

## FISIOLOGÍA GASTROINTESTINAL

### I. PRINCIPIOS GENERALES DE LA FUNCIÓN GASTROINTESTINAL

Las funciones del tubo digestivo son la digestión y la absorción de nutrientes, para poder cumplirlas el tubo digestivo tiene cuatro actividades principales:

- 1) Motilidad
- 2) Secreción de glándulas (salivales, páncreas, hígado)
- 3) Digestión de los alimentos hasta convertirlos en moléculas absorbibles
- 4) Absorción de nutrientes, electrolitos y agua.

El tubo digestivo esta dispuesto en línea: boca, esófago, estómago, intestino delgado, intestino grueso y ano. Otras estructuras son las glándulas salivales, páncreas, hígado y vesícula biliar.

La pared del tubo digestivo tiene dos superficies: una mucosa y una serosa. La mucosa consta de células epiteliales, una lámina propia y muscular de la mucosa, las células epiteliales se especializan en absorción y secreción; por debajo de la capa mucosa se encuentra la capa submucosa, dos capas de músculo liso, muscular circular y muscular longitudinal interpuestas entre la submucosa y la serosa.

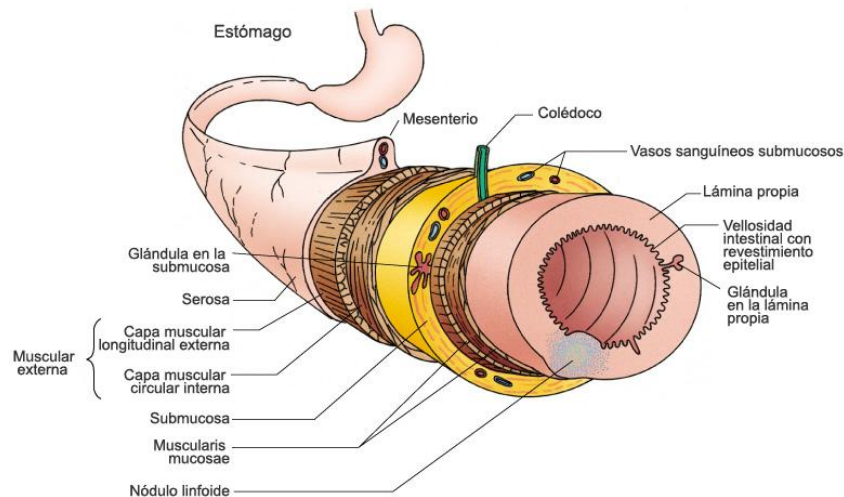


Fig. 17-1. Esquema del tubo alimentario.

Copyright © 2002 by W.B. Saunders Company. All rights reserved.

Existen dos plexos un submucoso o de Meissner que se sitúa entre la submucosa y la muscular circular; y un plexo mientérico o de Auerbach, entre las dos musculares.

El tubo digestivo esta controlado por el sistema nervioso autónomo, cuyo componente extrínseco es la innervación simpática y parasimpática (NC X) y el intrínseco es el sistema nervioso entérico.

### II. MOTILIDAD GASTROINTESTINAL. TRANSPORTE Y MEZCLA DE LOS ALIMENTOS

La motilidad se refiere a la contracción y relajación de las paredes y esfínteres del tubo digestivo; muele, mezcla, fragmenta y prepara a los alimentos para la digestión y absorción.

El tejido contráctil es músculo liso, excepto el de la faringe, tercio superior del esófago y esfínter anal externo. El músculo liso es unitario, las células están eléctricamente acopladas por uniones estrechas.

El músculo circular en contracción reduce el diámetro, el longitudinal reduce la longitud.

Las contracciones pueden ser fásicas, es decir, periódicas y seguidas a la relajación; y pueden ser también tónicas, que mantienen un nivel constante de contracción o tono sin relajación.

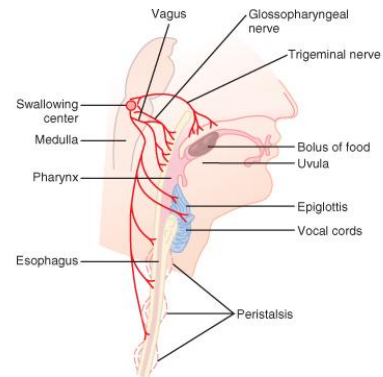
### Masticación y deglución

Las funciones de la masticación son: mezclar el alimento y lubricarlo, reducir el tamaño del alimento y mezclar los carbohidratos del alimento con la amilasa salival con el fin de facilitar la deglución e iniciar la digestión.

La masticación tiene componentes voluntarios e involuntarios, estos últimos involucran reflejos iniciados en la boca, sus mecanorreceptores envían información sensorial al tallo encefálico, que coordina la masticación.

La deglución se inicia de manera voluntaria en la boca, pero a partir de allí queda bajo control voluntario o reflejo.

El centro de la deglución está en el bulbo raquídeo y la región inferior de la protuberancia. Receptores somatosensoriales cerca de la faringe detectan la información sensorial, llega al centro bulbar de la deglución que coordina la información y envía impulsos motores a los músculos estriados de la faringe y porción alta del esófago.



© Elsevier, Guyton & Hall: Textbook of Medical Physiology 11e - www.studentconsult.com

#### Fases de la deglución

- Fase bucal. Lengua empuja el bolo alimenticio hacia la faringe, donde la activación de receptores somatosensoriales inicia el reflejo de la deglución involuntaria.
- Fase faríngea. Impulsa el bolo a través de la faringe desde la boca hasta el esófago mediante: a) el paladar blando se desplaza hacia arriba; b) la epiglotis se mueve para cubrir la laringe y está se desplaza hacia arriba contra la epiglotis evitando que el alimento entre en la tráquea; c) el esfínter esofágico alto se relaja, y d) la faringe inicia una onda peristáltica que impulsa al alimento hacia el esófago. Durante esta fase se inhibe la respiración. Toda la fase completa dura menos de 6 segundos, puesto que el centro de la deglución inhibe el centro de la respiración.
- Fase esofágica. El peristaltismo primario es la continuación de la onda peristáltica que se inicia en la faringe y que se propaga al esófago durante la fase faríngea. Si la onda peristáltica no logra mover hasta el estómago la totalidad del alimento se producirán ondas de peristaltismo secundario debidas a la distensión de las paredes esofágicas provocada por los alimentos retenidos. Estas ondas se inician en el sistema mientérico y en parte a los reflejos que empiezan en la faringe. Los nervios vagos actúan por conexiones con el sistema nervioso mientérico del esófago.

