



Tercer semestre

# Bioquímica metabólica

Integración, importancia y control  
del metabolismo

## Unidad 3

Programa desarrollado





# Integración, importancia y control del metabolismo

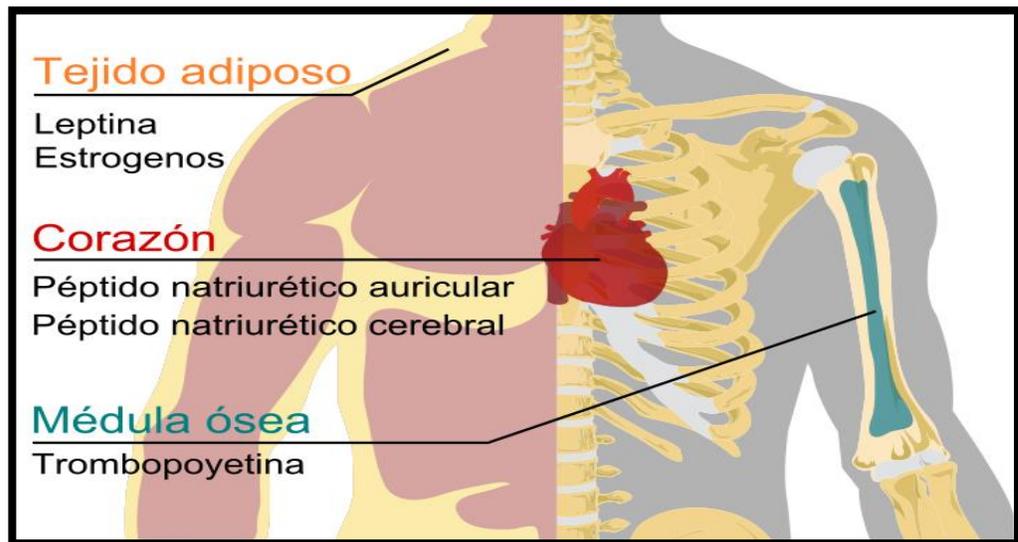


Figura de Regulación del metabolismo



Índice	
Presentación.....	4
Competencia específica.....	5
Logros.....	5
3.1. Ciclo alimentación-ayuno.....	6
3.1.1 Fase de alimentación.....	7
3.1.2 Fase de ayuno.....	8
3.1.3 Estado de inanición.....	11
3.1.4 Regulación hormonal.....	13
3.2. Particularidades metabólicas en diferentes órganos.....	31
3.2.1. Tubo digestivo.....	32
3.2.2. Hígado.....	35
3.2.3. Músculo.....	37
3.2.4. Tejido adiposo.....	39
3.2.5. Cerebro.....	44
2.6. Riñones.....	46
Cierre de unidad.....	47
Para saber más.....	48
Actividades.....	50
Fuentes de consulta.....	51



## Presentación

En esta tercera unidad de bioquímica metabólica, revisarás la importancia del metabolismo e integrarás las rutas metabólicas de los macronutrientes con los ciclos alimentación-ayuno.

Revisarás también ampliamente las particularidades metabólicas de diversos órganos y el control que el sistema endocrino ejerce sobre el metabolismo

Esta unidad es parte fundamental ya que integra todo lo aprendido en las unidades anteriores y relaciona al metabolismo con los ciclos circadianos del organismo.

Está organizada de la siguiente manera:

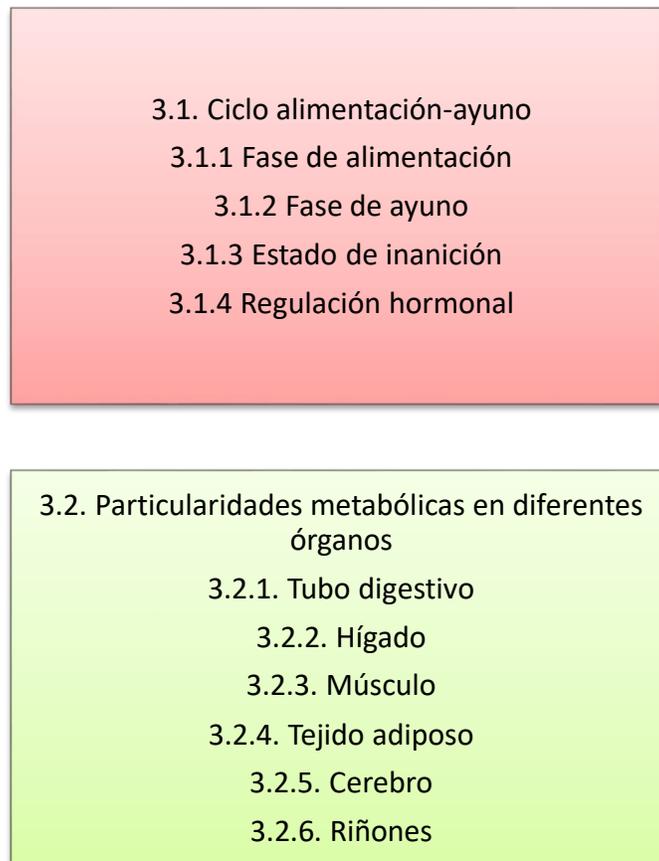


Figura 1. Organización de la unidad 3



## Competencia específica

Analiza la importancia del metabolismo relacionando las fases de alimentación-ayuno y la regulación hormonal para explicarlo con una visión integral.

## Logros

Identifica las fases del ciclo de alimentación-ayuno

Explica la regulación hormonal y su relación con el metabolismo

Distingue las particularidades metabólicas de diferentes órganos



### 3.1. Ciclo alimentación-ayuno

El cuerpo humano requiere de energía constante para su funcionamiento vital a lo largo del día y la noche, sin embargo es imposible estar comiendo a todas horas, por lo que mediante un control impresionantemente adecuado para la activación e inhibición de las rutas metabólicas anteriormente revisadas, la vida es posible.

La alimentación es un proceso voluntario que todos los individuos realizan con el fin de mantener la vida y una buena nutrición.

El ayuno se define por la restricción calórica en un tiempo prolongado, en los periodos de ayuno no hay acceso a nutrientes exógenos.

El organismo humano saludable tiene diferentes mecanismos para poder adaptarse y subsistir en periodos de ayuno, los mecanismos regularmente se presentan en forma de cascada en donde se activan las rutas de producción de glucosa (glucogenólisis, gluconeogénesis) inicialmente y demás rutas.

Además de activar o inhibir ciertas hormonas clave, en el ayuno el organismo trata de ahorrar energía por lo que las hormonas que se activan tienen el objetivo de acentuar el hipometabolismo disminuyendo los niveles de hormonas anabólicas como es el caso de la insulina y de inhibir las hormonas catabólicas.

En el ciclo de alimentación-ayuno se identifican tres etapas fundamentales las cuales se resumen en el siguiente esquema: posprandial, de ayuno temprano (etapa post-absortiva) y de estado de inanición que se subdivide a su vez en temprano y tardío.

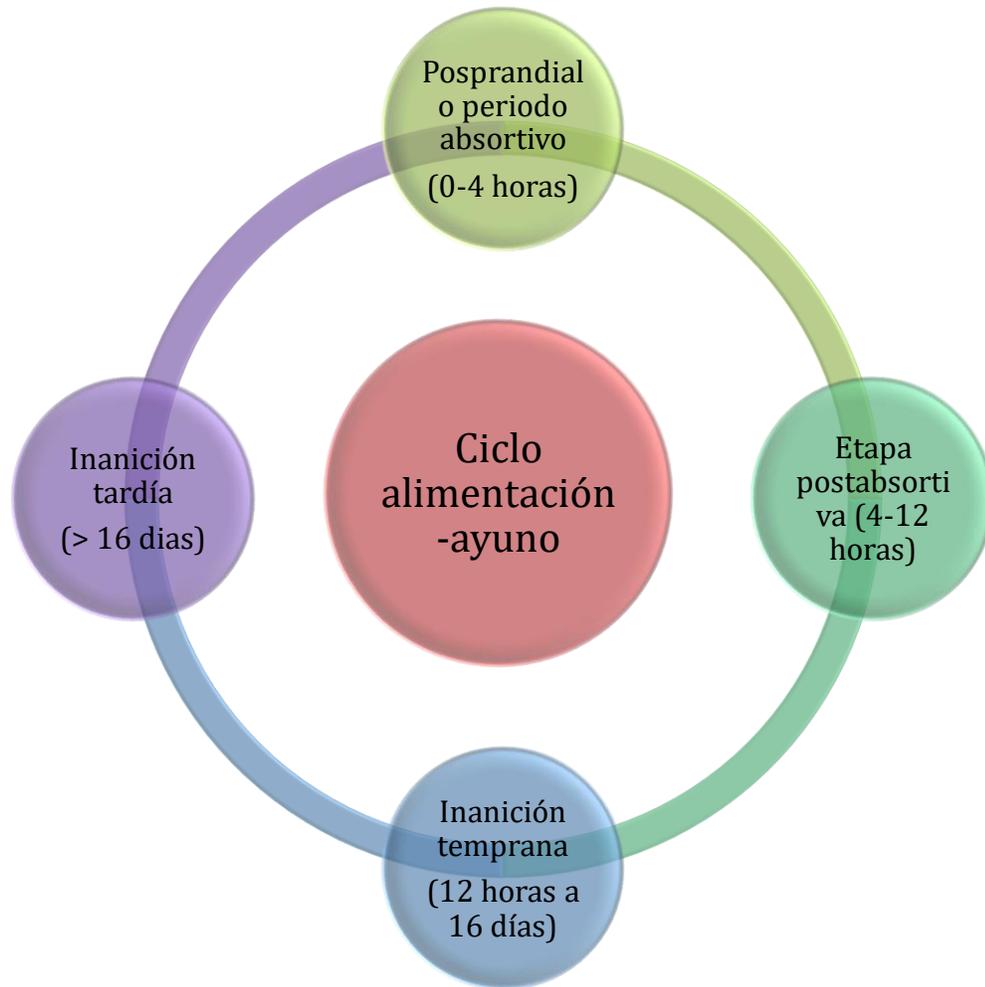


Figura 2. Ciclo alimentación-ayuno

La homeostasis de la glucosa es un proceso muy dinámico y perfectamente regulado. Entre las etapas no hay un punto preciso que esté determinado para el término e inicio de cada una ya que la disponibilidad de sustratos y la regulación hormonal están cambiando frecuentemente.

A continuación se describirán con mayor detalle las fases del ciclo.

### 3.1.1 Fase de alimentación

La fase de alimentación también denominada fase posprandial es la etapa que corresponde a las primeras 4 horas después de haber ingerido algún alimento calórico.

Antes de explicar lo que sucede en esta fase, es necesario conocer lo siguiente para comprender mejor.



La insulina es una hormona secretada por el páncreas, específicamente por las células B de los islotes de Langerhans. El patrón normal de la secreción de esta hormona se divide en insulina basal y pulsátil.

La secreción de *insulina basal* tiene como función principal regular la producción hepática de glucosa, en coordinación con el glucagón. Esto permite que la glucosa en ayuno se mantenga en rangos normales (70-100), además de limitar la degradación de las grasas.

Por otra parte, la *insulina pulsátil* es generada cuando se ingieren alimentos y a su vez se divide en dos fases:

- Fase de secreción rápida (5-10 minutos): su función es parar la producción hepática de glucosa suprimiendo la actividad del glucagón con la participación de la amilina y la GLP-1.
- Fase de secreción lenta (>10 minutos): su función es promover la síntesis y almacenamiento de macromoléculas. La fase termina cuando la glucemia (glucosa en sangre) es inferior a 100 mg/dl, es decir cuando regresa a sus cifras normales. Mientras la glucemia esté por arriba de 100 mg/dl la secreción de insulina seguirá.

La secreción nocturna de insulina basal es más baja durante la primera mitad de la noche y más alta en la segunda mitad.

Después de esta explicación, lo que sucede en la fase posprandial en un organismo sano es lo siguiente.

Con la ingestión del alimento hay un aumento en la glucosa plasmática, esta elevación produce a su vez un aumento en la secreción de insulina denominada insulina pulsátil la cual da lugar a la síntesis de macromoléculas (glucógeno, triacilglicerol y proteínas) por lo tanto se le considera a esta una fase anabólica.

En el músculo y tejido adiposo también existe una captación de glucosa únicamente con la participación de la insulina, ya que estos dos órganos son insulino dependientes.

Al mismo tiempo, como la glucosa es el único combustible para el encéfalo ésta es captada por éste sin necesidad de insulina.

### 3.1.2 Fase de ayuno

Es un periodo que sucede entre 4 y 12 horas después de una comida o después de la ingesta de un alimento energético, y se le denomina también periodo postabsortivo.

Como se explicó anteriormente, las células requieren de energía constantemente durante el día y la noche, por lo que si no hay ingesta calórica la homeostasis se logra con la activación de rutas metabólicas y el uso de reservas energéticas.



Entonces ¿qué sucede con el organismo después de 4 horas de no ingerir alimentos calóricos, es decir después de la etapa posprandial? a continuación se describe lo que ocurre.

El metabolismo nunca se detiene, las células siempre están en un constante recambio de energía, macronutrientes y de nutrientes inorgánicos, hay órganos y sistemas como el cerebro y el sistema nervioso que diariamente necesitan de un aporte de 170 g de glucosa, pero si la persona por cualquier motivo no ha comido durante un día, de todas maneras ese aporte deberá ser cubierto mediante la activación de otras rutas, es decir las células deben ser nutridas todo el tiempo, de lo contrario se presentan problemas y manifestaciones clínicas propias de enfermedades por deficiencia.

Durante el ayuno, la primera reacción del organismo es la de obtener energía mediante la glucogenólisis, ya que la reserva de glucógeno tanto hepático como muscular representa una cantidad suficiente para periodos interdigestivos cortos.

Cuando se activa la glucogenólisis comienza la degradación del glucógeno hepático en donde se puede obtener hasta 75 gramos de glucógeno, el tejido muscular tiene otra reserva de glucógeno que representa aproximadamente 150 gramos pero el inconveniente es que no puede utilizarse inmediatamente ya que en el músculo estriado no está presente la enzima glucosa-6-fosfatasa la cual es necesaria para que la glucosa se encuentre de manera libre y pueda ser metabolizada.

Por lo que se activa la ruta de la gluconeogénesis en donde el lactato producido por el músculo a partir de su reserva de glucógeno ingresa al hígado para sintetizar glucosa activando el ciclo de Cori (fig. 3), a partir de aquí, queda disponible para su uso en los tejidos periféricos.

Otros sustratos gluconeogénicos son algunos aminoácidos como la alanina y glutamina, además del glicerol que se utilizan en el hígado y en menor grado a nivel renal.

