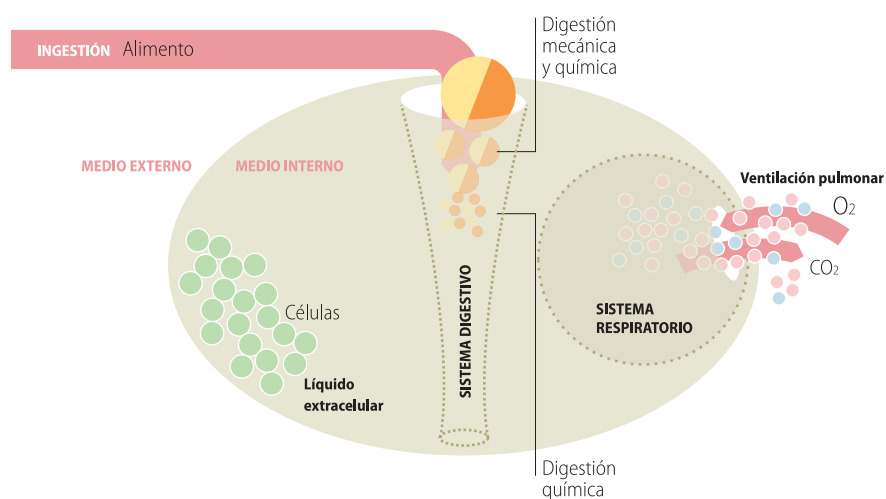
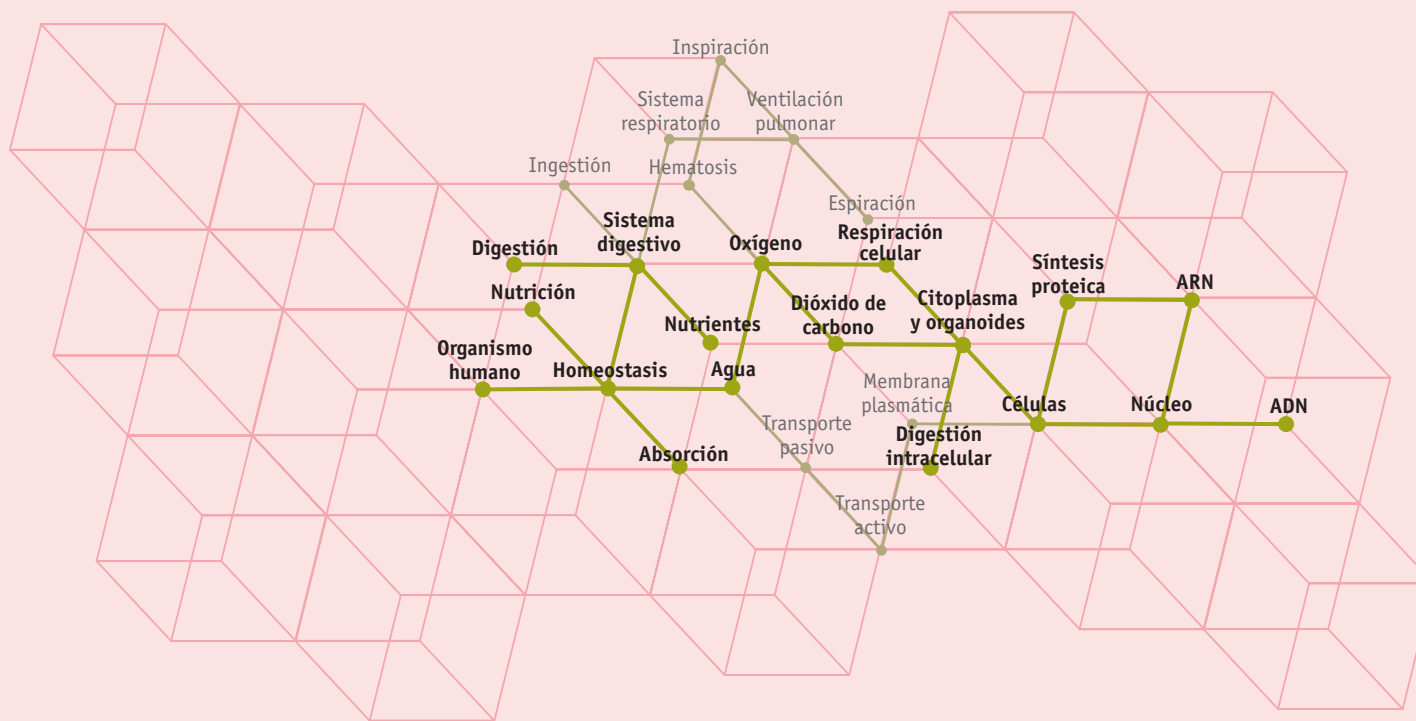


2 TRANSFORMACIÓN DE LOS NUTRIENTES

Transformaciones en el sistema digestivo

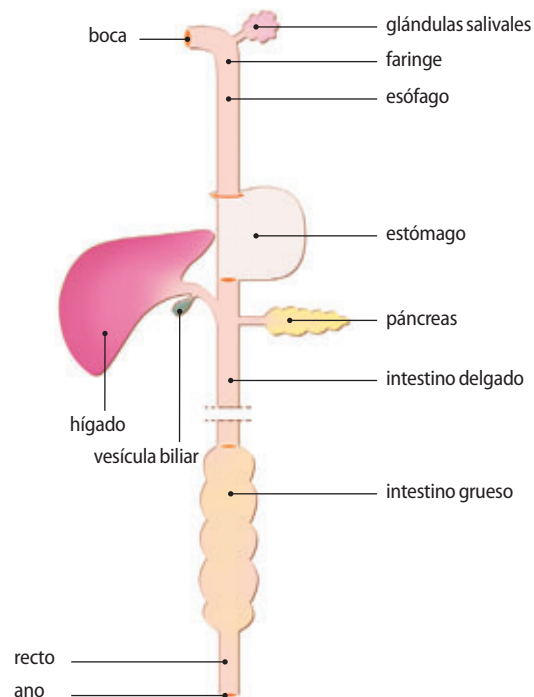
En el **sistema digestivo** no solo se llevan a cabo procesos vinculados con la ingestión de los alimentos (como se explicó en el capítulo anterior), sino también con su transformación o **digestión**, con la absorción de los nutrientes y la eliminación de los materiales no absorbidos (procesos que se explicarán en este capítulo).





Parte del sistema digestivo está formado por un tubo largo y continuo que comienza en la boca y termina en el ano. La mayor parte de ese **tubo o tracto digestivo** se encuentra plegado en la cavidad abdominal. El tubo digestivo tiene regiones con estructura y dimensiones diferentes entre sí, donde se producen actividades específicas. Cada porción diferenciada constituye un órgano que, dispuesto uno a continuación del otro, forman un conjunto de órganos relacionados: la **boca**, la **faringe**, el **esófago**, el **estómago**, el **intestino delgado**, el **intestino grueso** y el **recto**, que termina en el **ano**.

Además, el sistema digestivo está compuesto por glándulas externas al tubo, las **glándulas anexas**, como las **glándulas salivales**, el **hígado** y el **páncreas**. Estas glándulas elaboran fluidos que contienen **enzimas** y otras sustancias que, vertidas en el interior del conducto digestivo, intervienen en la transformación o digestión de los alimentos.



Transformaciones en la boca

En la boca comienza la transformación mecánica y química de los alimentos, y se produce la insalivación, la recepción de los sabores de la comida y la deglución.

Durante la **digestión mecánica** de los alimentos, los dientes cortan, desgarran y trituran los alimentos en fragmentos de un tamaño que pueden ser deglutidos o tragados. La masticación de los alimentos también favorece un mayor contacto entre éstos y la saliva.

La **lengua** contribuye a la transformación mecánica, junto con la acción de los músculos de las mejillas.

La **saliva** contiene un tipo de enzima, la **amilasa salival** que actúa sobre el **almidón**, polisacárido contenido en ciertos alimentos, como el pan, el arroz y los fideos. Esta enzima interviene en la degradación del almidón y lo transforma en moléculas de **maltosa**, disacárido de estructura más sencilla. La saliva, entonces, inicia la **digestión química** de un tipo de hidrato de carbono de estructura compleja, el almidón, y lo transforma en otro tipo de carbohidrato de composición más sencilla, la maltosa.



1. Con botones, clips o bolitas de plastilina, modelicen el proceso de digestión del almidón.
2. ¿Qué representa cada uno de los objetos que usaron en la modelización de la digestión del almidón: una molécula, un átomo o una agrupación definida de átomos?

Modelos científicos

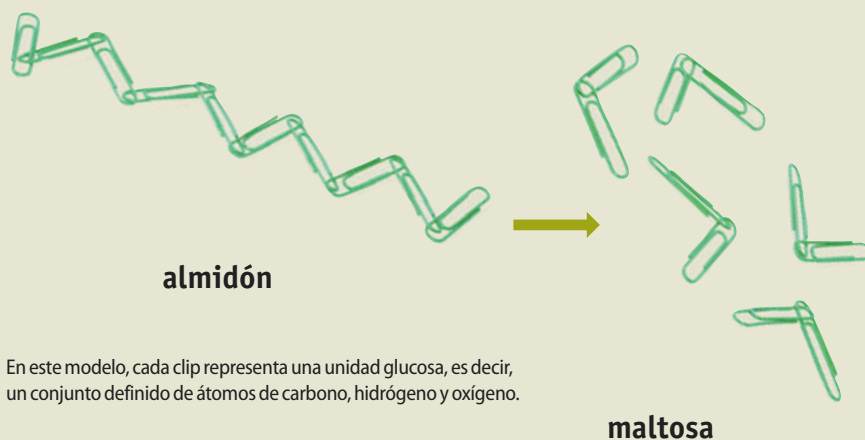
almidón + agua + amilasa salival → **maltosa + amilasa salival**

La ruptura de las uniones entre las unidades glucosa del almidón se produce con la adición de agua. El producto es gran cantidad de moléculas de maltosa. Esta reacción se produce en un pH entre 7 y 8, es decir, ligeramente alcalino porque la saliva contiene bicarbonato de sodio.

Modelo simplificado de la hidrólisis del almidón en la boca



Modelos escolares



Desde el esófago al recto, la pared del tubo digestivo consta básicamente de cuatro capas concéntricas de tejidos. Si bien cada órgano de este conducto está especializado en una fase particular del proceso digestivo, la estructura básica de cada uno de ellos es similar.

