

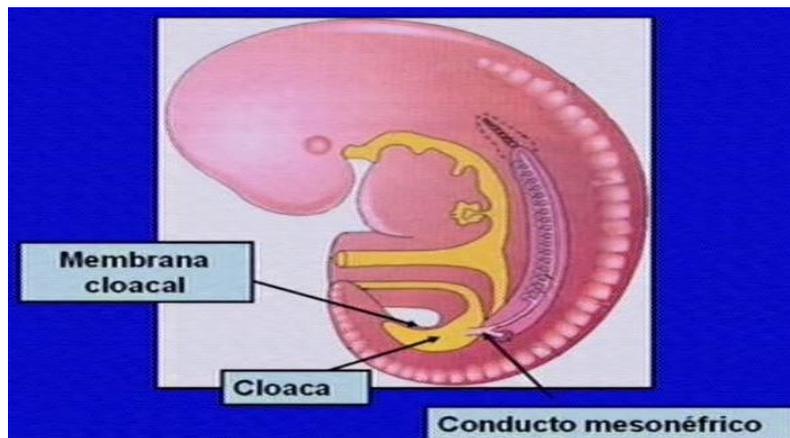


## MORFOFISIOLOGÍA HUMANA IV

### VIDEOCONFERENCIA 9

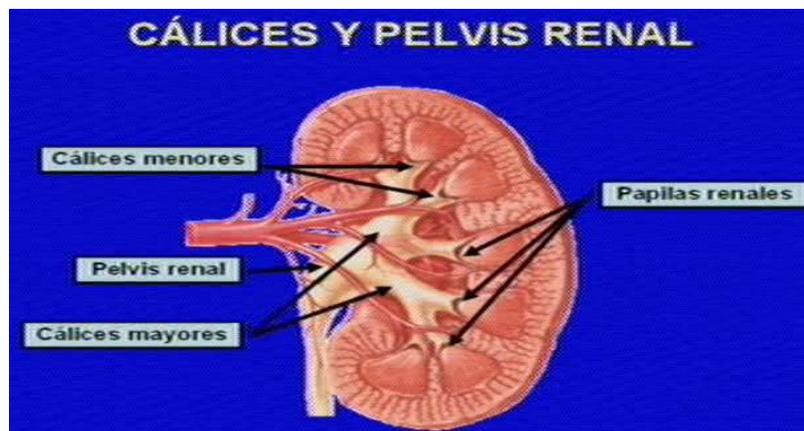
#### “SISTEMA URINARIO”

### VIAS EXCRETORAS URINARIAS. REGULACION DEL MEDIO INTERNO



Conocimos que durante el desarrollo las vías excretoras representadas inicialmente por los conductos mesonéfricos y con posterioridad por los uréteres, desembocan en la cloaca; dilatación fusiforme que constituye la última porción del intestino primitivo y que está separada del exterior por la membrana cloacal.

#### CÁLICES Y PELVIS RENAL



La orientación del estudio de las características morfofuncionales de las vías excretoras urinarias, se realizará según el sentido de la corriente de orina. Las mismas se inician en los tubos colectores y los conductos papilares que desembocan en los vértices de las pirámides: las papilas renales, para verter la orina en la luz de los cálices menores. Los cálices menores son estructuras huecas en número de siete a trece en cada riñón, en forma de copa que se acoplan a las papilares renales. Para algunos autores son el primer eslabón de las vías excretoras desde el punto de vista macroscópico.

Los cálices menores poseen un sistema de fibras musculares lisas en sus paredes que se denomina aparato del forme. Por convergencia de los cálices menores se forman los cálices mayores en número de dos o tres en cada riñón y desde estos al fusionarse se forma una estructura común denominada pelvis renal.

Al conjunto formado por la pelvis renal y los cálices mayores y menores algunos autores lo denominan sistema pielocalicial, sitio frecuente de formación de litiasis y de procesos infecciosos.

La pelvis renal se continúa fuera del riñón en el uréter, el cual desemboca en la vejiga donde se almacena la orina hasta el momento de la micción.

## VIAS EXCRETORAS



Las vías excretoras son órganos tubulares cuya pared está constituida por tres capas:

Una interna o mucosa, una media o muscular y una externa que puede ser adventicia o serosa.

La capa mucosa está revestida por un epitelio de transición, excepto en la uretra. Este epitelio se modifica según el estado funcional. El mismo descansa sobre

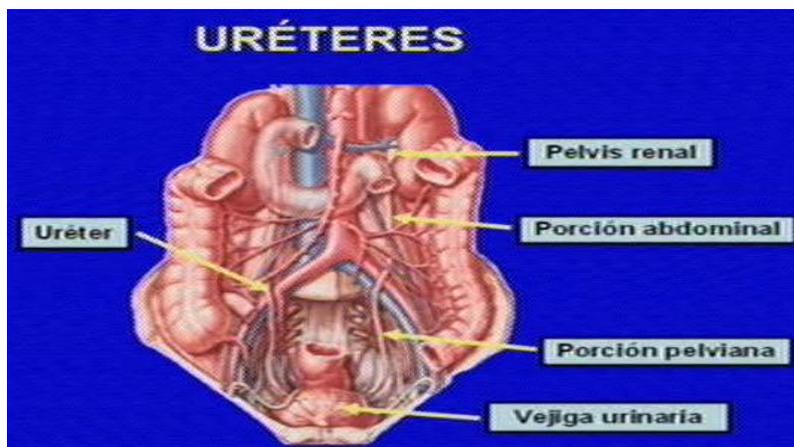
una lámina propia de tejido conectivo con dos capas; la más externa de las cuales algunos autores la consideran como submucosa.

La capa muscular está constituida por músculo liso organizado en tres estratos.

Y la capa más externa es una adventicia; excepto en la parte superior de la vejiga donde constituye una serosa.

Veamos a continuación las características morfofuncionales de los uréteres

## URETERES

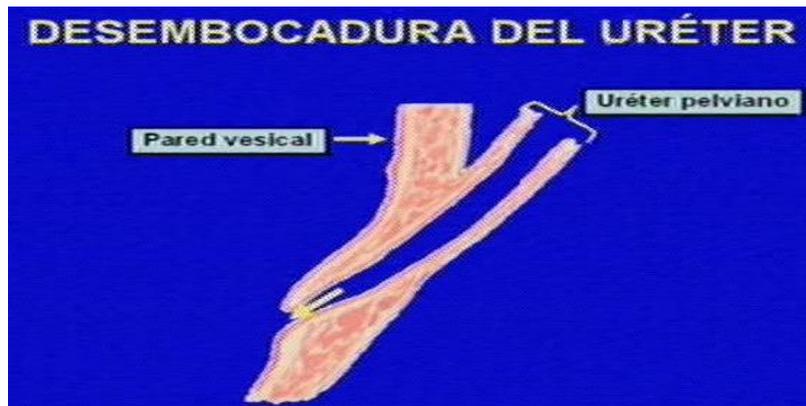


El uréter es una estructura tubular bilateral de unos 25 a 30 centímetros de longitud; extendido por detrás del peritoneo parietal posterior, desde el hilio renal como continuación de la pelvis hasta su desembocadura en la vejiga urinaria, atravesando su pared posterior. Cada uréter presenta dos porciones: abdominal y pelviana, considerándose como límite entre ambas el punto donde el uréter cruza por delante de los vasos iliacos comunes.

La luz del uréter no es uniforme, sino que presenta tres estrechamientos: uno en su inicio como continuación de la pelvis renal, otro al cruzar los vasos iliacos y un tercer estrechamiento al atravesar la pared vesical.

Esta característica morfológica es de interés médico porque son lugares favorables para el enclavamiento de litiasis de pequeño tamaño que intentan progresar hacia la vejiga; situación que se acompaña de un cuadro doloroso característico denominado: cólico nefrítico.

## DESEMBOCADURA DEL URETER



Observen en esta imagen la forma oblicua en que el uréter pelviano atraviesa la pared vesical, sitio de estrechamiento de la luz ureteral como se ha mencionado anteriormente. El largo trayecto del uréter desde el riñón hasta la vejiga explica las características de sus relaciones con órganos y estructuras vecinas.

## RELACIONES DEL URETER



Las relaciones topográficas posteriores de los uréteres en su porción abdominal son similares en ambos lados y las anteriores son diferentes dada la asimetría de la mayoría de los órganos abdominales como se observa en la imagen.

En su porción pelviana las relaciones anteriores y posteriores son simétricas pero con variaciones según el sexo.

Veamos las características microscópicas de los uréteres.

## PARED DEL URETER



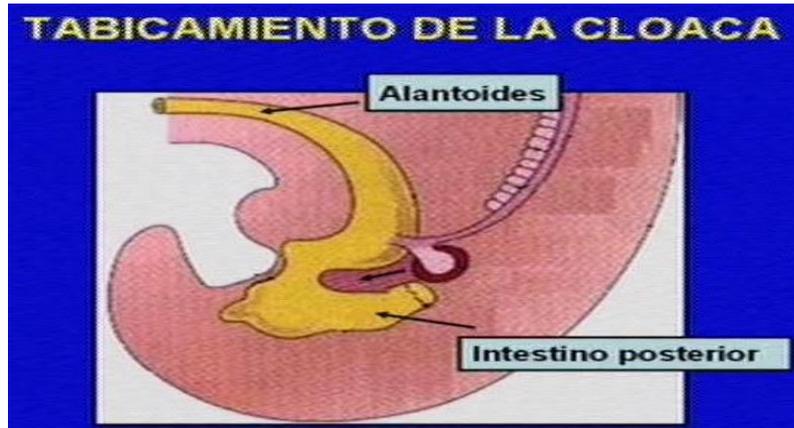
La mucosa del uréter está revestida por un epitelio de transición que descansa en la lámina propia de tejido conectivo; en condiciones de reposo la mucosa presenta pliegues como se observa en la imagen que desaparecen al distenderse el órgano.

La capa muscular presenta dos estratos: uno interno longitudinal y uno externo circular, excepto en el tercio inferior cerca de la vejiga en el que se añade un estrato externo longitudinal.

