

TEMA 5. EL SISTEMA EXCRETOR.

1. INTRODUCCIÓN.

La función del sistema excretor es la excreción, es decir la eliminación del organismo de las sustancias tóxicas y de desecho. El concepto de excreción debe diferenciarse de las nociones de:

- Secreción: producción de sustancias útiles para el organismo, como hormonas, enzimas, etc. (Temas 1 y 10).
- Defecación: expulsión al exterior del organismo de sustancias que no han podido ser digeridas, como la fibra (Tema 2).

El sistema excretor está formado por:

- El aparato urinario: es el principal elemento del sistema excretor, controla y regula las concentraciones de sustancias en los líquidos corporales (presente Tema).
- El aparato respiratorio: es el encargado de expulsar el dióxido de carbono procedente de la respiración celular (Tema 3).
- Las glándulas sudoríparas: se encargan de la expulsión del sudor al exterior. El sudor es un líquido de composición muy parecida a la orina aunque el sudor es más diluido; tiene además función refrigerante (Temas 1 y actual).
- El hígado: excreta los pigmentos biliares, la bilirrubina y su metabolito el urobilinógeno, todos son productos de la destrucción de los glóbulos rojos (Tema 2). También el hígado produce sustancias tóxicas y de desecho, como la urea, que proceden del catabolismo de la parte nitrogenada de los aminoácidos que componen las proteínas. Estos desechos nitrogenados son eliminados por el aparato urinario.

Todos los componentes del sistema excretor tienen una función en común, intervienen en el proceso denominado **homeostasis** que es el conjunto de mecanismos de control que mantiene el volumen de los líquidos corporales y las concentraciones de las sustancias. Para que el organismo se encuentre en unas condiciones normales, por ejemplo, el valor del pH del plasma sanguíneo debe oscilar en torno a 7,4 y la glucosa debe mantenerse sobre 1 gramo por cada litro de sangre.

2. ANATOMÍA DEL APARATO URINARIO.

En los humanos anatómicamente consta de:

- ÓRGANOS → Riñones (dos)
- { - VÍAS
 - Pelvis renal (una por riñón)
 - Uréteres (uno por riñón)
 - Vejiga urinaria (una)
 - Uretra (una)

2.1. RIÑONES.

Están situados en la zona lumbar de la cavidad abdominal, a ambos lados de la columna vertebral. Tienen forma de habichuela y son rojizos, ya que tienen gran cantidad de vasos sanguíneos. Están recubiertos de tejido adiposo. Unidos a ellos por su polo superior se encuentran las glándulas suprarrenales (Tema 10) cuya función es endocrina.

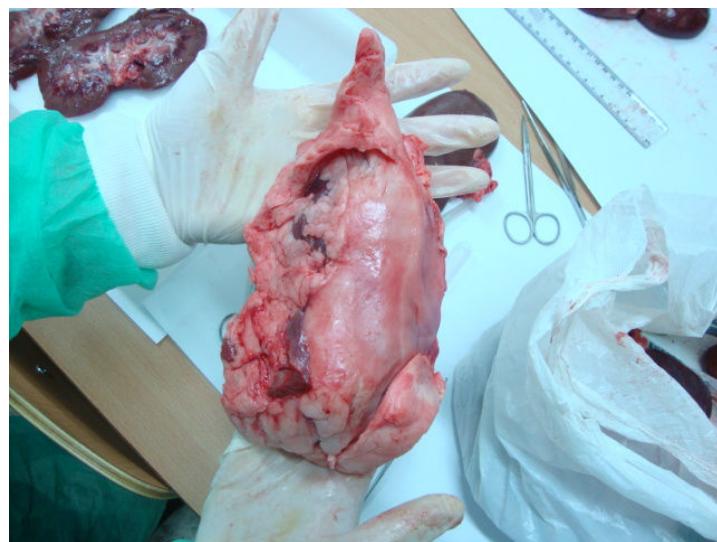


Polo superior

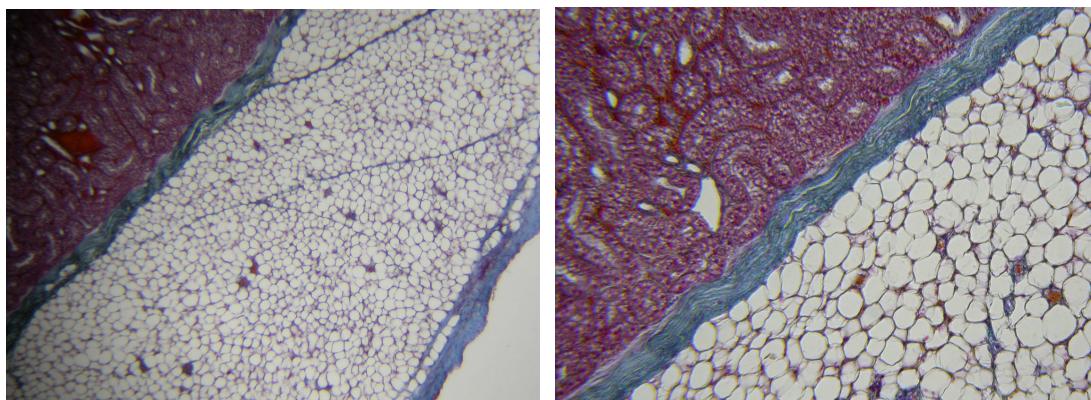
Polo inferior



Situación de los riñones



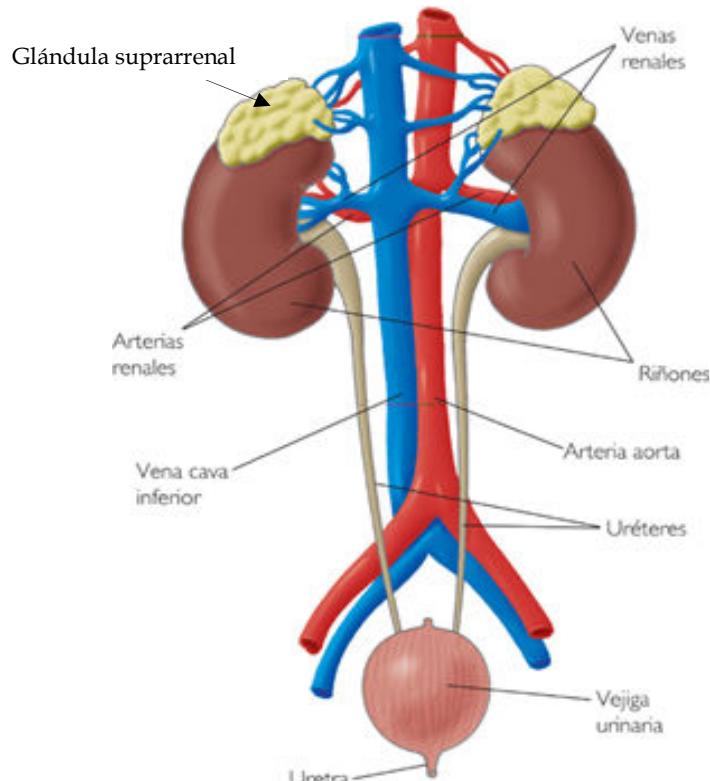
Grasa rodeando al riñón, imagen macroscópica



Grasa rodeando al riñón, imagen microscópica y detalle (derecha)

A la parte cóncava de los riñones, llamada hilio renal, llegan las arterias renales procedentes de la arteria aorta, éstas se ramifican en vasos cada vez más pequeños hasta llegar a los capilares glomerulares, que llevarán a cabo la filtración sanguínea para eliminar de la sangre las sustancias tóxicas y de desecho.

De los riñones salen: (1) las venas renales con la sangre limpia de tóxicos y de desechos, y que drenan en la vena cava inferior, y (2) los uréteres, que se dirigen hacia la vejiga que se continúa con la uretra.