■ La **mucosa** es la capa más interna. Está constituida por células epiteliales, algunas secretoras de mucus y en ciertos lugares presenta glándulas.

■ La **submucosa** está formada por tejido conectivo y contiene vasos sanguíneos, linfáticos, glándulas y nervios.

■ El **tejido muscular liso** es una capa que presenta una zona interna cuyas células se disponen en forma **circular**, y una externa en la que están en disposición **longitudinal**. La contracción y relajación de ambas capas de músculo produce los movimientos de segmentación y peristaltismo del tubo digestivo. En algunas regiones de este tubo, la capa de tejido muscular circular está engrosada y forma bandas anchas circulares llamadas **esfínteres**. Los esfínteres se contraen o relajan, y así actúan como válvulas que regulan el pasaje del alimento de un órgano del tubo digestivo a otro.

■ La **serosa** o **peritoneo**, es una capa de tejido conectivo que cubre la superficie externa de los órganos de la cavidad abdominal. El **mesenterio** es un pliegue de peritoneo que sostiene y fija la mayor parte del tubo digestivo a la pared posterior del abdomen.

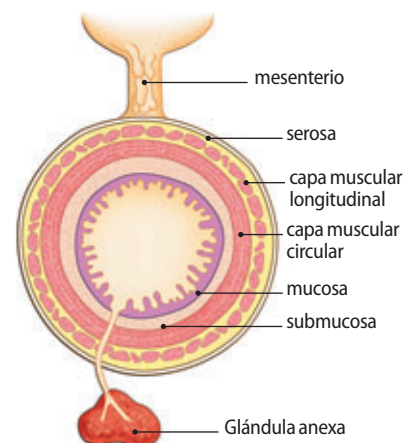
A través de la **deglución**, el bolo alimenticio ingresa a la faringe y luego al esófago. El **esófago** es un tubo de aproximadamente 25 cm de longitud que conecta la faringe con el estómago a través del **cardias**. Éste es un anillo de fibras musculares que se dilata con la entrada del alimento y se contrae luego, impidiendo el reflujo del contenido del estómago al esófago.

La mucosa del esófago secreta mucus que lubrica sus paredes y facilita el desplazamiento del bolo de alimento.

Las fibras musculares que componen la capa circular se contraen por encima de la masa de alimento y se relajan por debajo de ella. Una serie de ondas progresivas, llamadas **movimientos peristálticos**, impulsan el bolo hacia el estómago progresivamente. Los movimientos peristálticos también se producen en el estómago y en el intestino.



El **peristaltismo** es un movimiento que impulsa el alimento a lo largo del tubo digestivo en dirección hacia el ano, aunque la persona esté en posición vertical o en situación de ingravidez, como le ocurre a los astronautas en el espacio exterior.



¿Cómo averiguar experimentalmente la acción de la saliva sobre el almidón?

Para responder esta pregunta necesitan cuatro tubos de ensayo, una gradilla, una varilla de vidrio, miga de pan, reactivo de lugol, un vaso de precipitados, reactivos de Fehling A y B, una pinza de madera y un mechero.

1. Coloquen los tubos de ensayo en una gradilla y numérenlos.

2. Desmenucen la miga de pan en un vaso de precipitados y agreguen agua hasta obtener una pasta.

3. Viertan porciones iguales de la mezcla anterior en cada tubo de ensayo.

4. Agreguen en el tubo N°1 tres gotas de reactivo de lugol.

5. Observen y registren los resultados. Elaboren conclusiones.

6. Coloquen en el tubo N°2 cinco gotas de reactivo de Fehling A y cinco gotas de reactivo de Fehling B.

7. Sostengan el tubo con la pinza de madera y calienten con cuidado sobre la llama del mechero.

8. Observen y registren los resultados. Elaboren conclusiones.

9. Agreguen un poco de saliva en el tubo N°3 y revuelvan la mezcla con la varilla de vidrio.

10. Mantengan entre sus manos el tubo de ensayo durante 10 minutos.

11. Pasado ese tiempo, agreguen tres gotas de reactivo de lugol.

12. Observen y registren los resultados. Elaboren conclusiones.

13. Repitan el procedimiento anterior en el tubo N°4 pero, finalizado el tiempo, agreguen cinco gotas de reactivo de Fehling A y cinco gotas de reactivo de Fehling B.

14. Sostengan el tubo con la pinza de madera y calienten con cuidado sobre la llama del mechero.

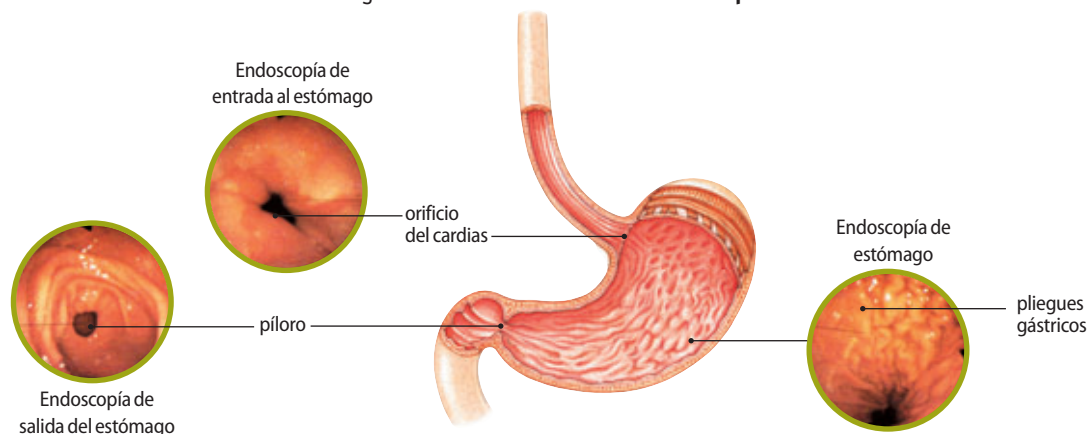
15. Observen y registren los resultados. Elaboren conclusiones.

16. Formulen una conclusión que integre las elaboradas en cada experimento.



Transformaciones en el estómago

Luego del tránsito por el esófago, el bolo alimenticio ingresa al **estómago**, la porción más dilatada del tubo digestivo. El estómago es un órgano muscular que puede almacenar alrededor de 2 litros de alimento. Se encuentra en la parte superior izquierda de la cavidad abdominal, debajo del diafragma. La porción inferior del estómago se comunica con el intestino delgado a través de un esfínter llamado **píloro**.



Las contracciones musculares localizadas del estómago intervienen en la mezcla y fragmentación de los alimentos. Cuando el estómago está vacío, estos movimientos continuados e intensos se describen como la “sensación de hambre”.

Las paredes internas del estómago tienen **glándulas gástricas** que secretan el **jugo gástrico**, fluido que interviene en parte de la **digestión química** de los alimentos. El jugo gástrico está compuesto por:

- **ácido clorhídrico:** esta sustancia proporciona el medio ácido que mata a la mayoría de las bacterias ingeridas con el alimento y contribuye con la degradación de materiales fibrosos de origen vegetal y animal. Además, proporciona el medio ácido óptimo para la acción de las enzimas gástricas.

- **enzimas gástricas:** la **pepsina** es una enzima que inicia la degradación de las proteínas en moléculas más pequeñas o **polipéptidos**. Esta enzima es secretada en forma inactiva como **pepsinógeno**. Sin embargo, la acidez del medio activa la conversión del pepsinógeno en pepsina. La **lipasa gástrica** es otra enzima gástrica que actúa sobre cierto tipo de lípidos, como los triglicéridos de la manteca, convirtiéndolos en moléculas más pequeñas, como el glicerol y los ácidos grasos.

- **moco:** fluido formado principalmente por glucoproteínas que, junto al **bicarbonato** secretado, forman una capa que cubre la mucosa del estómago y la protege de la acción del ácido clorhídrico y de la pepsina. El alcohol, algunos medicamentos y el agua pueden ser absorbidos por la mucosa de las paredes del estómago e ingresar directamente a la circulación sanguínea.

Los alimentos parcialmente digeridos, junto con el jugo gástrico, forman una masa semilíquida y ácida denominada **quimo**. Los movimientos peristálticos impulsan el quimo hacia el intestino delgado a través del píloro. Este esfínter se relaja y se contrae, permitiendo el pasaje de una pequeña porción de quimo cada 20 segundos.



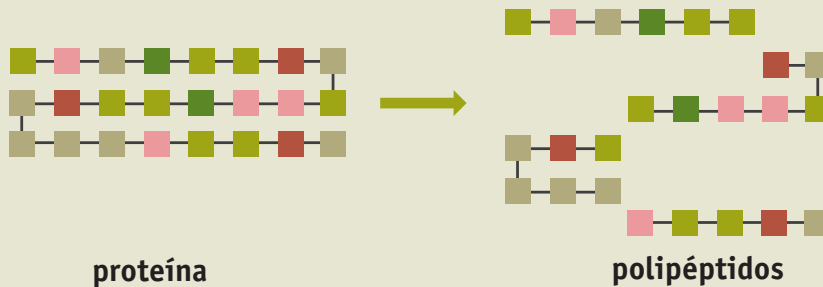
1. Con bolitas de plastilina, botones o clips, modelicen 4 moléculas de ácido clorhídrico.
2. Comparen las dimensiones y complejidad de una molécula de ácido clorhídrico y de una molécula del aminoácido que modelizaron en la actividad de la página 15, la glicina.

Modelos científicos

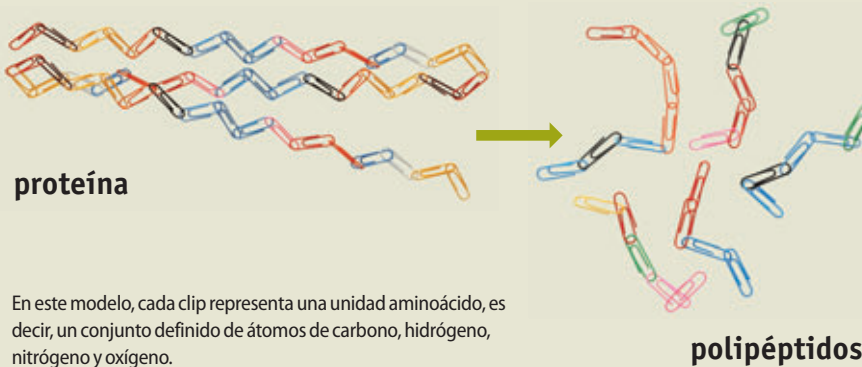
proteínas + agua + pepsina → polipéptidos + pepsina

La ruptura de las uniones entre las unidades aminoácido de las proteínas se produce con la adición de agua. El producto es gran cantidad de moléculas de polipéptidos. Esta reacción se produce en un pH entre 1 y 3, es decir, muy ácido debido al ácido clorhídrico secretado.