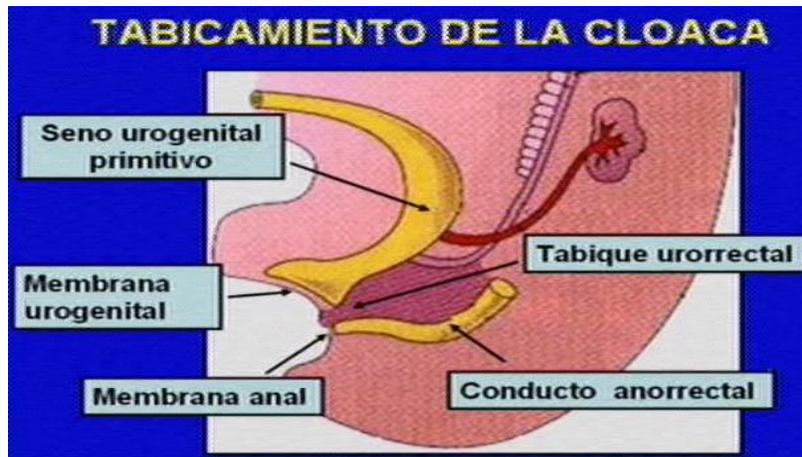
La adventicia capa externa es rica en células adiposas, vasos sanguíneos y nervios.

Los uréteres conducen la orina desde los riñones hasta la vejiga donde se almacena hasta su salida al exterior a través de la uretra. Teniendo en cuenta que la vejiga y la uretra derivan de la porción ventral de la cloaca el estudio de su desarrollo prenatal se realiza de manera conjunta.

## TABICAMIENTO DE LA CLOACA



El mesénquima que se encuentra entre la alantoides y el intestino posterior prolifera intensamente en sentido caudal entre la cuarta y la séptima semana para formar el tabique uorrectal que separa la cloaca en dos porciones.

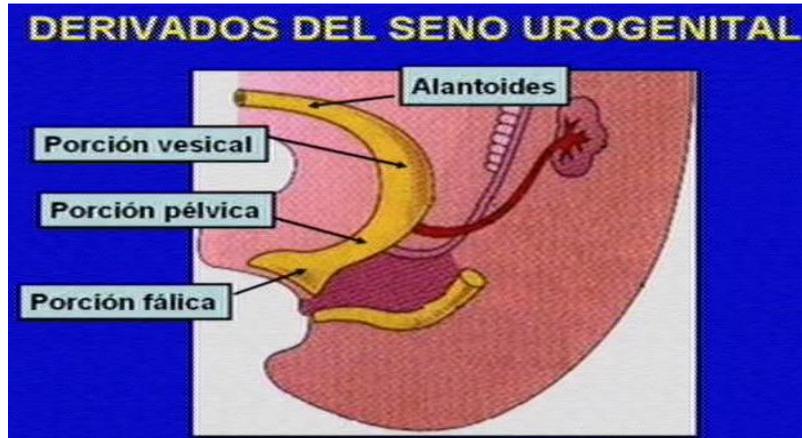


Una vez formado el tabique uorrectal la cloaca queda completamente separada en dos porciones: Una anterior el seno urogenital primitivo y otra posterior el conducto anorrectal.

La membrana cloacal se divide en dos porciones: la urogenital y la anal.

La adecuada formación de este tabique conduce a una definitiva separación entre los sistemas urogenital y digestivo.

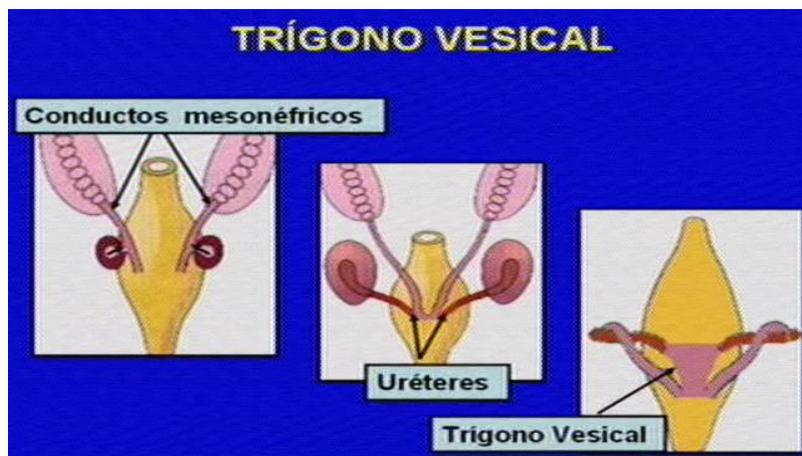
## DERIVADOS DEL SENO UROGENITAL



En el seno urogenital primitivo se pueden distinguir tres porciones: una cefálica o porción vesical de donde se origina la vejiga urinaria, una intermedia denominada porción pélvica y otra caudal la porción fálica.

La porción vesical del seno se continúa en su porción cefálica con la alantoides. Cuando la misma se oblitera, el vértice de la vejiga queda unido al ombligo por el uraco o ligamento umbilical medio. Las porciones: pélvica y fálica participan en la formación de la uretra que tiene características propias en cada sexo.

## TRIGONO VESICAL



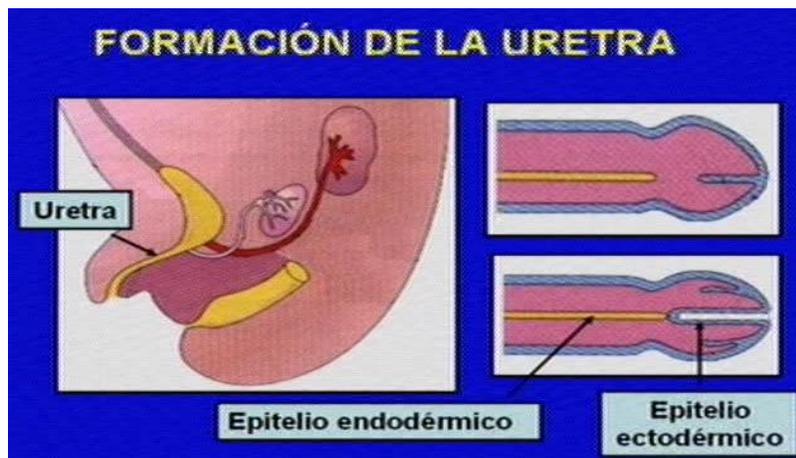
Recuerden que inicialmente los conductos mesonéfricos desembocan en las paredes posteriores de la cloaca y en ellos lo hacen los brotes ureterales de cada lado. Con el crecimiento de la vejiga los conductos mesonéfricos se incorporan a la pared posterior de esta, lo que trae como consecuencia que los uréteres también desembocuen directamente en la vejiga y que finalmente queden en una

posición cefálica con respecto a la desembocadura de los conductos mesonéfricos, lo cual origina una zona de tejido conjuntivo de forma triangular denominada trígono vesical.

El epitelio de la vejiga es de origen endodérmico por ser un derivado del intestino primitivo.

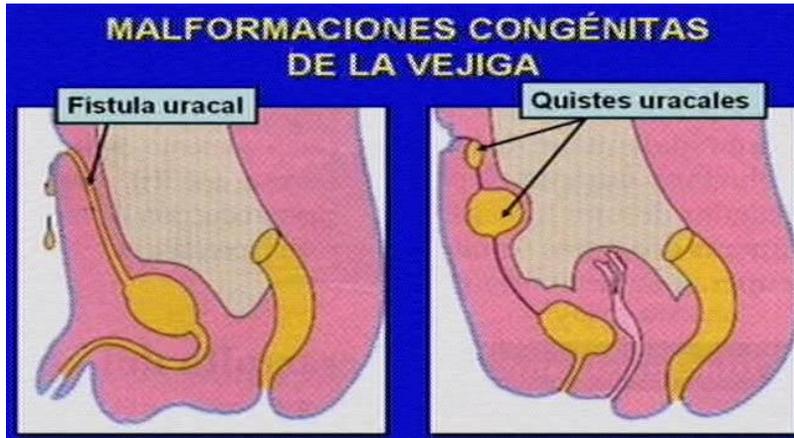
Veamos a continuación la evolución de la uretra.

## FORMACIÓN DE LA URETRA



La uretra masculina presenta tres porciones: una prostática y una membranosa que derivan de la porción pélvica del seno urogenital y una esponjosa derivada de la porción fálica del seno. La parte más distal de la esponjosa se forma por penetración del tejido ectodérmico hacia el interior del pene formando un cordón macizo que posteriormente se canaliza. El epitelio de la uretra deriva del intestino primitivo por lo que es endodérmico, excepto en su porción distal que tiene origen ectodérmico. La uretra femenina deriva en su totalidad de la porción pélvica del seno urogenital.

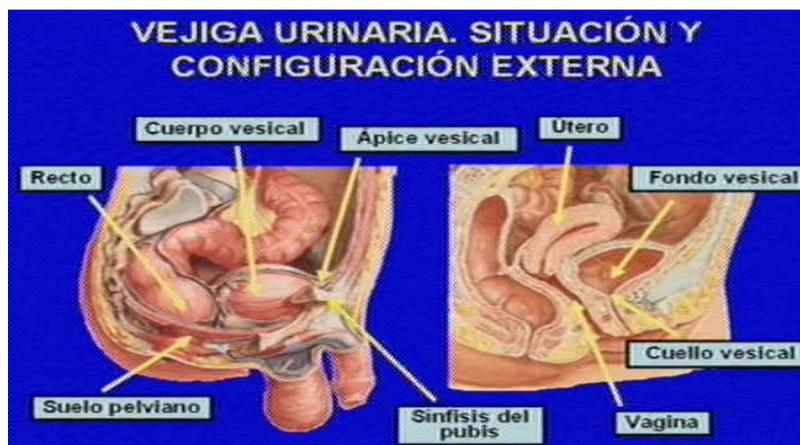
## MALFORMACIONES CONGENITAS DE LA VEJIGA



Las imágenes muestran representaciones esquemáticas de dos malformaciones frecuentes de la vejiga, que se producen por defecto en la obliteración de la alantoides. Cuando la porción intraembrionaria de la alantoides permanece permeable en toda su extensión y sale orina por el ombligo, estamos en presencia de una fistula uracal. Si persiste permeable solo una parte de la alantoides, la actividad secretora del epitelio en este segmento produce una dilatación llamada quiste uracal.