### Motilidad esofágica

El esfínter esofágico superior se abre, mediado por el reflejo de la deglución y permite que el bolo se desplace hacia el esófago. El músculo circular actúa como esfínter esofágico inferior o gastroesofágico. Cuando la onda peristáltica de deglución desciende por el esófago, induce una relajación receptiva del esfínter esofágico inferior. Suele mantener una contracción tónica que evita un reflujo del contenido gástrico.

### Motilidad gástrica

#### **Relajación receptiva**

La distensión de la parte baja del esófago por el alimento relaja el esfínter esofágico inferior, y simultáneamente también al estómago bucal. Esta aumenta el volumen del estómago bucal.

La relajación receptiva es un reflejo vagovagal (las ramas aferente y eferente están en el nervio vago). Los mecanorreceptores detectan la distensión del estómago, el SNC envía información eferente a la pared de

músculo liso del estómago bucal y la relaja. El neurotransmisor liberado de las fibras nerviosas posganglionares vagales es VIP (peptidérgicos).

### **Ritmo eléctrico básico**

Cuando el estómago contiene alimentos, la parte superior o media inicia débiles ondas peristálticas, las ondas de constricción u ondas de mezcla, que se dirigen hacia el antro, una cada 15 a 20 segundos. Se inician por el ritmo eléctrico basal de la pared digestiva y corresponde a “ondas lentas” eléctricas que aparecen de forma espontánea. Conforme avanzan aumentan de intensidad, dando lugar a potentes anillos peristálticos desencadenados por los potenciales de acción que impulsan el contenido astral hacia el píloro. Estos anillos excavan en el contenido alimentario del antro; como el orificio pilórico es pequeño, solo unos mililitros llegan al duodeno. Cuando una onda peristáltica se aproxima al píloro, el músculo se contrae, dificultando el vaciamiento. El anillo peristáltico contractivo móvil, junto con el retroceso por compresión “retropulsión” constituyen un mecanismo de mezcla.

### **Vaciamiento gástrico**

Las contracciones rítmicas del estómago son débiles para mezclar los alimentos con las secreciones; estas contracciones aumentan de intensidad, se inician en la parte media del estómago y se propagan caudalmente como potentes contracciones peristálticas anulares que vacían el estómago. A medida que se va vaciando, estas contracciones se inician en porciones cada vez más altas del cuerpo del estómago.

Cada onda peristáltica potente empuja varios mililitros de quimo hacia el duodeno. Las ondas peristálticas además de la mezcla gástrica ejercen una acción de bombeo.

Es probable que el control más importante del vaciamiento gástrico resida en las señales inhibitorias de retroalimentación inhibitorias del sistema nervioso enterogástrico y de retroalimentación inhibitorias hormonal por la CCK. Actúan cuando 1) existe una cantidad grande de quimo en el intestino delgado o 2) el quimo es demasiado ácido, contiene una cantidad excesiva de proteínas o grasa no procesada. La velocidad del vaciamiento gástrico está limitada por la cantidad de quimo que es capaz de procesar el intestino delgado.

### **Motilidad del intestino delgado**

#### **Fase interdigestiva y complejo motor migratorio**

Las funciones del intestino delgado son digerir y absorber nutrientes. La motilidad mezcla el quimo con enzimas digestivas y secreciones pancreáticas, expone nutrientes a la mucosa para su absorción e impulsar el quimo no absorbido al intestino grueso.

La frecuencia de las ondas lentas (12 ondas por minuto) determina la frecuencia de los potenciales de acción y las contracciones. La frecuencia tanto de las ondas y de las contracciones disminuye a nueve ondas por minuto. Aparecen contracciones cada 90 minutos, denominadas complejos bioeléctricos migrantes, que limpian el intestino delgado de residuos de quimo.

El intestino delgado posee inervación parasimpática que aumenta la contracción y simpática que la reduce. Algunos nervios liberan otros neurocrinos (peptidérgicos). Los neurocrinos parasimpáticos peptidérgicos son VIP, encefalinas y motilina.

#### **Fase digestiva**

El sistema nervioso intrínseco coordina las siguientes contracciones:

- Contracciones segmentales

Sirven para mezclar el quimo y exponerlo a las enzimas y secreciones pancreáticas. Una pequeña porción de intestino se contrae, rompe el quimo y lo envía en ambas direcciones, bucal y caudal. Esta porción se relaja y permite que el bolo vuelva a mezclarse sin desplazarlo a lo largo del intestino delgado.

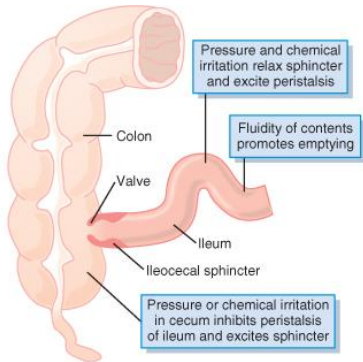
▪ Contracciones peristálticas

Sirven para impulsar el quimo a lo largo del intestino. En un punto del intestino delgado bucal (detrás) del bolo ocurre una contracción; simultáneamente, la porción caudal del bolo se relaja. La repetición de esta secuencia de contracción desplaza el quimo.

Los neurotransmisores implicados en la contracción bucal son acetilcolina y sustancia P, y los neurotransmisores que participan en la relajación caudal son VIP y óxido nítrico.

**Funciones del esfínter iliocecal**

La función de la válvula iliocecal es evitar el reflujo del contenido fecal del colon hacia el intestino delgado.



© Elsevier. Guyton & Hall: Textbook of Medical Physiology 11e - www.studentconsult.com

El ciego retrasará también el vaciamiento.

Estos reflejos están mediados por el plexo mientérico y por los nervios autónomos extrínsecos, en particular por la vía de los ganglios simpáticos prevertebrales.

El esfínter iliocecal suele estar ligeramente contraído y reduce la velocidad del vaciamiento ileal, salvo inmediatamente después de comer, ya que el reflejo gastroileal intensifica el peristaltismo en el íleon y permite el vaciamiento hasta el ciego.