Modelo simplificado de la hidrólisis de las proteínas en el estómago



Modelos escolares



En este modelo, cada clip representa una unidad aminoácido, es decir, un conjunto definido de átomos de carbono, hidrógeno, nitrógeno y oxígeno.

1. Modelicen con clips, bolitas de plastilina o botones la digestión de una proteína.

2. ¿Qué representa cada uno de los objetos que usaron en la modelización de la digestión de la proteína: una molécula, un átomo o una agrupación definida de átomos?

CON-TEXTO DE LA TECNOLOGÍA

Tratamientos para la obesidad severa

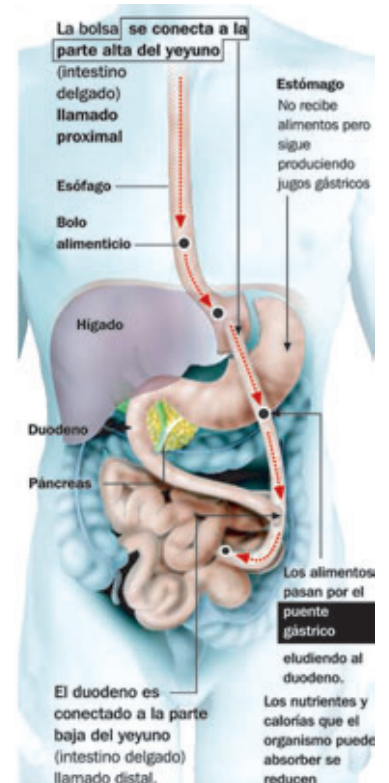
En los últimos años se han desarrollado diversos tratamientos de la obesidad severa, que incluyen la aplicación de dispositivos o la realización de técnicas quirúrgicas en el estómago.

El **balón intragástrico** se aplica cuando el exceso de peso es de más de 25 kg. Es una esfera de silicona que se coloca mediante endoscopia en el interior

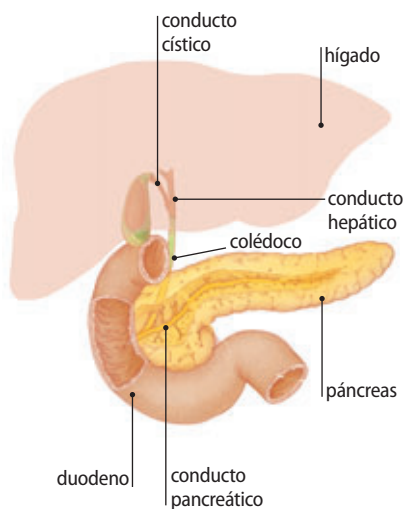
del estómago y se infla con solución salina estéril. Al ocupar entre un tercio y la mitad del estómago, reduce su tamaño y estimula el centro nervioso de la saciedad, enviando al cerebro señales de que se encuentra lleno. Este dispositivo puede extraerse una vez logrado el peso adecuado.

La **banda gástrica** se aplica cuando el exceso de peso es de más de 40 kg. Es como un cinturón que se coloca alrededor del estómago mediante cirugía tradicional o laparoscopia. De esta forma, el órgano queda con una forma parecida a la de un reloj de arena. Se logra así más saciedad con menor cantidad de alimentos.

El **by-pass gastroentérico** se aplica cuando el exceso de peso es de más de 40 kg. Consiste en reducir el tamaño del estómago y conectarlo con la porción inferior del intestino delgado mediante cirugía tradicional o laparoscopia. El resultado es la obtención de mayor saciedad y menor absorción de nutrientes por falta de jugos digestivos en el primer tramo del intestino.



La operación dura unas cuatro horas y en general se realiza por laparoscopia.



La **bilis** es liberada al intestino delgado a través de una serie de conductos. Desde el hígado circula por el **conducto hepático**; luego transita por el **conducto cístico** de la vesícula; y llega al duodeno a través del **colédoco**.

Este último desemboca en el duodeno, junto con el **conducto pancreático**.

En el punto de unión de ambos conductos hay un esfínter que regula el flujo de la bilis y del jugo pancreático que ingresa al intestino.

Transformaciones en el intestino delgado

En el **intestino delgado** se produce la mayor parte de la digestión de los alimentos y la absorción de los nutrientes. Este órgano es la porción más larga del tubo digestivo y se encuentra muy plegado dentro de la cavidad abdominal. Mide alrededor de 6 m de longitud y se divide en tres partes: el **duodeno** (25 cm) que es la parte más activa en el proceso digestivo; el **yeyuno** (2,2 m) y el **íleon** (3,3 m). Las dos últimas partes del intestino delgado participan principalmente en la absorción de nutrientes.

La **digestión química** de los alimentos es efectuada por secreciones que provienen de tres órganos: el hígado, el páncreas y la mucosa intestinal. Como en el estómago, las paredes del intestino delgado están protegidas de la acción enzimática por una capa de mucus producida por las células de la mucosa.

El **hígado** es una glándula que produce **bilis**, fluido compuesto por agua, colesterol, lecitina, ácidos, sales y pigmentos biliares, que se almacena en la **vesícula biliar**.

Cuando el quimo llega al duodeno, la vesícula se contrae y libera bilis. Esta mezcla actúa sobre las grasas como un detergente y forma una **emulsión**. Es decir, desintegra los grandes glóbulos de grasa y los transforma en gotitas microscópicas llamadas **micelas**, que presentan en conjunto mayor superficie expuesta a la acción de las enzimas.

En ciertas ocasiones, pueden formarse cálculos biliares en la vesícula o en su conducto y ésta debe ser extirpada quirúrgicamente. La mayoría de los cálculos contienen una mezcla de colesterol y sales de calcio con una pequeña cantidad de pigmentos biliares. El desarrollo de los cálculos se debe principalmente a un desequilibrio en la degradación de las sustancias que componen la bilis.

El **páncreas** produce y libera al interior del duodeno una mezcla de agua, bicarbonato de sodio y diversas enzimas digestivas que degradan carbohidratos, lípidos y proteínas. El conjunto de todas estas sustancias se denomina **jugo pancreático**.

La bilis y el jugo pancreático neutralizan la acidez del quimo proveniente del estómago y proveen el medio alcalino que requieren las enzimas que actúan en el duodeno.

Modelos científicos

**almidón + agua
+ amilasa pancreática**



**maltosa
+ amilasa pancreática**

La amilasa pancreática actúa sobre el almidón que no ha sido digerido en la boca. La ruptura de las uniones entre las unidades glucosa se produce con la adición de agua. El producto es gran cantidad de moléculas de maltosa. Esta reacción se produce en un pH neutro o ligeramente alcalino.

Modelo simplificado de la hidrólisis del almidón en el intestino delgado



1. Si bien la digestión del almidón en el intestino delgado es similar a la que se produce en la boca, modelicen con clips, bolitas de plastilina o botones este proceso, simulando qué ocurre en el duodeno.
2. Modelicen la digestión de una proteína en el intestino delgado.
3. ¿Qué representa cada uno de los objetos que usaron en la modelización de la digestión de la proteína: una molécula, un átomo o una unidad del polímero?

Modelos científicos

**triglicérido + agua
+ lipasa pancreática**



**glicerina + ácidos grasos
+ lipasa pancreática**

La lipasa pancreática actúa sobre los triglicéridos emulsionados por la bilis. La ruptura de las uniones entre la glicerina y los ácidos grasos se produce con la adición de agua. Esta reacción se produce en un pH neutro o ligeramente alcalino.

Modelo simplificado de la hidrólisis de los triglicéridos en el intestino delgado



Modelos escolares



En este modelo, un clip representa una unidad glicerina y los otros tres representan las unidades ácidos grasos.

CON-CIENCIA EN LOS DATOS

1. En una persona adulta:
■ su tubo digestivo completo pesa aproximadamente 4,50 kg (hígado: 1,70 kg; páncreas: 70 g);
■ si se pudieran extender todas las prolongaciones que poseen las paredes intestinales internas, se podría "alfombrar" una cancha de tenis (200 m²)
2. El sistema digestivo de una persona de 70 años procesó en ese período 15 toneladas de alimentos y 45 500 litros de agua.

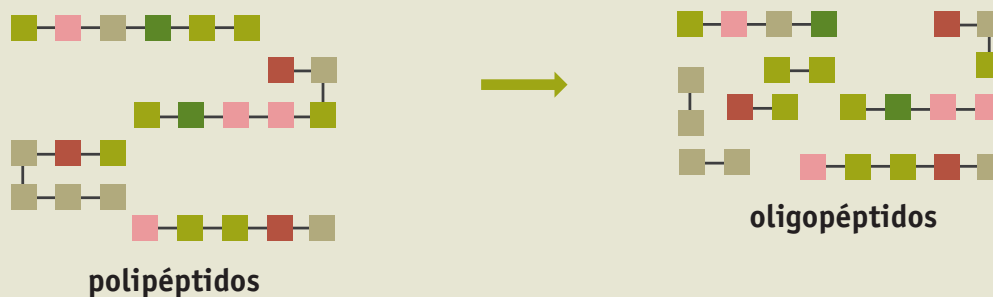


1. Modelicen las transformaciones que producen las enzimas provenientes de la mucosa intestinal con clips, botones o bolitas de plastilina.
2. ¿Qué representa cada uno de los objetos que usaron en la modelización de la digestión del triglicérido: una molécula, un átomo o una agrupación definida de átomos?