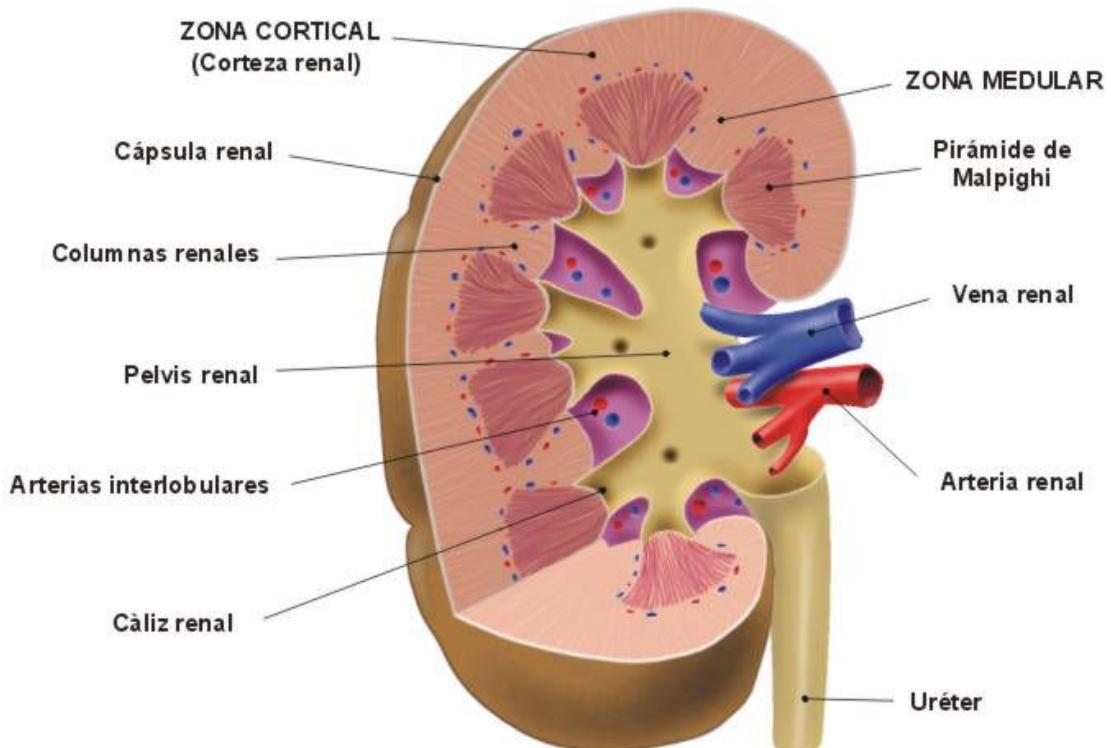


Elementos del aparato urinario
y localización de las glándulas suprarrenales

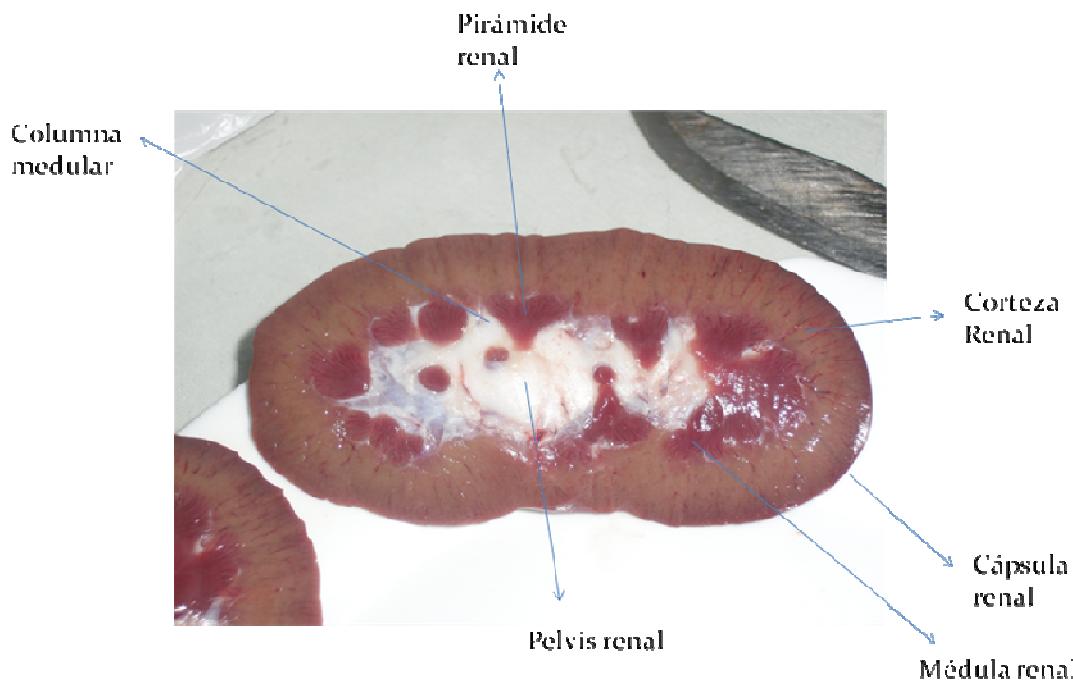
En el riñón se pueden distinguir, de la parte exterior a la interior, las siguientes regiones. Las dos primeras pueden verse en las anteriores imágenes microscópicas.

- Cápsula renal: es una fina capa formada por un tejido conjuntivo.
- Corteza: área rojiza con aproximadamente un centímetro de grosor.
- Médula: parte interna rodeada de numerosos vasos sanguíneos y dividida por columnas renales situadas entre las pirámides renales (pirámides de Malpighi).
- Pelvis renal: es una cavidad interna donde se acumula la orina antes de ser expulsada por el riñón, está dividida en cálices renales (cámaras). Los cálices conectan con los uréteres.

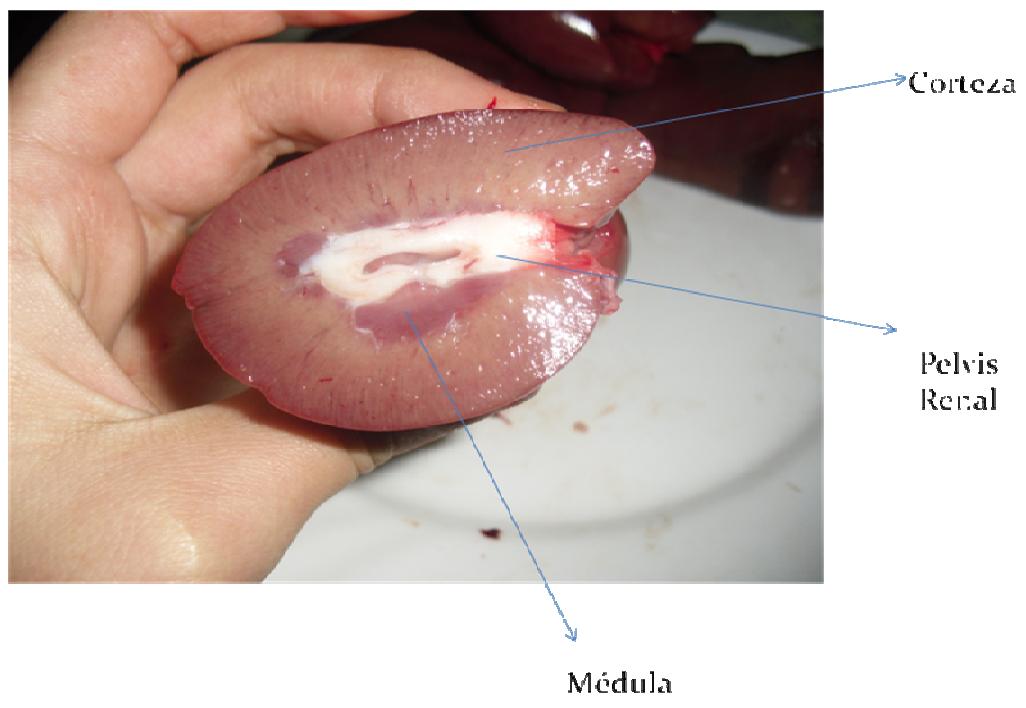
La corteza y la médula están formadas por nefronas que son las encargadas de depurar la sangre.



Sección longitudinal de riñón



Cortes de riñón, longitudinal (arriba) y transversal (debajo)



Cálculos renales o piedras en el riñón.

Composición química: los cálculos renales más frecuentes son los de calcio o fosfato, que representan, aproximadamente, el 75 % de los casos.

Etiología: se pueden formar cuando la orina se encuentra muy concentrada. Los cálculos pueden descender por el uréter produciendo un fuerte dolor. Existe una predisposición congénita para su producción, pero también hay causas adquiridas, como el consumo excesivo de: agua con cal, espárragos, fresas, carne...

Síntomas: entre otros muchos, dolor de espalda, vómitos, necesidad frecuente de orinar, sangre en la orina, dolor en el testículo, fiebre...

Diagnóstico: ecografía, TAC, radiografía del abdomen...