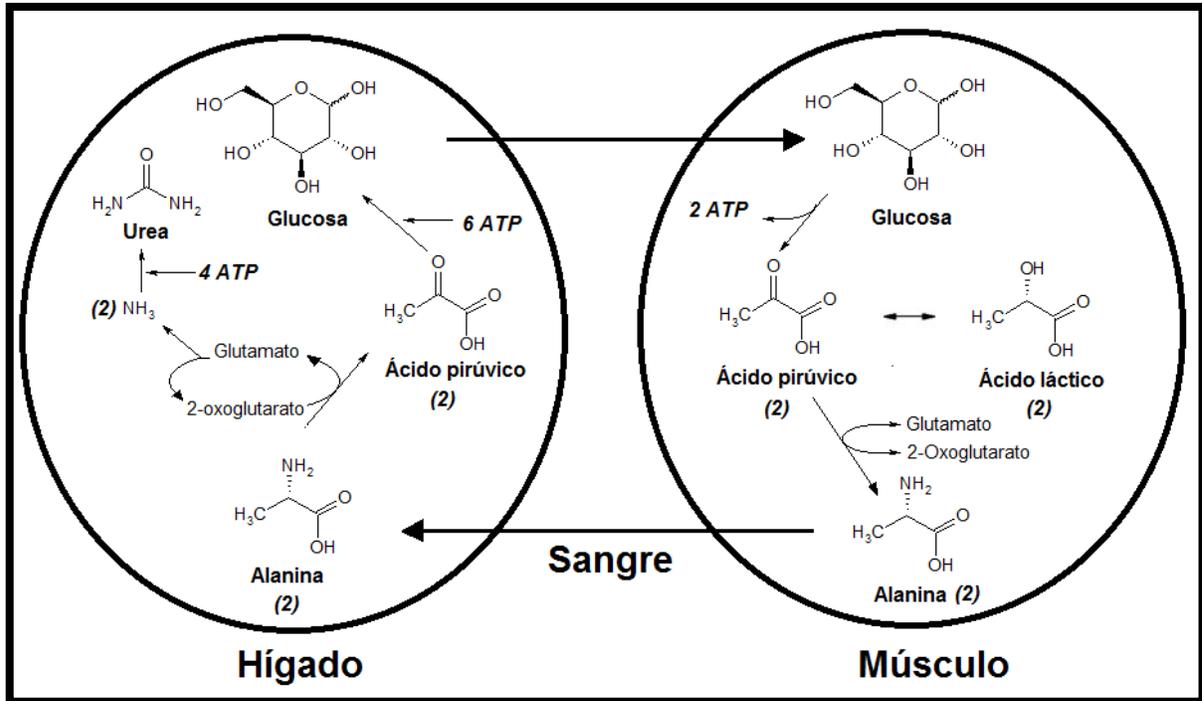


Figura 3. Ciclo de cori

Para la activación de la ruta de la glucogenólisis y gluconeogénesis, hay un estímulo que influye directamente ahorrando energía y disminuyendo el metabolismo cuando los requerimientos de glucosa no se satisfacen: la disminución de la glucemia (glucosa en sangre).

Cuando los tejidos dependientes de glucosa no se satisfacen ocurre esta reducción de glucemia (hipoglucemia) que ocurre aproximadamente antes de las 15 horas de ayuno. Los depósitos de glucógeno solo duran entre 12 y 24 horas.

Cuando la glucemia disminuye por consiguiente la insulina se secreta en menor cantidad y las hormonas contrarreguladoras (glucagon, cortisol, hormona del crecimiento y catecolaminas) se activan. Esto con el fin de que se activen intensivamente las vías de la gluconeogénesis y glucogenólisis.

El glucagon es la hormona contrarreguladora que se activa inicialmente, las demás se activan solamente cuando la hipoglucemia es severa.

Si el ayuno persiste, la ruta siguiente es la hidrólisis de los depósitos de triacilglicerol que libera ácidos grasos entre ellos el glicerol, el cual entra a la ruta de la gluconeogénesis, igual que el lactato y algunos aminoácidos.



### 3.1.3 Estado de inanición

Esta fase se divide en dos etapas: la precoz o temprana y la etapa tardía.

#### **Etapa temprana**

La gluconeogénesis a partir del lactato no es suficiente para conservar la homeostasis si aún el organismo se encuentra en ayuno; es por esto que la gluconeogénesis se activa, comenzando con la proteólisis, la cual también se ve regulada por hormonas; la noradrenalina y el cortisol activan esta vía de la proteólisis liberando principalmente alanina y glutamina.

Las necesidades diarias de energía en un humano de 70 kg en ayuno y reposo se satisfacen con la movilización de 150 g de triglicéridos del tejido adiposo en la forma de ácidos grasos libres. Éste se ve estimulado por la reducción de la insulinemia y el aumento absoluto o relativo de las concentraciones de glucagón y otras hormonas contrarreguladoras (Ruy-Díaz, Barragán & Gutiérrez, 2013).

Con la producción de glucosa a partir de aminoácidos se degradan aproximadamente 75 gramos de proteínas produciendo una proteólisis, esto ayuda a activar la disminución de la insulina y a su vez el cortisol aumenta. Esto ocurre los primeros dos a cuatro días de ayuno.

Debido a la proteólisis muscular, hay una elevación de aminoácidos en la sangre que sirven para que por medio de la gluconeogénesis se produzca glucosa. En esta fase los aminoácidos se convierten en la mayor fuente de energía.

Además de los aminoácidos, el glicerol que proviene de la hidrólisis del tejido adiposo participa como sustrato gluconeogénico para producir glucosa.

En esta etapa, la glucosa producida se va directamente hacia el encéfalo. Mientras que los ácidos grasos liberados en la hidrólisis se unen para formar cuerpos cetónicos (cetoglutarato, acetato y dihidroxibutirato) los cuales se utilizan en los tejidos periféricos y el mismo encéfalo para obtener energía.

#### **Etapa tardía**

Esta etapa es cuando el organismo se encuentra completamente sin ingerir ningún alimento calórico por al menos 16 días y hasta el fallecimiento. En esta etapa ya hay manifestaciones clínicas notorias.

En esta fase, la proteólisis disminuye su velocidad de acción, ya que el cerebro y el tejido nervioso se adaptan a utilizar cuerpos cetónicos en vez de los productos originados en la gluconeogénesis.



Durante el ayuno prolongado las grasas se convierten en la principal fuente de energía (90% de las calorías del gasto energético basal).

Este cambio en el sustrato principal de energía se hace necesario para que muchos tejidos puedan seguir funcionando, sin embargo, las manifestaciones clínicas se hacen presentes entre ellas, el deterioro y la pérdida de importantes funciones corporales así como la disminución en la temperatura corporal, gasto cardiaco, la actividad del sistema nervioso y del metabolismo en sí.

Lo que el organismo trata de realizar es sobrevivir con lo poco que tiene para conservar por los menos las funciones vitales, esto hace que los seres humanos puedan sobrevivir durante periodos amplios de ayuno. Cuando el ayuno continúa y se pierde un 30 o 40% es muy difícil que el organismo aun continúe con vida.

En la siguiente tabla se resumen las etapas del ayuno, las hormonas participantes y los sustratos de donde se obtiene energía por cada fase.

Tabla 1 Fases del ayuno

Estado	Tiempo	Sustratos empleados	Hormonas que participan
Posprandial	0 a 4 horas	Glucosa	Se activa insulina
Ayuno (postabsortivo)	4-12 horas después de la ingestión de una comida.	Cerebro: glucosa Músculo e hígado: ácidos grasos	Se activa glucagon, disminuye insulina.
Inanición (precoz)	12 horas hasta 16 días	Cerebro: glucosa y cuerpos cetónicos Músculo e hígado: ácidos grasos	Se activa glucagón y noradrenalina, cortisol.
Inanición (tardía)	Más de 16 días	Cerebro: cuerpos cetónicos y glucosa en menor cantidad Músculo: ácidos grasos	Se activa glucagón y noradrenalina.



Para ampliar tus conocimientos, puede ver el siguiente video.



### Bioquímica - Ciclo de Cori

<https://www.youtube.com/watch?v=66xnX2fid6s>

### 3.1.4 Regulación hormonal

Los sistemas reguladores que intervienen en la modulación de ingesta y el control de peso corporal son varios, como los compuestos neuroquímicos, los depósitos de grasa, la masa proteica, las hormonas y los factores post-ingesta.

La regulación se produce a corto y largo plazo. La primera controla el consumo de alimentos entre comidas, y la segunda depende de la disponibilidad de los depósitos adiposos y las respuestas hormonales (Mahan, Escott-Stump, & Raymon., 2012).

Los factores que controlan el hambre, apetito y saciedad son denominados controles a corto plazo. La saciedad está fuertemente relacionada con el estado posprandial (biosíntesis de macromoléculas).

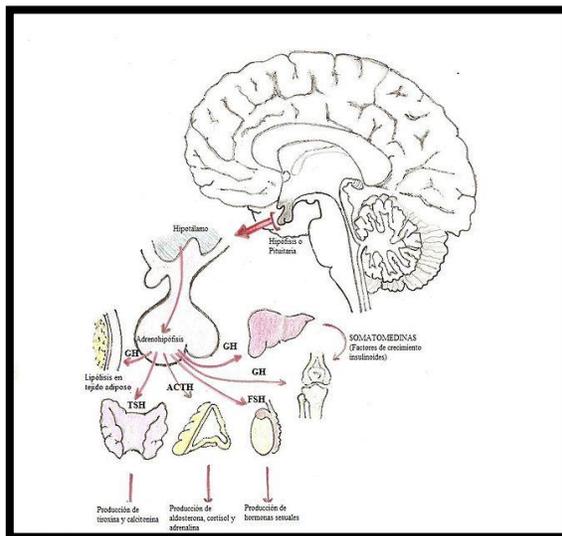


Figura 4. Sistema endocrino

El hambre se relaciona con el estado postabsortivo en el que se movilizan las reservas (catabolismo).

El mecanismo por el cual existe la comunicación entre los aparatos y sistemas del organismo es el denominado sistema endocrino.

La función del sistema endocrino es la de regular el equilibrio del medio interno y también para controlar diversos procesos, entre ellos el metabolismo (Ascencio, 2012).

El sistema endocrino se constituye por glándulas que se clasifican en: glándulas endocrinas y glándulas endoexocrinas.



Además de tejidos no glandulares como el tejido adiposo y el tejido nervioso que participa activamente con el sistema endocrino. Las glándulas tienen como función la síntesis y secreción de hormonas que son las encargadas de activar o inhibir las reacciones del organismo y su objetivo es un número determinado de células que se denominan órganos o células diana (fig. 5).

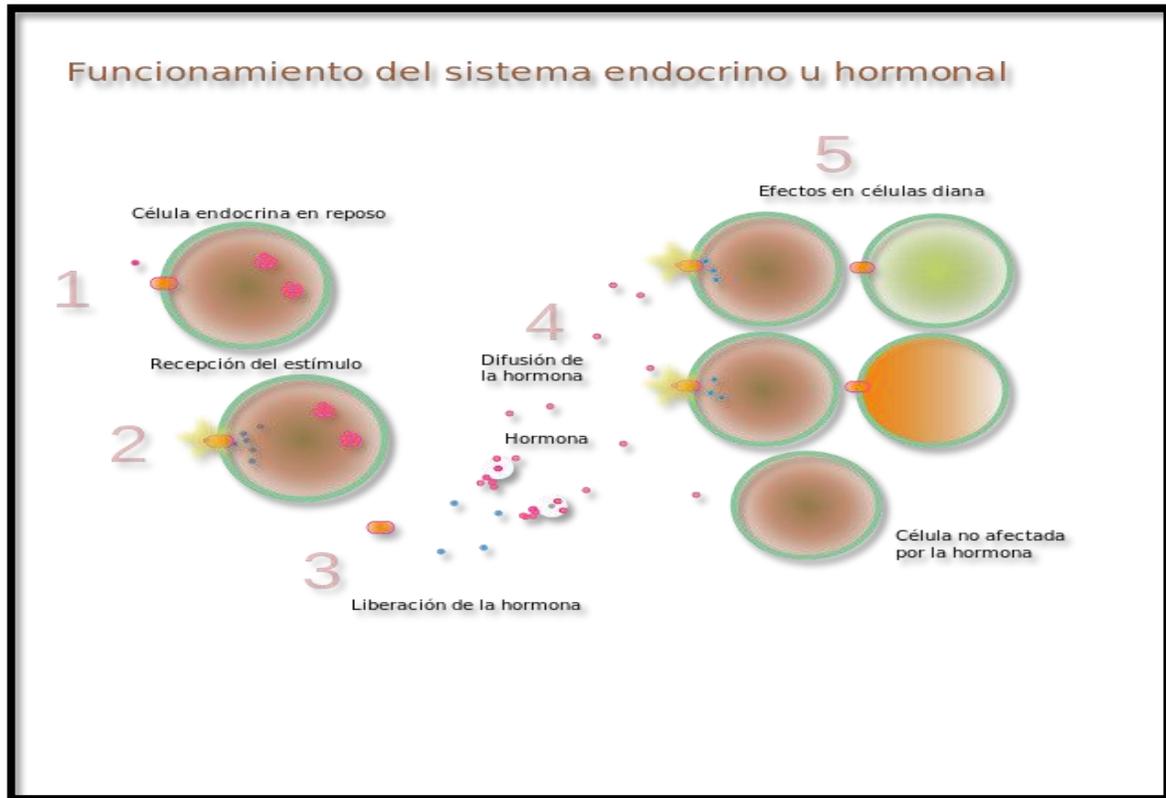


Figura 5. Funcionamiento del sistema endocrino. Ver detalle de imagen en: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Esquema\\_de\\_funcionamiento\\_hormonal.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Esquema_de_funcionamiento_hormonal.svg)

La gran variedad de acciones que ejercen las hormonas están mediadas por su unión a proteínas localizadas en las células diana, los receptores hormonales. Según su localización, estos receptores se pueden dividir en dos grandes grupos: los que se localizan en la membrana celular y los que se localizan en el núcleo (Aranda, A. 2015).

La síntesis de hormonas se realiza en los ribosomas de la célula, todas son de constitución peptídica por lo que el proceso mediante el cual se sintetizan se denomina traducción proteica.

Mediante la traducción proteica, la proteína resultante puede no ser la hormona madura, sino una forma más larga (prehormona o prohormona) que se procesará posteriormente. (Aranda, A., 2015).



En este proceso hay transcripciones de ADN, cuando hace falta algún gen que participe en la producción de una hormona, se desencadenan manifestaciones clínicas importantes.

Después de realizarse la transcripción y sintetizar la prehormona o preprohormona, o bien las hormonas, se agrupan en los gránulos en donde esperan solamente la señal para ser liberadas cuando el organismo lo necesite.

Una vez secretadas a la sangre, las hormonas circulan por el plasma sanguíneo, bien de forma libre o con la ayuda de proteínas transportadoras.