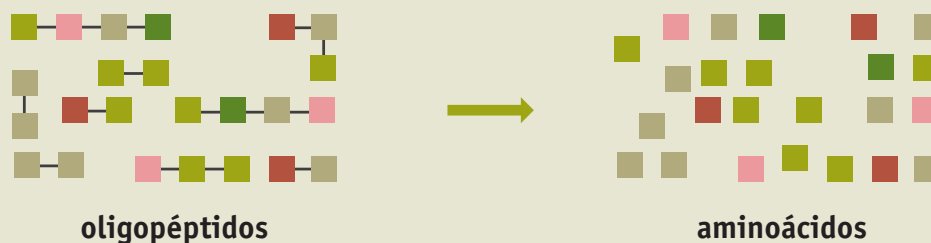
Modelos científicos

proteínas + agua + tripsina y quimiotripsina → oligopéptidos + tripsina y quimiotripsina

Modelos simplificados de la hidrólisis de las proteínas en el intestino delgado



oligopéptidos + agua + carboxipeptidasa → aminoácidos + carboxipeptidasa



La ruptura de las uniones entre las unidades aminoácido de los polipéptidos se produce con la adición de agua. El producto es gran cantidad de moléculas de oligopéptidos. La carboxipeptidasa separa los aminoácidos que constituyen los oligopéptidos. Todas estas enzimas que digieren proteínas (**proteasas**) son secretadas en forma inactiva y se activan con el pH alcalino presente en el duodeno.

Modelos escolares



En este modelo, cada clip representa una unidad aminoácido, es decir, un conjunto definido de átomos de carbono, hidrógeno, nitrógeno y oxígeno.

Las células de la **mucosa intestinal** liberan diversos tipos de enzimas que completan la digestión de los nutrientes.

La **maltasa** desdobla la maltosa en moléculas de glucosa. Además, otros disacáridos ingeridos, como la sacarosa o la lactosa son degradados en monosacáridos por acción de la **sacarasa** y la **lactasa**, respectivamente.

Las enzimas **aminopeptidasa** y **dipeptidasa** completan la degradación de polipéptidos y oligopéptidos en aminoácidos. Además, algunos péptidos cortos y dipéptidos pueden ingresar a las células intestinales y allí ser degradados en aminoácidos por **peptidasas** presentes en el interior de las células.

En consecuencia, la acción de los jugos digestivos secretados en el intestino delgado transforma la composición del quimo. Éste adquiere el aspecto de un líquido “lechoso” denominado **quilo**.

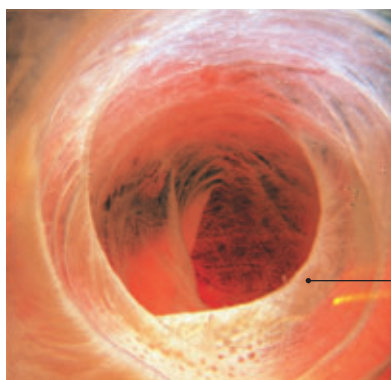
A su vez, las contracciones musculares no sincronizadas de la capa muscular del intestino producen los **movimientos de segmentación**. Éstos movilizan el quilo permanentemente y contribuyen a la digestión mecánica y la mezcla de sus componentes. De esta manera, aumenta la permanencia del quilo en contacto con la superficie intestinal y se incrementa la digestión y la absorción de los nutrientes.

Absorción de los nutrientes

Una vez finalizada la digestión de los carbohidratos, los lípidos y las proteínas en moléculas de estructura más sencilla y de menor tamaño, su **absorción** se produce principalmente en el **yeyuno** y, en menor proporción, en el **íleon**. De esta forma, los productos de la digestión, el agua y los micronutrientes (minerales, vitaminas), ingresan a la circulación general y son distribuidos por todo el organismo a través del **sistema circulatorio**.

La especialización de la pared interna del intestino delgado favorece el proceso de absorción porque presenta numerosos pliegues de la mucosa que, a su vez, poseen diminutos pliegues en forma de “dedos” llamados **vellosidades intestinales**. Asimismo, la superficie de las vellosidades presenta **microvellosidades**, que son proyecciones microscópicas de las membranas celulares de las células superficiales. Todas estas especializaciones incrementan la superficie de absorción de los nutrientes.

Los productos de la digestión de los carbohidratos y de las proteínas, el agua, los minerales y la mayoría de las vitaminas ingresan en el **sistema circulatorio** por los capilares sanguíneos y son transportados por la **sangre** hacia los vasos sanguíneos mayores. En cambio, los productos de la digestión de los lípidos y algunas vitaminas ingresan en el **sistema linfático** a través de los capilares linfáticos de cada vellosidad y luego pasan a la circulación sanguínea, cuando la **linfa** es volcada en las venas. De este modo, la sangre rica en nutrientes que proviene del intestino circula hacia el hígado. En este órgano algunos nutrientes son transformados en sustancias vitales para el funcionamiento del organismo. Después, desde el hígado, la sangre con nutrientes circula hacia el corazón, que la impulsa por todo el cuerpo.



Endoscopia de intestino delgado



Fotomicrografía por MEB de vellosidades intestinales

Cada vellosidad está provista de una red de capilares sanguíneos y uno linfático, llamado **quilífero**.

La absorción de otros nutrientes

El agua, las vitaminas y los minerales son absorbidos en el intestino delgado prácticamente sin sufrir transformaciones físicas y químicas.

Además, cuando se comen frutas, verduras y carnes, se ingiere cierta cantidad de ácidos nucleicos. El **ADN** y el **ARN** presente en las células de estos alimentos son degradados a sus nucleótidos, por acción de las enzimas **desoxirribonucleasa** y **ribonucleasa** del jugo pancreático. Luego, un conjunto de enzimas llamadas **nucleasas**, presentes en las superficies de las células de la mucosa intestinal, completan la degradación de los nucleótidos en ácido fosfórico, monosacáridos (desoxirribosa y ribosa) y bases nitrogenadas. Estas moléculas más sencillas son absorbidas por la mucosa del intestino delgado e ingresan a la circulación sanguínea.

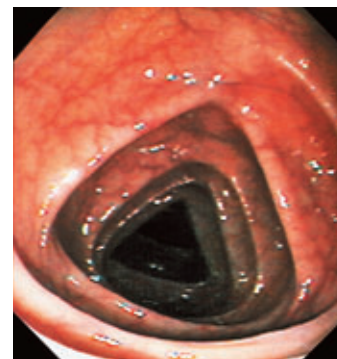
En el Capítulo 3 encontrarán un esquema del corte de una microvellosidad con su quilífero.



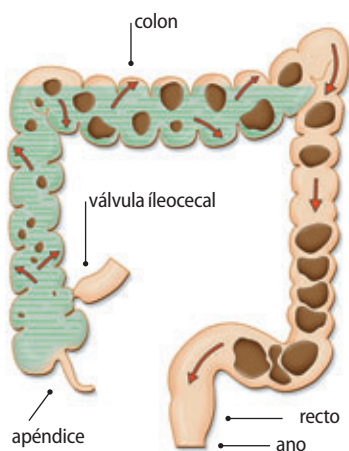
Formación de materia fecal

El resto de quilo no absorbido es conducido al **intestino grueso** por los **movimientos peristálticos** del intestino delgado. El ingreso a este órgano ocurre en una sola dirección y es regulado por una válvula ubicada en la unión entre ambos, la **válvula ileocecal**.

En esta región del intestino grueso se absorbe la mayor parte del agua y las sales del quilo. Mide alrededor de 1,5 m de longitud y 7 cm de diámetro. La mayor parte de su longitud recibe el nombre de **colon** y el segmento final de 15 cm se denomina **recto**, el cual termina en el **ano**. Por debajo de la válvula ileocecal se encuentra una prolongación con forma de dedo denominada **apéndice**. Su relación con el proceso digestivo no está definida, pero se supone que pudo haber sido un órgano activo del tracto digestivo de nuestros antepasados, hace millones de años. Debido a la presencia de estructuras linfáticas se lo vincula con el sistema de defensa durante los primeros años de vida.



Endoscopia de intestino grueso



Formación de la materia fecal en el intestino grueso.

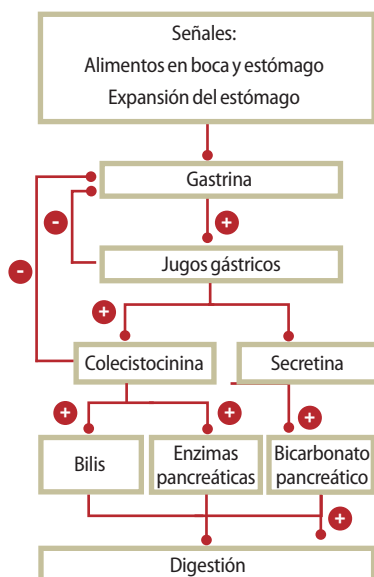
En el interior del colon habitan diferentes poblaciones de microorganismos que conforman la “flora” o **biota intestinal**. Un ejemplo de estas poblaciones es la compuesta por bacterias *Escherichia coli*. Las poblaciones de organismos microscópicos obtienen sus nutrientes a partir de la transformación de los materiales no digeridos por el organismo, especialmente la celulosa de las fibras de ciertos alimentos, ya que el sistema digestivo humano carece de enzimas digestivas que degraden este material.

La actividad bacteriana produce vitamina K y varias del grupo B, esenciales para el organismo, y cuya incorporación a través de la dieta resulta deficiente. Estas vitaminas son absorbidas por la mucosa del intestino grueso y luego pasan a la circulación sanguínea.

A su vez, los microbios intestinales inhiben el desarrollo de otros que pudieran llegar a este órgano y causar enfermedades.

Como consecuencia de la absorción de sustancias y la actividad bacteriana se forma la **materia fecal o heces**, compuesta por un 75% de agua. El 25% corresponde a material sólido formado principalmente por bacterias. El resto está compuesto por celulosa y otras fibras no digeridas, sales, grasas, células mucosas desprendidas, moco y restos de jugos digestivos. El color de las heces se debe a la degradación de los pigmentos biliares, realizado por las bacterias de la biota intestinal y al tipo de alimentos ingeridos en la dieta.

Los **movimientos peristálticos masivos** del colon mueven el material residual de una porción a la siguiente. De este modo, la materia fecal es llevada y almacenada en el recto, cuya distensión inicia el reflejo de defecar. La contracción voluntaria de los músculos abdominales provoca la defecación a través del ano, cuyo orificio está controlado por dos esfínteres, uno interno involuntario y otro externo voluntario.



La digestión está controlada por el sistema nervioso y un conjunto de hormonas específicas. Las concentraciones de estas hormonas son reguladas por procesos de **retroalimentación negativa**.