Tratamiento: varía según el tipo de cálculos. En todo caso la ingestión de agua blanda debe ser abundante para producir gran cantidad de orina. A veces es necesario hacer otros cambios en la dieta, como no comer en exceso fresas, espárragos, carne... Es posible que sea necesario administrar calmantes, si el dolor es agudo incluso narcóticos. Dependiendo del tipo de cálculos se pueden suministrar medicamentos para la disminución de la formación de cálculos, ayudar a su desintegración y a su excreción. Si el cálculo no sale por sí solo la alternativa es practicar una litotricia, que consiste en aplicar ondas de ultrasonidos para destruir los cálculos. Como última opción se extrae el riñón afuncional o se deja en su lugar y se prescriben antibióticos para prevenir infecciones o se realiza un trasplante si los cálculos producen insuficiencia renal grave.

Cólico Nefrítico.

Es un dolor agudo e intenso en un lado del abdomen o de la región lumbar, de inicio brusco, que produce una sensación de pinchazo o quemazón. El dolor puede irradiarse a los genitales y a la parte baja de la espalda. El paciente puede manifestar agitación, náuseas, vómitos, sudoración y molestias urinarias (necesidad de orinar muchas veces en pequeña cantidad, tener ganas de orinar aún después de miccionar o sensación de escozor durante la micción).

Se puede deber a la existencia de cálculos renales. El tratamiento incluye el uso de analgésicos de distinta intensidad.

Enfermedad poliquística renal.

Consiste en la aparición de numerosos quistes llenos de líquido en el tejido renal, pudiendo producir insuficiencia renal. Es de origen hereditario, aunque una alimentación inadecuada puede favorecer esta patología o acentuarla. En concreto, esta patología se debe a alelos autosómicos que pueden ser de herencia dominante (en la mayor parte de los casos) o recesiva.

El tratamiento, caso de ser necesario, incluye, entre otros, el control del dolor, las infecciones y la hipertensión (debida a una alta concentración de la hormona renina-angiotensina). Puede ser necesaria una intervención quirúrgica, la diálisis y el trasplante de riñón.

Insuficiencia renal.

Es una disminución del funcionamiento renal. Puede ser de dos tipos, insuficiencia renal aguda e insuficiencia renal crónica.

(A) Insuficiencia renal aguda. Produce una acumulación de desechos metabólicos en la sangre.

Etiología: se puede producir por un riego sanguíneo inadecuado, causado por ejemplo por hemorragias, o por enfermedades renales, como los cálculos renales, que disminuyan la actividad del riñón.

Síntomas: los más frecuentes son fiebre elevada, shock, insuficiencia cardiaca e insuficiencia hepática.

Diagnóstico: los análisis de sangre y de orina determinarán, respectivamente, una concentración anormalmente alta y baja de urea, creatinina y otras sustancias de desecho.

Tratamiento: alto consumo de agua blanda y una alimentación adecuada. También se pueden incluir varios fármacos y antibióticos.

(B) Insuficiencia renal crónica. También produce una acumulación de desechos metabólicos en la sangre, pero, a diferencia de la insuficiencia renal aguda, ésta es una patología progresiva e irreversible.

Etiología: hipertensión, glomerulonefritis, obstrucción del tracto urinario, diabetes mellitus, trastornos autoinmunitarios, etc.

Síntomas: como en el caso de la insuficiencia renal aguda. Pero la insuficiencia renal crónica puede llegar a ser mortal.

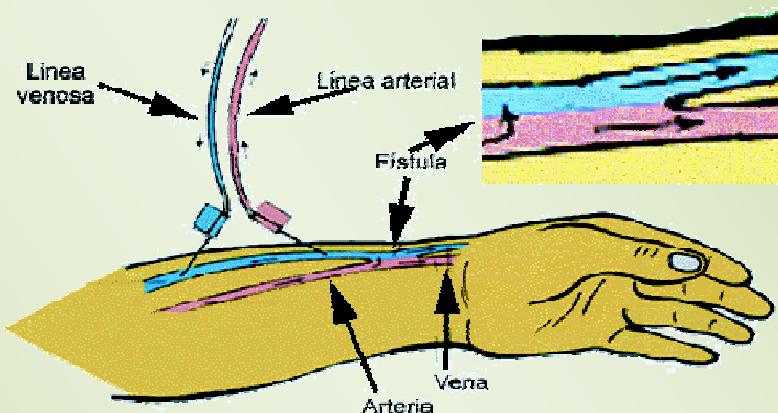
Diagnóstico: la sangre se vuelve ácida, debido a la acumulación en ella de urea, creatinina y otros desechos. La concentración de calcio disminuye y aumenta la de fosfato, el enfermo puede tener una moderada anemia.

Tratamiento: corrección de los desequilibrios de sodio, de agua y de otras sustancias. Limitar el consumo de alimentos con alto contenido en potasio. Eliminación de las sustancias tóxicas del riñón y tratamientos de la insuficiencia cardiaca y hepática y de la hipertensión. Cuando dichos tratamientos no son eficaces se considera la diálisis o el trasplante de riñón.

Diálisis.

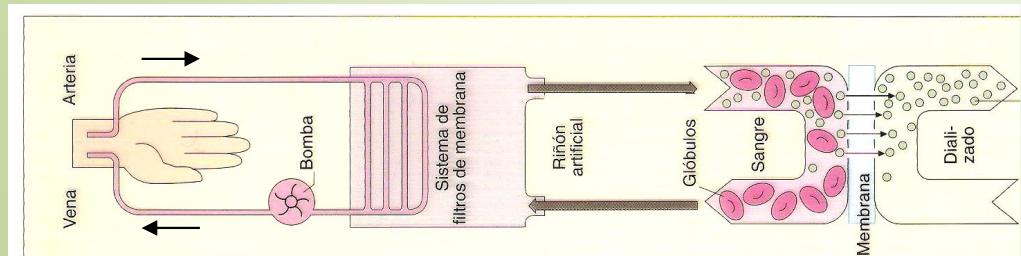
La diálisis es un procedimiento cuyo objetivo es retirar los elementos tóxicos de la sangre cuando existe insuficiencia renal crónica. Hay dos métodos de diálisis: la hemodiálisis y la diálisis peritoneal.

(A) Hemodiálisis: consiste en extraer la sangre del cuerpo, hacerla circular a través de un aparato externo, llamado dializador o riñón artificial, y devolverla al cuerpo libre de tóxicos y de desechos.

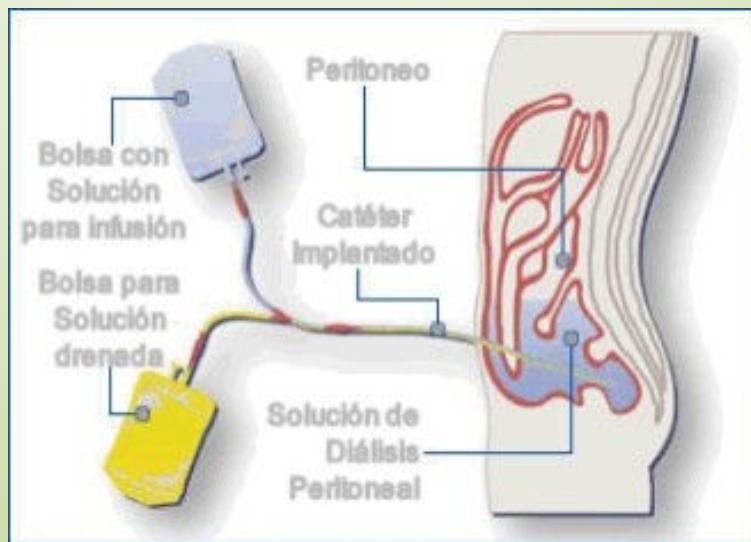


Para extraer la sangre y devolverla al organismo el cirujano crea una fistula arteriovenosa (conexión entre una arteria y una vena), aunque la fistula puede ser congénita o tener otros orígenes. Hay que tener en cuenta que cuando existe una fistula arteriovenosa parte del flujo sanguíneo pasa directamente de la arteria a la vena sin alcanzar la circulación capilar, por lo cual la oxigenación de los tejidos regados por dichos capilares puede ser deficiente.

El dializador está provisto de una membrana para separar de la sangre los componentes tóxicos y de desecho.