El grado de contracción del esfínter y del peristaltismo del íleon terminal, están sometidos al control de reflejos del ciego. Cuando éste se distiende, se potencia la contracción del esfínter iliocecal y el peristaltismo ileal se inhibe, ambos retrasan el paso de nuevas cantidades de quimo. Además cualquier irritante en el

**Intestino grueso**

**Movimientos de mezcla y haustraciones**

Las constricciones circulares reducen la luz del colon; al mismo tiempo, el músculo longitudinal concentrado en las tenias cólicas se contrae. Estas concentraciones combinadas hacen que la porción no estimulada sobresalga hacia fuera, formando haustros.

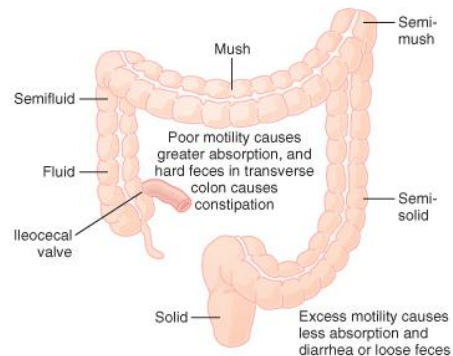
Al cabo de unos minutos aparecen nuevas contracciones australes en otros lugares próximos. El contenido fecal va siendo ordeñado y empujado lentamente.

**Propulsión segmentaria**

Aparecen en el ciego y colon proximal, la función es mezclar el contenido del intestino grueso.

**Propulsión en masa**

Su función es desplazar el contenido del intestino grueso a gran distancia 1 a 3 veces al día. En el colon distal se absorbe agua y el contenido fecal se convierte en una masa semisólida que incrementa la dificultad para desplazarla. Un movimiento final de masa impulsa el contenido fecal hacia el recto.



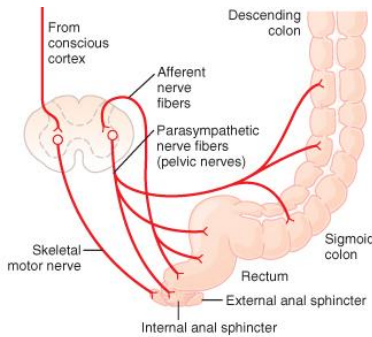
© Elsevier. Guyton & Hall: Textbook of Medical Physiology 11e - www.studentconsult.com

**Reflejos gastrocólico y duodenocólico**

Son iniciados como consecuencia de la distensión del estómago y del duodeno, facilitan la aparición de los movimientos en masa después de las comidas. Estos reflejos se originan en el sistema nervioso autónomo. La irritación del colon también puede desencadenar grandes movimientos de masa.

**Reflejo de defecación**

A medida que el recto se llena de heces, el músculo liso del mismo se contrae y el esfínter interno del ano se relaja, “reflejo rectosfinteriano”. Sin embargo, el esfínter anal externo (músculo estriado voluntario) aún sufre contracción tónica.



© Elsevier. Guyton & Hall: Textbook of Medical Physiology 11e - www.studentconsult.com

Una vez que el recto se llena hasta el 25% de su capacidad, se precipita la necesidad para defecar. El esfínter anal externo se relaja voluntariamente, el músculo liso del recto se contrae para generar presión y las heces son obligadas a salir.

El esfínter anal externo esta controlado por el nervio pudendo, que forma parte del sistema nervioso somático y se encuentra bajo control voluntario consciente.

La distensión del recto emite señales que se propagan al plexo mientérico.

La emisión de las heces debe reforzarse a través del reflejo parasimpático de la defecación, en el que intervienen los segmentos sacros de la médula espinal.

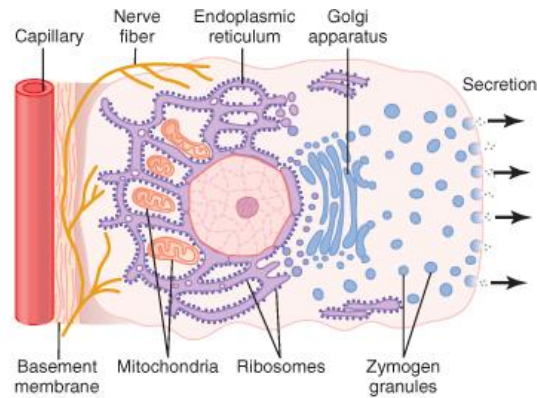
III. FUNCIONES SECRETORAS GASTROINTESTINALES

**Secreción salival**

**Anatomía funcional de las glándulas salivales**

Las glándulas salivales secretan 1L de saliva al día. Las principales glándulas productoras de saliva son: a) Parótida, tiene secreción serosa (enzimas); b) Submaxilar, mixta (enzimas y mucina) y c) Sublingual, también mixta (enzimas y mucosa).

Las glándulas salivales tienen aspecto de “racimo de uvas”; cada una con un acino en el extremo ciego de un conducto revestido por células acinares, estas últimas liberan saliva inicial que pasa a través de un conducto intercalado revestido de células ductales que modifican y alteran la concentración de electrolitos a la saliva inicial. Las células mioepiteliales se contraen y derraman saliva en el interior de la boca.



© Elsevier. Guyton & Hall: Textbook of Medical Physiology 11e - www.studentconsult.com

**Composición de la saliva**

Los componentes de la secreción salival son:

[HCO <sup>-3</sup> ] elevado	
[K <sup>+</sup> ] elevado	
[Na <sup>+</sup> ] bajo	
[Cl <sup>-</sup> ] bajo	
α-amilasa Lipasa lingual	sus funciones son la digestión inicial
Mucina	
Calicreína	participa en la síntesis de bradicinina (vasodilatador potente).

El sueño, la deshidratación y la atropina son factores que disminuyen la secreción salival.

**Funciones de la saliva**

Sus funciones son la lubricación y protección, ya que ayuda a eliminar el factor irritativo del tubo digestivo diluyendo o neutralizando las sustancias irritantes.

**Regulación de la función salival**

Las glándulas salivales están controladas por señales nerviosas parasimpáticas procedentes de los núcleos salivales superior e inferior del tronco encefálico. Estos núcleos están en la unión entre el bulbo y protuberancia y se excitan por estímulos gustativos, táctiles de la lengua, boca y faringe.

El área del apetito del encéfalo, regula en gran parte estos efectos, se encuentra en la proximidad de los centros parasimpáticos del hipotálamo anterior y responde a las señales de las áreas del gusto y el olfato de la corteza cerebral o amígdala.

La salivación también puede producirse como respuesta a los reflejos en el estómago y a la parte alta del intestino. La estimulación simpática también puede incrementar la salivación.