Si leen la apertura de la primera parte (página 7) pueden recordar qué significa **retroalimentación negativa**.

Homeostasis en la transformación de los nutrientes

Las secreciones del tubo y las glándulas digestivas, junto con los movimientos musculares, están regulados y coordinados por el sistema nervioso y la acción de diversas hormonas.

La vista, el olfato, el gusto, la acción de masticar o el simple hecho de pensar en un alimento, inician la secreción de la **saliva**.

Estas señales también estimulan la producción y liberación de **gastrina** en la sangre. Esta hormona es producida en el estómago y por vía sanguínea estimula la liberación de jugo gástrico. Cuando la concentración de este fluido llega a un nivel determinado, se inhibe la secreción de gastrina y, en consecuencia, también la liberación de jugo gástrico.

Cuando el quimo llega al intestino delgado, la mucosa del duodeno produce y libera en la sangre otras hormonas.

La acidez del quimo provoca la liberación de **secretina**. Esta hormona estimula la liberación de **bicarbonato** que proviene del páncreas.

Otra hormona, la **colecistocinina**, es liberada en respuesta a la presencia de alimentos grasos en el intestino. Esta hormona estimula la producción de enzimas pancreáticas y la contracción de la vesícula, la que libera bilis al interior del duodeno. Cuando la concentración de colecistocinina alcanza cierto nivel, se inhibe la secreción de gastrina y, en consecuencia, también la liberación de jugo gástrico.

El **peristaltismo** del tubo digestivo es una respuesta refleja que se inicia cuando se distienden sus paredes.

La frecuencia de las ondas peristálticas depende principalmente del tipo de alimentos ingeridos, la estimulación o la inhibición realizada por el sistema nervioso autónomo y la acción de las hormonas gastrointestinales.

Desequilibrios en la transformación de los nutrientes

GASTRITIS Y ÚLCERAS La inflamación de la mucosa gástrica llamada **gastritis**; así como el deterioro localizado de ciertas partes del estómago y del intestino delgado, las úlceras, son afecciones muy comunes del sistema digestivo.

En ambas enfermedades se produce la disminución del moco del estómago y de la porción superior del intestino delgado. De este modo, el ácido y las proteasas del quimo destruyen las diferentes capas de este tramo del tracto digestivo.

Las causas más comunes de la gastritis y las **úlceras** son: menor secreción de bicarbonato de sodio y moco, factores hereditarios y estrés. El **tabaquismo**, el **alcoholismo** y un elevado consumo de **aspirinas** disminuyen la resistencia de las paredes del tracto digestivo a la acción del ácido y la pepsina. La bacteria *Helicobacter pylori* también puede causar úlceras estomacales.

ENFERMEDAD CELÍACA Esta enfermedad de origen hereditario está relacionada con la ingesta de **gluten**, un componente presente en el trigo, la avena, la cebada y el centeno, que provoca trastornos en la mucosa del intestino delgado. Los péptidos del gluten desencadenan la atrofia de las vellosidades intestinales probablemente por reacciones inmunitarias o alérgicas. En ciertos casos, la mucosa puede volverse totalmente lisa, lo que ocasiona una disminución en la absorción de nutrientes y por lo tanto, pérdida de peso.

El tratamiento para la **enfermedad celíaca** consiste en una dieta sin **TACC** (sigla que corresponde a los cuatro cereales que contienen gluten) que permite la rápida recuperación de la mucosa intestinal.

DIARREA, COLITIS, ESTREÑIMIENTO Y HEMORROIDES Algunos virus, bacterias y otros microorganismos o sus toxinas pueden provocar la inflamación e infección del colon, es decir, **colitis**. La disminución en la absorción de agua y sales puede producir **diarrea**, es decir, aumento en la frecuencia de evacuaciones de materia fecal acuosa. El tratamiento consiste en evitar la deshidratación, a través de la ingesta de abundante líquido y la consulta médica.

El fenómeno opuesto a la diarrea se denomina **estreñimiento** o **constipación**. Las causas son diversas y por lo tanto, la consulta médica es de vital importancia. En este caso, el tránsito del contenido intestinal es lento, aumenta la absorción de agua y disminuye la frecuencia de las defecaciones. La incorporación a la dieta de alimentos ricos en fibras es recomendada para ayudar a superar este trastorno.

APENDICITIS La **apendicitis** es la inflamación del **apéndice**. Las causas que originan esta inflamación son variadas y complejas. En la mayoría de los casos, una obstrucción en la luz delapéndice produce su inflamación y la proliferación de bacterias en su interior. El tratamiento consiste en la extirpación quirúrgica delapéndice. En caso contrario, puede perforarse, vaciar el contenido bacteriano en la cavidad abdominal y producir una infección generalizada con riesgo de muerte.

HEPATITIS En la mayoría de los casos, la **hepatitis** o inflamación del hígado es producida por distintos tipos de virus y, en menor porcentaje, por **alcoholismo crónico**. Los síntomas incluyen fiebre, **ictericia** (color amarillo de la piel, mucosas, ojos y orina oscura) y dolor abdominal. Actualmente, distintos tipos de hepatitis producidas por un tipo de virus pueden ser prevenidas mediante la vacunación.

CON-TEXTO DE LA CIENCIA

Respuestas emocionales en la secreción ácida

Además de la regulación nerviosa y hormonal, los estados emocionales ejercen efectos sobre la secreción ácida y los movimientos del estómago. Así lo estudió en 1822 el médico William Beaumont cuando atendió a un paciente herido

accidentalmente por un tiro de escopeta en el estómago. El tiro perforó el estómago y la herida cicatrizó dejando una abertura en el mismo. Así, Beaumont con la colaboración de su paciente, realizó alrededor de 240 experimentos sobre la digestión humana. Uno de ellos fue el estudio de la influencia de las emociones en el funcionamiento del estómago. El médico notó que el enojo y la hostilidad producían la turgencia y el aumento de la circulación sanguínea de las paredes del estómago, así como el aumento de la secreción de ácido. En cambio, el temor, la depresión o la pena disminuyen la secreción y el flujo sanguíneo del estómago e inhiben los movimientos gástricos.



Fotomicrografía de *Helicobacter pylori*.

Los perros de Pavlov

LOS EXPERIMENTOS QUE PAVLOV REALIZÓ CON PERROS FUERON LOS MÁS DIFUNDIDOS Y CONTROVERTIDOS DE SU HISTORIA COMO CIENTÍFICO. TUVO QUE ENFRENTAR LA RESISTENCIA DE LA SOCIEDAD DE SU ÉPOCA PARA EXTRAPOLAR SUS RESULTADOS A LOS HUMANOS.

El fisiólogo ruso Iván Petrovich Pavlov (1849-1936) realizó una serie de investigaciones vinculadas con la secreción de saliva y jugos gástricos que lo hicieron acreedor al Premio Nobel de Fisiología y Medicina en 1904.

Uno de sus experimentos consistió en el estudio de la secreción salival de los perros. Pavlov ya había observado que los perros salivaban aun cuando no tenían alimento en sus bocas. Este fenómeno se producía tanto si observaban como si olían su comida. También había observado que los perros salivaban cuando se les acercaba la persona que los alimentaba.

Entonces diseñó un experimento en el que exponía a los perros a variados estímulos y medía la cantidad de saliva que eliminaban por unidad de tiempo.

En primer lugar midió la cantidad de saliva que segregaban cuando les colocaba alimento sobre el hocico. Como segundo paso del experimento, hacía sonar una campana y después los alimentaba.

El científico denominó **estímulo incondicionado** a la presentación del alimento para que los animales lo percibieran de alguna manera; y **estímulo neutral** al sonido de la campana.

Durante varias semanas, y cada vez que los perros estaban hambrientos, hacía sonar la campana e inmediatamente después los alimentaba.

Luego de un cierto tiempo, Pavlov observó que, aun sin mostrarles el alimento, los perros comenzaban a salivar con solo oír el sonido de la campana.

A la salivación de los perros frente al alimento, el científico la llamó **respuesta incondicionada**; y a la

liberación de saliva provocada por el sonido de la campana, **respuesta condicionada**. Como conclusión de estos experimentos, Pavlov formuló que, con el tiempo, el estímulo neutral se convirtió en un estímulo condicionado (sonido) que funciona como una señal que alerta sobre la proximidad del estímulo incondicionado (alimento). En los perros esta asociación estaba fortalecida por la saciedad del hambre. Estos experimentos no fueron los únicos que realizó Pavlov. También estudió los factores que influyen en la secreción del jugo gástrico. En uno de estos experimentos, el científico supuso que el sistema nervioso estimula la secreción gástrica. Cortó los nervios que inervan el estómago de un perro porque, si su hipótesis era correcta, la secreción de jugo gástrico debía cesar. Sin embargo, la secreción del ácido del estómago solo se redujo en tres cuartos de la cantidad original.



Entonces...

¿qué otros factores
intervendrían
en la producción de ácido
estomacal?

Pavlov propuso entonces la
hipótesis de que una hormona,
junto con los impulsos
nerviosos, interviene en el
control de la secreción de jugos
gástricos.

Para verificar su hipótesis
anestesió a dos perros y unió sus
sistemas circulatorios.

Alimentó solo a uno de los
perros (perro A) y, de este
modo, la sangre del perro
alimentado circuló por la sangre
del otro perro (perro B).

Resultó que el perro no
alimentado también secretó
jugo gástrico.

En este experimento, Pavlov
también anticipó que al
eliminar las conexiones
nerviosas del estómago del
perro B, su secreción gástrica
sería de un 75%, predicción que
fue verificada.

En otro experimento, Pavlov
quiso investigar si la causa
de la secreción gástrica es la

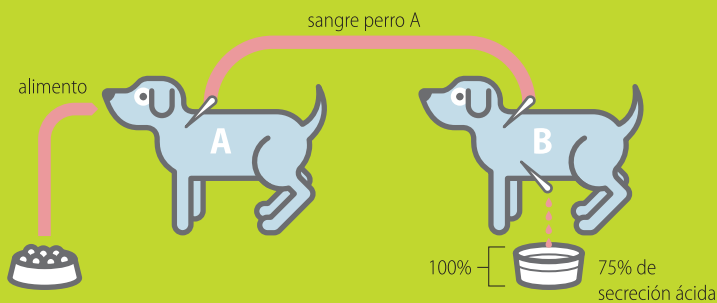
absorción de los productos de
la digestión de las proteínas.
Para investigar esto, inyectó
los productos de la degrada-
ción de las proteínas en la cir-
culación de un perro. Observó
que en el animal no se inició la
secreción del jugo gástrico.
Posteriormente, el científico
inyectó a un perro extracto
de mucosa gástrica que había
estado en contacto con pro-
teínas, e indujo la secreción de
jugo gástrico.