Veamos a continuación las características morfofuncionales macro y microscópicas de la vejiga.

## VEJIGA URINARIA, SITUACIÓN Y CONFIGURACIÓN EXTERNA



La vejiga urinaria es un órgano hueco de forma variable de globulosa a triangular según su estado de ocupación por la orina. Está situada en la cavidad pélvica

sobre el suelo pelviano, por detrás de la sínfisis del pubis y por delante del recto en el varón y del útero y parte superior de la vagina en la mujer.

Por su aspecto externo se identifican en ella tres porciones:

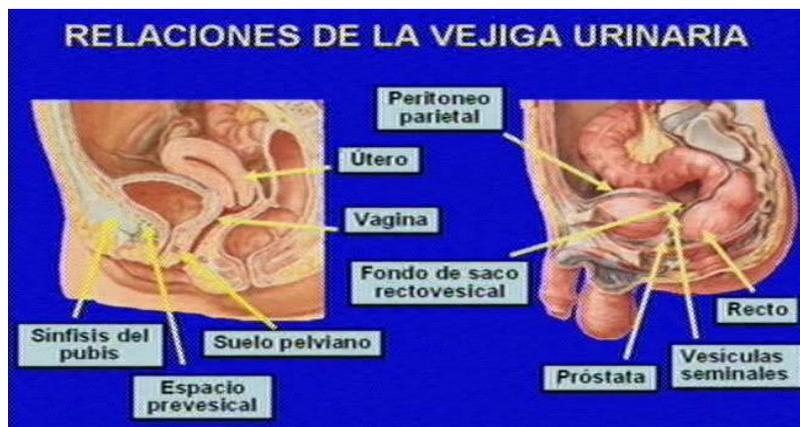
- ✓ Ápice o vértice.
- ✓ Cuerpo.
- ✓ Y fondo. Esta última también llamada base o cara posteroinferior.

El vértice se continúa hacia arriba en un cordón fibroso el uraco, que se adhiere a la pared abdominal anterior.

El cuerpo de la vejiga en el cual se describe una cara superior cubierta por el peritoneo parietal inferior, a través del cual se relaciona con las asas intestinales y dos caras inferolaterales: izquierda y derecha.

La parte más declive del fondo vesical se denomina cuello y se continúa en la luz de la uretra.

## RELACIONES DE LA VEJIGA URINARIA

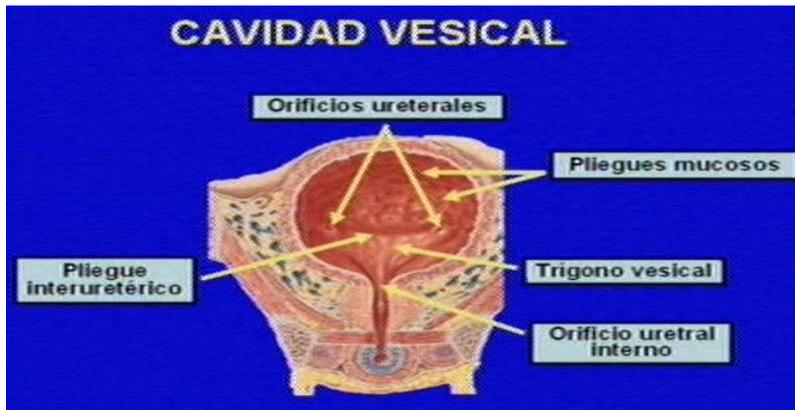


Las relaciones de la vejiga urinaria presentan variaciones en dependencia del estado de repleción del órgano y con el sexo. Sus relaciones anteriores son con el espacio prevesical y la sínfisis del pubis. Por arriba se relaciona con el peritoneo parietal inferior y las asas intestinales con mayor o menor interposición del útero en el sexo femenino. Por debajo se relaciona directamente con los músculos y fascias del suelo pelviano en la mujer y con la base de la próstata en el hombre.

Por detrás en el sexo masculino se relaciona con vesículas seminales, las ampollas de los conductos deferentes, el fondo de saco rectovesical y con la

superficie anterior del recto. En la mujer se relaciona por detrás con el cuello uterino y la parte superior de la vagina.

### CAVIDAD VESICAL



La cavidad vesical está revestida por una mucosa con mayor o menor cantidad de pliegues según el volumen de orina que contiene, excepto en el trigono vesical donde no existen pliegues. Los ángulos del trigono vesical están representados por los orificios de desembocadura de ambos uréteres y el orificio de salida de la uretra.

Entre ambos orificios ureterales se extiende el pliegue interureterico, relieve constante que delimita por delante una depresión el trasfondo de la vejiga, que se modifica por crecimiento de la próstata a partir de la quinta década de la vida. La cavidad vesical puede explorarse en el vivo por instrumentación directa a través de la uretra.

### PARED DE LA VEJIGA



La vejiga presenta en su pared tres capas: una interna o mucosa, una media o muscular y una externa que puede ser adventicia o serosa.

La mucosa está revestida por el epitelio de transición; es importante recordar que este representa un estado intermedio entre el epitelio plano y el prismático debido a que sus células modifican su forma dependiendo del estado funcional del órgano. El epitelio descansa en una lámina propia de tejido conectivo fibroso con abundantes vasos sanguíneos.

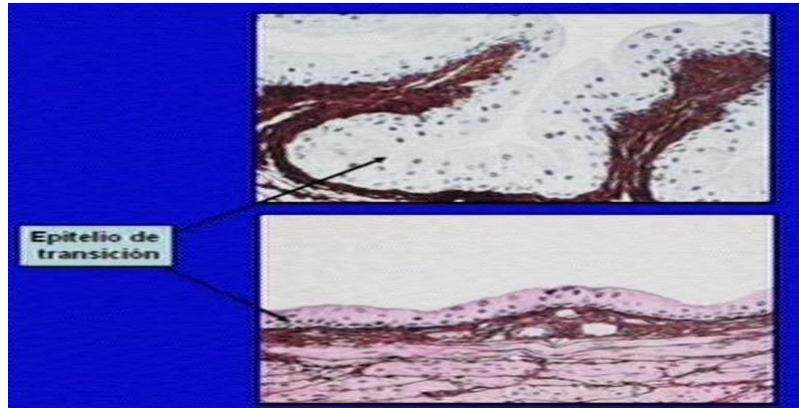
La muscular está formada por tres estratos de fibras musculares lisas: uno interno longitudinal, uno medio circular y otro externo longitudinal.

La capa mas externa es una adventicia, excepto en la cara superior de la vejiga donde es una serosa.

### EPITELIO DE TRANSICIÓN



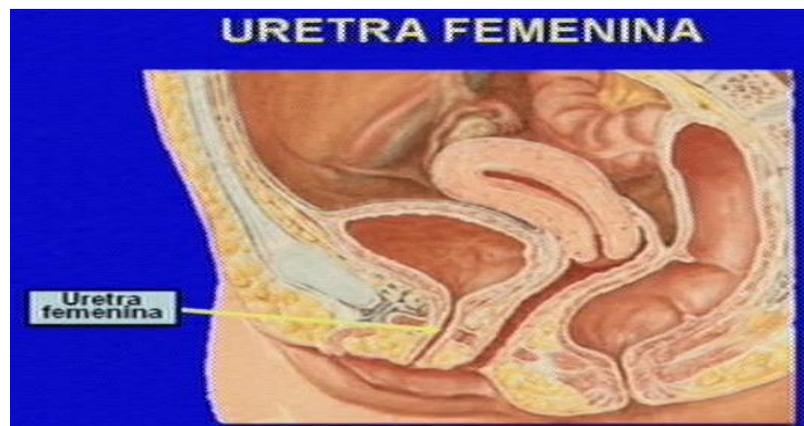
Esta imagen de la mucosa vesical a mayor aumento permite apreciar el número de capas del epitelio; así como la forma de las células mas superficiales, características que varían de acuerdo al estado funcional del órgano como podrán observar a continuación.



En la parte superior se observan las características del epitelio de revestimiento de la vejiga cuando está vacía. Fíjense en la altura de las células y los pliegues de la mucosa.

En la parte inferior se representa la mucosa cuando el órgano está en estado de repleción con sus paredes distendidas, en este caso los pliegues desaparecen y las células del epitelio disminuyen en altura, así como el número de capas.

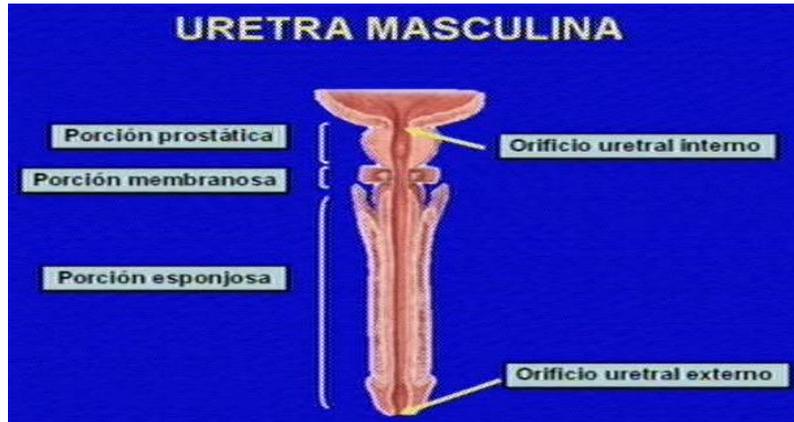
## URETRA FEMENINA



Como segmento más distal de las vías excretoras urinarias la uretra presenta características morfofuncionales diferentes según el sexo.

La femenina tiene una longitud promedio de cuatro centímetros. Con una ligera concavidad anterior; se extiende desde el orificio uretral interno en el cuello vesical hasta el orificio uretral externo en el vestíbulo vaginal y está tapizada por un epitelio estratificado plano no queratinizado con áreas de epitelio estratificado cilíndrico, sus paredes son distensibles y el sondeo vesical es relativamente fácil.

## URETRA MASCULINA



La uretra masculina con una longitud promedio de unos dieciocho centímetros, se extiende desde el orificio uretral interno en el cuello vesical hasta el orificio uretral externo situado en el vértice del glande.