Las glándulas endocrinas que son las que no tienen conductos y por lo tanto su secreción es interna, es decir, hacia el torrente sanguíneo. Se les denomina glándulas endócrinas, tal es el caso de la tiroides.

Las glándulas endoexócrinas son las que tienen secreción mixta ya que además de hormonas producen otras sustancias. Ejemplo de ella es el páncreas que produce a la insulina (por citar una hormona) y el polipéptido pancreático que tiene función digestiva liberándose en el intestino delgado.

Las hormonas tienen diversas características, entre ellas que pueden ser hidrosolubles y liposolubles dependiendo de su mecanismo de señalización.

Las primeras son las que no atraviesan por sí solas la membrana celular, tienen receptores específicos para que entren a la célula. Al momento de unirse con los receptores generan señales químicas hacia el interior de la célula y es así como completan su función.

Regularmente están libres en el plasma, participan en la activación o inhibición de las rutas metabólicas y tienen una vida media breve que oscila entre 1 a 30 minutos.

Las segundas son las que sí pueden atravesar las membranas celulares y que dentro de la célula son reconocidas por los receptores. Para poder transportarse debido a su composición lipídica, deben hacerlo mediante proteínas transportadoras como la albúmina o prealbúmina. Su vida es más prolongada que la de las hormonas hidrosolubles, oscilando desde horas hasta días.



Tabla 2 Ejemplos de hormonas

Ejemplos de hormonas	
Hidrosolubles	Liposolubles
Proteínas	Esteroides
Péptidos (insulina y glucagón)	Calcitriol
Derivados de aminoácidos (serotonina)	Hormonas tiroideas

Existen también las hormonas intestinales que son reguladas por el sistema nervioso entérico, considerado actualmente como un segundo cerebro, estas hormonas participan en gran medida en el control del apetito y saciedad vinculándose fuertemente en el control del peso.

La participación del sistema nervioso periférico y central es a través de neurotransmisores y también es importante considerarlo en la participación de la regulación del ciclo alimentación-ayuno.

Para el equilibrio del organismo y del sistema endocrino se requieren mecanismos que inactiven y degraden a las hormonas, lo que sucede gracias a los metabolitos excretados a través del hígado y el sistema renal.

La secreción hormonal se encuentra bajo estrictos mecanismos de control, la producción de hormonas no es constante, es a demanda, es decir la producción depende de los estímulos internos y externos. Las hormonas que se producen en determinados órganos dejan de producirse si éste se ve afectado como en el caso de la diabetes tipo 1 en donde el páncreas y más específicamente las células beta de los islotes de Langerhans se ven destruidas en su totalidad.

A continuación, se detallarán las glándulas donde se producen hormonas del sistema endocrino, las hormonas gastrointestinales y los neurotransmisores que influyen en la regulación del ciclo alimentación ayuno.

La primera glándula que se explicará es el **páncreas** (fig. 6), que anatómicamente está compuesta por cabeza, cuerpo y cola.

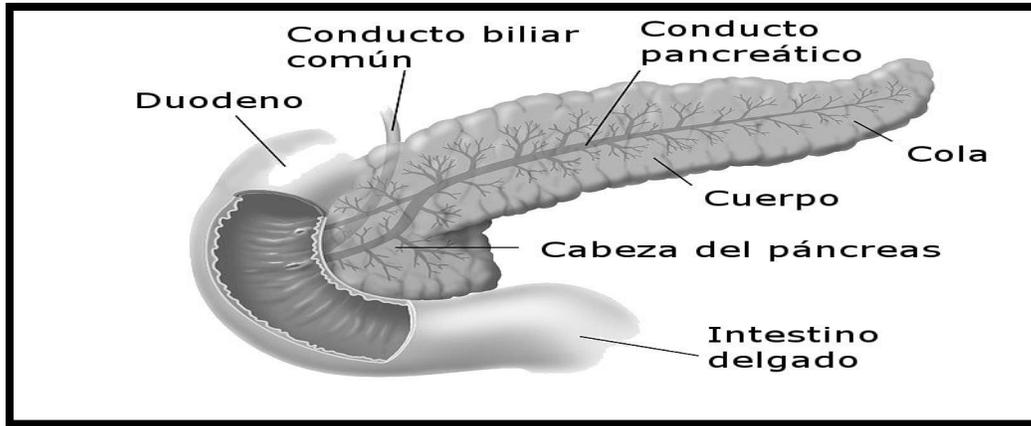


Figura 6. Páncreas

El páncreas es una glándula endoexocrina que tiene función hormonal y digestiva. El 1% del total del páncreas pertenece a los islotes de Langerhans, lugar donde se sintetizan las hormonas.

Las hormonas que se sintetizan en esta glándula son: glucagón, insulina, amilina, somatostatina y polipéptido pancreático.

Los islotes de Langerhans sintetizan y secretan cinco hormonas en sus diferentes células que los componen.

A continuación, se resumen las hormonas y las células de los islotes de Langerhans que las producen.

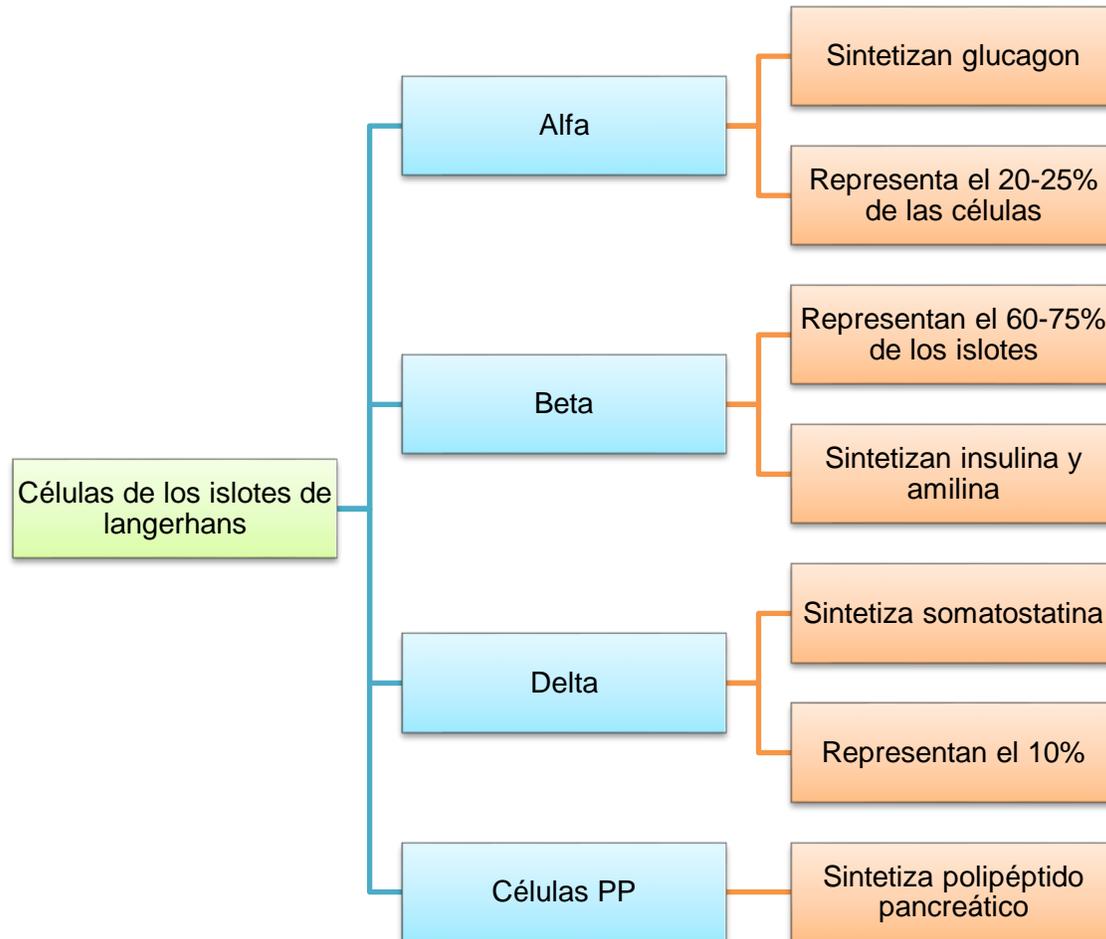


Figura 7. Hormonas pancreáticas

De estas hormonas, el glucagón, la insulina, la amilina y la somatostatina juegan un papel importante en el ciclo alimentación-ayuno.

La **insulina** es una proteína que está formada por dos cadenas de aminoácidos. Todos los seres humanos requieren de insulina para vivir. Ésta es liberada en la etapa posprandial y a mayor consumo de hidratos de carbono mayor será la producción y secreción de insulina; tiene como objetivo reducir las concentraciones de glucosa en sangre que suceden normalmente después del consumo de alimentos, y con esto mantener los niveles normales en sangre (70-100 mg).

Estimula a su vez la síntesis de macromoléculas como triglicéridos, proteínas y glucógeno.

Los efectos de la insulina se llevan a cabo en el hígado, en el músculo y en el tejido adiposo, es decir son sus células diana. Es una hormona anabólica ya que participa en la síntesis de



macromoléculas y además confiere un efecto catabólico a las células ya que inhibe el catabolismo.

En el hígado, sitio principal de la acción de la insulina activa la glucogenogénesis en la etapa posprandial, así como la lipogénesis, síntesis de proteínas y la glucólisis, mientras la insulina está activa, la glucogenolisis es inactivada.

En el músculo, la insulina promueve la captación de glucosa para activar la síntesis de glucógeno muscular, así como la síntesis de proteínas musculares y la producción de energía.

En el tejido adiposo, por su parte, impide la lipólisis y activa la lipogénesis en donde almacena los triacilglicéridos que forman la mayor reserva energética.

Ahora, en un organismo sano, cuando la fase posprandial termina, comienza el ayuno postabsortivo y la glucosa puede disminuir. Cuando se presenta la hipoglucemia se activa una de las hormonas contrarreguladoras de la glucosa: el glucagón, otra hormona fundamental para comprender el metabolismo y el ciclo de alimentación-ayuno.

El **glucagón** es una hormona secretada por las células alfa de los islotes de Langerhans en el páncreas, se le denomina antagónica de la insulina ya que cuando una está activada la otra es inhibida y su función es la opuesta a la hormona de la insulina.

Sus células diana se encuentran en el músculo, y se encarga de activar las vías catabólicas para dar lugar a la producción de glucosa, manteniendo o nivelando a la glucemia en rangos normales (70-100mg).

Las rutas que comienzan cuando el glucagón se activan son:

- La glucogenólisis
- Gluconeogénesis y
- Cetogénesis.(formación de cuerpos cetónicos)

El glucagón se libera en periodos de ayuno y de ejercicio, y es sumamente importante para mantener los niveles adecuados de glucemia.

La insulina disminuye la glucemia, el glucagón la aumenta

La vida media del glucagón es de 3 a 6 minutos, mientras que el de la insulina es de 3 a 5 minutos en promedio (Ascencio, 2012).



La **somatostatina** es una hormona que se libera durante la digestión y su función principal es la de inhibir la secreción de insulina y glucagón y la de regular el ritmo de absorción de los macronutrientes.

Además, otra de las funciones es la de inhibir la liberación de la hormona del crecimiento.

Esta hormona no es propia del páncreas, ya que también se segrega en las células D del aparato gastrointestinal. Los estímulos más importantes para la liberación de esta hormona es la ingestión de alimentos ricos en proteínas y grasas.

Por otra parte, su regulación se ve afectada por la presencia de ácido gástrico y de la acetilcolina. Su función inhibitoria la hace una hormona crucial ya que bloquea varias hormonas gastrointestinales, pancreáticas e inhibe la absorción de nutrientes.

La **amilina** es otra hormona que también se sintetiza en las células B del páncreas al igual que la insulina, participa en el control del vaciamiento gástrico, haciendo más lento el paso de los alimentos del estómago al intestino. Esto ayuda a que la absorción intestinal se vea reducida controlando la elevación posprandial de la glucosa.

En las personas con diabetes tipo 1 y tipo 2 que ya han perdido gran parte de la función de las células beta, además de la deficiencia de insulina, también hay una falta de amilina ya que las dos hormonas se secretan en las mismas células. Esto hace que la absorción intestinal en la diabetes se haga más rápida, provocando una elevación de glucosa postprandial.

Además, la amilina tiene otras funciones como:

- Estimular el centro de saciedad, reduciendo así la ingesta de alimento y controlando el peso corporal.
- Suprime la actividad de glucagón, esto se traduce a que cuando hay una falta de amilina, el glucagón sigue actuando, provocando una producción hepática de glucosa indefinida que contribuye a la hiperglucemia posprandial en la diabetes.

### Hormonas tiroideas

Otra de las glándulas que sintetizan hormonas que regulan el metabolismo es la glándula tiroidea, situada en la región anterior del cuello, compuesta por lóbulos (piramidal, derecho, istmo e izquierdo) (fig. 8).

La unidad funcional tiroidea es denominada folículo.

La función de estas hormonas se relaciona con la regulación de la tasa metabólica y producción de calor, además de participar en la regulación del calcio.

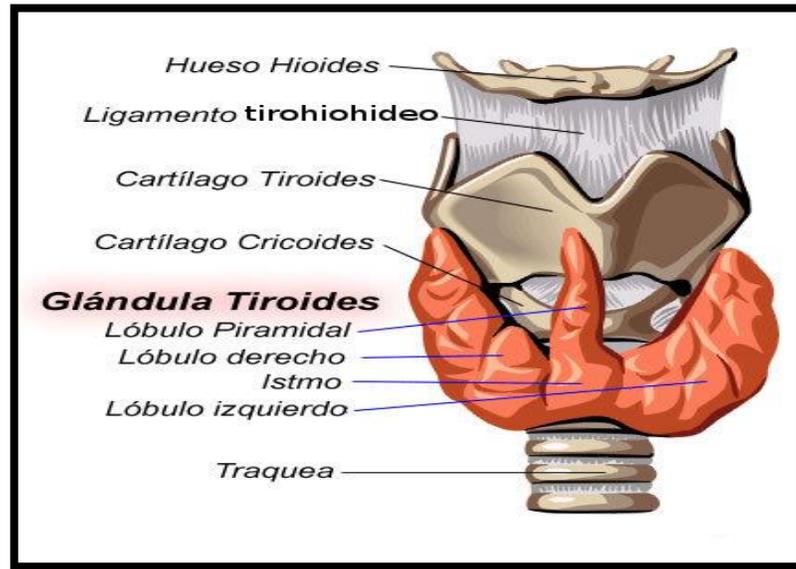


Figura 8. Glándula tiroides

Estas hormonas son liposolubles (tabla 2) y circulan unidas a proteínas sobre todo albúmina y prealbúmina.

La síntesis de estas hormonas es dependiente del yodo que circula en el organismo. Ante la falta de este nutrimento inorgánico en la dieta se presenta el bocio (figura 9), de ahí la importancia de alimentos ricos en yodo.



