
Hipoproteinemia (disminución proteínas plasmáticas)	?? Aumenta TFG	?? presión oncótica capilar glomerular (?gc)

Células mesangiales en la Fisiología glomerular

Las células mesangiales desempeñan un papel crucial en el mantenimiento de la estructura y función del ovillo capilar. Son en parte responsables de la regulación glomerular.

Se localizan entre los capilares glomerulares, en el espacio central del glomérulo, y pueden dividirse en dos tipos: **mesangiales intraglomerulares** y **extraglomerulares** (estas últimas forman parte del aparato yuxttaglomerular, que es tema para otro artículo ?).



Células mesangiales intraglomerulares (5a) y extraglomerulares (5b)

Las **células mesangiales intraglomerulares** tienen una doble función:

1. Función estructural:

Actúan como una especie de «esqueleto» interno, proporcionando soporte a los capilares

glomerulares, especialmente en las zonas donde no hay membrana basal glomerular.

2. **Función contráctil:**

Poseen actina y miosina, lo que les permite contraerse en respuesta a estímulos hormonales como la angiotensina II o la endotelina. Esta contracción como ya mencionamos antes modifica el área de superficie disponible para la filtración, regulando así el filtrado glomerular.

3. **Función fagocítica:**

Las células mesangiales también eliminan residuos atrapados en la membrana basal, actuando como macrófagos residentes del glomérulo. Esto es esencial para preservar la eficacia del proceso de filtración.

4. **Función paracrina:**

Producen una variedad de sustancias vasoactivas, citocinas y factores de crecimiento, participando en la modulación del tono vascular glomerular y en procesos inflamatorios o de remodelado tisular.

En resumen, aunque tradicionalmente se ha dado más énfasis a los podocitos y la membrana basal en el proceso de filtración, las células mesangiales constituyen un componente dinámico e indispensable para la fisiología glomerular.

Cálculo de la Tasa de Filtrado Glomerular

Uno de los aspectos más importantes a nivel clínico es determinar o calcular la TFG.

Existen múltiples formas de medir la Tasa de Filtrado Glomerular. El método directo consistiría en hacer una medición utilizando la Depuración de Inulina. Aunque este es el Gold Standard en la práctica clínica casi no se utiliza.

El método más utilizado para el cálculo de la Tasa de Filtrado Glomerular es el método indirecto mediante ecuaciones. **El elemento que se utiliza con mayor frecuencia para calcular la TFG es la [Creatinina](#)**

¿Porque utilizamos la Creatinina?

La creatinina es un producto metabólico derivado de la degradación de la **creatina** y la **fosfocreatina** del músculo esquelético.

- **Se genera diariamente** a una tasa relativamente constante, según la masa muscular.
- Se elimina casi exclusivamente por vía renal mediante filtración glomerular.

Razones principales para usar creatinina como marcador renal:

1. **Se filtra libremente por el glomérulo:**

- La creatinina pasa libremente por el filtro glomerular, sin restricción significativa por tamaño o carga.

2. **Producción relativamente constante:**

- La tasa de producción de creatinina es estable día a día en individuos sanos, dependiendo principalmente de la masa muscular.
- Esto permite asumir que cambios en su concentración plasmática reflejan principalmente alteraciones en la función renal.

3. No se reabsorbe significativamente en túbulos renales:

- No hay reabsorción tubular relevante.
- Casi toda la creatinina filtrada termina en la orina.

4. Mínima secreción tubular:

- Aunque hay una ligera secreción tubular (alrededor de un 10-15%), habitualmente no afecta significativamente el cálculo en condiciones normales.

5. Estandarización y Fácil medición en laboratorio:

- Es económico, ampliamente disponible y sencillo medir sus niveles en sangre y orina.
- Se obtiene rápidamente mediante análisis de sangre.
- Es la forma estandarizada para el cálculo de la TFG

[su_box title=»????? Aspectos Clave de la Fisiología Glomerular ?» box_color=»#004cd4?]

1. Los glomérulos son una parte de las Nefronas
2. La filtración glomerular se da por medio de 3 capas; Endotelio fenestrado, Membrana basal glomerular, Podocitos
3. El daño en el endotelio fenestrado conlleva a la pérdida del principal elemento de filtración generando el paso libre de componentes como los eritrocitos. La afectación de los podocitos genera pérdida principalmente de proteínas . ??
4. La carga negativa de la Membrana Basal Glomerular junto con los Podocitos evitan la pérdida de proteínas como la albúmina hacia la orina.
5. La tasa de filtrado glomerular normal es en promedio de 125mL/min.

[/su_box]

Categoría

1. Fisiología

Etiquetas

1. fisiología
2. renal

Fecha de creación

02/04/2025

Campos meta

Audience : <http://schema.org/Clinician> **Autor** : Hugo Parrales M.D