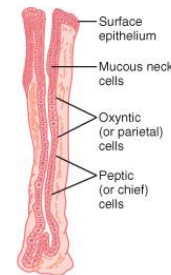
Las señales nerviosas parasimpáticas que inducen la salivación dilatan también a los vasos sanguíneos, facilitando el aporte nutritivo necesario para las células secretoras. Parte de este efecto vasodilatador se debe a la calicreína.

**Secreción gástrica**

**Glándulas gástricas y productos secretores**

Las aberturas de los conductos sobre la mucosa gástrica se denominan fosillas y están revestidas de células epiteliales.

En el cuerpo del estómago se encuentran:



© Elsevier, Guyton & Hall: Textbook of Medical Physiology 11e - www.studentconsult.com

Célula	Secreción
Parietal	HCl Factor intrínseco
Principales	Pepsinógeno

En el antro del estómago se encuentran:

Células G	Gastrina
Mucosas	Moco Pepsinógeno

**Mecanismo de secreción del ácido clorhídrico**

La membrana de la célula parietal frente al torrente sanguíneo se llama membranas basolaterales y la membrana que se enfrenta a la luz del estómago recibe el nombre de membranas apicales o lumbales. Las membranas apicales poseen H<sup>+</sup> - K<sup>+</sup> ATP-asa y canales Cl<sup>-</sup>. Las membranas basolaterales tienen Na<sup>+</sup> - K<sup>+</sup> ATP-asa e intercambiadores de Cl<sup>-</sup>-HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>. Las células contienen anhidrasa carbónica.

En el líquido intracelular, el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) procedente del metabolismo aerobio se combina con H<sub>2</sub>O para formar H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> en una reacción catalizada por la anhidrasa carbónica. El H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> se disocia en H<sup>+</sup> y HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>. El H<sup>+</sup> es secretado con Cl<sup>-</sup> en la luz estomacal y el HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> se absorbe en la sangre.

En la membrana apical se libera  $H^+$  hacia la luz del estómago por medio de  $H^+-K^+$  ATPasa. La acción de  $H^+-K^+$  ATPasa es un proceso primario activo que transporta  $H^+$  y  $K^+$  contra sus gradientes electroquímicos.

A través de la membrana basolateral se absorbe  $HCO_3^-$ . El  $HCO_3^-$  absorbido provoca la “marea alcalina” (elevación del pH), observada a veces en la sangre venosa después de una comida. Con el tiempo, este  $HCO_3^-$  es secretado nuevamente al tubo digestivo en las secreciones pancreáticas.

### **Secreción y activación del pepsinógeno**

Cuando el pH del contenido gástrico es bajo el pepsinógeno se convierte en pepsina, lo que inicia el proceso de la digestión de proteínas. En las fases cefálica y gástrica de la secreción de  $H^+$ , la estimulación vagal es el factor para la secreción de pepsinógeno.

El  $H^+$  también desencadena reflejos locales, estos garantizan la secreción de pepsinógeno a pH bajo.

### **Secreción enzimática y de moco**

Las células oxínticas secretan grandes cantidades de pepsinógeno pero más de un moco fluido, lubrica y protege la pared frente a la digestión de las enzimas gástricas. También secretan gastrina.

La totalidad de la mucosa gástrica existen las células mucosas gástricas superficiales que secretan moco muy viscoso, que cubre la mucosa con un grosor de 1mm y contribuye a lubricar y facilitar el desplazamiento de los alimentos.

Otra característica del moco es su alcalinidad

### **Factor intrínseco**

Este factor es una mucoproteína producida por la célula parietal. Es necesario para absorber la vitamina B12 en el íleon y su ausencia ocasiona anemia perniciosa; esta es la única secreción indispensable del estómago.

### **Gastrina: Biosíntesis, secreción, acciones y regulación** **Y liberación de histamina**

Es secretada por las células G del antro gástrico en respuesta a estímulos asociados a la ingestión de alimentos, como son la distensión del estómago, los productos proteicos y el péptido liberador de gastrina, secretado por los nervios de la mucosa gástrica durante la estimulación vagal. Sus acciones son: 1) estimulación de la secreción del ácido gástrico y 2) estimulación del crecimiento de la mucosa gástrica.

Es un polipéptido que se secreta en dos formas, G-34 y G-17, con 34 y 17 aminoácidos respectivamente. La carne u otros alimentos que contienen proteínas ejercen un efecto estimulador sobre las células de gastrina de las glándulas, estas la liberan y mezclan con los jugos gástricos, lo que provoca la liberación directa de histamina a las glándulas oxínticas profundas. La histamina actúa rápido y estimula la secreción de HCl.

### **Fases de la secreción gástrica**

#### **Fase cefálica**

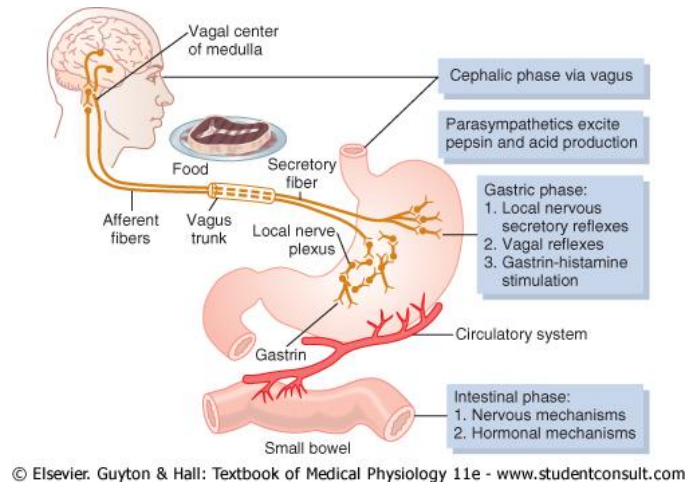
Tiene lugar antes de que los alimentos se ingieran. Se debe a la visión, olor, tacto o gusto de los alimentos. Las señales nerviosas pueden originarse en la corteza cerebral o en los centros del apetito y amígdala o del hipotálamo y se transmiten desde los núcleos motores dorsales de los nervios vagos al estómago. Suele aportar el 20% de la secreción gástrica.

### Fase gástrica

Cuando los alimentos penetran en estómago excitan: 1) reflejos vagovagales largos; 2) reflejos entéricos locales, y 3) el mecanismo de la gastrina. El conjunto de estos mecanismos estimula la secreción de jugo gástrico, mientras los alimentos permanecen en el estómago. Representa el 70% de la secreción gástrica total.