Figura 9. Bocio



La glándula tiroides secreta las siguientes tres hormonas:

- Tiroxina (tetrayodotironina o  $T_4$ )
- Triyodotironina ( $T_3$ )
- Calcitonina

La síntesis de estas hormonas ocurre de la siguiente manera:

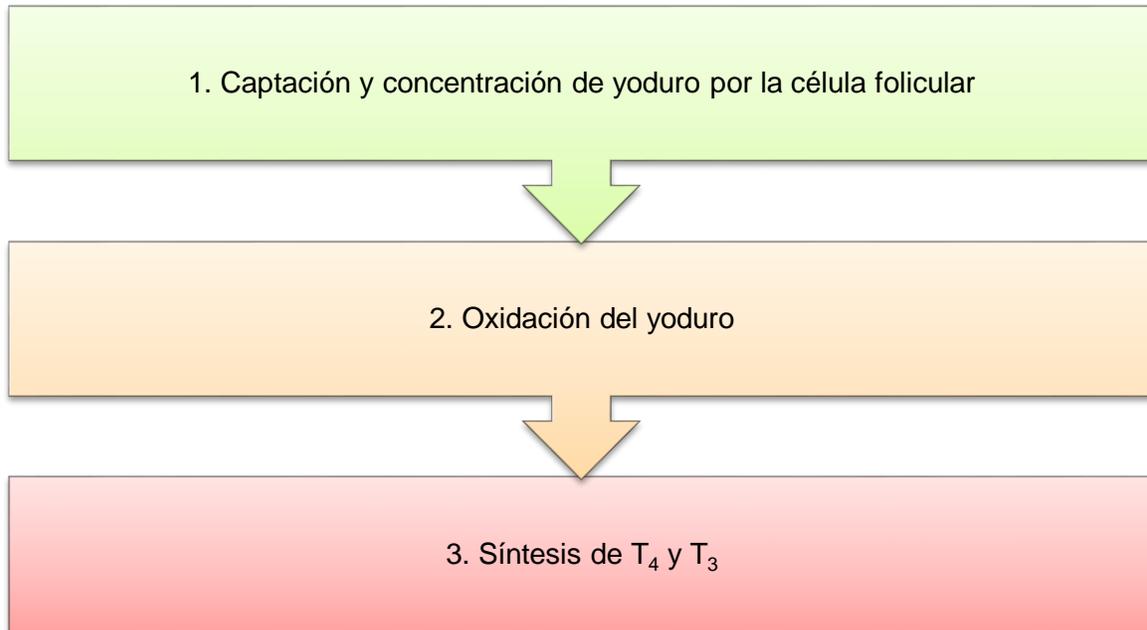


Figura 10. Producción de hormonas tiroideas

Cuando consumimos a través de la alimentación yoduro, éste se transporta a través de la sangre hacia la glándula tiroides. La captación mínima de yodo al día es de 60ug, que es la cantidad necesaria para que no aparezcan manifestaciones clínicas como el bocio que es un aumento de tamaño de la glándula tiroides (figura 9).

El déficit alimentario de yodo es la causa frecuente del bocio. Cuando hay una disminución de yodo en la dieta, la glándula trabaja más para al menos alcanzar la cantidad mínima para no producir signos de deficiencia.

Mediante la actividad de enzimas como la peroxidasa y el peróxido de hidrógeno el yoduro se oxida a yodo, éste en su forma oxidada se une a un aminoácido tirosina de la tiroglobulina y forman las yodotirosinas.

Después de la formación de las yodotirosinas se produce el acoplamiento y síntesis de las hormonas  $T_4$  y  $T_3$  las cuales se almacenan hasta por tres meses en el denominado coloide folicular.



Su transporte se realiza a través de proteínas plasmáticas como la albúmina y prealbúmina, cuando existe una demanda en el organismo.

Además de la  $T_3$  y  $T_4$  también sintetiza la calcitonina, que participan junto a la hormona paratiroidea en la regulación del calcio en el organismo, cuando este supera la cantidad adecuada en sangre, la calcitonina disminuye su concentración.

Además, participa en la inhibición la reabsorción ósea, aumentando la excreción renal y fecal de calcio. (Ascencio, 2012).

La regulación de la secreción de estas hormonas se hace por retroalimentación negativa. En donde la hormona hipotalámica (TRH, *Thyrotropin Releasing Hormone*, hormona liberadora de tirotropina) libera tirotropina hipofisaria que estimula y regula la actividad de las hormonas tiroideas.

Dentro de las funciones de las hormonas tiroideas se encuentra el de la regulación del metabolismo de la mayoría de los órganos, excepto los pulmones, cerebro, retina y bazo; por lo que el metabolismo basal se rige por estas hormonas.

Cuando la producción de hormonas tiroideas elevada se denomina hipertiroidismo y hace que el metabolismo aumente considerablemente, contrario a lo que sucede cuando las hormonas se producen en menor cantidad, el denominado hipotiroidismo, en donde el hipometabolismo se hace presente.

Las manifestaciones clínicas que se generan en el hiper o hipotiroidismo son principalmente las siguientes:

### **Peso corporal**

Cuando los niveles de hormonas tiroideas se encuentran aumentadas existe un hipermetabolismo, el cual conduce a una disminución del peso corporal.

Mientras que cuando éstas están disminuidas, se produce el hipometabolismo produciendo un aumento en el peso corporal y una dificultad para controlar el peso. El aumento de tejido adiposo es propio del hipometabolismo.

Sin embargo con tratamiento adecuado puede controlarse el peso corporal para evitar el sobrepeso y obesidad o la desnutrición.

### **Metabolismo intermedio**



El hipertiroidismo afecta principalmente al metabolismo de los hidratos de carbono, estimulando las rutas anabólicas y la glucólisis, promoviendo así un aumento en la secreción de insulina.

Así también se ve afectado el metabolismo de lípidos, que aumenta en todas sus fases. A mayor demanda energética de las hormonas tiroideas, mayor movilización de grasas. Promoviendo la activación de la  $\beta$ -oxidación de ácidos grasos. Esto hace que los niveles de lípidos en sangre se mantengan bajos.

Por otra parte, en el hipometabolismo, los niveles de lípidos en sangre aumentan por la falta de movilización de grasas, esto conlleva a un aumento en la acumulación de grasa en el hígado y arterias, relacionando al hipometabolismo con la arteriosclerosis.

### **Sistema endocrino**

En el hipermetabolismo como ya se mencionó anteriormente, aumenta la secreción de insulina debido al aumento de metabolismo de glucosa endógena.

Así también hay un aumento en la parathormona debido a que los niveles de producción de calcitonina se elevan, esto tiene manifestaciones clínicas a nivel óseo.

Y por último también se ven aumentados los glucocorticoides entre ellos el cortisol que participan en el metabolismo de hidratos de carbono, así como también, en menor cantidad en el metabolismo de lípidos y proteínas.

A su vez en el hipometabolismo, todas las hormonas ya mencionadas (insulina, parathormona y glucocorticoides) se ven disminuidas, manifestando serios problemas de salud como intolerancia a los hidratos de carbono, osteoporosis, entre otras.

Además de las repercusiones que ya se mencionaron y dado que las hormonas tiroideas controlan a casi todo el metabolismo basal, existen más problemas que pueden presentarse ante el aumento o disminución de éstas.

Los sistemas y órganos afectados son: sistema digestivo, cardiovascular, respiratorio, muscular, nervioso, la función sexual y el crecimiento y maduración en la vida fetal y neonatal.

### **Tejido adiposo**

La grasa en el organismo se almacena en el tejido adiposo, el cual, se divide en dos tejidos: adiposo blanco y tejido adiposo marrón.

Este tejido se considera como un órgano endocrino ya que produce hormonas que participan en la regulación del metabolismo y de temperatura.



La unidad funcional del tejido adiposo, son los adipocitos que crecen según dos mecanismos: pueden aumentar de tamaño (hipertrofia) o pueden aumentar en el número de células (hiperplasia) es por esto que el tejido adiposo puede aumentar su peso y tamaño considerablemente a lo largo de la vida, ya que como lugar de reserva de los ácidos grasos y triacilglicérolas le confiere esta propiedad.

Además de ser el lugar de reserva de energía, el tejido adiposo juega un papel primordial en la producción de hormonas.

El almacenamiento y la localización de la grasa en el cuerpo difieren entre géneros (masculino y femenino) debido a los caracteres sexuales. Cabe señalar que en algunas zonas, el tejido adiposo funciona como sostén y amortiguador como en el caso de las órbitas de los ojos, las rodillas, por citar algunos y estas no participan en la regulación de energía durante el ayuno.

El tejido adiposo blanco es el que se localiza en medio del tejido conectivo. Y se caracteriza por tener adipocitos unicelulares, donde se acumulan los triglicéridos.



Figura 11. Tejido adiposo blanco

Los adipocitos pueden almacenar grandes cantidades de ácidos grasos ya pueden aumentar de tamaño o bien, generar otras células. Durante el ayuno, las reservas son liberadas debido a señales hormonales que controlan la energía del tejido adiposo.

La hormona que activa la hidrólisis de lípidos es la lipasa sensible a hormonas, ésta obedece a la vez señales hormonales.

Los estrógenos estimulan la actividad de esta enzima en los adipocitos gluteofemorales, lo que favorece el almacenamiento de grasas en esta área para el embarazo y la lactancia. Su disminución, como en la menopausia o la gonadectomía, se asocia a una tendencia al aumento de la obesidad central (Mahan, I., et. al., 2012).



También durante el ayuno, el glucagón, las hormonas tiroideas, el cortisol y las catecolaminas, activan a la lipasa sensible a hormonas para que comience la lipólisis y la liberación de ácidos grasos hacia el torrente sanguíneo, con el fin de poder utilizarlos en la ruta de la gluconeogénesis y la formación de cuerpos cetónicos.

Además, el estrés, el frío y el ejercicio también activan a la lipólisis (Ascencio, 2012).

Las reservas del tejido adiposo están controladas además por otras hormonas como la leptina e insulina. Que regulan el equilibrio entre la entrada y salida de ácidos grasos. La leptina, es la que se encarga de enviar señales de aviso al cerebro sobre el estado nutricional del organismo para inferir en el hambre o saciedad.

Cuando se están utilizando demasiada cantidad de ácidos grasos y comienza a disminuir la reserva, la leptina alerta al cerebro para que active la señal de hambre, a través de neurotransmisores. Al contrario, cuando hay demasiada reserva la leptina envía una señal de saciedad.

Cuando existe un déficit de leptina o bien, un fallo en los transmisores, se genera poca saciedad y el consumo energético a través de los alimentos aumenta.

La concentración de leptina en condiciones de ayuno o en la restricción calórica (ejemplo: dietas para reducción de peso) disminuye activando las señales de hambre, mientras que la ingestión de alimentos activa la señal de saciedad, y la leptina se encuentra aumentada en sangre.

Además de la leptina, la insulina juega un papel importante en la regulación del equilibrio entre la reserva y la movilización de los triglicéridos.

En la ingesta de alimentos se produce una elevación de insulina en sangre, que participa en la síntesis de moléculas en el tejido adiposo, así como en el músculo esquelético e hígado. En periodos de ayuno la concentración de insulina disminuye y por lo tanto la lipogénesis se ve disminuida, activándose la lipólisis para generar energía.

### **Tejido adiposo pardo o marrón**

El tejido adiposo pardo, es el que se encuentra en menor cantidad y no funciona como tejido de reserva energética, es decir, la lipólisis no afecta a este tejido.

Está formado por células multiloculares, a diferencia de las uniloculares de los adipocitos del tejido adiposo blanco, el tamaño es mucho menor a éstos últimos.

La cantidad de tejido pardo es menor al blanco, sin embargo, en los recién nacidos éste representa una buena porción del tejido adiposo total. Desafortunadamente, con el crecimiento el tejido adiposo pardo disminuye y el blanco aumenta.



La localización de este tejido se relaciona ampliamente con su principal función la regulación de la termogénesis, así se puede encontrar tejido pardo en axilas y a lo largo de grandes vasos sanguíneos.

Produce también las adiponectinas, hormonas que están relacionadas con el control de peso, con la sensibilidad a la insulina y regulación de glucosa, así como de ácidos grasos; y con propiedades antiinflamatorias, a mayor cantidad de adiponectinas mayor protección cardiovascular.

El ejercicio físico es el principal factor para aumentar la cantidad de adiponectinas.

### Hormonas gastrointestinales

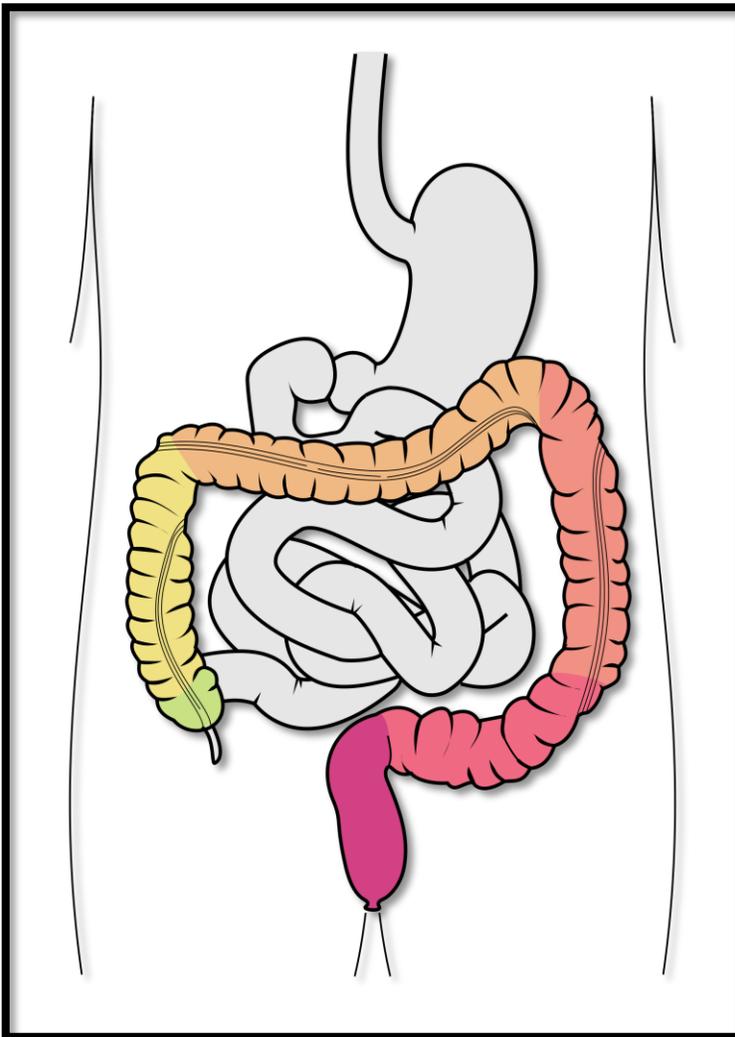


Figura 12. Sistema gastrointestinal

Junto con el sistema endocrino y el sistema nervioso, las hormonas gastrointestinales pertenecientes al sistema nervioso entérico participan en la regulación metabólica y controlan el ciclo alimentación-ayuno.