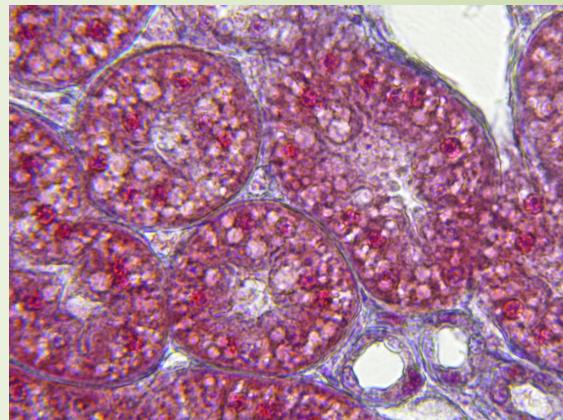


(B) Diálisis peritoneal: consiste en introducir en la cavidad abdominal, mediante un catéter, un líquido que contiene una mezcla especial de glucosa y sales. Este líquido permanece en el abdomen durante un tiempo, lo que permite que las sustancias de desecho de la sangre pasen lentamente, mediante **difusión**, desde el peritoneo (una membrana semipermeable) hacia él. Luego se extrae para su eliminación.

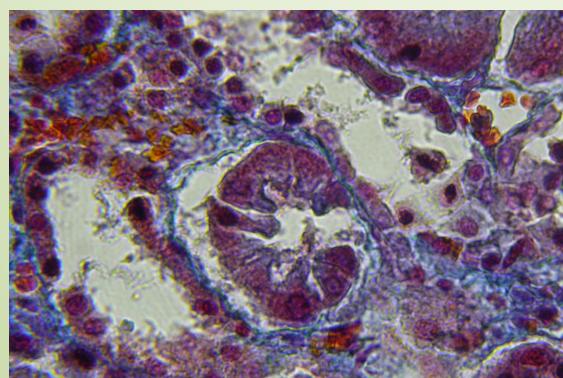
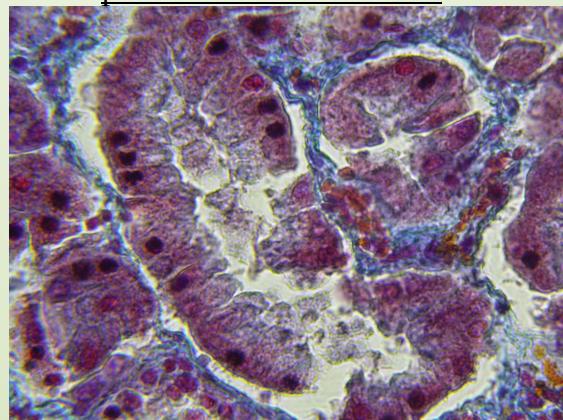


Trasplante de riñón.

Como en otros tipos de trasplantes, existe la posibilidad de procesos autoinmunitarios (o de “rechazo”).

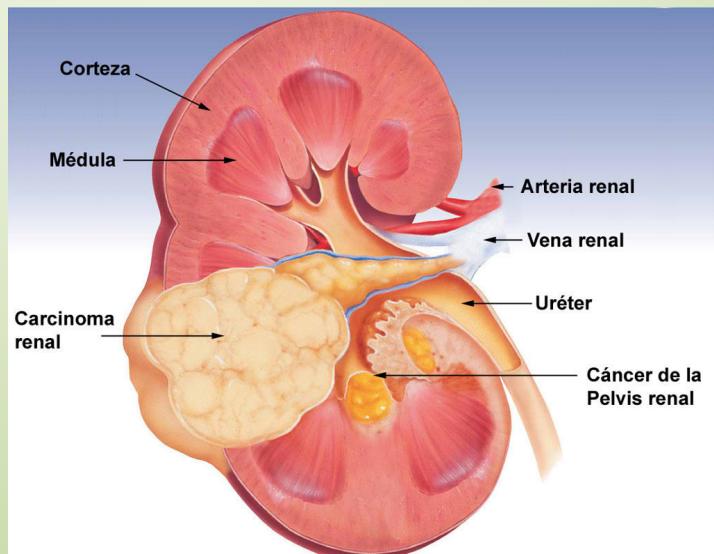


Túbulos renales (corte transversal) bien conservados. Fotos siguientes: el mismo tipo de tubos pero deteriorados por un proceso autoinmunitario



Neoplasia renal.

Es un proceso tumoral que causa insuficiencia renal y que puede llegar a extenderse a otros órganos. El tratamiento puede incluir, como en el caso de otros cánceres, radioterapia, quimioterapia, cirugía y trasplante.

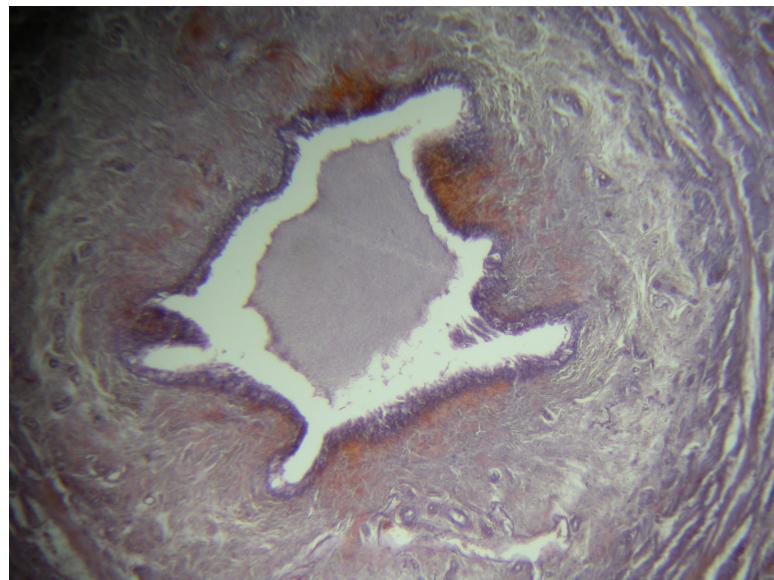


2.2. VÍAS EXCRETORAS.

Son los conductos que comunican los riñones con el exterior:

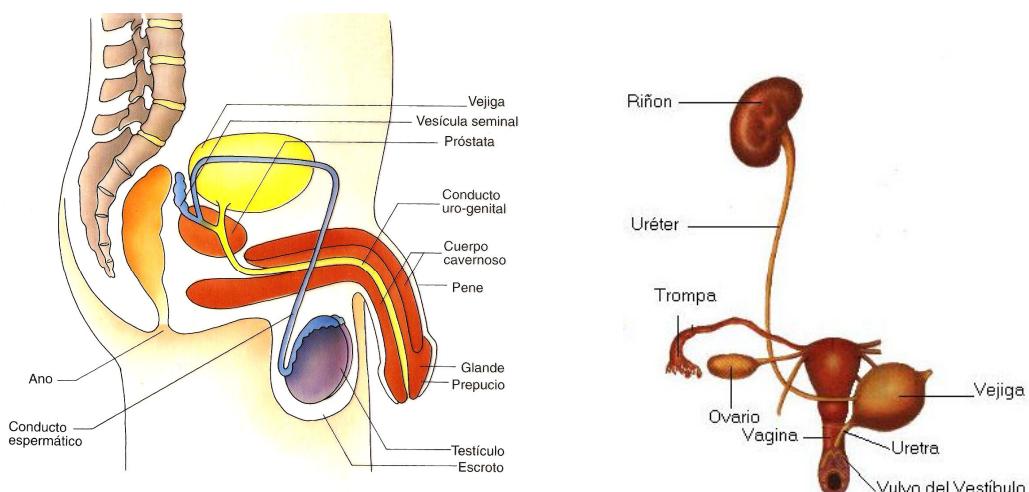
- Uréteres: son conductos que se originan en la pelvis renal y que terminan desembocando en la vejiga. Los uréteres poseen en su base los meatus uretrales, que presentan una disposición en válvula y que permite a la orina pasar gota a gota del uréter a la vejiga evitando su retroceso.

- Vejiga urinaria: es una especie de bolsa elástica situada en la zona abdominal, cuya capacidad hasta el momento en el que aparece el reflejo de la micción (deseo de orinar) es de unos 350 ml.
- Uretra: es el último conducto, conecta la vejiga con el exterior, contiene un doble esfínter en su comienzo que controla la salida de la orina. Como en el caso del ano, el esfínter interno es de control involuntario (musculatura lisa) mientras que el esfínter externo es de control voluntario (musculatura estriada).