Se divide para su estudio en tres porciones: prostática, membranosa y esponjosa o peneana.

La porción prostática: mide unos tres centímetros y atraviesa la próstata desde su base hasta el vértice, su luz es relativamente amplia.

La porción membranosa mide como promedio un centímetro de longitud en correspondencia con el grosor del suelo pelviano a ese nivel. Su luz es muy estrecha.

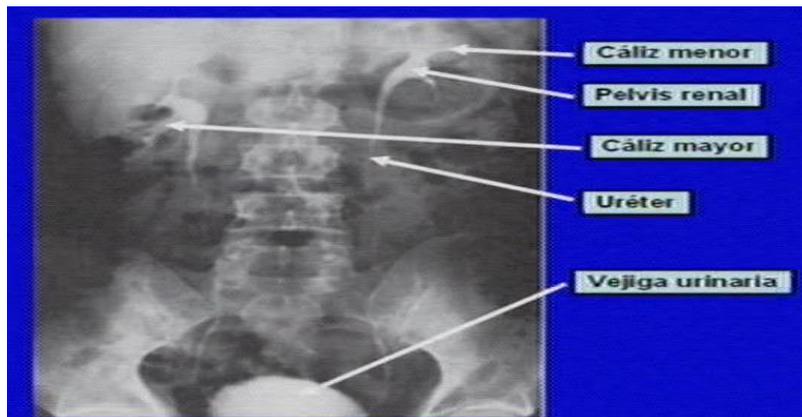
La porción esponjosa recorre el cuerpo esponjoso del pene. Su luz es uniforme excepto a nivel del glande donde se hace mayor y forma la fosa navicular.

La uretra prostática está revestida por un epitelio de transición, la membranosa y la esponjosa por un epitelio pseudoestratificado cilíndrico. Esta última tiene además áreas tapizadas por un epitelio estratificado plano no queratinizado.

## CURVATURAS DE LA URETRA MASCULINA



Desde el punto de vista médico la uretra masculina tiene dos características muy significativas: Los estrechamientos de su luz a nivel de los orificios uretrales interno y externo y al atravesar el diafragma urogenital ya señalados anteriormente y las curvaturas anterior y posterior. La anterior puede rectificarse levantando pasivamente el pene; pero la posterior es permanente y debe tenerse muy presente durante el cateterismo vesical.



Las vías excretoras urinarias pueden estudiarse en el organismo vivo mediante radiografías contrastadas como se muestra en esta imagen. Observen los cálices mayores y menores, la pelvis renal, el uréter y la vejiga urinaria.



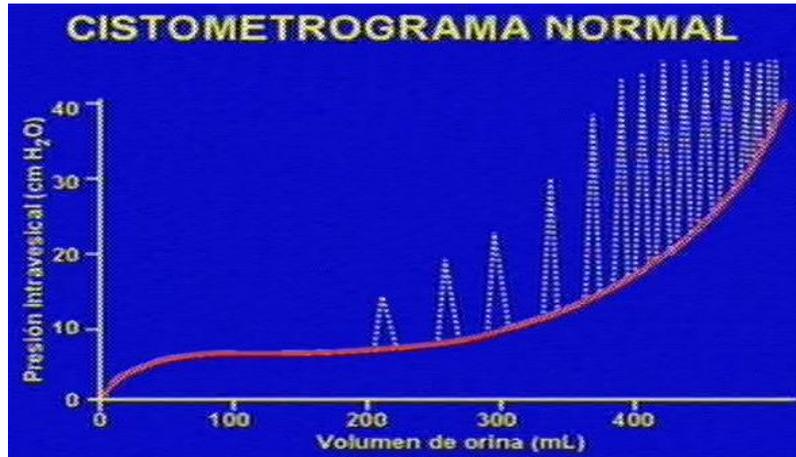
Esta imagen corresponde a una ecografía de la cavidad pélvica en la cual se observa con mucha precisión la vejiga urinaria.

## LA MICCIÓN



La orina formada en los riñones es transportada en un proceso continuo a través de los uréteres hacia la vejiga, donde se almacena hasta la micción que es el acto mediante el cual la misma es expulsada al exterior a través de la uretra. La micción es un acto de reflejo complejo cuyas características orientaremos a continuación.

## CISTOMETROGRAMA NORMAL



En la medida en que se acumula la orina en la vejiga sus paredes se distienden y aumenta la presión en su interior. El registro gráfico de este proceso recibe el nombre de cistometrograma.

La grafica representa en el eje de las X el volumen de orina contenido en la vejiga y en el eje de las Y la presión intravesical. Su curva indica como varia la presión intravesical en la medida en que aumenta el volumen de orina almacenado.

Observen que a medida que aumenta a la orina almacenada, aumenta la presión intravesical; al inicio lentamente luego la curva hace una meseta con aumento casi imperceptible de la presión a medida que aumenta el volumen de orina y finalmente a partir de cierta cantidad de orina aumenta la presión mucho más rápido.

Con líneas de puntos se representan las ondas de micción, que traducen la contracción del músculo **detrusor** en respuesta a la estimulación de los receptores de distensión de sus paredes y aumentan en intensidad y frecuencia en la medida en que se acumula orina en la vejiga. Estas contracciones son las que desencadenan la micción cuyo arco reflejo orientaremos a continuación.

## EL REFLEJO DE LA MICCIÓN



La micción es un acto reflejo vegetativo complejo, que tiene sus centros rectores en los segmentos lumbares y sacros de la médula espinal y se desencadena a partir de la estimulación de receptores de distensión localizados en sus paredes.

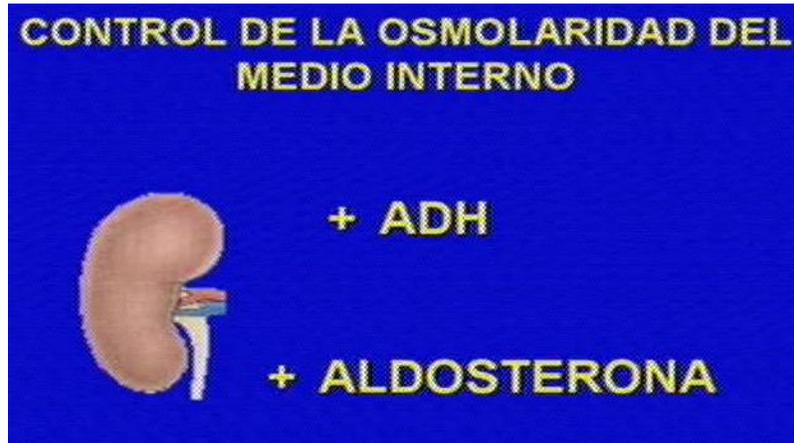
Al llenarse la vejiga se estimulan los receptores localizados en ella; estos envían su información a la médula espinal específicamente a los segmentos sacros segundos y terceros a través de los nervios pelvianos y en menor medida al segundo segmento lumbar a través de los nervios hipogástricos.

La información aferente es procesada en estos segmentos medulares y se envían señales eferentes a través de fibras motoras esqueléticas al esfínter externo para producir su relajación, y al músculo detrusor a través de los componentes parasimpáticos de los nervios pelvianos para provocar su contracción.

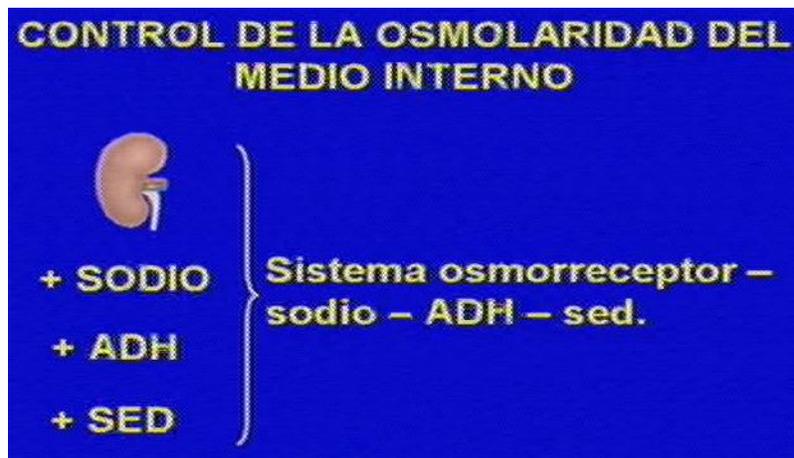
La combinación de estas dos respuestas da lugar al vaciamiento de la vejiga. Debemos destacar que las señales aferentes procedentes de los receptores de distensión de las paredes vesicales llegan también a la corteza cerebral, la cual facilita o inhibe la respuesta del reflejo con lo que proporciona el control voluntario de la micción.

El riñón elimina los productos de desecho regulando la osmolaridad y concentración de sales en el medio interno, función que orientaremos a continuación.

## CONTROL DE LA OSMOLARIDAD DEL MEDIO INTERNO



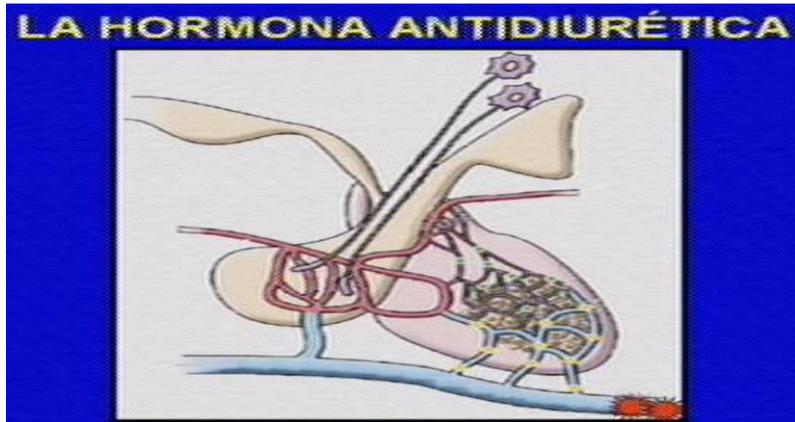
El control de la osmolaridad o concentración de los líquidos corporales es vital para el mantenimiento de la homeostasis y para ello el organismo cuenta con eficaces mecanismos de regulación en los que el riñón juega el papel protagónico; auxiliándose de las hormonas antidiurética (ADH) y aldosterona.