Dentro de las hormonas gastrointestinales se encuentran:

- Gastrina
- Grelina
- Secretina
- Motilina
- Péptido tirosina-tirosina
- Polipéptido insulino-trópico dependiente de glucosa
- Péptidos semejantes al glucagón,
- Colecistokinina

Las cuales se explicarán a continuación.



### **Gastrina**

Es una hormona producida y secretada en las células G del antro pilórico y en menor cantidad en el duodeno.

Durante el ayuno, los niveles de gastrina en el plasma disminuyen, en el periodo posprandial los niveles de gastrina aumentan en plasma, sobre todo en presencia de alimentos con aminoácidos aromáticos y se activa por señalización del ácido clorhídrico.

### **Grelina**

Es una hormona producida en mayor cantidad por el estómago, en la región del cuerpo.

En el periodo interdigestivo o postabsortivo los niveles en plasma aumentan incluso antes de la ingestión se elevan aún más, y al momento de la ingestión de alimentos sus niveles disminuyen.

Tiene efecto orexigénico es decir que estimula el apetito, afecta el vaciamiento gástrico e inhibe la secreción enzimática del páncreas.

### **Secretina**

Es una hormona secretada por las células S del intestino delgado.

En el ayuno sus niveles se ven disminuidos, su principal estímulo es la presencia del ácido clorhídrico.

### **Motilina**

Es una hormona que regula la motilidad gastrointestinal y que son sintetizadas y excretadas por las células M de la pared gastrointestinal.

En los periodos interdigestivos o postabortivos se encarga de controlar los movimientos del tracto gastrointestinal, estimulando el vaciamiento gástrico, la contracción de la vesícula biliar, la secreción de enzimas pancreáticas.

Cuando una persona tiene diabetes, esta enzima puede verse afectada, disminuyendo la motilidad hasta manifestarse como gastroparesis.

### **Péptido tirosina-tirosina (PPY)**

Es una hormona secretada por las células L de la mucosa gastrointestinal. Se segrega por su mayor estímulo: las grasas de la dieta, el ácido oleico aumenta su secreción.



Por lo tanto, tras la ingestión de alimentos esta hormona se eleva en plasma, mientras mayor cantidad de grasas contenga la dieta, la secreción es mayor.

Tiene un efecto anorexigénico, es decir, disminuye la ingesta de alimentos y el apetito. Debido a que el aumento de la péptido tirosina afecta y disminuye la cantidad de grelina en plasma.

### **Polipéptido insulínico dependiente de glucosa (GIP)**

Pertenece al grupo de las incretinas, esta hormona es producida por las células K de la mucosa del intestino.

Su activación se realiza cuando en la dieta se consumen hidratos de carbono y grasas.

Tras la ingestión de alimentos hay un aumento en los niveles plasmáticos, cuando el organismo se encuentra en ayuno, estos descienden.

Una de las funciones es la de potenciar la actividad de la insulina tras el consumo de glucosa.

### **Péptidos semejantes al glucagón**

Existen dos hormonas que se clasifican en este grupo: la GLP-1 y GLP-2

Estas hormonas son secretadas por las células L de la mucosa gastrointestinal al igual que la hormona péptido tirosina-tirosina.

La GLP-1 potencia la secreción de insulina, se considera con efecto incretina igual que el GIP.

El GLP-2 es liberada tras la ingestión de comidas isocalóricas, ricas en hidratos de carbono y grasas. La presencia de proteínas no la estimula.

### **Colecistokinina (CCK)**

Es una hormona sintetizada y secretada por las células de la mucosa del intestino delgado.

Sus concentraciones en plasma aumentan tras la comida, en el ayuno su concentración es mínima.

El estímulo principal para la liberación son los aminoácidos y los ácidos grasos sobre todo los de cadena larga.



Su función es de regular la digestión de proteínas y grasas.

### Neurotensina

Es una hormona que se produce en las células del intestino delgado (células N). Su estímulo principal es la grasa proveniente de la dieta.

### Neurotransmisores

El sistema nervioso envía señales (impulsos nerviosos) a través de sus neuronas, mediante la liberación de sustancias denominadas neurotransmisores.

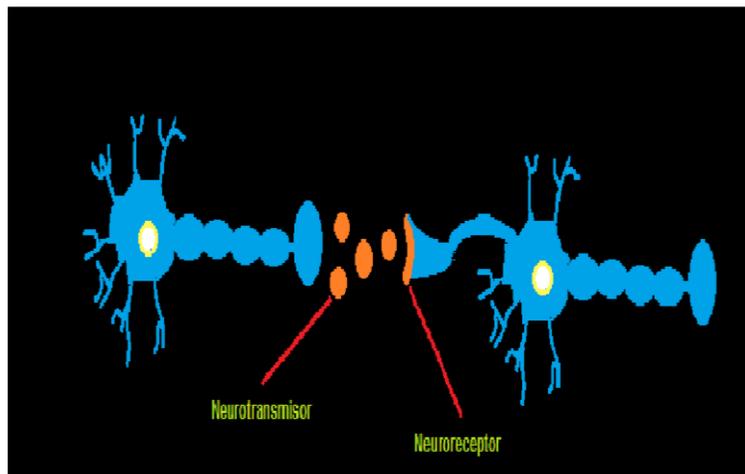


Figura 13. Neurotransmisores

Los neurotransmisores son al igual que las hormonas las que controlan el funcionamiento del ciclo alimentación-ayuno. Dentro de los neurotransmisores que participan en la regulación del ciclo alimentación-ayuno se encuentran los siguientes.

### Noradrenalina y dopamina

Son liberados como respuesta a la ingesta dietética. Cuando el organismo está en periodo de ayuno la actividad de estos transmisores disminuyen en el sistema nervioso. Esto hace que la adrenalina se active y favorezca la movilización de sustratos, activando las rutas catabólicas.

Tienen un papel fundamental en la intervención de las áreas del hipotálamo que es el centro de hambre saciedad.

### Serotonina, neuropéptido Y y endorfinas

Las concentraciones del neuropéptido y en plasma aumentan durante el ayuno.

La disminución de la serotonina y el aumento del neuropéptido Y se han asociado a un aumento del apetito de hidratos de carbono (Mahan, L., et. al., 2012).



### 3.2. Particularidades metabólicas en diferentes órganos

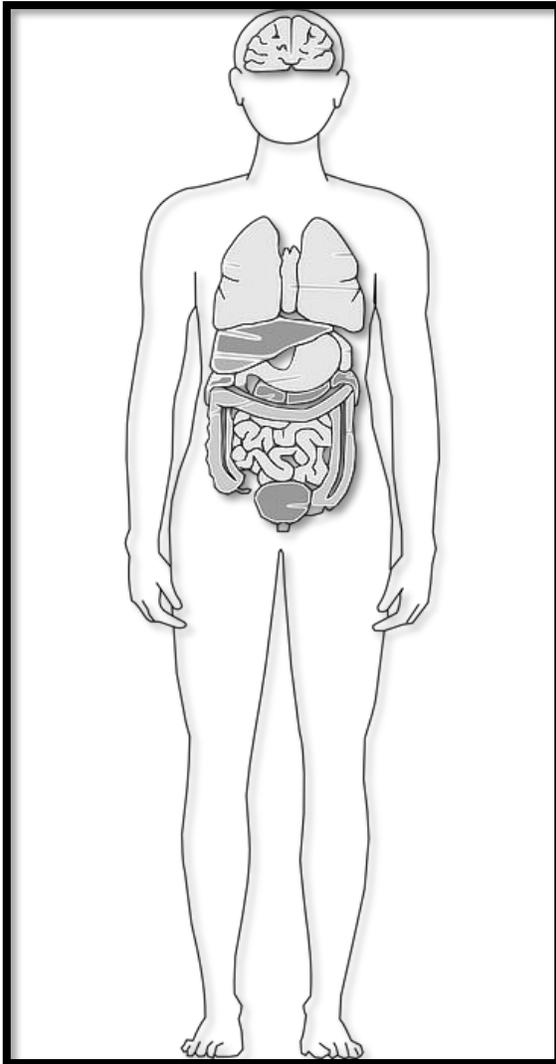


Figura 14. Cuerpo humano

Como ya se estudió anteriormente, la regulación del metabolismo se realiza mediante un conjunto de mecanismos regulados por hormonas, neurotransmisores y factores que desencadenan una cascada de inhibición o activación en diversos órganos y sistemas.

Todo este control tiene como objetivo mantener la homeostasis del organismo.

Sin embargo, hay situaciones en donde el organismo se ve afectado y debe de sobresalir para seguir manteniendo el equilibrio hasta el final, como ocurre en situaciones extremas como la inanición, traumatismos y ejercicio intenso.

En la regulación del metabolismo, participan distintos órganos y glándulas que ayudan de diversas maneras como en la eliminación de sustancias, producción de hormonas, inhibición de rutas metabólicas a través de sus enzimas y producción de energía mediante la movilización de sus reservas.

La coordinación metabólica de diversos órganos es imprescindible para la regulación global del metabolismo.

Cada órgano que participa activamente en el metabolismo se ve influenciado por la cantidad y el tipo de sustrato presente en el organismo, adaptándose a las condiciones que se presenten. Dentro de los órganos que participan en el metabolismo destacan:

- tubo digestivo
- hígado
- músculo esquelético
- tejido adiposo
- cerebro y los
- riñones.



### 3.2.1. Tubo digestivo

El aparato o tubo digestivo mide de 6 a 9 metros que va desde la boca hasta el ano (Ascencio, 2012).

Está compuesto por la boca, la faringe, el esófago, el estómago, intestino (delgado y grueso) y ano; el hígado es un órgano accesorio del tubo digestivo que se estudiará por aparte ya que sus funciones son tan diversas que debe estudiarse por separado.

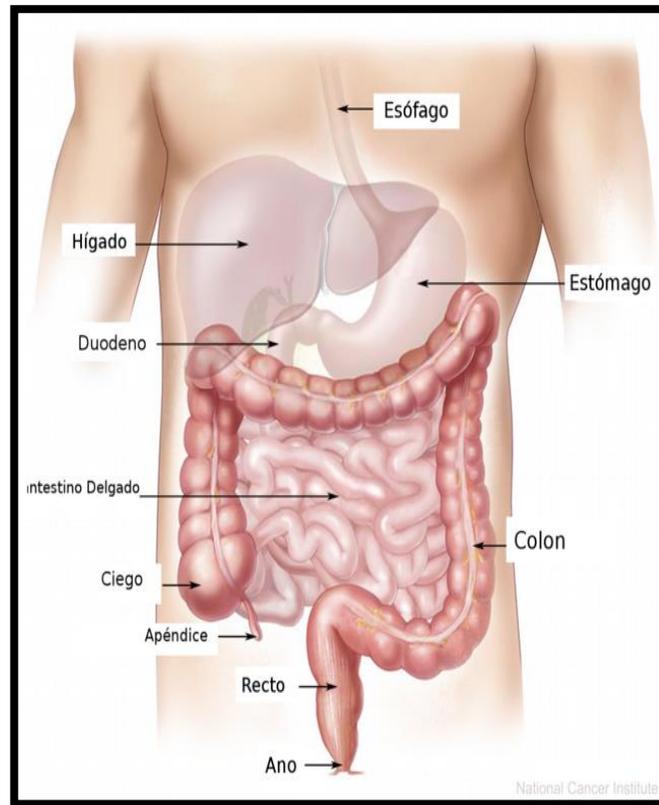


Figura 15. Tubo digestivo

Sus funciones son: ingestión de alimentos, secreción de hormonas y enzimas, digestión y absorción de macro y micronutrientes y eliminación de desechos (defecación). Es decir, por el tubo digestivo es por donde inicia la alimentación y la nutrición.

La participación del sistema digestivo en la regulación del metabolismo, lo realiza a través de las hormonas gastrointestinales que secreta pero también por enzimas que participan en la digestión, activando señales de hambre y saciedad.

El esófago tiene como función conducir los alimentos desde la faringe hasta el estómago. Tiene dos esfínteres: el esfínter esofágico superior y el esfínter esofágico inferior; éstos controlan el paso de los alimentos y evitan el regreso de éstos junto con los jugos gástricos de manera ascendente.



El estómago es la otra parte del sistema digestivo, se divide anatómicamente en: fondo, cuerpo y antro pilórico. Dentro de sus funciones están el producir secreciones como ácido clorhídrico, pepsinógeno, factor intrínseco, moco y gastrina, el almacenar el bolo alimenticio a corto plazo, digerir enzimáticamente a los alimentos (principalmente proteínas) y mezclar las secreciones gástricas con los alimentos.

La hormona gastrina es una péptido secretada por las células G del estómago, se activan por la señalización de la acetilcolina en la fase cefálica, produciendo así un aumento en la producción de ácido clorhídrico (figura 16).

Durante el ayuno, los niveles de gastrina en el plasma disminuyen, en el periodo posprandial los niveles de gastrina aumentan, sobre todo en presencia de alimentos con aminoácidos aromáticos.