Corte transversal de la uretra

A diferencia de la mujer, en el hombre existe un sistema genitourinario ya que los aparatos genital y urinario están unidos porque la uretra conduce tanto semen como orina:



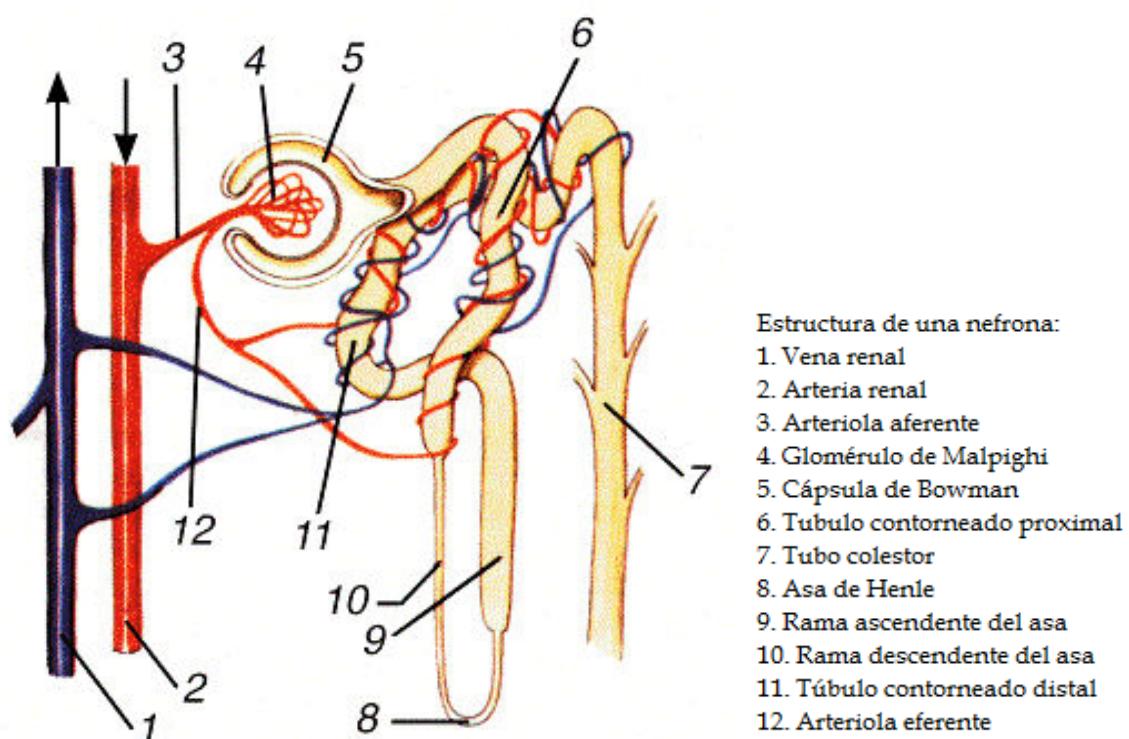
Aparato genitourinario en el hombre (izquierda) y aparatos genital y urinario en la mujer (derecha)

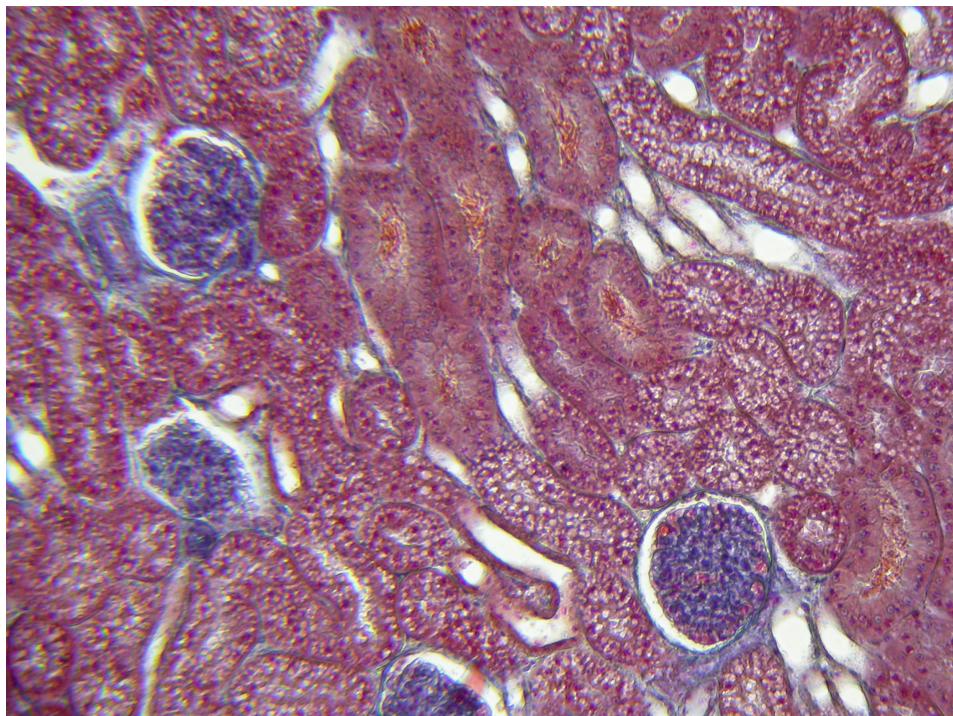
2.3. NEFRONA.

En cada riñón humano existen, aproximadamente, entre 1 y 2 millones de nefronas.

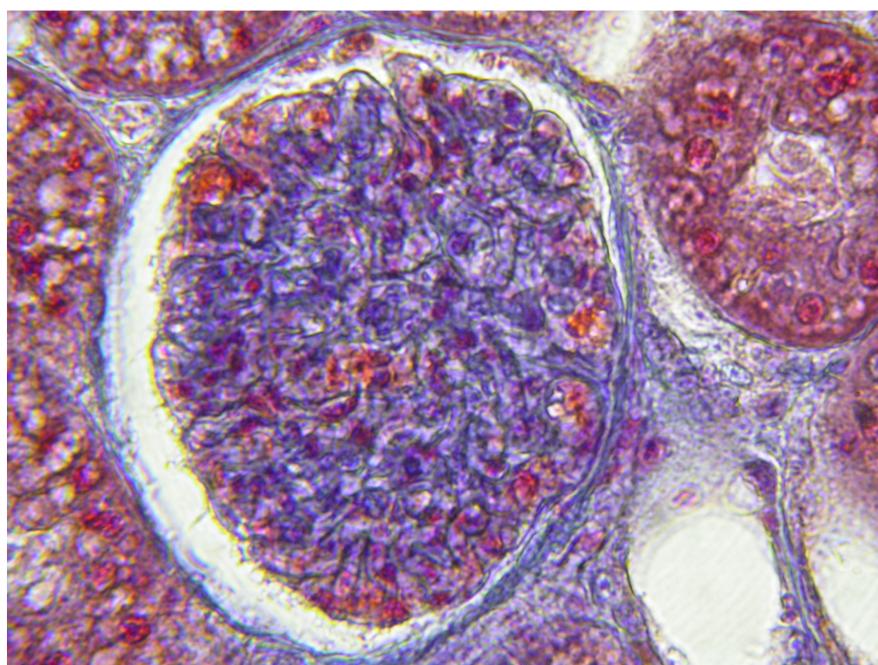
Las nefronas están en la corteza renal y en la medula renal. Son la unidad funcional del riñón y sus regiones son:

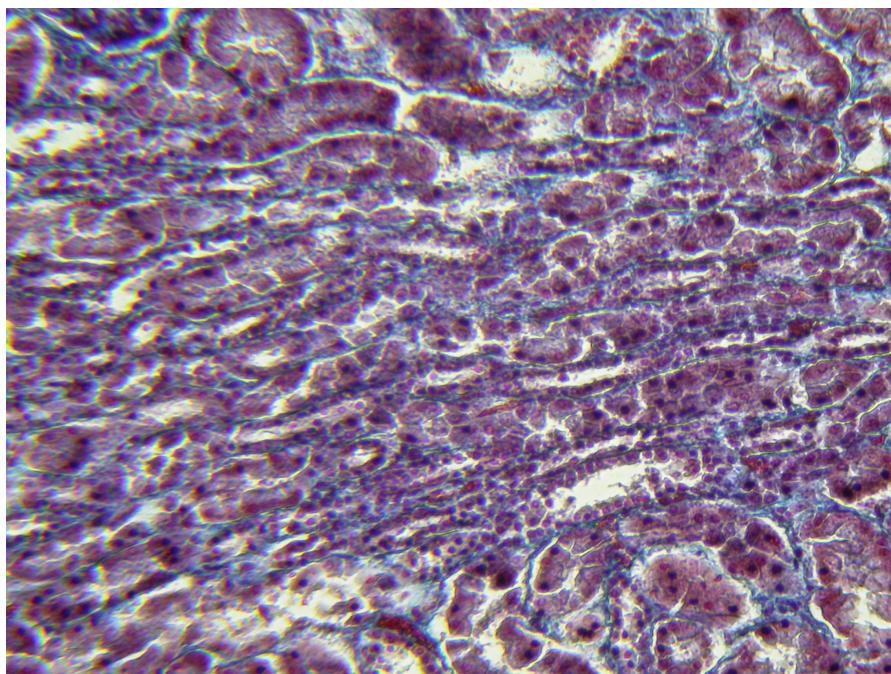
- Glomérulo renal: está formado por una red de capilares procedentes de la arteriola aferente, arteria pequeña que llega a la nefrona y que da lugar a la arteriola eferente. Por la arteriola aferente llega sangre al glomérulo y por la arteriola eferente sale de él, después de haberse realizado el proceso de filtración.
- Cápsula de Bowman: es la envoltura del glomérulo. El conjunto de esta cápsula y del glomérulo recibe el nombre de Corpúsculo de Malpighi.
- Tubos o túbulos renales:
 - Tubo contorneado proximal: es un conducto que presenta una serie de curvas que se prolongan tras la cápsula de Bowman.
 - Asa de Henle: tubo con forma de "U" situado entre el tubo contorneado proximal y el tubo contorneado distal. Presenta tres porciones: gruesa descendente, delgada y gruesa ascendente.
 - Tubo contorneado distal: es un conducto final que termina en un tubo colector de Bellini, donde vierten otras neuronas. El tubo de Bellini desemboca a su vez en la pelvis renal.



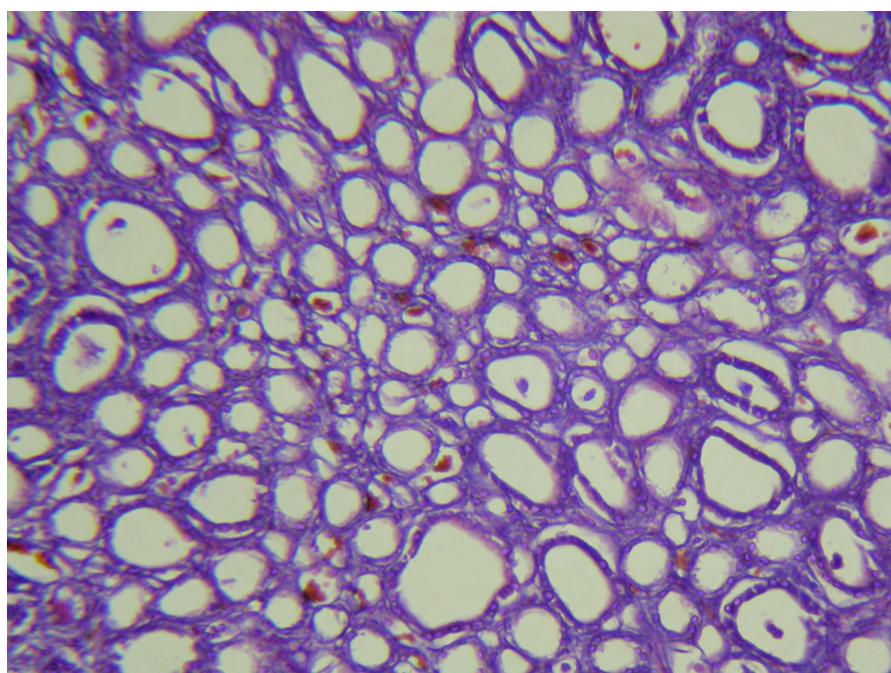


Corpúsculos de Malpighi entre tubos renales.
Siguiente: detalle de uno de los corpúsculos





Túbulos renales en disposición mayoritariamente longitudinal



Túbulos renales en disposición transversal

Las inflamaciones en el aparato urinario.

Suelen ser producidas por bacterias; incluyen la **glomerulonefritis** (inflamación de los glomérulos), **pielonefritis** (inflamación de los riñones) y **cistitis** (inflamación de la vejiga urinaria).

3. FISIOLOGIA.

3.1. FUNCIONES DEL RIÑÓN.

La principal función de los riñones es expulsar los productos tóxicos y de desecho procedentes de los procesos metabólicos. Además regulan:

- Las concentraciones de agua y de sales minerales.
- El equilibrio ácido-base.
- La presión arterial.
- La formación de glucosa a partir de aminoácidos (proceso llamado **gluconeogénesis**).

3.2. FUNCIONES DE LA NEFRONA.

La nefrona es la unidad funcional del riñón que se encarga de filtrar la sangre. En el proceso de filtración de la sangre, también llamado de formación y eliminación de la orina, se distinguen tres fases:

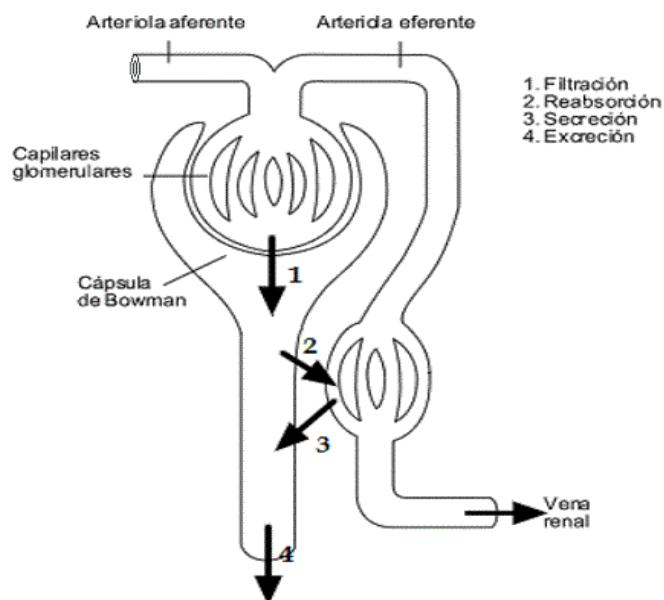
- Filtración glomerular: consiste en el paso de la sangre desde los capilares sanguíneos o glomerulares a la cápsula de Bowman. El resultado de la filtración es un líquido con una composición parecida a la sangre pero sin proteínas ni células. La hormona renina-angiotensina es la encargada de aumentar la presión arterial para que entre este tipo de sangre en la nefrona. La composición de este fluido es, principalmente, agua, glucosa, urea, ácido úrico, amonio, aminoácidos y sales minerales.

- Reabsorción tubular: consiste en el paso de sustancias útiles contenidas en el filtrado glomerular desde el interior de la nefrona a los capilares sanguíneos próximos a ésta para que el organismo las conserve. Es decir, sales minerales, glucosa y aminoácidos son reabsorbidos para que las sustancias positivas pasen a los capilares y formen parte de la sangre de nuevo. Este proceso tiene lugar

principalmente en el asa de Henle pero se lleva a cabo en todos los túbulos renales. El fluido resultante de la reabsorción pasa al tubo colector de Bellini, dicho líquido es rico en urea, ácido úrico y amonio y dará lugar a la orina. La reabsorción tubular del agua está regulada por la hormona antidiurética (ADH). En ausencia de dicha hormona no se realizaría la reabsorción tubular del agua por lo que la orina sería muy diluida (llevaría mucho volumen de agua). En cambio un exceso de ADH produciría la orina más concentrada. En la reabsorción tubular también interviene otra hormona: la aldosterona, encargada de reabsorber sales como el Na^+ .

- Secreción tubular: consiste en el paso de sustancias de desecho desde los capilares próximos a la nefrona hasta el interior de ésta para que formen parte de la orina.

- Excreción: es la eliminación del organismo de las sustancias tóxicas y de desecho contenidas en la orina.



Etapas en el proceso de formación y eliminación de la orina sobre un esquema simplificado de la nefrona

Diabetes insípida.

Se produce por la falta, déficit o mal funcionamiento de la hormona ADH causando un gran volumen de orina (5 - 15 litros diarios) muy diluida.

Glucosuria renal.

Es la aparición de glucosa en la orina, causada porque no se ha realizado correctamente la reabsorción de glucosa en la nefrona. La glucosuria renal es uno de los síntomas de la diabetes mellitus tipo I, aunque no es un criterio definitivo para diagnosticar esta patología.

Uremia.

Consiste en una alta concentración de urea en la sangre, debido a que los riñones producen poca orina. Se debe restaurar la función renal porque la uremia puede llegar a ser una enfermedad mortal.