### Fase intestinal

La presencia de alimentos en el duodeno induce la secreción de pequeñas cantidades de jugo gástrico, en parte debida a las pequeñas cantidades de gastrina liberadas por la mucosa duodenal.



### Factores que inhiben la secreción gástrica

#### Realimentación negativa por exceso ácido

Cuando ya no se requiere HCl para activar pepsinógeno se suprime la secreción de HCl. El principal inhibidor es la reducción del pH.

El alimento es por sí mismo amortiguador de H<sup>+</sup>. Cuando hay alimento gran parte es amortiguado a medida que se secreta H<sup>+</sup>; el contenido gástrico se acidifica, pero no tanto como en la ausencia de amortiguador. El desplazamiento del alimento al intestino delgado reduce la capacidad amortiguadora y la secreción de H<sup>+</sup> reduce el pH; esta reducción suprime la secreción de gastrina, lo cual disminuye más la secreción de H<sup>+</sup>. Además se liberan somatostatina y GIP y ambas también inhiben la secreción de gastrina. También la secretina inhibe la secreción gástrica

#### Reflejo enterogástrico

La presencia de alimentos en el intestino delgado inicia un reflejo enterogástrico inverso, transmitido por el sistema nervioso mientérico, nervios simpáticos extrínsecos y por los vagos. La distensión del intestino delgado, la presencia de ácido en su porción alta, la presencia de proteínas o irritación de la mucosa pueden desencadenar este reflejo.

### Hormonas y péptidos gastrointestinales

#### Colecistocinina (CCK)

Su función es promover la digestión y absorción de grasa. Es un péptido de 33 aminoácidos, miembro de la familia “gastrina-CCK”.

Se secreta en las células I de la mucosa duodenal y yeyunal en respuesta a dos tipos de estímulos fisiológicos: a) monoglicéridos y ácidos grasos, y b) pequeños aminoácidos. Dichos estímulos indican la presencia de grasa y proteínas que deben digerirse y absorberse.

CCK asegura la secreción de enzimas y ácidos biliares apropiados para ayudar a esta digestión y absorción.

Las acciones principales de la CCK son las siguientes, y contribuyen a la digestión y absorción de grasas:

- Contracción de la vesícula biliar. El esfínter de Oddi vierte la bilis para emulsificar y solubilizar lípidos.
- Secreción de enzimas pancreáticas. Las lipasas del páncreas digieren los lípidos y los convierten en ácidos grasos, monoglicéridos y colesterol. La amilasa digiere carbohidratos.



- Inhibición del vaciamiento gástrico o prolongación. Asegura el tiempo adecuado para la digestión y absorción.

### Secretina

Péptido homólogo estructural del glucagon. Se libera en las células S del duodeno es respuesta a la presencia de H<sup>+</sup> y ácidos grasos en la luz del intestino delgado. Promueve la secreción del HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> pancreático, que neutraliza el H<sup>+</sup> para la digestión de grasas. También inhibe el efecto de la gastrina sobre las células parietales.

### Péptido gástrico inhibidor

Miembro de la familia secretina-glucagon. Es secretado por las células de la mucosa duodenal y yeyunal. Secretada por reacción a glucosa, aminoácidos y ácidos grasos.

Estimula la secreción de insulina e inhibe la secreción gástrica de H<sup>+</sup>.

### Somatostatina

Secretada por las células endocrinas de la mucosa digestiva como reacción al menor pH en la luz gastrointestinal. Inhibe la secreción de otras hormonas digestivas y la secreción de H<sup>+</sup> en el estómago. Como hormona pancreática inhibe la secreción de insulina y glucagon.

### Neurocrinos

Se sintetizan en el cuerpo de las células de las neuronas gastrointestinales. Un potencial de acción de la neurona libera el neurocrino.

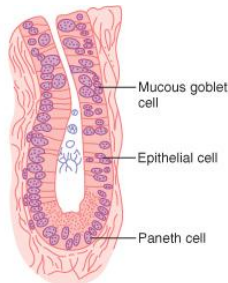
Los neurocrinos incluyen:

- Acetilcolina
- Noradrenalina
- Péptidos como VIP, GRP, encefalinas y neuropéptido Y y sustancia P.

## Secreciones del intestino delgado

### Jugo intestinal, control de la secreción y hormonas

Entre el píloro y la ampolla de Vater están las glándulas de Brunner, secretan moco alcalino en respuesta es estímulos táctiles o irritantes de la mucosa, estimulación vagal y hormonas gastrointestinales como la secretina.



© Elsevier. Guyton & Hall: Textbook of Medical Physiology 11e - www.studentconsult.com

La función del moco es proteger la pared duodenal frente a la digestión del jugo gástrico que procede del estómago. El moco contiene bicarbonato.

La estimulación simpática inhibe las glándulas de Brunner.

En la superficie de las criptas de Lieberkühn y las vellosidades intestinales están formadas por: 1) células caliciformes productoras de moco que lubrica y protege la superficie intestinal, y 2) los enterocitos que secretan agua y electrolitos (1 800 ml/día), estos se reabsorben en la superficie misma de las vellosidades.

Los enterocitos también poseen enzimas digestivas que digieren sustancias alimenticias: 1) peptidasas, que fraccionan péptidos en aminoácidos; 2) sacarasa, maltasa, isomaltasa y lactasa, que descomponen los disacáridos en monosacáridos, y 3) lipasa.

## Secreciones del intestino grueso

Predominan las células mucosas, secretan moco que contiene cantidades moderadas de bicarbonato secretado por las células epiteliales.

La secreción de moco esta regulada por la estimulación táctil y los reflejos nerviosos locales. Así como también la estimulación de los nervios pélvicos, que transportan inervación parasimpático al las dos terceras partes distales del intestino grueso.

El moco protege a la pared intestinal de tanto de excoiaciones como de bacterias y proporciona un medio adherente para la materia fecal.

#### IV. SECRECIÓN PANCREÁTICA

##### Secreción de enzimas

El producto de enzimas y bicarbonato fluye por el conducto pancreático que se une al colédoco, antes de su desembocadura en el duodeno por la papila de Vater, rodeada del esfínter de Oddi.