Para verificar o refutar sus
hipótesis, realizó varias
modificaciones en sus
experimentos.

En uno de ellos, llegó a
transplantar un sector de

pared estomacal de un perro
con sus vasos sanguíneos
a la piel de otro. Luego,
proporcionó al perro
transplantado un alimento
rico en proteínas y observó
que el transplante secretaba
jugo gástrico.

Estudios posteriores
demostraron que cuando el
alimento llega al estómago,
la pared estomacal produce
hormona gastrina, que es
transportada por el sistema
circulatorio y, al llegar al
estómago, estimula las
glándulas gástricas que inician
la mayor parte de la secreción
de ácido clorhídrico.



1. Lean el texto de estas páginas.
2. Identifiquen y escriban las hipótesis que Pavlov formuló para el diseño de sus investigaciones sobre las secreciones gástricas en los perros.
3. Sobre las hipótesis del punto

- anterior, identifiquen y escriban las conclusiones correspondientes a cada investigación.
4. Busquen información sobre la doma de caballos y el adiestramiento de orcas, lobos marinos y delfines

- de acuarios, y relaciónenla con las asociaciones estímulo-respuesta que obtuvo el científico en sus experimentos.

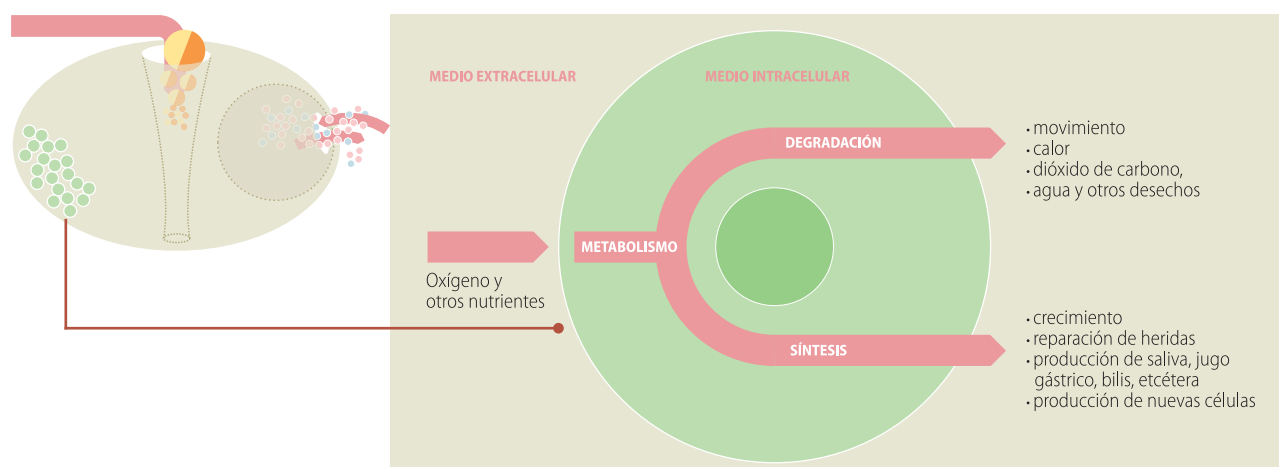
Transformación de nutrientes en la célula

Los materiales pueden ingresar en las **células** como moléculas sencillas o complejas, lo cual no solo influye en el tipo de ingreso, sino también en su transporte una vez incorporadas. En el capítulo anterior se explicaron algunos de los procesos por los cuales ingresan dichos materiales en las células.

Los nutrientes de estructura química sencilla, como los ácidos grasos, los aminoácidos y los monosacáridos, ingresan al citoplasma por difusión simple o facilitada. Según su naturaleza y de los requerimientos de la célula en el momento en que ingresan, estas moléculas pueden ser transformadas en el citoplasma o en ciertas organelas citoplasmáticas.

Los nutrientes de composición química compleja, como los polisacáridos y las proteínas, solo pueden ingresar por transporte en masa, mediado por vesículas. En la transformación y circulación intracelular de estos materiales interviene el sistema de endomembranas.

Así como en las primeras páginas de este capítulo se explicó como obtiene el organismo los nutrientes, en éstas se explicará cómo los incorporan las células que lo componen.



Metabolismo celular

Sin energía no hay vida. Cada una de las células de un organismo emplea energía en la síntesis de sustancias, en el movimiento, en el transporte de materiales, en el crecimiento, en la reproducción y en otras funciones celulares.

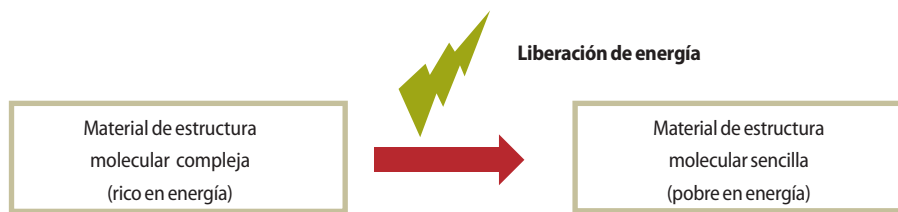
Las actividades celulares que sustentan la vida implican transformaciones constantes de materia y de energía, que en conjunto reciben el nombre de **metabolismo celular**.

El metabolismo celular incluye dos categorías de reacciones químicas: las catabólicas y las anabólicas.

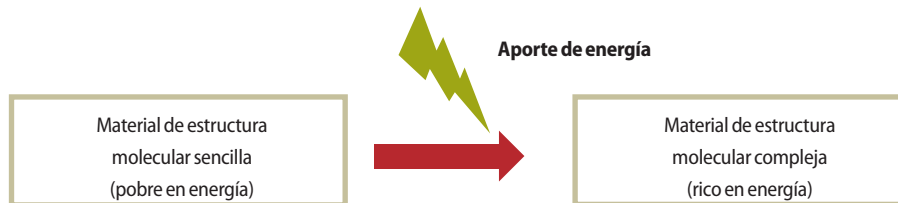
Las **reacciones catabólicas** o de **degradación** son aquellas en las cuales sustancias de estructura molecular compleja se transforman en otras de composición más sencilla. Las **reacciones anabólicas** o de **síntesis**, en cambio, son aquellas en las que se construyen sustancias de moléculas complejas a partir de otras de estructura molecular más sencilla.

La energía involucrada en ambos procesos metabólicos es la **energía química** almacenada en los enlaces que unen los átomos constituyentes de las moléculas. Cuantos más enlaces posee la molécula, más energía contiene.

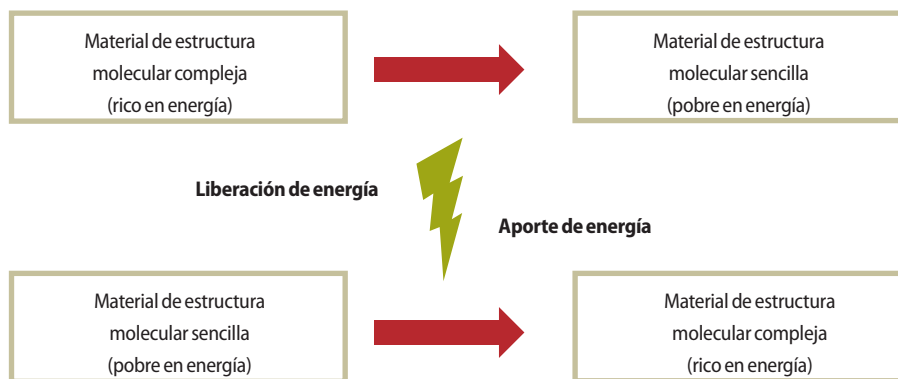
Cuando se degrada una molécula compleja durante una reacción catabólica, se rompen sus enlaces químicos, se produce liberación de la energía almacenada y los átomos resultantes se recombinan conformando moléculas de menor contenido energético.



En las **reacciones catabólicas**, los materiales con mayor contenido energético se transforman en otros con menos contenido energético, con la consecuente liberación de energía en el medio. Este tipo de transformación se denomina **reacción exergónica**.



En las **reacciones anabólicas** se sintetizan materiales con mayor contenido energético a partir de otros de menor contenido energético, con el aporte de energía que activa la reacción. Este tipo de transformación se denomina **reacción endergónica**.



En las células se producen procesos exergónicos y endergónicos, de manera tal que la energía liberada en los primeros se utiliza para realizar los segundos.

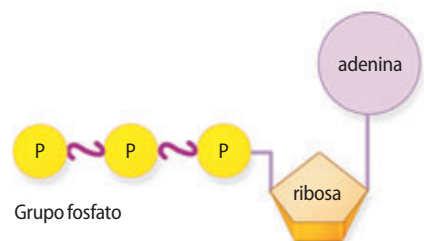
TRANSFERENCIA DE ENERGÍA

La transferencia de energía entre las reacciones celulares no es directa: siempre interviene un transportador de energía: el **ATP o adenosín trifosfato**.

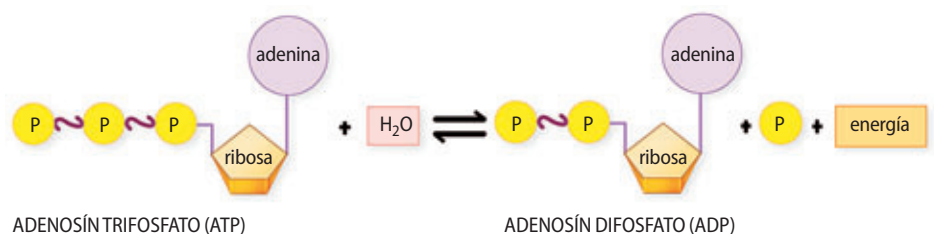
Los enlaces químicos del ATP, que unen a los dos últimos grupos fosfato, son ricos en energía e inestables. Dichos enlaces se rompen por una reacción de hidrólisis. Cuando se hidroliza el ATP, se libera energía y se forma **adenosín difosfato (ADP)** más un **grupo fosfato (P)**. La energía liberada en la hidrólisis del ATP es empleada por la célula para realizar procesos endergónicos.