El sodio es el electrolito más abundante del líquido extracelular y por tanto determina la osmolaridad del mismo. Dicho de otra forma al controlar la concentración de sodio se regula la osmolaridad del líquido extracelular. La osmolaridad del medio interno se regula por las acciones coordinadas del riñón, la ADH y el mecanismo de la sed; que en conjunto constituyen el llamado sistema osmorreceptor-sodio-ADH-sed.

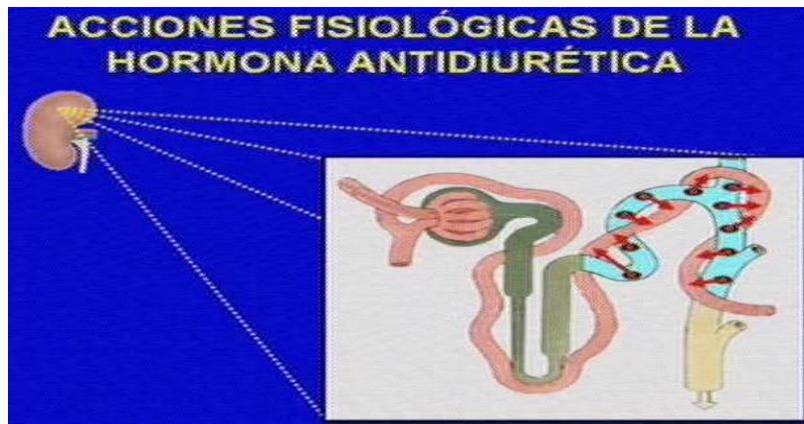
A continuación orientaremos el estudio de la hormona antidiurética (ADH).

## LA HORMONA ANTIDIURETICA



La hormona antidiurética es producida por las neuronas de los núcleos supraópticos y paraventriculares del hipotálamo y viaja por los axones de dichas neuronas hasta la Neurohipófisis donde se almacena para luego ser vertida a la sangre y llegar al riñón que es su principal órgano diana.

## ACCIONES FISIOLÓGICAS DE LA HORMONA ANTIDIURETICA



Al llegar al riñón la ADH actúa sobre los túbulos distales y colectores aumentando el diámetro de los poros y su permeabilidad al agua, la que al ser reabsorbida disminuye la diuresis. De esta forma la ADH controla el volumen de los líquidos corporales y al hacerlo controla también la concentración de sodio en dichos líquidos. Además de los efectos antes descritos la hormona tiene un efecto vasoconstrictor. La secreción de esta hormona se regula por la acción de diferentes estímulos que resumiremos a continuación.

## REGULACIÓN DE LA SECRECIÓN DE ADH

### REGULACIÓN DE LA SECRECIÓN DE ADH

#### ➤ Aumentan la secreción de ADH:

El aumento de la osmolaridad del LEC.  
La disminución del volumen de sangre.  
Disminución de la presión sanguínea.  
Las náuseas.  
La hipoxia.  
Morfina, nicotina y ciclofosfamida.

Aumentan la secreción de ADH:

- ✓ El aumento de la osmolaridad del líquido extracelular.
- ✓ La disminución del volumen de sangre.
- ✓ La disminución de la presión sanguínea.
- ✓ Las náuseas.
- ✓ La hipoxia.
- ✓ Fármacos como la nicotina, morfina y ciclofosfamida.

### REGULACIÓN DE LA SECRECIÓN DE ADH

#### ➤ Disminuyen la secreción de ADH:

La disminución de la osmolaridad del LEC.  
El aumento del volumen de sangre.  
El aumento de la presión sanguínea.  
El alcohol, clonidina y haloperidol.

Por su parte disminuyen la secreción de ADH:

- ✓ La disminución de la osmolaridad del líquido extracelular.
- ✓ El aumento del volumen de sangre.
- ✓ El aumento de la presión sanguínea.
- ✓ Fármacos como el alcohol, la clonidina y el haloperidol.

Una vez orientado el estudio de la hormona antidiurética estamos en condiciones de abordar el sistema osmorreceptor-sodio-ADH-sed.

## SISTEMA OSMORRECEPTOR-SODIO-ADH-SED

### REGULACIÓN DE LA SECRECIÓN DE ADH

#### ➤ Disminuyen la secreción de ADH:

La disminución de la osmolaridad del LEC.

El aumento del volumen de sangre.

El aumento de la presión sanguínea.

El alcohol, clonidina y haloperidol.

Los osmorreceptores son neuronas especializadas en captar los cambios de osmolaridad del líquido extracelular y se localizan en la región anterior del hipotálamo.

Si aumenta la osmolaridad del líquido extracelular se estimulan los osmorreceptores, los que envía señales por un lado a los núcleos supraópticos y paraventriculares y por otro al centro de la sed.

Los núcleos supraópticos mandan información a la Neurohipófisis para que secrete la ADH que va a los riñones, donde disminuye la diuresis reteniendo agua.

El centro de la sed hace llegar información a la corteza cerebral donde hace consciente la sensación de sed e induce la ingestión de agua.

La combinación de ambos efectos termina disminuyendo la osmolaridad a la vez que disminuye la concentración de sodio del líquido extracelular.

Este mecanismo actúa también a la inversa, o sea, regulando una disminución de la osmolaridad.

Como ya conocen el sodio es el principal componente del líquido extracelular y su concentración es regulada por la ADH; sin embargo la cantidad del mismo es controlada por la aldosterona, hormona esteroide cuyo estudio orientaremos a continuación.

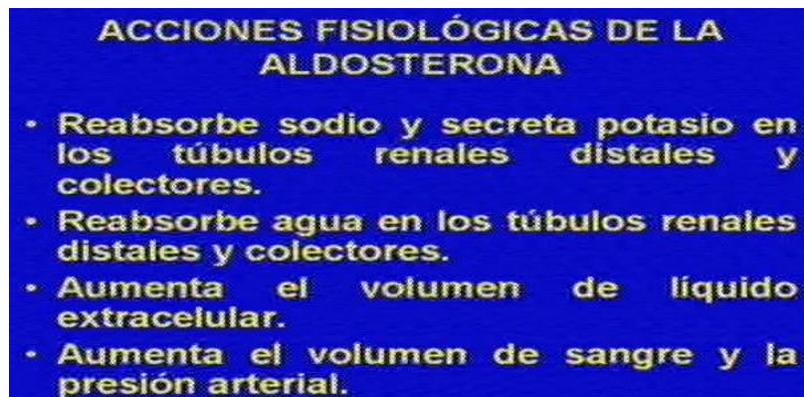
## LA ALDOSTERONA



La aldosterona es el principal mineralocorticoide producido por la zona glomerular de la corteza suprarrenal y tiene como órgano o tejido diana fundamental los túbulos renales distales y colectores, que realizan la reabsorción de sodio para retenerlo en el organismo y la secreción de potasio hacia la luz tubular para eliminarlo con la orina. Con la reabsorción de sodio se reabsorbe agua por el efecto osmótico de este ión.

A continuación resumimos las acciones fisiológicas de la hormona.

### ACCIONES FISIOLÓGICAS DE LA ALDOSTERONA

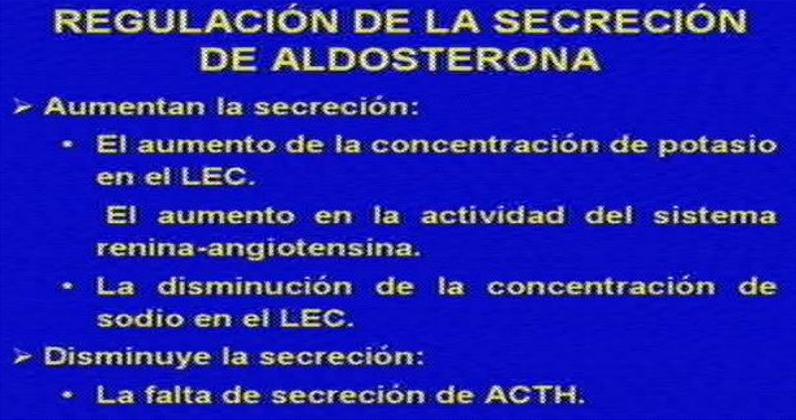


La aldosterona reabsorbe sodio y secreta potasio en los túbulos renales distales y colectores, con lo que aumenta la cantidad de sodio y disminuye la concentración de potasio en el líquido extracelular.

Al reabsorber sodio por el efecto osmótico de este, reabsorbe agua con lo que aumenta el volumen de líquido extracelular y el volumen de sangre; así como la presión arterial.

A continuación orientamos los aspectos fundamentales de la regulación de la secreción de esta hormona.

## REGULACIÓN DE LA SECRECIÓN DE ALDOSTERONA



El diagrama muestra un recuadro azul con texto amarillo que resume los factores que regulan la secreción de aldosterona. El título es 'REGULACIÓN DE LA SECRECIÓN DE ALDOSTERONA'. Se dividen en dos categorías: 'Aumentan la secreción' y 'Disminuye la secreción'. Los factores que aumentan la secreción son: el aumento de la concentración de potasio en el LEC, el aumento en la actividad del sistema renina-angiotensina, y la disminución de la concentración de sodio en el LEC. El factor que disminuye la secreción es la falta de secreción de ACTH.

**REGULACIÓN DE LA SECRECIÓN DE ALDOSTERONA**

- **Aumentan la secreción:**
  - El aumento de la concentración de potasio en el LEC.
  - El aumento en la actividad del sistema renina-angiotensina.
  - La disminución de la concentración de sodio en el LEC.
- **Disminuye la secreción:**
  - La falta de secreción de ACTH.

Existen una serie de estímulos que incrementan la secreción de aldosterona, entre estos se destacan:

- ✓ El aumento de la concentración de potasio en el líquido extracelular.
- ✓ El aumento de la actividad del sistema renina–angiotensina especialmente el aumento de angiotensina II.
- ✓ La disminución de la concentración de sodio en el líquido extracelular.

Por su parte la ausencia o falta de la hormona adrenocorticotrópica (ACTH) disminuye o anula la secreción de aldosterona, debido al papel que juega en la nutrición de la glándula suprarrenal.