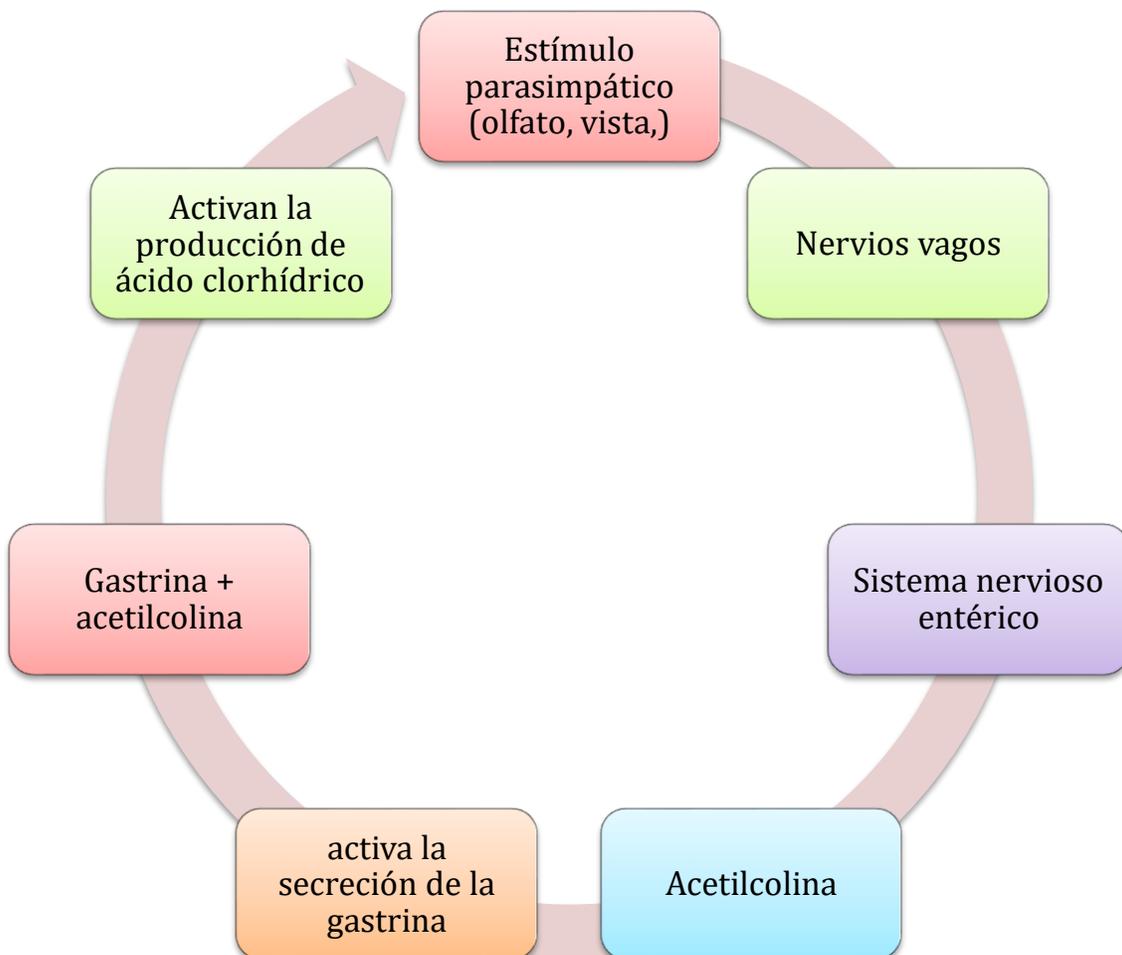


Figura 16. Fase cefálica de la digestión



El intestino delgado mide de 3 a 6 m, siendo ésta la porción más larga del tubo digestivo. Anatómicamente se divide en duodeno, yeyuno e íleon. Las funciones principales son: la digestión enzimática de macro y micro nutrientes y la absorción de ellos.

Es en el intestino delgado en donde se secretan diversas enzimas y hormonas que participan en la regulación del metabolismo.

Las células S sintetizan y segregan secretina, las células CCC liberan colecistocinina y las células K producen péptido insulínico dependiente de glucosa.

La hormona secretina se ve disminuida durante el ayuno, su principal estímulo es la presencia del ácido clorhídrico. Influye en el vaciamiento gástrico en la fase posprandial y al llegar al páncreas aumenta la salida de los jugos pancreáticos con bicarbonato.

La colecistocinina es una hormona sintetizada y secretada por las células de la mucosa del intestino delgado. Sus concentraciones en plasma aumentan tras la comida, en el ayuno su concentración es mínima.

El estímulo principal para la liberación son los aminoácidos y los ácidos grasos sobretodo los de cadena larga.

Su función es de regular la digestión de proteínas y grasas. Al llegar al páncreas favorece el aumento en la secreción de los jugos pancreáticos.

Tanto la secretina como la colecistocinina influyen en la función de la vesícula biliar. La primera favorece la secreción de bilis rica en bicarbonatos para nivelar el pH necesario para que el quimo pase a la sección del intestino delgado.

Mientras que la colecistocinina facilita la liberación de bilis para emulsificar las grasas, además de aumentar la motilidad de la vesícula.

Otra de las hormonas gastrointestinales es el polipéptido insulínico dependiente de glucosa (GIP) pertenece al grupo de las incretinas. Su activación se realiza cuando en la dieta se consumen hidratos de carbono y grasas.

Tras la ingestión de alimentos hay un aumento en los niveles plasmáticos, cuando el organismo se encuentra en ayuno, estos descienden.

Una de las funciones es la de potenciar la actividad de la insulina tras el consumo de glucosa.

Además de las hormonas, son liberadas en el intestino delgado algunas enzimas que se producen de manera inactivada como las peptidasas y lipasas.



Por último, el intestino grueso es la penúltima porción del tubo gastrointestinal, y está compuesto por el ciego, colon, recto y conducto anal.

El colon se subdivide en ascendente, transverso y descendente.

Su función principal es la absorción de agua y electrolitos, así como la formación de heces. A diferencia del intestino delgado, éste no participa en la producción o activación de alguna hormona.

### 3.2.2. Hígado

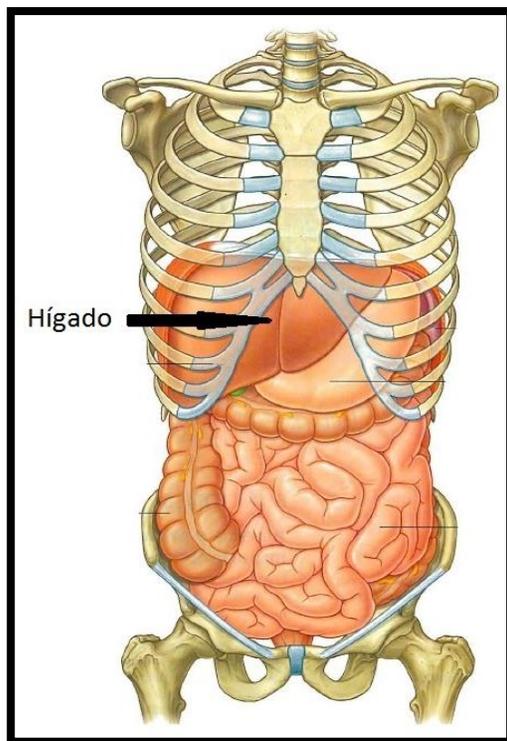


Figura 17. Hígado

El hígado es el órgano de mayor peso y tamaño en el cuerpo humano.

Anatómicamente consta de dos lóbulos, el derecho y el izquierdo. Se localiza en la cavidad abdominal.

La unidad funcional de este órgano se le denomina hepatocito.

Tiene un papel fundamental en el metabolismo, y se le puede considerar como la fábrica del cuerpo.

Aunque no es productor de hormonas que participen en la regulación del ciclo alimentación-ayuno, la activación de la mayoría de las rutas metabólicas para mantener el equilibrio del organismo se concentra en este órgano.

El hígado lleva a cabo más de 500 tareas y dentro de sus principales funciones se encuentran:

- **Producción de bilis:** es en el hígado en donde se lleva a cabo la síntesis de ácidos biliares, la vesícula biliar solo es el reservorio de esta sustancia.
- **Metabolismo de glucosa:** favorece la glucogenolisis y gluconeogénesis en periodos de ayuno, y realiza la síntesis de glucógeno (glucogenogénesis) en periodos absorptivos y se realiza también el ciclo de cori.



- **Metabolismo de lípidos:** en este órgano es en donde la síntesis de triacilglicéridos, fosfolípidos, cuerpos cetónicos se llevan a cabo durante el periodo postabsortivo. Así también se realiza el metabolismo del colesterol y de las lipoproteínas.
- **Metabolismo de proteínas:** se lleva a cabo la síntesis y degradación de proteínas, el ciclo de la urea, síntesis de factores de coagulación, así como las proteínas que forman enzimas, hormonas y que sirven como de transporte de sustancias.
- **Metabolismo de fármacos:** todo fármaco que ingrese al organismo deberá ser metabolizado por el hígado en donde se lleva a cabo la detoxificación.

Cuando el hígado sufre de alguna alteración todas las funciones antes señaladas se ven afectadas, por lo que rápidamente se observan manifestaciones clínicas en las personas. Entre las afectaciones más comunes están: la hepatitis, el hígado graso no alcohólico y la cirrosis.

En la siguiente tabla se presentan las manifestaciones que pueden alterarse cuando existe un daño hepático.

Tabla 3. Manifestaciones clínicas en lesión hepática

<b>Función del hígado sano</b>	<b>Posibles manifestaciones en daño hepático</b>
Síntesis de bilis	Colestasis Malabsorción de grasas
Homeostasis de glucosa	Hipoglucemia o hiperglucemia
Metabolismo de lípidos	Hígado graso Cirrosis biliar (dislipidemia)
Metabolismo de proteínas	Encefalopatía hepática Hipoalbuminemia Problemas con los factores de coagulación
Metabolismo de fármacos	Problemas con la detoxificación de los fármacos Acumulación de sustancias tóxicas

En el ciclo de ayuno, el hígado es metabólicamente activo ya que es el encargado de mantener la homeostasis de la glucosa.

Para ello en la etapa interdigestiva (ayuno), activa la ruta de la glucogenólisis y gluconeogénesis al estímulo del glucagon, hormona que es sintetizada en las células alfa de los islotes de langerhans del páncreas.

En la etapa postprandial, es decir, después de la ingesta de alimentos el estímulo que se produce con la insulina es la síntesis de macromoléculas como los triacilgliceroles y el glucógeno (hepático y muscular).

El hígado también participa en el metabolismo de lípidos, primero con la degradación de ácidos grasos hacia glucosa, mediante la gluconeogénesis y si el ayuno se prolonga



comienza con la producción de cuerpos cetónicos (cetoglutarato, betahidroxibutírico y acetona), haciendo que el cerebro se adapte a utilizarlos, con el fin de mantener las funciones vitales.

En el metabolismo de las proteínas, se asocia con la desaminación de los aminoácidos y con la producción de otras como la albúmina y prealbúmina que funcionan como proteínas transportadoras de las hormonas.

### 3.2.3. Músculo

El músculo esquelético es un tejido voluntario, con contracciones de forma refleja en ocasiones. Está compuesto por fibras musculares que son las unidades básicas de organización. Su estructura comprende hueso, tendón, vaso sanguíneo, fibra muscular, perimio, fascículo, endomio y epimio (Fig. 18).

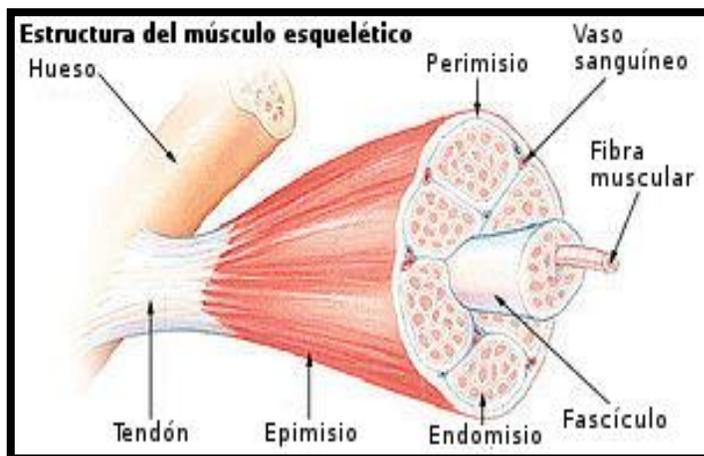


Figura 18. Músculo esquelético

Dentro de sus múltiples funciones se encuentran:

- Participan en el movimiento del cuerpo
- Proporcionan estabilidad y mantenimiento de postura
- Ayuda a la regulación de temperatura corporal: termogénesis.

Las propiedades características de este órgano son la excitabilidad, contractilidad extensibilidad y la viscoelasticidad. Para realizar todas sus funciones, el músculo transforma energía química en energía mecánica.

La cantidad de energía (en forma de ATP) almacenada en el músculo no tiene una duración amplia. Ésta se agota aproximadamente en 2 segundos cuando se realiza una actividad intensa. Debido a esto, se requieren de vías que puedan solventar la pérdida constante de energía en el músculo.

A través de la glucólisis es por donde se repone la energía. Durante el ejercicio, diversas hormonas son liberadas a la sangre, las cuales activan el catabolismo de glucosa, es decir, activan la glucogenólisis y por consiguiente la glucólisis aerobia y anaerobia.



En condiciones de ayuno o en reposo, la cantidad de glucosa en sangre debe mantenerse y para ello el músculo utiliza ácidos grasos como principal sustrato de energía.

En este estado, el glucagón es liberado y activa las lipasas sensibles a las hormonas, las cuales hidrolizan sus reservas (triglicéridos) y las movilizan para ser utilizados como ácidos grasos, estos llegan al músculo y al hígado en donde se llevan a cabo las reacciones de oxidación.

A nivel muscular los ácidos grasos se oxidan para entrar al ciclo de Krebs y obtener así moléculas de ATP en la cadena respiratoria.

La utilización de ácidos grasos como principal fuente energética a nivel muscular, permite mantener la demanda del sistema nervioso y otros tejidos que son dependientes de glucosa.

En la etapa posprandial, el músculo participa en la captación de glucosa para acumular la energía y recuperar la reserva utilizada durante el ayuno o el ejercicio formando glucógeno, en el proceso denominado glucogénesis.

Una vez que la glucosa haya entrado al músculo, ésta no puede liberarse al torrente sanguíneo ya que dentro del músculo se convierte en una molécula de glucosa-6-fosfato por lo que para su degradación utiliza la ruta de la gluconeogénesis. El músculo puede almacenar en forma de glucógeno aproximadamente 250 gramos.

Si la ingesta de glucosa es elevada, una vez que se llenan las reservas tanto de músculo como de hígado, el sobrante pasa a formar moléculas de triglicéridos en el tejido adiposo.

En la etapa posprandial, la hormona que actúa para la síntesis de macromoléculas es la insulina, hormona anabólica por excelencia.

A continuación se muestran las fuentes y la vía para reponer la energía (ATP), esto dependerá del tiempo de ayuno o bien, del gasto energético de la persona. Los números corresponden a las fuentes que se van ocupando paulatinamente.