Enzimas proteolíticas

- a) Tripsina y quimiotripsinas. Degradan proteínas aunque sin llegar a librear aminoácidos.
- b) Carboxipolipeptidasa. Fracciona algunos péptidos en sus aminoácidos.
- c) Amilasa pancreática. Digiere los carbohidratos, hidroliza los almidones, el glucógeno y la mayor parte de los carbohidratos que resultan hasta formar disacáridos y trisacáridos.

Enzimas para la digestión

- 1) Lipasa pancreática. Hidroliza grasas neutras a ácidos grasos y monoglicéridos.
- 2) Colesterol esterasa. Hidroliza ésteres de colesterol.
- 3) Fosfolipasa. Separa los ácidos grasos de los fosfolípidos.

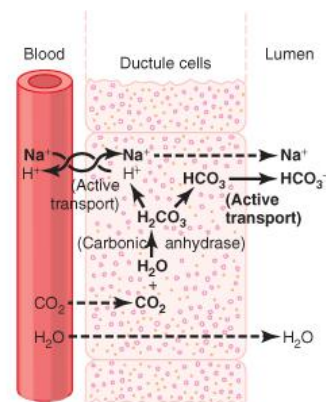
Las células pancreáticas sintetizan las enzimas proteolíticas en sus formas inactivas: tripsinógeno, quimiotripsina y procarboxipolipeptidasa, que se activan cuando alcanzan la luz del intestino. En su totalidad las enzimas se secretan en los ácinos pancreáticos.

##### Secreción de bicarbonato

Es secretado en las células epiteliales de los conductillos y conductos que nacen en los ácinos.

Etapas de la secreción

1. El ácido anhídrido difunde desde la sangre hacia el interior de la célula, se combina con agua bajo la influencia de anhidrasa carbónica, produciendo así  $H_2CO_3$ , este se disocia en  $HCO_3^-$  e  $H^+$ . El bicarbonato es transportado junto con  $Na^+$  hacia la luz del conducto.
2. El  $H^+$  del interior de la célula se intercambia por  $Na^+$  a través del borde sanguíneo. El  $Na^+$  es transportado hacia el conducto pancreático.



© Elsevier. Guyton & Hall: Textbook of Medical Physiology 11e - www.studentconsult.com

3. El movimiento del  $Na^+$  y  $HCO_3^-$  desde la sangre hacia la luz ductal crea un gradiente de presión osmótica, que se traduce en el paso de agua por ósmosis hacia el conducto pancreático, hasta que se forma una solución de bicarbonato casi completamente isosmótica.

**Regulación de la secreción pancreática**

**Estimulantes**

- Acetilcolina: liberada por las terminaciones nerviosas del nervio vago
- Colecistocinina: secretada por la mucosa del duodeno y las primeras porciones del yeyuno cuando los alimentos penetran en el intestino delgado
- Secretina: secretada por la mucosa duodenal y yeyunal cuando llegan alimentos ácidos al intestino delgado.

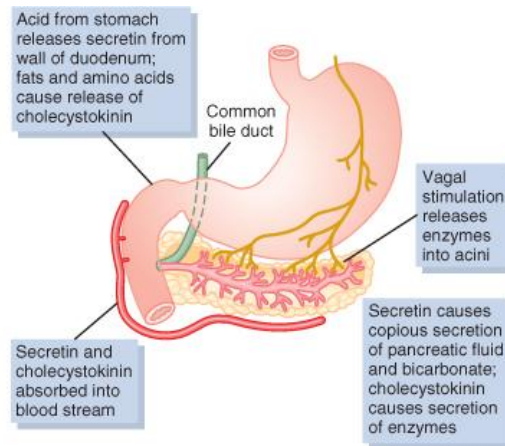
Las dos primeras sustancias estimulan la producción de enzimas pancreáticas digestiva; la secretina estimula la secreción de grandes cantidades de solución acuosa de bicarbonato.

**Fases de la secreción pancreática**

**Fases cefálica y gástrica**

Durante la cefálica las señales nerviosas que producen la secreción gástrica estimulan la liberación de acetilcolina en las terminaciones del vago, por lo que se secretan enzimas hacia los ácinos pancreáticos que aportan aproximadamente 20% de la secreción total de enzimas.

Durante la fase gástrica la estimulación nerviosa añade de 5 a 10% de la secreción total. En ambas fases la cantidad que llega al duodeno es escasa debido a la falta de secreción de agua y electrolitos.



© Elsevier. Guyton & Hall: Textbook of Medical Physiology 11e - www.studentconsult.com

**Fase intestinal**

Cuando el quimo penetra en intestino delgado la secreción pancreática se vuelve copiosa, sobre todo en respuesta a secretina.

**V. HÍGADO Y SECRECIÓN BILIAR**

**Generalidades y secreción biliar**

La digestión y absorción de lípidos requieren la presencia de bilis en el intestino delgado. La bilis es una mezcla de ácidos biliares, pigmentos biliares y colesterol.

El hígado produce y secreta bilis que se almacena en la vesícula biliar. En la luz intestinal los ácidos biliares emulsifican lípidos y los preparan para la digestión y luego solubilizan los productos de la digestión en micelas.

**Metabolismo de los ácidos biliares y colesterol**

Las células hepáticas sintetizan alrededor de 6g de sales biliares al día. El precursor de estas sales es el colesterol procedente de la dieta o sintetizado por los hepatocitos durante el metabolismo de las grasas. El colesterol se convierte primero en ácido cólico o ácido quenodesoxicólico en cantidades casi iguales. Estos ácidos se combinan a su vez, sobre todo la glicina y, en menor medida con la taurina y forman los ácidos biliares gluco y tauriconjugados. Las sales de estos ácidos, principalmente las sódicas se excretan por la bilis.

**Formación, composición de la bilis y transporte de la bilis**

El hígado secreta la bilis en dos fases: 1) Los hepatocitos secretan la porción inicial, que contiene ácidos biliares, colesterol y otros componentes orgánicos. Esta bilis pasa a los canalículos biliares entre los hepatocitos. 2) la bilis va de los canalículos hacia los tabiques interlobulillares, donde los canalículos desembocan en los conductos biliares terminales, estos se unen al conducto hepático y al colédoco. La bilis se vierte al duodeno o es llevada a la vesícula biliar a través del cístico.

A lo largo de los conductos biliares se añade a la bilis inicial una solución acuosa de sodio y bicarbonato secretado por las células epiteliales de los conductos y conductillos. Esta segunda secreción es estimulada por la secretina.