Por el contrario, una reacción exergónica libera energía, y ésta es empleada en la unión del tercer grupo fosfato al ADP, que acumula transitoriamente la energía en moléculas de ATP.

El par **ATP/ADP + P** actúa como una batería recargable: al descargarse libera energía que desencadena alguna actividad celular.



ADENOSÍN TRIFOSFATO (ATP)



ADENOSÍN TRIFOSFATO (ATP)

ADENOSÍN DIFOSFATO (ADP)



Dada la complementariedad del **sitio activo** con el **sustrato**, cada enzima es específica para un tipo particular de reacción. Si se altera la estructura del sitio activo, por ejemplo por desnaturalización de la proteína enzimática, se afectará la velocidad de la reacción.

ENERGÍA DE ACTIVACIÓN

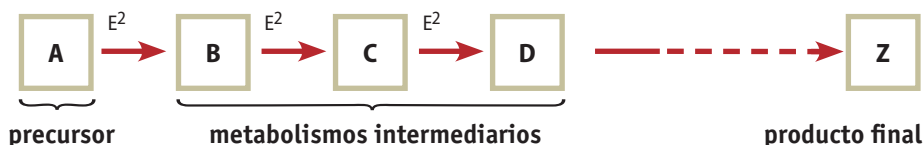
Se denomina **energía de activación** a la energía necesaria para que ocurra una reacción química entre sustancias. Por ejemplo, el aumento de la temperatura, y por lo tanto un aumento del movimiento molecular, acelera la reacción entre los sustratos.

Las **enzimas** son proteínas **catalizadoras** que aceleran la velocidad de una reacción química con un bajo aporte de energía de activación. Las enzimas se unen temporalmente a las moléculas de los sustratos reaccionantes en una región específica de su molécula, llamada **sitio activo**. Finalizada la reacción, el producto se disocia de la enzima. Entonces, como la enzima no se altera durante la reacción, puede intervenir en otras reacciones en las que participen los mismos tipos de sustratos.

VÍAS METABÓLICAS

Las reacciones metabólicas no se producen aisladamente; generalmente ocurren en pasos sucesivos y acoplados. Por ejemplo, el producto de una reacción puede ser empleado como sustrato de la siguiente. A esta secuencia ordenada de reacciones se la denomina **vía metabólica**.

Cada vía metabólica, sea catabólica o anabólica, se inicia con un **sustrato inicial** o **precursor**; en ella se obtienen **productos** o **metabolitos intermediarios** y por último se genera el **producto final** de la reacción. Cada paso de la vía está catalizado por un tipo de enzima específica.



En muchas vías metabólicas se producen **reacciones de óxido-reducción** o **reacciones redox**. Estas transformaciones implican oxidación de un sustrato y reducción de otro. Estos procesos ocurren acoplados.

Una sustancia se oxida cuando se deshidrogena. Es decir, libera un átomo de hidrógeno, formado por un protón (H^+) y un electrón (e^-). Este tipo de reacciones está catalizada por una enzima llamada **deshidrogenasa**. La sustancia que acepta transitoriamente el H^+ y el e^- se reduce y se denomina **coenzima**.

Las coenzimas que participan en reacciones metabólicas de óxido-reducción son, por ejemplo el **NAD⁺ (dinucleótido de adenina y nicotinamida)**, el **NADP⁺ (fosfato del dinucleótido de adenina y nicotinamida)** y el **FAD (dinucleótido de adenina y flavina)**.

Las coenzimas no permanecen en estado reducido por mucho tiempo; los H^+ y e^- que transportan son rápidamente cedidos en otras reacciones, en las que alguna sustancia se reduce, mientras la coenzima retorna a su estado oxidado. Por eso se dice que las coenzimas **NAD⁺**, **NADP⁺** y **FAD** son transportadores de H^+ y e^- , e intermediarios en las reacciones de óxido-reducción.



1. Teniendo en cuenta la información de la página 59:

a. Modelicen con botones, clips o bolitas de plastilina la reacción exergónica en la que una molécula de ATP se transforma en una molécula de ADP.

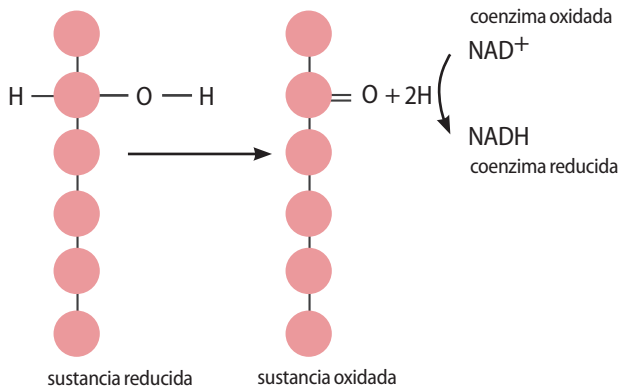
b. ¿Qué representa cada uno de los objetos que usaron en la modelización anterior: una molécula, un átomo o una agrupación definida de átomos?

c. ¿Cuántas moléculas de agua intervienen en la transformación de 34 moléculas de ATP en 34 moléculas de ADP?

d. ¿Cuántas moléculas de agua se formarían en la transformación de 52 moléculas de ADP en 52 moléculas de ATP?

2. Elaboren un texto que relacione los siguientes conceptos relativos al metabolismo celular, en el orden que crean conveniente:

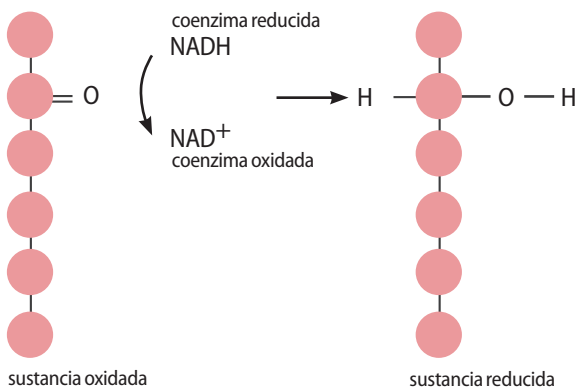
ATP, catabolismo, procesos endergónicos, enzimas, coenzimas, anabolismo, procesos exergónicos, oxidación, reducción.



Modelo simplificado de oxidación

Las oxidaciones son procesos exergónicos: la energía liberada está ligada a los H^+ y los e^- , y por lo tanto, queda transitoriamente almacenada en las coenzimas reducidas.

1. Con clips, bolitas de plastilina o botones, modelen la reducción de una molécula de glucosa. El modelo escolar de esta molécula se encuentra en la página 12.
2. Representen la oxidación de una molécula de glucosa.
3. ¿Qué representa cada uno de los objetos que usaron en las modelizaciones anteriores: una molécula, un átomo o una agrupación definida de átomos?



Modelo simplificado de reducción

Las reducciones son procesos endergónicos: la energía obtenida está ligada a los H^+ y los e^- .

Coenzimas oxidadas	Coenzimas reducidas
NAD ⁺	NADH
NADP ⁺	NADPH
FAD	FADH ₂

Vías catabólicas: la respiración celular

Muchas actividades celulares requieren la energía que aporta el ATP. La **respiración celular** es un complejo proceso catabólico y exergónico mediante el cual la célula produce ATP. Durante este proceso, una serie de reacciones químicas degradan moléculas de nutrientes como la glucosa y otros monosacáridos, ácidos grasos, glicerol y aminoácidos, con la consecuente liberación de energía.

La mayoría de las células del organismo extraen energía contenida en los nutrientes en presencia de oxígeno. Las células musculares, además, cuando falta oxígeno tienen la alternativa de obtener la energía en ausencia de dicho gas.

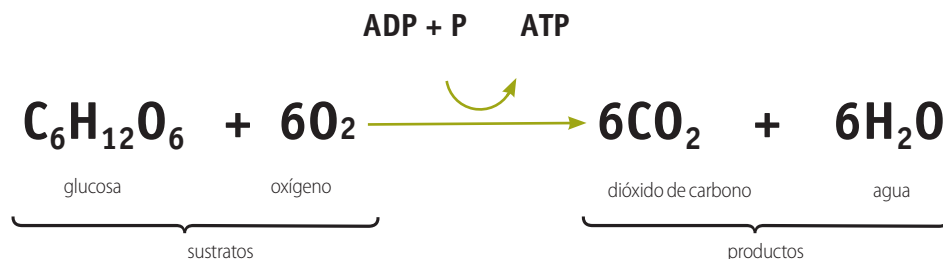
Entonces, de acuerdo con el tipo de célula y las condiciones del medio, la glucosa (principal nutriente celular) puede ser degradada siguiendo dos vías metabólicas: la **respiración aeróbica** (en presencia de oxígeno) y la **respiración anaeróbica** (en ausencia de oxígeno).

CON-CIENCIA EN LOS DATOS

- Durante la respiración celular, una célula usa aproximadamente 1 millón de moléculas de oxígeno por segundo.
- Para transformar 1 gramo de hidratos de carbono, son necesarios 0,97 litros de oxígeno. En cambio, para metabolizar la misma cantidad de proteínas, se requieren 0,83 litros; y 2,02 litros para degradar esa cantidad de lípidos.

RESPIRACIÓN AERÓBICA

El catabolismo de la glucosa en presencia de oxígeno puede representarse con la siguiente ecuación química general:



- 1.** Modelicen con clips, botones o bolitas de plastilina la ecuación general de la respiración celular.
- 2.** ¿Qué representa cada uno de los objetos que usaron en las modelizaciones anteriores: una molécula, un átomo o una agrupación definida de átomos?

En la respiración celular, mientras la glucosa se oxida desencadena las siguientes consecuencias:

- La energía liberada al romperse los enlaces químicos de la glucosa se recaptura transitoriamente en moléculas de ATP a partir de ADP+P.
- Los H^+ y e^- liberados en este proceso son aceptados momentáneamente por las coenzimas NAD^+ y FAD , las que se reducen a NADH y FADH_2 .
- Los átomos de la glucosa se reordenan y conforman nuevas moléculas de menor contenido energético: el CO_2 y el H_2O , productos de la respiración celular aeróbica.