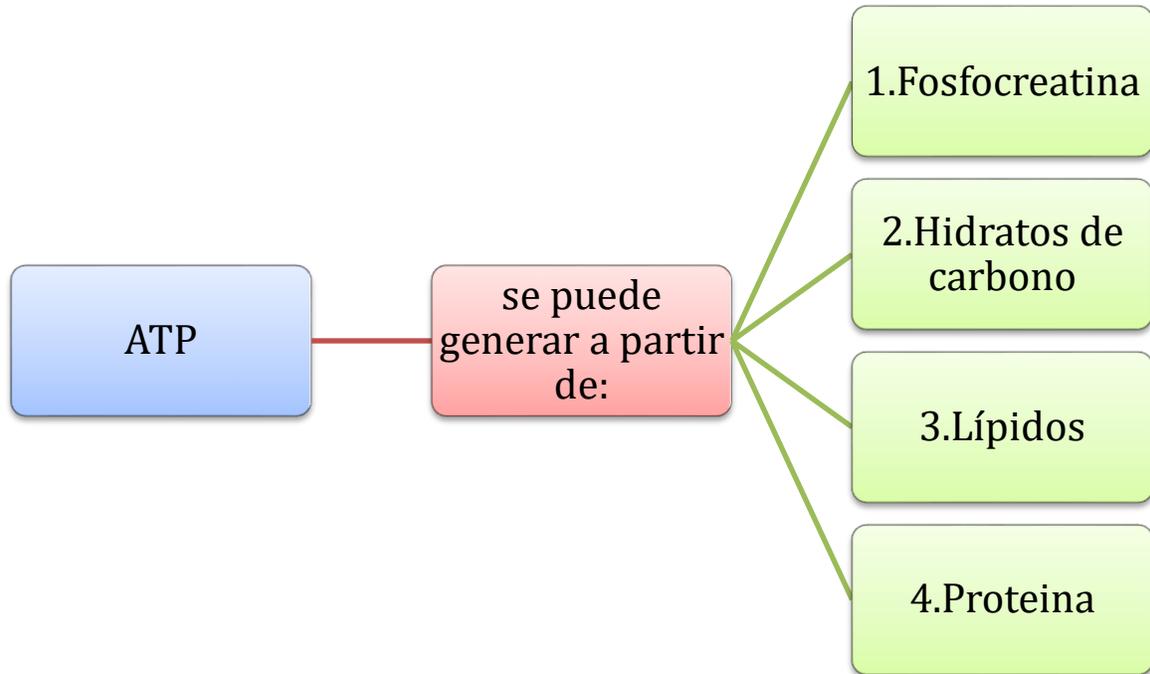


Figura 19. Fuentes de energía durante el ayuno

### 3.2.4. Tejido adiposo

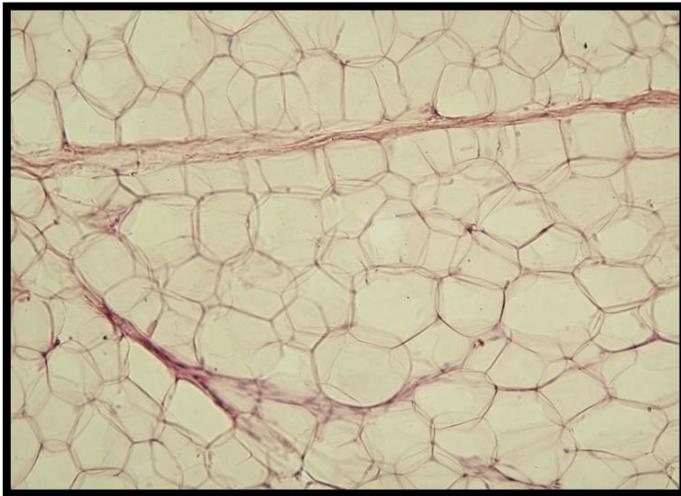


Figura 20. Tejido adiposo

El tejido adiposo está constituido por tejido conectivo, red vascular, tejido nervioso y adipocitos que son su unidad funcional.

Dividiéndose en dos tipos de tejido:

- tejido adiposo blanco
- tejido adiposo marrón

El tejido adiposo tiene varias funciones como:

1.- Reservorio energético: dentro de sus funciones está el ser el espacio para almacenar la reserva de grasa en el organismo.



2.-Producción de hormonas: el tejido adiposo juega un papel fundamental en la producción de hormonas que participan en la regulación del metabolismo. Entre las hormonas que el tejido adiposo sintetiza, se encuentran:

- Adiponectinas
- Leptina
- Citoquinas

3.-Síntesis de sustancias proinflamatorias como las citoquinas, interleucinas y factor de necrosis tumoral.

4.-Participa en la termorregulación: gracias al tejido pardo que es el que libera la energía en forma de calor, es como se puede mantener la temperatura corporal adecuada.

5.- Y como protección mecánica de diversos órganos: como en el caso de los orbitales de los ojos.

Como ya se mencionó anteriormente, el tejido se divide en tejido adiposo marrón y blanco, ambos están regulados hormonalmente y por el sistema nervioso simpático.

El tejido marrón se presenta en menor cantidad en un adulto, sin embargo al nacer, este tejido es el que predomina. Su función principal es la producir calor (termogénesis) y la homeostasis de la temperatura.

Está regulado por el sistema nervioso simpático mediante los receptores adrenérgicos y también se ve afectado por otros factores como el frío, ingesta de alimentos ricos en proteínas y grasas y las hormonas como los glucocorticoides, tiroideas y leptina.

La localización de este tejido se relaciona ampliamente con su principal función la regulación de la termogénesis, así se puede encontrar tejido pardo en axilas y a lo largo de grandes vasos sanguíneos.

El tejido adiposo blanco, por su parte, está compuesto por adipocitos las cuales tienen la función de acumular y reservar la energía en forma de triacilglicéridos constituyendo así al reservorio mayor de energía en el organismo.

Tiene muy poca irrigación e inervación, así como muy pocas mitocondrias. Es un tejido que actualmente se considera un órgano endocrino debido a la producción y diversas hormonas que participan e influyen en el metabolismo energético.

Su distribución en el organismo es diferente entre hombres y mujeres, debido a las características sexuales de cada género, así se puede observar que la acumulación de grasa en hombres se da en mayor proporción en el área del abdomen, mientras que en las mujeres debido a los estrógenos se estimula la actividad de los adipocitos en las partes



gluteofemorales, lo que favorece el almacenamiento de grasas en esta área para el embarazo y la lactancia. Su disminución, como en la menopausia o la gonadectomía, se asocia a una tendencia al aumento de la obesidad central (Mahan, L., et. al., 2012).

Este tejido está fuertemente ligado a la obesidad, y de acuerdo a su distribución en el organismo se denomina obesidad ginecoide y obesidad androide.

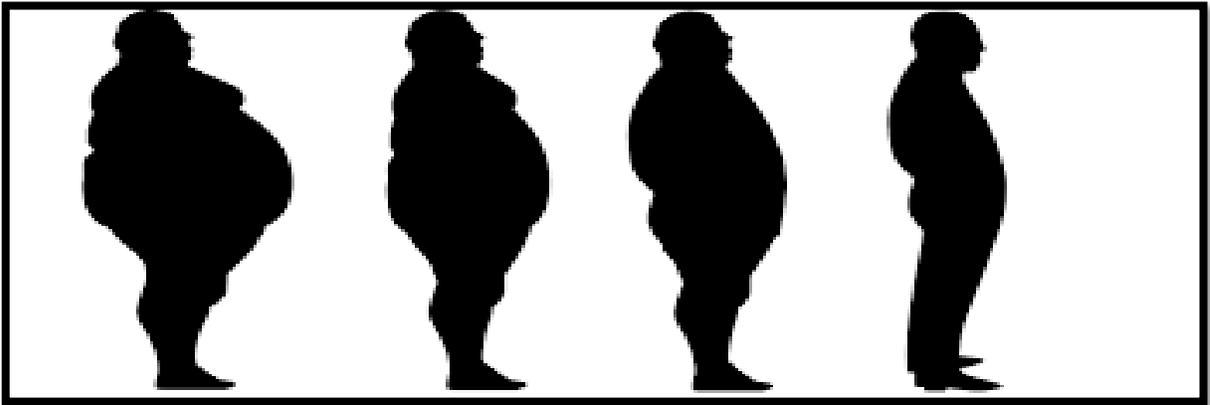


Figura 21. Obesidad

La participación del tejido adiposo en la regulación del ciclo alimentación-ayuno se realiza mediante las hormonas que el adipocito es capaz de sintetizar y segregar. Las sustancias que el adipocito secreta se resumen en la figura 22.

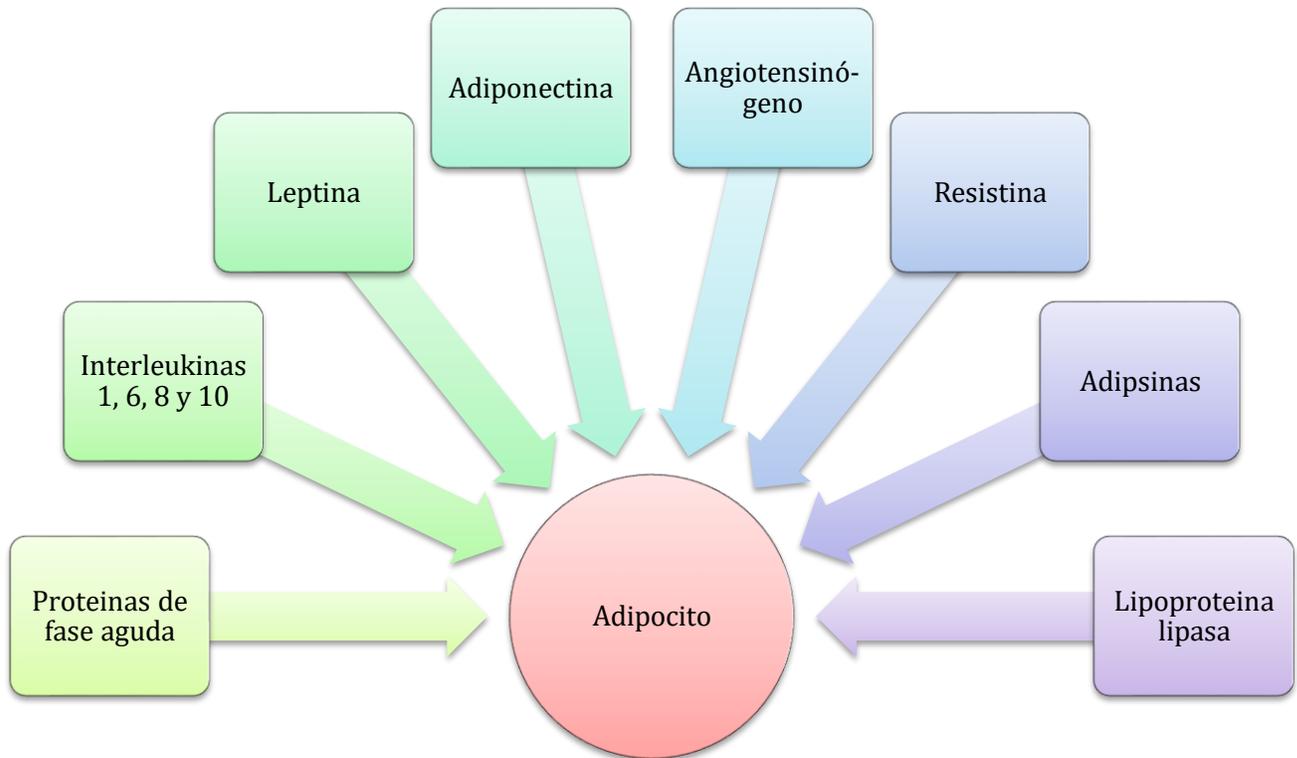


Figura 22. Sustancias secretadas por el tejido adiposo

Las sustancias relacionadas a la regulación de la ingesta y del gasto energético son: la leptina, adiponectina y lipoproteína lipasa.

La leptina es una hormona que se produce también en menor cantidad en otros órganos como el cerebro, epitelio mamario y ovarios, entre otros. Sus picos más altos se presentan 4 horas después de la comida, es decir en la fase postabsortiva. Esta hormona se encuentra en mayores cantidades en el plasma sanguíneo femenino debido a su composición corporal (mayor cantidad de grasa que el hombre) y también sus niveles son elevados en las personas con obesidad.

Su función principal es la de ser mensajera sobre las reservas energéticas del tejido adiposo hacia el cerebro, provocando así una estimulación en la ingesta (hambre) o bien una supresión en ella (saciedad). Controlando así el peso corporal y las reservas energéticas. La adiponectina se encuentra elevada en pacientes con un peso corporal normal, y en las mujeres es aún más elevado como en el caso de la leptina.



Es una hormona que únicamente se secreta en el adipocito. Dentro de sus funciones se encuentra el de regular el peso corporal y el de aumentar la sensibilidad de la insulina en los tejidos periféricos.

Actualmente, se ha asociado bajos niveles de adiponectina en plasma con mayor riesgo de diabetes, obesidad y enfermedad cardiovascular. Lo que le confiere a esta hormona efectos beneficiosos sobre el metabolismo.

La lipoproteína lipasa es otra hormona que participa en el ciclo de alimentación-ayuno, ya que participa en la hidrólisis de los triacilglicéridos en los periodos de ayuno.

En ayunas los adipocitos hidrolizan los lípidos almacenados en forma de triacilglicéridos debido a la activación de las lipasas sensibles a hormonas, provocando así la lipólisis.

La activación de las lipasas sensibles a hormonas se da por las diferentes hormonas que responden a su vez a las demandas del organismo. El glucagón, las hormonas tiroideas, el cortisol y las catecolaminas influyen en la activación de las lipasas. Además, otros factores como el estrés, el frío y el ejercicio también participan.

Cabe mencionar que la insulina también regula el equilibrio de las reservas, sin embargo en periodos de ayuno ésta es inhibida por el glucagon, más bien, la participación la hace para sintetizar triacilglicéridos durante el periodo posprandial.

Para aumentar tus conocimientos, es importante que visualices el siguiente video:



NatGeo ciencia de la obesidad:  
<https://www.youtube.com/watch?v=7G3WAX3AwCI>



### 3.2.5. Cerebro

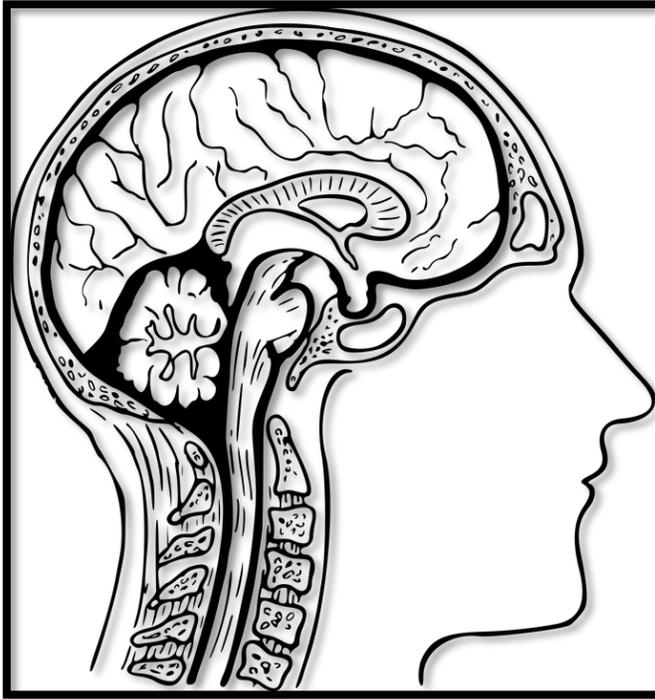


Figura 23. Cerebro

El principal combustible utilizado por el cerebro es la glucosa, la cual no necesita de insulina en esta parte del organismo.