3.3 COMPOSICIÓN NORMAL DE LA ORINA.

COMPONENTES	CONCENTRACIÓN (%)
Aqua	95,000
Sales	1,560
Urea	2,000
Creatinina	0,075
Acido úrico	0,050
Amoniaco (o amonio)	0,040
Glucosa	0,000
Proteínas	0,000
Lípidos	0,000
Células	0

Síndrome nefrótico.

Se debe a fallos en el mecanismo de filtración glomerular, lo que origina proteinuria (orina con proteínas), hiperlipidemia (cantidad excesiva de lípidos en la orina) y edema.

El hígado cataboliza los aminoácidos que componen las proteínas. En el caso del catabolismo de la parte no nitrogenada de los aminoácidos los productos resultantes son, como en los casos de monosacáridos y de ácidos grasos, CO₂, H₂O y ATP. Pero la parte nitrogenada de los aminoácidos rinde, además de ATP, amonio o amoníaco. Éstas moléculas son eliminadas o son transformadas, antes de su eliminación, en urea o en ácido úrico. Según el principal desecho nitrogenado que contenga la orina de los animales éstos son clasificados como:

- Animales amoniotélicos. Excretan principalmente amonio. Por presentar este compuesto una alta toxicidad requiere mucha agua (es muy soluble) para eliminarse por la orina. Por eso el amonio es el principal desecho nitrogenado en el caso de animales que disponen de mucho agua como Peces y Anfibios en estado larvario.

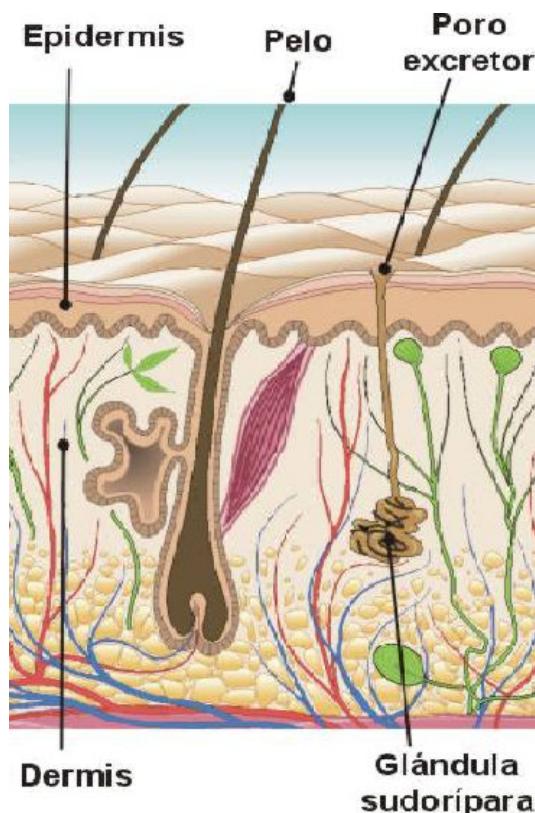
- Animales ureotélicos. Son los Mamíferos y Anfibios adultos, en los que la urea es el principal desecho nitrogenado de su orina. Esta sustancia necesita para su excreción una menor cantidad de agua al ser menos tóxica que el amoníaco.

- Animales uricotélicos. Son las Aves, los Reptiles terrestres y los Insectos. A diferencia de los anteriores, este compuesto es poco soluble en agua y es eliminado en forma de orina semisólida (guano) por lo que estos animales gastan menos agua que los amoniotélicos y los ureotélicos.

Por su parte, la creatinina es un producto de la descomposición de la creatina sustancia que se encuentra en músculos y células nerviosas y que produce ATP. La creatinina es eliminada del cuerpo en su totalidad por los riñones.

4. GLÁDULAS SUDORÍPARAS.

Son glándulas exocrinas (de secreción), formadas por una serie de tubos apelotonados situados en la dermis y un tubo secretor que atraviesa la epidermis desembocando en la superficie de la piel a través de un poro.



La sustancia que excretan las glándulas sudorípadas es el sudor, cuya composición normal es similar a la orina aunque más diluido:

COMPONENTES	CONCENTRACIÓN (%)
Agua	99%
Sales minerales	0,6%
Sustancias de desecho (urea, ácido úrico...)	0,4%

El sudor tiene dos funciones:

- Contribuye, junto con la orina, a la eliminación de las sustancias tóxicas y de desecho del organismo.
- Regula la temperatura corporal, para que no sea ésta muy elevada, ya que en el agua va contenido calor que el cuerpo quiere eliminar. Esto es así porque el agua presenta altos valores de calor específico y calor de vaporización.

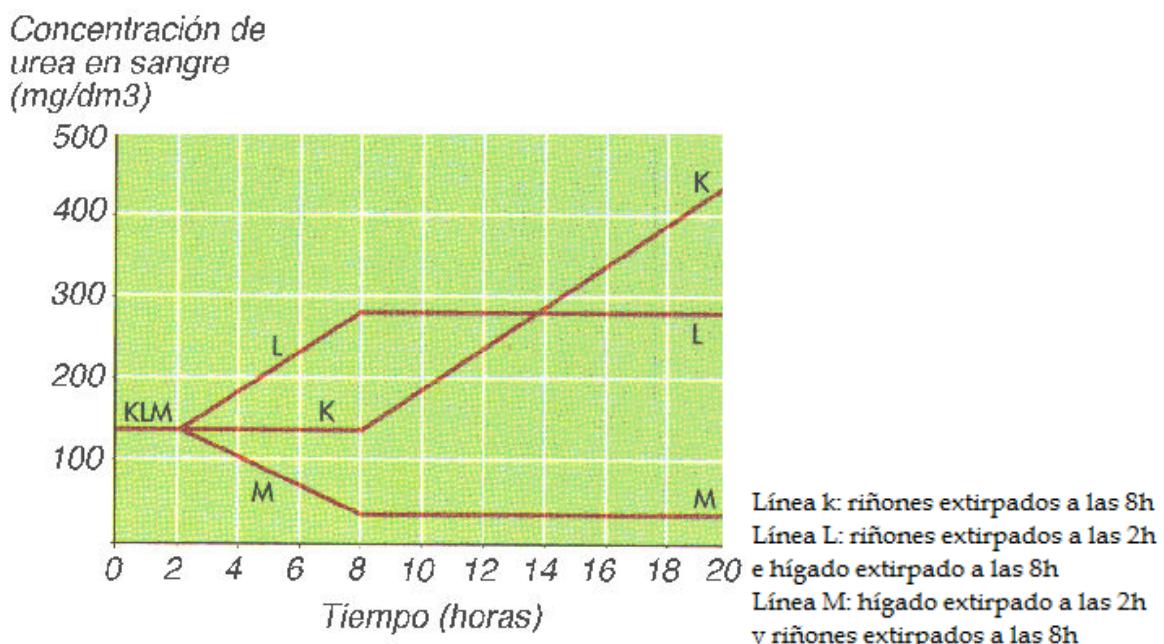
La mayor o menor producción de sudor depende de varios factores:

- Temperatura ambiente.
- Ejercicio muscular.
- Grado de actividad del riñón.

El aumento del los dos primeros factores y la disminución del tercero de ellos acrecienta la producción de sudor.

ACTIVIDADES RESUELTAS

1) Para investigar las funciones del hígado y de los riñones se ha procedido a la extirpación de estos órganos en diversas experiencias que se muestran en la gráfica siguiente.



(a) Explica cuál sería la concentración de urea en la sangre a las 20 horas si no se extirpara ninguno de los órganos señalados.

La concentración de urea en la sangre a las 20 horas se mantendría constante, alrededor de 130 mg/dm³, ya que los órganos interviniéntes no sufren extirpación.

- (b) Calcula la concentración de urea en la sangre a las 20 horas, para cada una de las gráficas L, M y K.

Hay que tener en cuenta que el hígado produce urea y el aparato urinario, del que forman parte los riñones, la excretan.

- Línea L: a las 2 horas se extirpan los riñones por lo que la concentración de urea aumenta en la sangre, ya que no es excretada y el hígado la sigue produciendo. A las 8 horas se extirpa el hígado, por lo que la concentración de urea en la sangre se mantiene hasta las 20 horas al no existir el órgano que la produce. La concentración de urea en la sangre a las 20 horas es de unos 280 mg/dm^3 .