Si bien la regulación de la osmolaridad de los líquidos corporales es vital, existe otro parámetro cuya regulación es también imprescindible para la vida. Nos referimos al pH del medio interno que orientamos a continuación.

## REGULACIÓN DEL EQUILIBRIO ÁCIDO-BÁSICO

**REGULACIÓN DEL EQUILIBRIO  
ÁCIDO - BÁSICO**  
pH: Medida del grado de acidez o basicidad  
de una sustancia o solución.

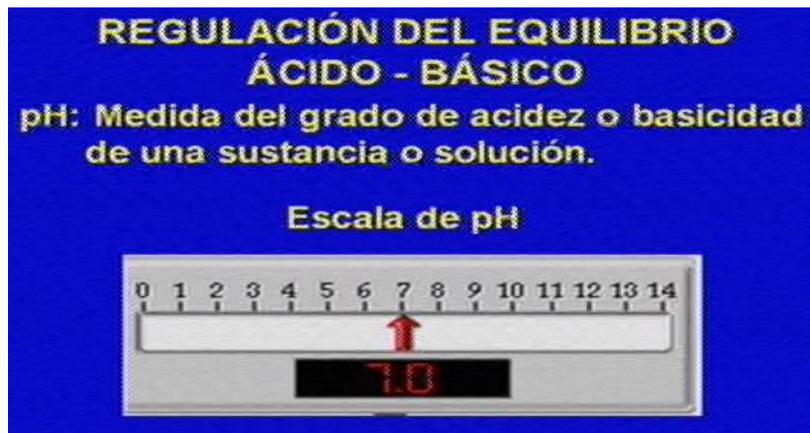
$$\text{pH} = -\log [\text{H}^+]$$
$$\text{A} > [\text{H}^+] < \text{pH}$$
$$\text{A} < [\text{H}^+] > \text{pH}$$

Antes de iniciar el estudio de los mecanismos reguladores del equilibrio ácido-básico debemos abordar algunos aspectos claves:

El pH es una medida del grado de acidez o basicidad de una sustancia o solución; se determina según la fórmula: pH es igual a menos logaritmo de la concentración de hidrogeniones.

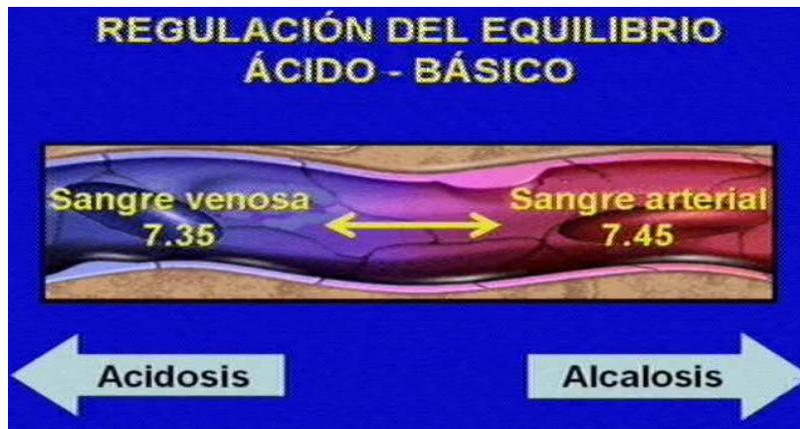
$$\text{pH} = -\log [\text{H}^+]$$

Por lo que es inversamente proporcional a dicha concentración; o sea, a mayor concentración de hidrogeniones menor será el pH y viceversa.



La expresión logarítmica del pH determina que sus valores oscilen entre 1 y 14.

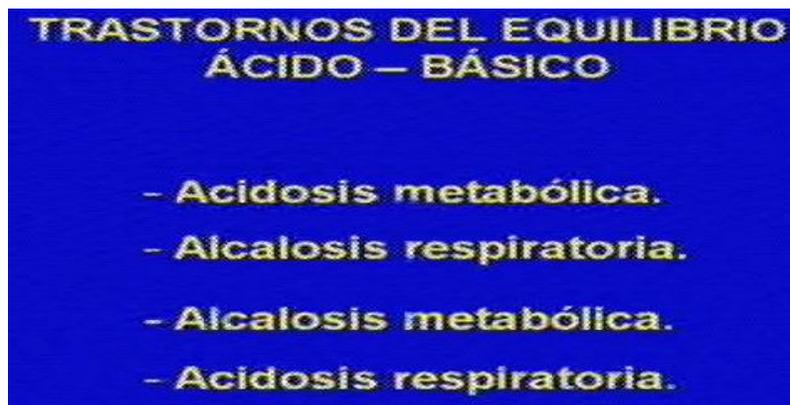
En la escala de pH los valores por debajo de 7 corresponden al lado ácido y por encima de 7 al lado básico. El valor de 7 corresponde a un pH neutro.



El pH normal de los líquidos corporales oscila entre 7.35 para la sangre venosa por su mayor contenido en bióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y 7.45 para la sangre arterial con un menor contenido del mismo. Cuando el pH disminuye por debajo de 7.35 se produce una acidosis; mientras que si aumenta por encima de 7.45 se produce una alcalosis.

A continuación exponemos la clasificación de los trastornos del equilibrio ácido-básico.

### TRASTORNOS DE EQUILIBRIO ÁCIDO-BÁSICO



Los trastornos del equilibrio ácido-básico se clasifican teniendo en cuenta el valor del pH en acidosis y alcalosis.

Y según su origen pueden ser: respiratorios cuando son causadas por alteraciones de la ventilación alveolar, y metabólicos cuando obedecen a alteraciones ajenas al funcionamiento del sistema respiratorio.

Los desequilibrios ácido– básicos son alteraciones que ponen en peligro la vida, por lo que el dominio de los mecanismos reguladores del pH tiene gran importancia en la práctica médica.

## MECANISMOS DE REGULACION DEL EQUILIBRIO ACIDO-BASICO

**MECANISMOS DE REGULACIÓN DEL EQUILIBRIO ÁCIDO – BÁSICO**

- **Sistemas amortiguadores:**
  - De bicarbonato.
  - De fosfato.
  - De proteínas.
- **Sistema respiratorio.**
- **Sistema renal.**

Los mecanismos con que cuenta el organismo para la regulación del equilibrio ácido-básico son:

Los sistemas amortiguadores de bicarbonato, de fosfato y de proteínas.

El sistema respiratorio y el sistema renal.

Comenzaremos por los sistemas amortiguadores.

## SISTEMAS AMORTIGUADORES

**SISTEMAS AMORTIGUADORES**

Solución de dos o más sustancias cuya combinación se opone a los cambios de pH.

Generalmente están integrados por un ácido débil y su sal correspondiente en solución.

Su poder amortiguador está dado por su pK y las concentraciones de las sustancias amortiguadoras.

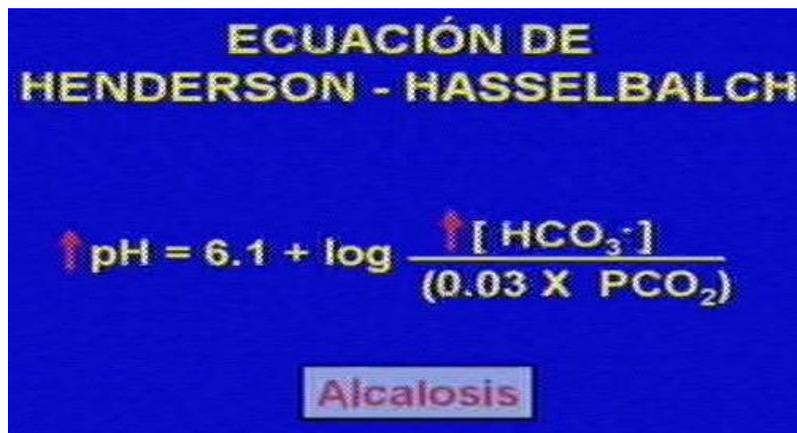
Un sistema amortiguador es una solución de dos o más sustancias cuya combinación se opone a los cambios de pH del medio en que se encuentre.

Generalmente está constituido por un ácido débil y su sal correspondiente, y su poder amortiguador está dado por la proximidad de su pK o constante de disociación al valor normal del pH y por la concentración de sus componentes.

La pK es una medida de su capacidad para captar o ceder hidrogeniones.

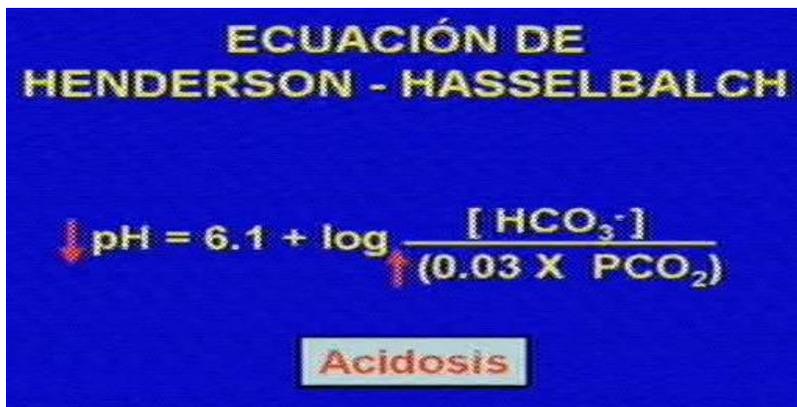
Otro aspecto de interés en el manejo de la regulación del equilibrio ácido-básico es la ecuación de Henderson Hasselbalch que orientaremos a continuación.

### ECUACIÓN DE HENDERSON-HASSELBALCH



La ecuación de Henderson-Hasselbalch permite el cálculo del pH de una solución si se conocen la concentración molar de iones bicarbonato y la presión parcial de bióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ).