Los componentes de la bilis son:

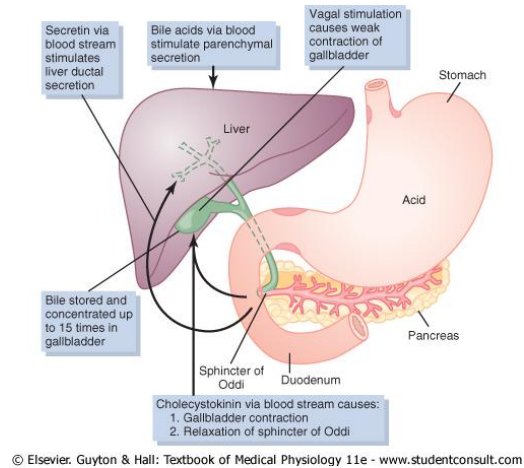
Agua	Ácidos grasos	Ca <sup>++</sup>
Sales biliares	Lecitina	Cl <sup>-</sup>
Bilirrubina	Na <sup>+</sup>	HCO <sup>-3</sup>
Colesterol	K <sup>+</sup>	

**Funciones de la bilis**

Una de las funciones del hígado es secretar bilis, la cual ejerce dos funciones importantes.

En primer lugar, participa en la digestión y absorción de las grasas, ya que estos cumplen dos misiones: 1) ayudan a emulsionar las grandes partículas de grasa de los alimentos, a las que convierten en partículas diminutas atacadas por las lipasas secretadas en el jugo pancreático, y 2) favorecen la absorción de productos finales de la digestión de las grasas (ácidos grasos, monoglicéridos, colesterol, etc.) a nivel de la mucosa intestinal.

En segundo lugar la bilis sirve como medio para la excreción de desechos sanguíneos, como la bilirrubina, producto final de la hemoglobina, y el exceso de colesterol.



**Regulación de la secreción biliar**

La expulsión de la vesícula biliar se inicia unos 30 minutos después de ingerir una comida. El principal estímulo para la expulsión de la bilis es la CCK, secretada por las células I en repuesta a aminoácidos, péptido pequeños y ácidos grasos. La contracción de la vesícula biliar y la relajación del esfínter de Oddi (una parte del músculo liso del conducto biliar en el punto donde penetra al duodeno) son efectos simultáneos de la CCK para que la bilis sea liberada por pulsos. La bilis se expulsa cuando el duodeno se relaja y la presión duodenal disminuye; cuando el duodeno se contrae y la presión se eleva en el duodeno, la bilis no puede expulsarse contra esta presión más alta.

VI. DIGESTIÓN DE LOS ALIMENTOS

**Hidrólisis de alimentos**

Los carbohidratos son polisacáridos y disacáridos formados por monosacáridos unidos entre si por condensación. Esto significa que se han eliminado un hidrógeno de uno de los monosacáridos y un ion hidroxilo del monosacárido siguiente. Los dos monosacáridos se combinan en los lugares donde se

produce la eliminación, a la vez que varios iones hidrógeno e hidroxilo se unen para formar una molécula de agua. Una vez digeridos el proceso anterior se invierte.

Las grasas de la dieta en su mayoría son triglicéridos. Durante la condensación de eliminan tres moléculas de agua

La digestión de los triglicéridos consiste en el proceso inverso, las enzimas que digieren grasas devuelven tres moléculas de agua, separando así los ácidos grasos del glicerol.

En cada enlace peptídico entre los aminoácidos, se elimina un ion hidroxilo de un aminoácido y un ion hidrógeno del siguiente aminoácido. Así los aminoácidos sucesivos están unidos por condensación y su digestión se debe a que las enzimas proteolíticas devuelven iones hidrógeno e hidroxilo de las moléculas de agua a las moléculas de proteínas para separarlas en los aminoácidos constituyentes.

### **Digestión de los carbohidratos**

Las células del intestino delgado sólo absorben monosacáridos como glucosa, galactosa o fructuosa. Primero se digiere el almidón hasta disacáridos y después hasta monosacáridos.

Una  $\alpha$ -amilasa inicia la digestión del almidón. La amilasa de la saliva comienza el proceso de la digestión del almidón a la boca, aunque su función es breve, puesto que el pH bajo del contenido gástrico la inactiva. La amilasa pancreática digiere las uniones internas 1,4-glucosídicas del almidón y crea tres disacáridos, dextrina  $\alpha$ -límite, maltosa y maltotriosa. Las enzimas del borde en cepillo intestinal,  $\alpha$ -dextrinasa, maltasa y sucrasa digieren adicionalmente estos disacáridos hasta monosacáridos. El producto final de cada uno de los pasos digestivos es la glucosa, un monosacárido que puede ser absorbido por las células epiteliales.

Los tres disacáridos del alimento son trealosa, lactosa y sucrosa. No requieren el paso de digestión por amilasa ya que son disacáridos. Las enzimas trealasa, lactasa y sucrosa digieren cada disacárido en monosacáridos. La trealasa digiere trealosa en dos moléculas de glucosa; la lactasa digiere la lactosa en glucosa y galactosa; y la sucrasa digiere sucrosa para formar glucosa y fructuosa.

### **Digestión de proteínas**

La pepsina inicia la digestión de proteínas es el estómago y la concluyen las proteasas pancreáticas en el intestino delgado.

Las endopeptidasas (pepsina, tripsina, quimiotripsina, y elastasa) hidrolizan las uniones peptídicas internas entre las proteínas.

Las exopeptidasas (A y B) hidrolizan un solo aminoácido a la vez desde un extremo C-terminal de proteínas y péptidos.

Las células principales secretan pepsinógeno que a pH gástrico se activa hacia pepsina y su acción termina cuando el quimo entra al duodeno. Cabe mencionar que la pepsina no es indispensable para la digestión de proteínas.

El primer paso de la digestión es la activación de tripsinógeno a tripsina por la enterocinasa, la cual produce activación de precursores para activar cinco enzimas: tripsina, quimiotripsina, elastasa, carboxipeptidasa A y B. Estas hidrolizan las proteínas hasta aminoácidos y péptidos. Después las proteasas se digieren entre si dando lugar a más péptidos y aminoácidos.

### **Digestión de grasas**

Comienza en el estómago, bate y mezcla los lípidos e inicia la digestión enzimática. El batido rompe los lípidos y los transforma en gotas pequeñas. Las proteínas emulsifican gotas de grasa.