En el ayuno prolongado, el cerebro puede adaptarse al uso de cuerpos cetónicos con el único fin de mantener la vida.

Es uno de los órganos del cuerpo que demanda la mayor cantidad de energía en forma de glucosa, aproximadamente, más de la mitad del gasto energético basal se le atribuye al cerebro.

Se necesitan 80 mg de glucosa por minuto para mantener al cerebro y al sistema nervioso funcionando

adecuadamente.

Cuando la glucemia disminuye a menos de 80 g/dl el cerebro activa las hormonas glucorreguladoras a través de sus neurotransmisores para dar lugar a la regulación de la glucosa.

El metabolismo es regulado por inervaciones tanto intrínsecas como extrínsecas al sistema digestivo.

Las hormonas gastrointestinales corresponden al factor intrínseco, mientras que las hormonas no gastrointestinales y los neurotransmisores se agrupan en los factores extrínsecos.

El cerebro participa en la regulación del metabolismo y del ciclo alimentación-ayuno mediante los neurotransmisores.

Los neurotransmisores cerebrales son sustancias parecidas a las hormonas pero que actúan a nivel neuronal, reguladas por el sistema nervioso.

El sistema nervioso envía señales a través de las neuronas por medio de los axones (responsables de la interconexión neuronal), la señal resultante viaja por varias neuronas por medio de la sinapsis hasta que realizan la liberación del neurotransmisor.



La acción de los neurotransmisores es más rápida que la de las hormonas, ya que se liberan inmediatamente después del estímulo.

Las células diana de los neurotransmisores son las células musculares y glandulares, y su tiempo de acción es muy breve.

Los principales neurotransmisores son la dopamina, noradrenalina, adrenalina, serotonina y neuropéptido Y.

### **Adrenalina**

Este neurotransmisor ejerce su actividad inhibiendo la secreción de insulina a los pocos minutos de la disminución de la glucemia.

### **Noradrenalina y dopamina**

Son liberadas por el sistema nervioso simpático como respuesta a la ingesta de alimentos, estos neurotransmisores controlan el centro de saciedad y hambre que se encuentra en el hipotálamo.

Cuando el organismo se encuentra en un estado de ayuno, la actividad del sistema nervioso disminuye, con esto, la reacción en cadena para movilizar las reservas energéticas se dan incrementando los niveles de adrenalina que repercute en las glándulas suprarrenales.

### **Serotonina y neuropéptido Y**

En estado de ayuno o interdigestivos, las concentraciones del neuropéptido Y aumentan, con el fin de activar el centro de hambre.

La serotonina activa también el centro de hambre, y cuando los niveles son elevados es la responsable del aumento del apetito por alimentos dulces

Para aumentar tus conocimientos, es importante que visualices el siguiente video:



Neuronas y neurotransmisores.  
<https://www.youtube.com/watch?v=3LAKYZmAnLM>



## 2.6. Riñones

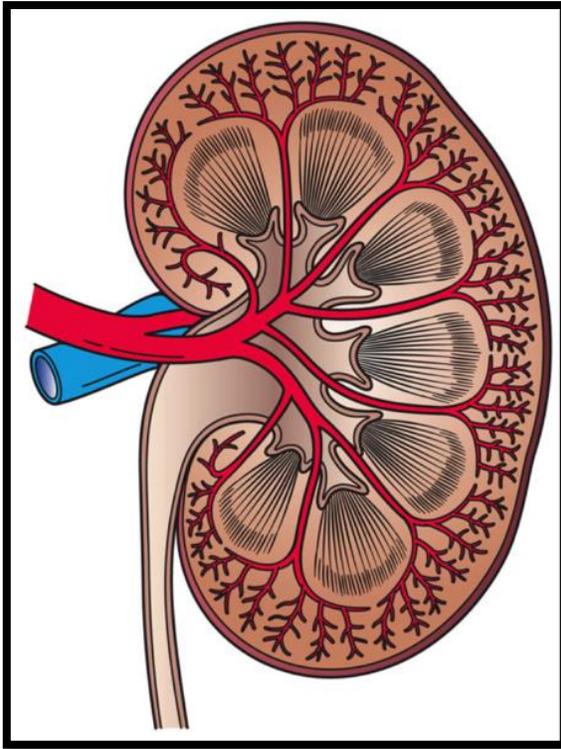


Figura 24. Riñón

Los riñones tienen diversas funciones que intervienen en la homeostasis del organismo, controlando el equilibrio ácido-básico, la presión arterial, la producción de orina y también de manera endocrina, sintetizando hormonas como la eritropoyetina y la dihidrocolecalciferol.

Durante el estado de ayuno, se presentan alteraciones que afectan al metabolismo renal.

Si bien, los riñones representan un porcentaje diminuto del organismo, para realizar todas sus funciones necesita de suficiente energía.

Los principales sustratos energéticos que utiliza el riñón son la glucosa y el lactato.

La glucosa tiene un papel importante, participando en la secreción de potasio, del ión hidrógeno, transporte de bicarbonato, sodio y depuración de agua.

Sin embargo, después de 72 horas de ayuno, hay un aumento de ácidos grasos y cuerpos cetónicos a nivel renal, debido a la disminución en la captación del lactato. La captación de glucosa a pesar del ayuno no se ve alterada. Sin embargo, la utilización de ésta por la nefrona, disminuye.

Durante el ayuno, parte de la gluconeogénesis se realiza en el riñón, A diferencia del hígado, el riñón tiene como sustrato principal en la gluconeogénesis a la glutamina, produciendo amoniaco en lugar de urea.

En cuanto a la función renal, se ha demostrado que durante el ayuno se presenta una disminución en la filtración glomerular, la cual se normaliza ante la ingesta de alimento.

Cuando el ayuno es prolongado, el riñón al igual que el cerebro, comienza a utilizar cuerpos cetónicos para sus funciones vitales.



## Cierre de unidad

¡Felicidades! has concluido la unidad 3. Hagamos una recapitulación de lo aprendido.

El cuerpo humano requiere de energía constante para su funcionamiento vital a lo largo del día y la noche, sin embargo, es imposible estar comiendo a todas horas, por lo que mediante un control impresionantemente adecuado para la activación e inhibición de las rutas metabólicas anteriormente revisadas, la vida es posible.

En el ciclo de alimentación-ayuno se identifican tres etapas fundamentales: posprandial, de ayuno temprano (etapa post-absortiva) y de estado de inanición que se subdivide a su vez en temprano y tardío.

Los sistemas reguladores que intervienen en la modulación de ingesta y el control de peso corporal son varios, como los compuestos neuroquímicos, los depósitos de grasa, la masa proteica, las hormonas y los factores post-ingesta.

Las hormonas y los neurotransmisores cumplen un papel fundamental en la regulación del ciclo de alimentación-ayuno.

Hay órganos que tienen particularidades metabólicas especiales como el tubo digestivo, hígado, músculo, tejido adiposo, cerebro y riñones.

A partir de los conocimientos construidos tendrás la posibilidad de ampliar la visión del metabolismo así como comprender lo que ocurre con cada órgano y con el organismo en general en periodos de ayuno y posprandiales, y integrar así todas las rutas metabólicas con los casos de salud reales, esto será de gran utilidad para la práctica profesional.



## Para saber más



### Datos de fuentes documentales:

Carvalho, R.F., Rosa, G., Huguenin, G. B., Luiz, R.R., Moreira, A.B., & Oliveira, G. M. (2015). The association of selenium status with thyroid hormones and anthropometric values in dyslipidemic patients. *Nutrición hospitalaria*, 31 (4), 1832-1838. Recuperado de: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25795977/>



### Datos de libros:

Ascencio, C. (2012) *Fisiología de la nutrición*. México  
Pág. 123 figura 9-18 (estado basal)  
Pág.126 figura 9-22 (estado posprandial)



Datos del video:

1.- Ciclo de Cori

<https://www.youtube.com/watch?v=66xnX2fid6s>

2.- NatGeo ciencia de la obesidad

<https://www.youtube.com/watch?v=7G3WAX3AwCI>

3. Neuronas y neurotransmisores

<https://www.youtube.com/watch?v=3LAKYZmAnLM>



## Actividades

**La elaboración de las actividades estará guiada por tu docente en línea**, mismo que te indicará, a través de la *Planificación de Actividades*, la dinámica que tú y tus compañeros (as) llevarán a cabo, así como los envíos que tendrán que realizar.

Para el envío de tus trabajos usarás la siguiente nomenclatura: **BME\_U3\_A#\_XXYZ**, donde BME corresponde a las siglas de la asignatura, U3 es la unidad de conocimiento, A# es el número y tipo de actividad, el cual debes sustituir considerando la actividad que se realices, XX son las primeras letras de tu nombre, Y la primera letra de tu apellido paterno y Z la primera letra de tu apellido materno.

### Autorreflexiones

Para la parte de **autorreflexiones** debes responder las *Preguntas de Autorreflexión* indicadas por tu docente en línea y enviar tu archivo. Cabe recordar que esta actividad tiene una ponderación del 10% de tu evaluación.

Para el envío de tu autorreflexión utiliza la siguiente nomenclatura:

**BME\_U3\_ATR\_XXYZ**, donde BME corresponde a las siglas de la asignatura, U3 es la unidad de conocimiento, XX son las primeras letras de tu nombre, y la primera letra de tu apellido paterno y Z la primera letra de tu apellido materno.



## Fuentes de consulta



### Básicas

Ascencio, C. (2012) *Fisiología de la nutrición*. México, MX: Mc Graw Hill.

Garrido, A., Villaverde, C., Blanco M., Teijón, J., Mendoza, C., & Ramírez, J. (2011) *Fundamentos de bioquímica metabólica* 3ª ed. Madrid, España: Tébar Flores.

Ruy-Díaz, J., Barragán, R., & Gutiérrez, R. (2013). *Endonutrición: apoyo nutricional* (2a. ed.). México, D.F., MX: Editorial El Manual Moderno.

Murray, R., Bender, D., Kennelly, P., Rodwell, V., & Weil, P. (2010). *HARPER bioquímica ilustrada* 28ª ed. México, D. F., MX: Mc Graw Hill.

### Complementaria

Aranda, A. (2015). *Las hormonas*. Madrid, ES: Editorial CSIC Consejo Superior de Investigaciones Científicas.

Mahan, L., Escott-Stump, S., & Raymon, J. (2012) *Krause dietoterapia* 13 ed. Barcelona, España: Editorial Elsevier.



## Lista de citas de figuras

Figura 1. Unidad 3

Figura 2. Ciclo de alimentación-ayuno

Figura 3. Mephisto spa. (2011). Cori Cycle with alanine scheme (figura). Recuperado de: [https://es.m.wikipedia.org/wiki/Archivo:Esquema\\_del\\_Ciclo\\_de\\_Cori.png](https://es.m.wikipedia.org/wiki/Archivo:Esquema_del_Ciclo_de_Cori.png)

Figura 4. Acción de la pituitaria en órganos y glándulas. (2010). (figura). Recuperado de: <https://es.m.wikipedia.org/wiki/Archivo:Hormonas-hipofisis.jpg>

Figura 5. González Laguna, Arturo. (2014). Mecanismo de acción hormonal. figura}. Recuperado de [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Esquema\\_de\\_funcionamiento\\_hormonal.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Esquema_de_funcionamiento_hormonal.svg)

Figura 6. Posible2006. (2017). Pancreasanatomia. (figura). Recuperado de: <https://es.m.wikipedia.org/wiki/Archivo:Pancreasanatomia.jpg>

Figura 7. Hormonas pancreáticas.

Figura 8. Lakroide. (2006). Tiroides anatomia 01. (figura). Recuperado de: [https://es.m.wikipedia.org/wiki/Archivo:Tiroides\\_anatomia\\_01.jpg](https://es.m.wikipedia.org/wiki/Archivo:Tiroides_anatomia_01.jpg)

Figura 9. Bhandari, J. (2009). Goiter. (figura). Recuperado de: <https://pt.wikipedia.org/wiki/B%C3%B3cio#/media/File:Goiter.JPG>

Figura 10. Producción de hormonas tiroideas.

Figura 11. Tirna, G. (2015). Pertoneum. (figura). Recuperado de: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Peritoneum.jpg>

Figura 12. Remesz, Olek. (2007). Scheme of digestive tract, with parts of colon marked (figura). Recuperado de: [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/6/6a/Tractus\\_intestinalis\\_intestinum\\_crassum.svg/2000px-Tractus\\_intestinalis\\_intestinum\\_crassum.svg.png](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/6/6a/Tractus_intestinalis_intestinum_crassum.svg/2000px-Tractus_intestinalis_intestinum_crassum.svg.png)

Figura 13. Kinari Medina, Evelin. (2016). Los neurotransmisores es la forma de comunicarse de las neuronas. (figura). Recuperado de: <https://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Neurotransmisores.png>

Figura 14. Anónimo (sin año). Órganos, anatomía, cerebro, riñón. (figura). Recuperado de: [https://pixabay.com/p-153547/?no\\_redirect](https://pixabay.com/p-153547/?no_redirect)



Figura 15. Anónimo.(2006).El aparato digestivo donde se señalan cada una de sus partes incluido el colon o intestino grueso. (figura). Recuperado de: [fr.wikipedia.org](http://fr.wikipedia.org)

Figura 16. Fase cefálica de la digestión.

Figura 17. Sánchez, Gilberto.(2011). Hígado. (figura). Recuperado de: <https://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:H%C3%ADgado.png>

Figura 18. Arcadian. (2017). Diagrama de la estructura de un músculo esquelético (figura). Recuperado de: [https://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Illu\\_muscle\\_structure\\_-\\_es.jpg](https://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Illu_muscle_structure_-_es.jpg)

Figura 19. Fuentes de energía durante el ayuno

Figura 20. Reytan. (2006). Yellow adipose tissue in paraffin section - lipids washed out. (figura). Recuperado de: [https://pt.wikipedia.org/wiki/Tecido\\_conjuntivo#/media/File:Yellow\\_adipose\\_tissue\\_in\\_paraffin\\_section\\_-\\_lipids\\_washed\\_out.jpg](https://pt.wikipedia.org/wiki/Tecido_conjuntivo#/media/File:Yellow_adipose_tissue_in_paraffin_section_-_lipids_washed_out.jpg)

Figura 21. Tumisu. (2017) perder peso, grasa, delgado, dieta. (figura). Recuperado de: <https://pixabay.com/es/perder-peso-grasa-delgado-dieta-1911605/>

Figura 22. Sustancias secretadas por el tejido adiposo.

Figura 23. Anónimo (2017). Anatomía cerebro sección transversal la cabeza (figura). Recuperado de: <https://pixabay.com/es/anatom%C3%ADa-cerebro-sección-transversal-2027131/>

Figura 24. Artwork by Holly Fischer (2013). Section of a Kidney. (figura). Recuperado de: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Kidney\\_Cross\\_Section.png](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Kidney_Cross_Section.png)