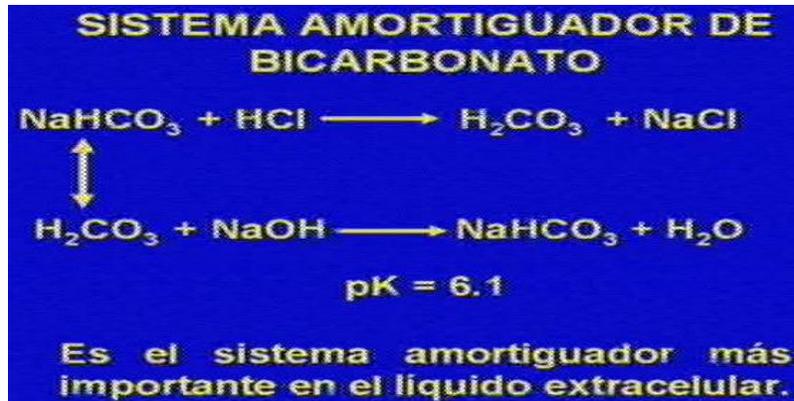
De ella se deduce que un aumento de la concentración de iones bicarbonato produce un aumento de pH y se desvía el equilibrio ácido-básico hacia la alcalosis.



Si aumenta la presión parcial de bióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) disminuye el pH y el equilibrio se desvía hacia la acidosis.

A continuación orientaremos el estudio de los aspectos fundamentales de cada uno de los sistemas amortiguadores.

### SISTEMA AMORTIGUADOR DE BICARBONATO



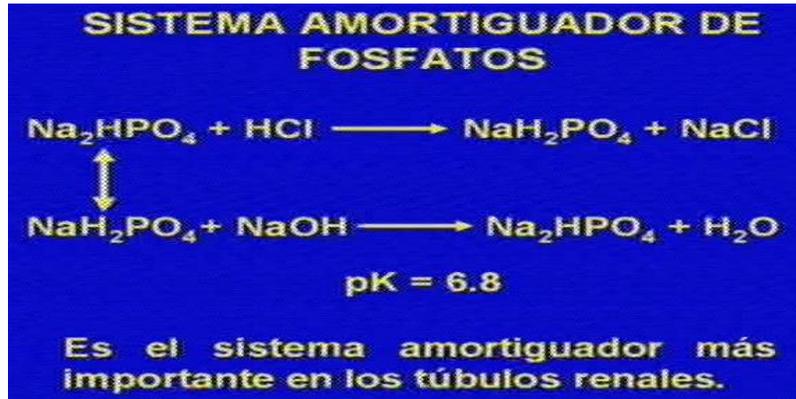
El sistema amortiguador de bicarbonato está integrado por el bicarbonato de sodio ( $\text{NaHCO}_3$ ) y el ácido carbónico ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ).

Observen como actúa este sistema cuando al medio donde se encuentra se añade un ácido fuerte como el ácido clorhídrico ( $\text{HCl}$ ), el cual reacciona con el bicarbonato de sodio dando lugar a un ácido débil: el ácido carbónico ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ) que modifica muy poco el pH y una sal neutra: el cloruro de sodio ( $\text{NaCl}$ ).

Por otra parte si se añade una base fuerte como el hidróxido de sodio ( $\text{NaOH}$ ), ésta reacciona con el componente ácido del sistema: el ácido carbónico y se obtiene como producto el bicarbonato de sodio, base débil con poca incidencia sobre el pH y agua.

Este sistema amortiguador tiene una pK de 6.1, por lo que su poder amortiguador no es alto; sin embargo, la abundancia de sus componentes en el líquido extracelular hace que sea el sistema amortiguador más importante en dicho medio.

## SISTEMA AMORTIGUADOR DE FOSFATOS



El sistema amortiguador de fosfatos está compuesto por una base débil: el fosfato dibásico de sodio ( $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ ) y un ácido también débil: el fosfato monobásico de sodio ( $\text{NaH}_2\text{PO}_4$ ).

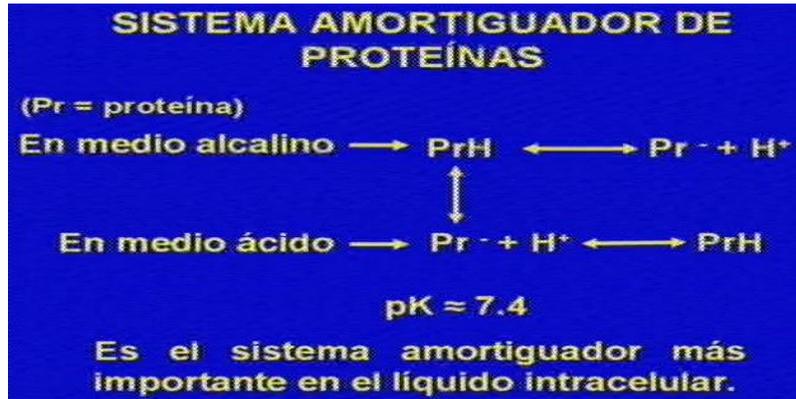
Si se añade un ácido fuerte al medio donde se encuentre este sistema reacciona con el componente básico del mismo, el fosfato dibásico de sodio ( $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ ) dando lugar al fosfato monobásico de sodio ( $\text{NaH}_2\text{PO}_4$ ) más cloruro de sodio ( $\text{NaCl}$ ).

Cuando se añade una base fuerte al sistema como el hidróxido de sodio ( $\text{NaOH}$ ), esta reacciona con el componente ácido del mismo: el fosfato monobásico de sodio ( $\text{NaH}_2\text{PO}_4$ ), dando lugar al fosfato dibásico de sodio y agua  $\text{Na}_2\text{HPO}_4 + \text{H}_2\text{O}$ .

Este sistema tiene una pK de 6.8, mucho más cercana a los valores normales de pH de los líquidos corporales, por lo que tiene mayor poder amortiguador que el sistema de bicarbonato; sin embargo, la poca cantidad en que se encuentre en el líquido extracelular determina su poca importancia en este medio.

Este sistema adquiere importancia funcional en los líquidos tubulares del riñón, donde las cantidades de fosfato son mayores que en el líquido extracelular.

## SISTEMA AMORTIGUADOR DE PROTEÍNAS

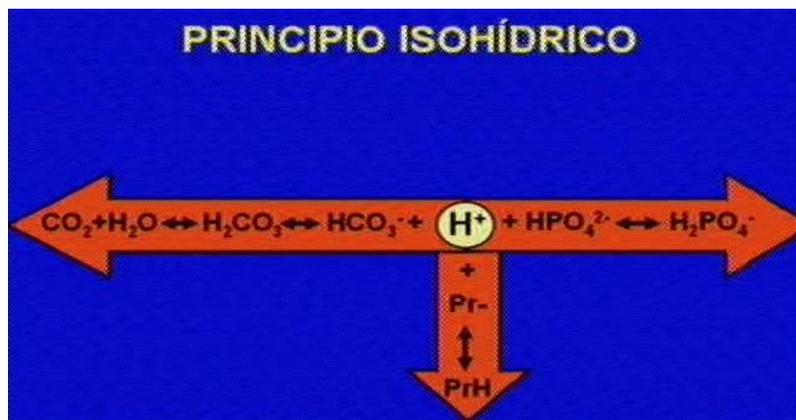


El poder amortiguador de las proteínas esta dado por su carácter anfótero, que consiste en su capacidad de ceder o captar hidrogeniones de acuerdo a las características del medio en que se encuentren. Las proteínas poseen grupos que en un medio alcalino ceden hidrogeniones; mientras que cuando se encuentran en un medio ácido captan hidrogeniones.

Su pK tiene un valor cercano a 7.4, por lo que tiene un gran poder amortiguador y es el más importante en el líquido intracelular.

Existen varios sistemas amortiguadores de proteínas y dentro de ellos se destaca el sistema amortiguador de la hemoglobina, tanto por su abundancia en la sangre como por el hecho de circular a través de todos los tejidos del organismo. Los componentes de estos sistemas amortiguadores al encontrarse presentes en los líquidos corporales actúan al unísono y de forma integrada. Hecho en el que abundaremos a continuación.

## PRINCIPIO ISOHÍDRICO



La acción simultánea e integrada de los sistemas amortiguadores está determinada porque sus componentes se encuentran todos a la vez en los líquidos corporales y tienen un denominador común que son los hidrogeniones. Cuando se produce un cambio del pH de los líquidos corporales éste es regulado por la acción conjunta de todos los sistemas amortiguadores.

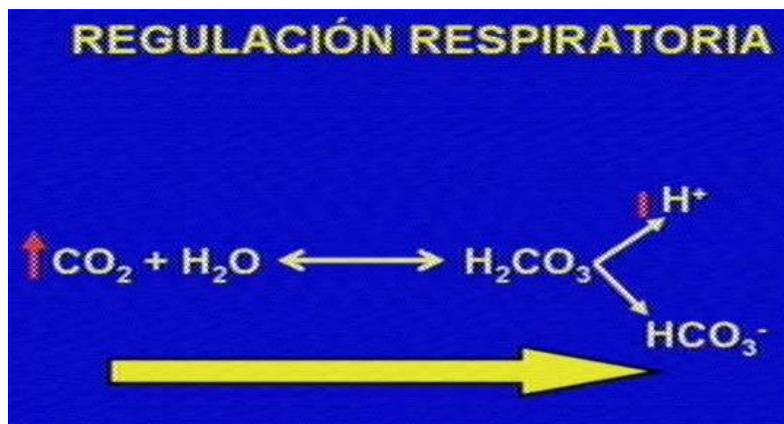
Observen como los sistemas de bicarbonato, de fosfato y de proteínas actúan al unísono, este hecho se conoce con el nombre de principio isohídrico.

Una vez orientado el estudio de los sistemas amortiguadores abordaremos el papel regulador del sistema respiratorio.

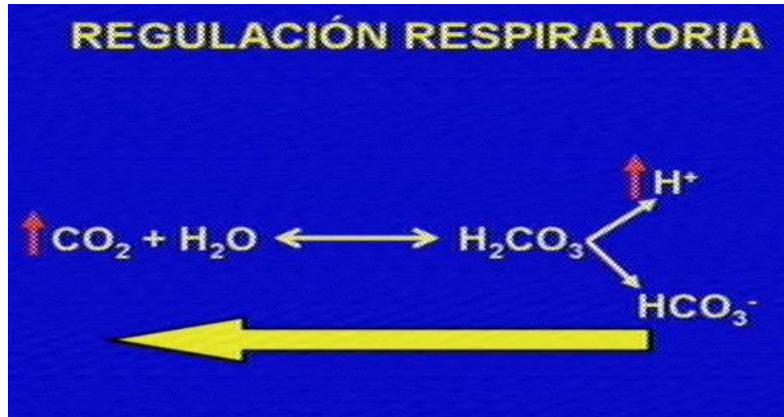
## REGULACIÓN RESPIRATORIA



El sistema respiratorio regula el pH por su capacidad para eliminar o retener el bióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), al aumentar o disminuir la ventilación alveolar respectivamente.