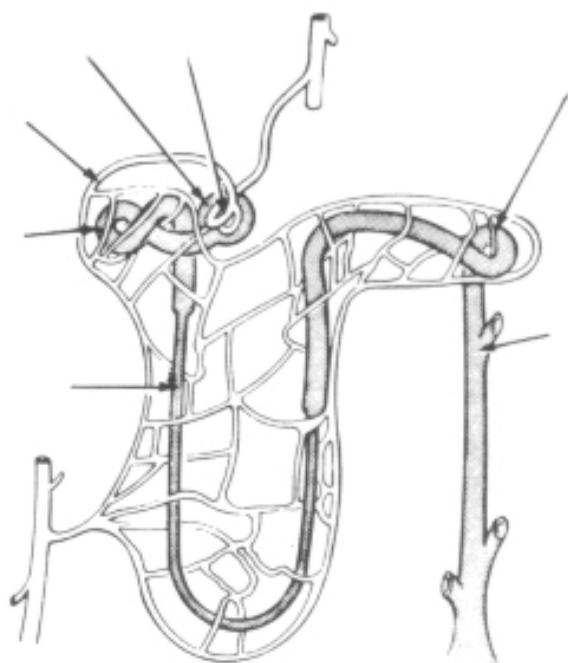
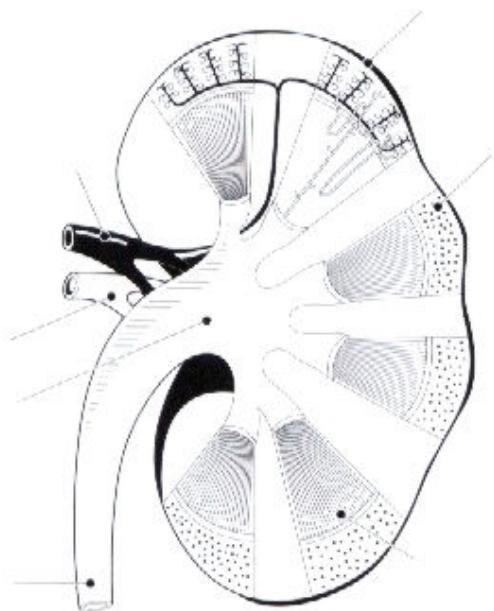
- Línea M: a las 2 horas se extirpa el hígado, la concentración de urea en la sangre baja ya que esta sustancia no se produce pero se sigue excretando por el aparato urinario. A las 8 horas se extirpan los riñones, así que la concentración de urea en la sangre se mantiene desde ese momento al no haber órgano para excretarla. La concentración de urea en la sangre a las 20 horas es de unos 30 mg/dm^3 .

- Línea K: la concentración de urea en la sangre se mantiene en unos 130 mg/dm^3 hasta las 8 horas, cuando se extirpan los riñones, desde ese momento la concentración aumenta rápidamente a 430 mg/dm^3 porque se está produciendo urea en el hígado pero no se está excretando.

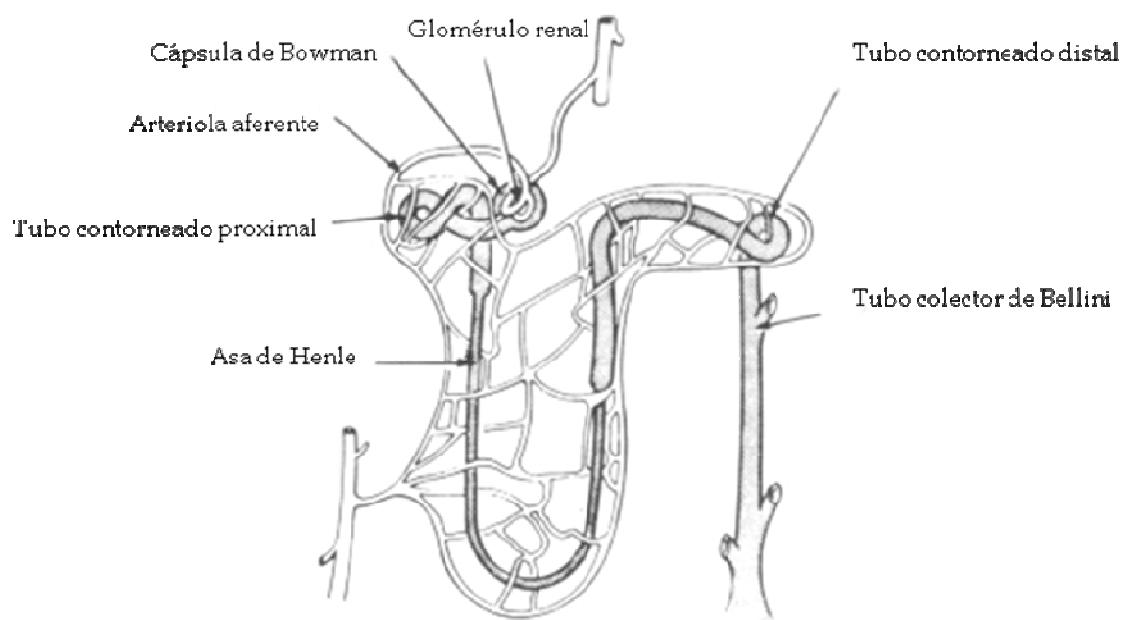
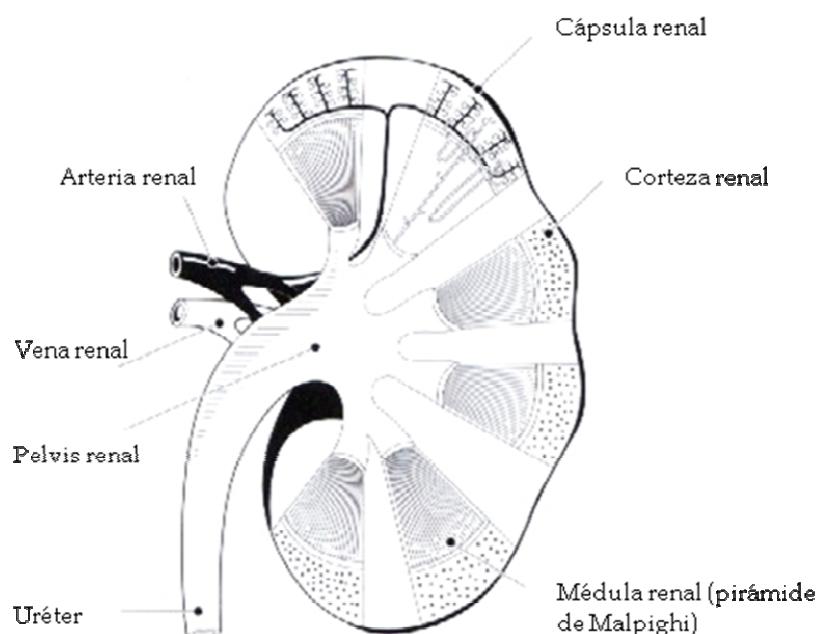
- 2) Describe el recorrido de una molécula de urea desde que se forma en el hígado hasta que es eliminada por la orina.

La molécula de urea producida en el hígado pasaría a la circulación sanguínea. Esta molécula, a través de la arteria renal, entraría en el riñón. Tras la filtración glomerular se incorporaría a la orina, saliendo del riñón por la pelvis renal y el uréter. Terminaría en la vejiga y en la uretra antes de su expulsión del organismo.

- 3) Identifica los siguientes esquemas y pon nombre a las partes señaladas con flechas. Senalar qué estructuras no se han señalado en cada caso.



Soluciones:



En el caso del riñón, no se han señalado la glándula suprarrenal, situada por encima del polo superior de dicho órgano; la grasa que rodea el riñón; las columnas renales, situadas entre las pirámides de Malpighi; y los cálices renales, que dan paso a la pelvis renal y al uréter.

En el dibujo de la nefrona, falta por señalar el corpúsculo (conjunto del glomérulo renal y de la cápsula de Bowman) y las distintas porciones del asa del Henle (porciones gruesa descendente, delgada y gruesa ascendente).

4) Las aves terrestres excretan aproximadamente un 90 % de ácido úrico y un 4% de amoníaco, mientras que la orina de las aves marinas contiene aproximadamente un 50% de ácido úrico y un 30% de amoníaco. Justifica tales diferencias.

La distinta composición se explica porque el desecho nitrogenado principal es el ácido úrico en organismos cuyo hábitat tiene poca humedad o en seres que no pueden emplear mucha agua en el catabolismo de la parte nitrogenada de los aminoácidos, mientras que el amoníaco es el principal desecho nitrogenado en las condiciones opuestas.