La lipasa lingual (de la secreción salival), inicia la digestión de lípidos e hidroliza el 10% de triglicéridos.

En el intestino delgado CCK hace más lento el vaciamiento gástrico en presencia de lípidos.

Los ácidos biliares junto con lisolecticina y productos de la digestión de lípidos rodean y emulsifican los lípidos. La emulsificación crea pequeñas gotas de lípidos dispersas en la solución intestinal acuosa. El propósito de esto es suministrar una gran área para la acción de enzimas pancreáticas. Forman un monoglicérido y dos moléculas de ácido graso.

La colipasa se produce en los jugos pancreáticos que se activa por acción de la tripsina; desplaza los ácidos biliares de la interfase-lípido agua y se une a la lipasa pancreática para proceder la digestión.

La hidrolasa éster de colesterol es secretada como enzima activa e hidroliza los ésteres de colesterol para convertirlos en colesterol libre y ácidos grasos. También hidroliza las uniones éster de los triglicéridos para producir glicerol.

La fosfolipasa A2 se activa mediante tripsina e hidroliza fosfolípidos para formar lisolectina y ácidos grasos.

Los productos finales son monoglicéridos, ácidos grasos, colesterol, lisolectina y glicerol.

## VII. ABSORCIÓN GASTROINTESTINAL

La absorción es el movimiento de nutrientes, agua y electrolitos desde la luz del intestino hacia la sangre.

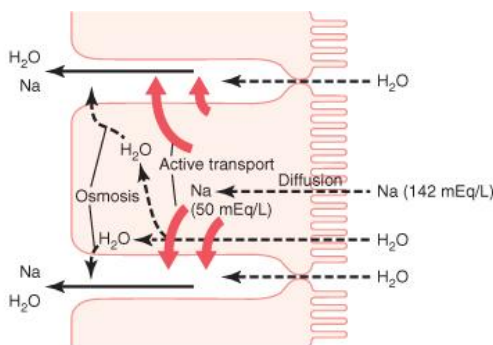
### Absorción de agua

El agua se transporta en su totalidad a través de la membrana por difusión que obedece las leyes de la ósmosis. Cuando el quimo está bastante diluido el paso de agua a través de la mucosa hacia los vasos sanguíneos de las vellosidades es casi total.

También cuando la solución que alcanza el duodeno desde el estómago es hiperosmótica se transfiere agua desde el plasma.

### Absorción de iones

La absorción del sodio es el transporte activo del ion desde el interior de las células epiteliales hasta los espacios paracelulares. Dicho proceso necesita energía catalizada por trifosforasas de adenosina.



© Elsevier. Guyton & Hall: Textbook of Medical Physiology 11e - www.studentconsult.com

Parte del sodio se absorbe al mismo tiempo que el cloro, estos son arrastrados pasivamente por las cargas positivas del sodio.

En las primeras porciones del intestino delgado la absorción de iones cloro es rápida y sucede por difusión.

Los iones bicarbonato se resorben en las primeras porciones del intestino delgado debido a grandes cantidades del mismo que contienen la secreción pancreática y la bilis.

Cuando se absorbe el sodio, se secretan hacia la luz intestinal cantidades moderadas de hidrógeno, que se intercambian por aquellos. A su vez estos hidrógenos se combinan con bicarbonato para formar ácido carbónico que se disocia en agua y anhídrido carbónico. El agua forma parte del quimo pero el anhídrido carbónico pasa a la sangre y es eliminado por los pulmones.

### Absorción de carbohidratos

En su mayoría todos se absorben en forma de monosacáridos, como la glucosa.

El transporte inicial de sodio a través de las membranas basolaterales de las células del epitelio intestinal es el que proporciona la fuerza para el desplazamiento de la glucosa a través de las membranas. La glucosa se transporta por un mecanismo de cotransporte del sodio.

La fructuosa se absorbe por difusión facilitada, al penetrar en la célula se fosforila en glucosa que se transporta a la sangre.

### **Absorción de proteínas**

Casi todas se absorben a través de las membranas lumbales de las células epiteliales intestinales en forma de dipéptidos, tripéptidos y algunos aminoácidos libres. La energía para la mayor parte de este transporte proviene del cotransporte del sodio. Cuando el sodio entra a la célula a favor de gradiente arrastra los péptidos y aminoácidos.

### **Absorción de grasas**

Los productos finales de la digestión de las grasas son solubles en el quimo y se transportan a las microvellosidades, penetrando en las hendiduras que aparecen entre estas cuando se mueven. Difunden al exterior de las micelas de sales biliares y pasan a la célula epitelial porque son solubles a las membranas de esas células. Dentro son captados por el retículo endoplásmico liso donde se forman nuevos triglicéridos que viajan con los quilomicrones para desembocar en el torrente circulatorio.

### **Absorción de intestino grueso y formación de heces**

La mayoría de agua y electrólitos se absorben en el colon (mitad proximal), las heces excretadas contienen menos de 100 ml de líquido.

La absorción de iones sodio y cloro crea un gradiente osmótico a través de la mucosa y del intestino grueso que, a su vez, favorece la absorción de agua.

Además la mucosa del intestino grueso secreta bicarbonato que intercambia por iones cloro; el bicarbonato ayuda a neutralizar los productos terminales ácidos de la acción de las bacterias en el intestino grueso, que a su vez, favorece la absorción de agua.

El intestino grueso puede absorber máximo de 5 a 8 litros de líquidos y electrolitos al día.

La parte distal de colon funciona principalmente como depósito de heces hasta su correspondiente excreción.

Las heces están formadas por tres cuartas partes de agua y una cuarta por materia sólida, que a su vez contiene 30% de bacterias muertas, 20% de grasas, de 10 a 20% de materia inorgánica, 2 a 3% de proteínas y 30% de productos no digeridos. El color pardo de las heces esta dado por la estercobilina y la urobilina, que derivan de la bilirrubina. El olor es a consecuencia de la actividad bacteriana.

FUENTES:

1. GUYTON AC Y HALL JE. *Tratado de fisiología médica*. Elsevier Saunders. 11ª edición. México 2006.
2. COSTANZO, Linda. *Fisiología*. Mc Graw-Hill Interamericana. 1ª edición. Pennsylvania USA 1998.
3. GARTNER, Leslie. *Texto y Atlas de Histología*. 2ª edición. Mc Graw-Hill. México 2002.
4. [www.studentconsult.com](http://www.studentconsult.com)