Recordemos la reacción que aparece en la imagen; si aumenta el bióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) se desplaza el equilibrio de la misma hacia la derecha y aumentan los hidrogeniones.

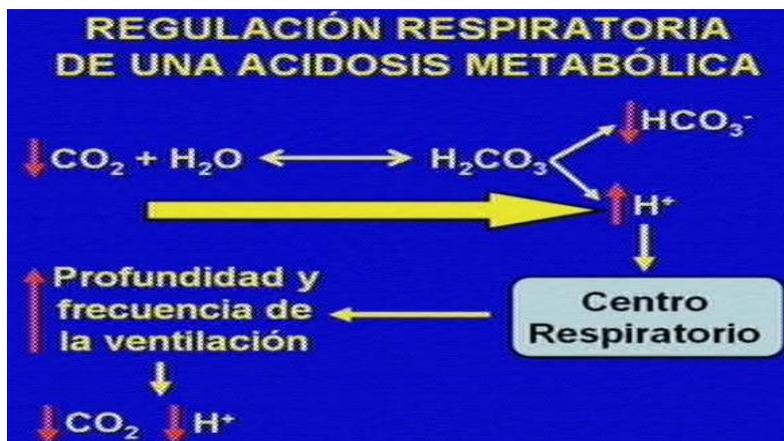


De forma similar, si aumentan los hidrogeniones se desplaza el equilibrio de la reacción hacia la izquierda aumentando el bióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ).

De lo anteriormente expuesto podemos concluir que las cantidades de hidrogeniones y bióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) son directamente proporcionales. También es oportuno recordar que las alteraciones respiratorias que afectan la ventilación pulmonar, constituyen causa de desequilibrios del pH y estos no pueden ser regulados por el propio sistema respiratorio.

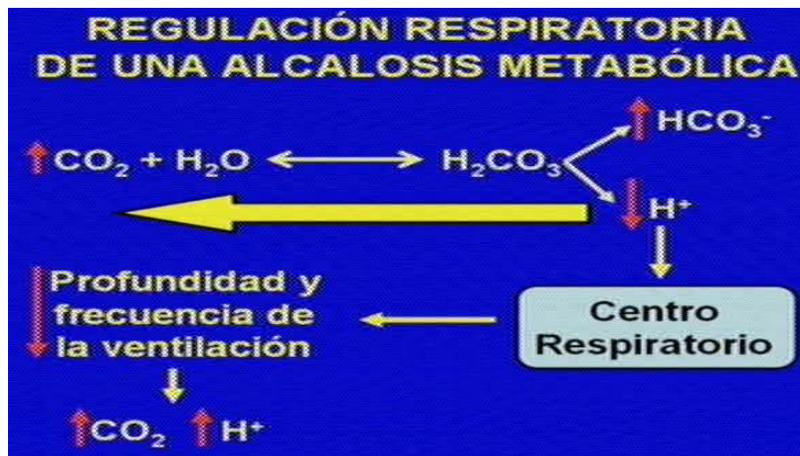
Veamos a continuación como actúa el sistema en la regulación de una acidosis y una alcalosis metabólica.

### REGULACIÓN RESPIRATORIA DE UNA ACIDOSIS METABÓLICA



En la acidosis metabólica, la causa primaria es una disminución del bicarbonato por lo que el equilibrio de la reacción se desplaza hacia la derecha aumentando los hidrogeniones y por tanto el bióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) disminuye, siendo entonces los hidrogeniones los que estimulan el centro respiratorio y este incrementa la profundidad de la ventilación y la frecuencia respiratoria aumentando la eliminación de bióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), lo que equivale a disminuir la cantidad de hidrogeniones. De esta forma el sistema aumenta el pH tratando de llevarlo a su valor normal. Una acidosis metabólica se compensa con una alcalosis respiratoria.

### REGULACIÓN RESPIRATORIA DE UNA ALCALOSIS METABÓLICA



En una alcalosis metabólica la causa primaria es un aumento en la concentración de bicarbonato, por lo que la reacción se desplaza hacia la izquierda disminuyendo la concentración de hidrogeniones y aumentando la concentración de bióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), pero este aumento del bióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) es en una proporción menor que la disminución de los hidrogeniones, esta última produce una depresión del centro respiratorio el cual disminuye la frecuencia y profundidad de la ventilación con lo que aumentan el bióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y los hidrogeniones.

A continuación orientaremos el estudio del papel regulador del pH del sistema renal.

## SECRECIÓN DE HIDROGENIONES EN LOS TÚBULOS RENALES



El riñón proporciona el mecanismo regulador del pH más eficaz por su alta ganancia, ya que elimina del organismo los excesos tanto de hidrogeniones como de bicarbonato, genera nuevo bicarbonato y su acción no tiene límite de tiempo.

La imagen representa una célula de la pared y un fragmento de la luz del túbulo renal. En condiciones de pH normal el riñón elimina el exceso de hidrogeniones en un proceso que se inicia con la entrada a la célula del bióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), el cual se une al agua del citoplasma de la célula de la pared tubular dando lugar al ácido carbónico que como conocemos se disocia en bicarbonato e hidrogeno. Esta reacción es catalizada por la anhidrasa carbónica.

En el líquido tubular circula el bicarbonato de sodio que se disocia en iones sodio y bicarbonato.

El bicarbonato formado en el líquido intracelular pasa al intersticio para ser incorporado al capilar peritubular, mientras que el hidrógeno es secretado activamente por un mecanismo de co-transporte que a la vez reabsorbe el ión sodio desde el líquido tubular. Este ion sodio se intercambia activamente con un ión potasio procedente del intersticio en un mecanismo de co-transporte.

El hidrógeno secretado al líquido tubular es neutralizado, uniéndose al bicarbonato para formar ácido carbónico en un proceso denominado de titulación, que en condiciones de normalidad es una titulación completa al ser suficiente la cantidad de bicarbonato de sodio que circula en los líquidos tubulares para neutralizar los hidrogeniones secretados.

El ácido carbónico se disocia en bióxido de carbono y agua. El bióxido de carbono es reabsorbido al interior de la célula de la pared tubular y el agua se elimina con la orina.

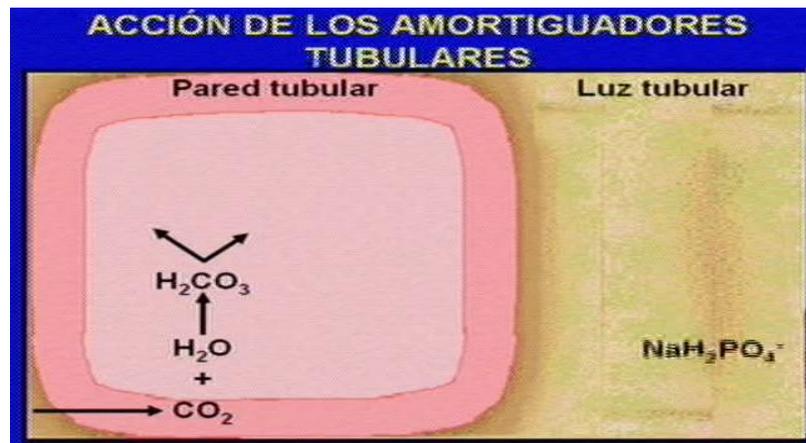
En el caso de una acidosis se exageran estos procesos y al no existir bicarbonato suficiente en los líquidos tubulares para titular los hidrogeniones estos se eliminan con la orina.

En el caso de una alcalosis, al no secretarse hidrogeniones suficientes para titular el bicarbonato tubular, este se elimina con la orina.

En el caso de las acidosis, el exceso de hidrogeniones no puede eliminarse sin unirse a otras sustancias y se eliminan unidos a los amortiguadores tubulares.

A continuación un ejemplo de la acción de estos.

### ACCIONES DE LOS AMORTIGUADORES TUBULARES



En el líquido tubular circula el sistema amortiguador de fosfatos, por lo que en el se encuentra el fosfato dibásico de sodio el que se disocia. El exceso de hidrogeno secretado al líquido tubular es neutralizado uniéndose al sistema amortiguador de fosfato formando el fosfato monobásico de sodio que se elimina con la orina.

A continuación un cuadro que resume aspectos de interés de los trastornos del equilibrio ácido-básico.

## TRASTORNOS PRIMARIOS DEL EQUILIBRIO ÁCIDO-BÁSICO

TRASTORNOS PRIMARIOS DEL EQUILIBRIO ÁCIDO BÁSICO				
	pH	H <sup>+</sup>	PCO <sub>2</sub>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
Normal	7.4	40 nEq/L	40 mm Hg	24 mEq/L
Acidosis respiratoria	↓	↑	↑	↑
Alcalosis respiratoria	↑	↓	↓	↓
Acidosis metabólica	↓	↑	↓	↓
Alcalosis metabólica	↑	↓	↑	↑

En el cuadro se presenta un resumen de las características de los trastornos del equilibrio ácido-básico.

Observen que el acontecimiento primario se indica con las flechas representadas en rojo, a partir de los cuales se debe analizar el comportamiento de los restantes parámetros.

Se puede apreciar además que los trastornos ácido-básicos respiratorios, se inician con un aumento o una disminución de la presión parcial de dióxido de carbono; mientras que los metabólicos comienzan con un aumento o una disminución del bicarbonato o reserva alcalina.

### CONCLUSIONES

- Las vías excretoras urinarias, están formadas por un conjunto de estructuras que responden al modelo de órgano tubular, cuyas características morfofuncionales particulares aseguran la eliminación de la orina hacia el exterior según las necesidades del organismo.
- El mantenimiento de la osmolaridad y el pH del medio interno dentro de sus valores normales es imprescindible para el mantenimiento de la homeostasis y por lo tanto, de la vida; por lo que la acción de sus mecanismos reguladores y el dominio de estos por el médico, constituyen una necesidad vital.