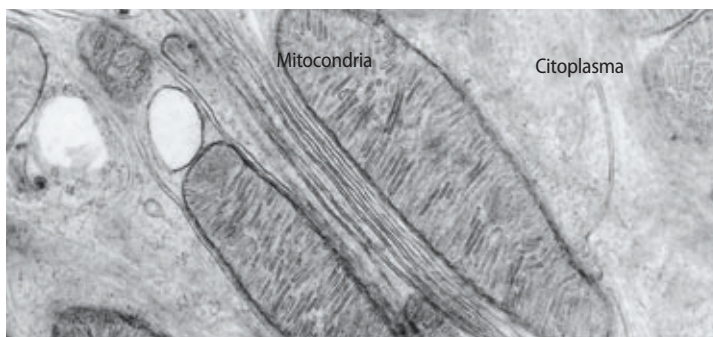
Todas estas transformaciones se producen en las siguientes secuencias de reacciones:

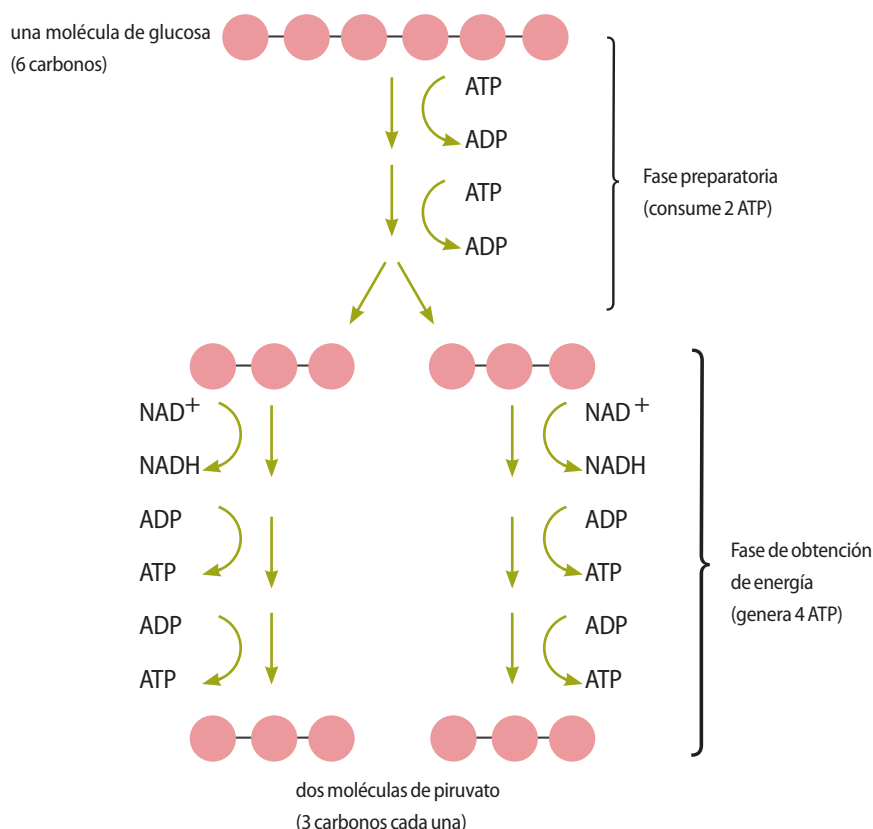
- la **glucólisis**;
- la **oxidación del piruvato**;
- el **ciclo del ácido cítrico o ciclo de Krebs**;
- la **cadena respiratoria**; y
- la **fosforilación oxidativa**.

Mientras la glucólisis es un proceso que ocurre en el citoplasma, las otras secuencias de reacciones se producen en las **mitocondrias**. En la matriz mitocondrial se localizan las enzimas que catalizan los pasos del ciclo de Krebs. En las crestas, en cambio, se ubican las moléculas que posibilitan las reacciones de la cadena respiratoria y la fosforilación oxidativa.

La **glucólisis** es la única vía metabólica de la respiración celular aeróbica que ocurre independientemente de la presencia de oxígeno. Esta secuencia ordenada de nueve reacciones es la etapa inicial de degradación parcial de la **glucosa**, por la cual este sustrato de 6 carbonos es oxidado y escindido en dos moléculas de 3 carbonos cada una: el **piruvato**.

Microfotografía de mitocondrias tomadas por MET.





La energía liberada en estas reacciones es almacenada en 2 moléculas de ATP y los H⁺ y e⁻ de la oxidación parcial de la glucosa son transferidos a 2 coenzimas NAD⁺. Es importante tener en cuenta que se generan 4 ATP, pero se usan 2 ATP en los primeros pasos de la vía.

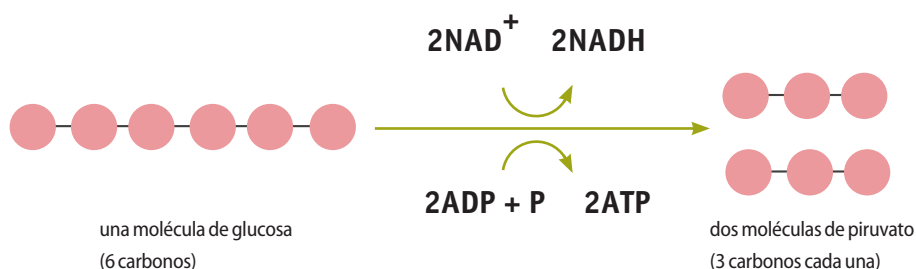


1. Con clips, bolitas de plastilina o botones, modelen la transformación de una molécula de glucosa en dos moléculas de piruvato. El modelo escolar de esta molécula se encuentra en la página 12.

2. ¿Qué representa cada uno de los objetos que usaron en la modelización anterior: una molécula, un átomo o una agrupación definida de átomos?



Ecuación general de la glucólisis. Dado que en la degradación de la glucosa se usan 2 ATP y se producen 4 ATP, en el balance neto se considera que solo se originan 2 ATP.



Ecuación del balance neto de la glucólisis.

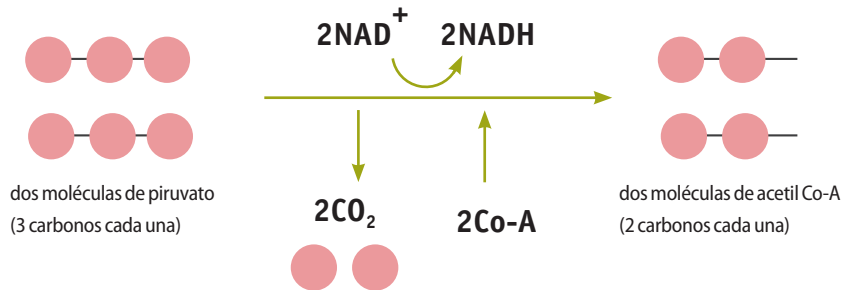
Una vez degradada la molécula de glucosa, las moléculas de piruvato resultantes ingresan en la matriz mitocondrial. Allí se produce un nuevo paso oxidativo que transforma al compuesto de tres carbonos (el piruvato) en un compuesto químico de dos carbonos denominado **grupo acetilo**. El carbono desprendido de cada molécula de piruvato se libera en forma de dióxido de carbono (CO₂).

El acetilo se une a una molécula de **coenzima A (Co-A)** que lo transporta hacia la siguiente secuencia de reacciones. Este nuevo paso oxidativo genera un NADH por cada piruvato transformado en **acetil Co-A**.

Ecuación general de la oxidación del piruvato. Dado que por molécula de glucosa se forman dos moléculas de piruvato, en el balance neto se originan 2 moléculas de dióxido de carbono y 2 NADH.

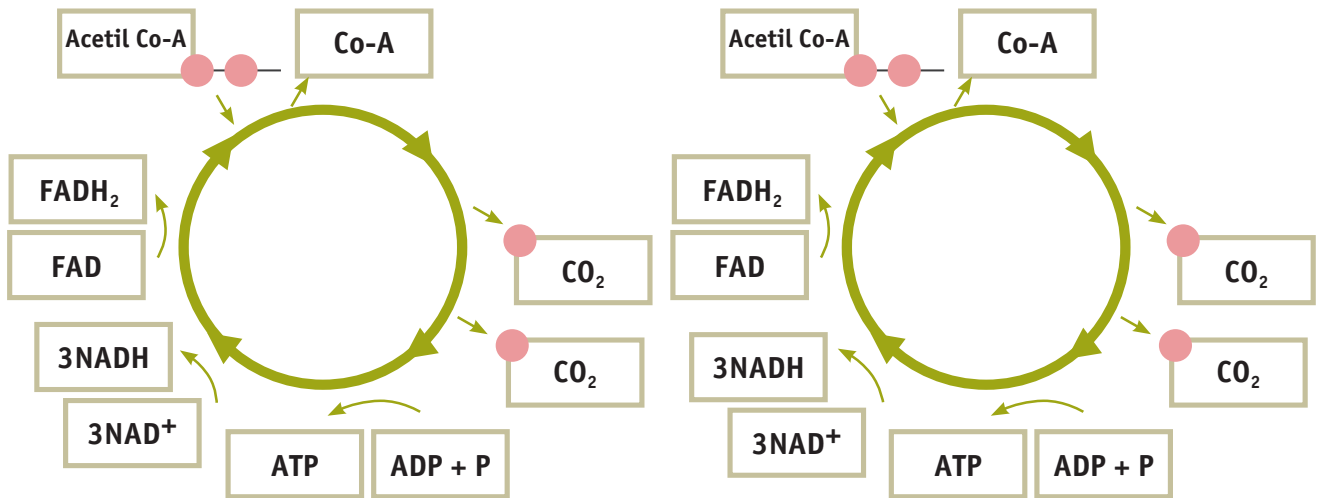


Ecuación de la oxidación del piruvato.



1. Modelicen con botones, clips o bolitas de plastilina la transformación de dos moléculas de piruvato en dos moléculas de acetil Co-A.
2. Representen las transformaciones de cada modelo de acetil Co-A durante el ciclo de Krebs.

El ciclo de Krebs es una vía cíclica de reacciones, ya que una sustancia inicial se transforma mediante una secuencia de pasos, al cabo de los cuales se regenera. En esta vía se completa la degradación de los grupos acetilo, compuestos resultantes de la etapa anterior.



Ecuación general del ciclo del ácido cítrico o ciclo de Krebs. Dado que por molécula de glucosa ingresan en el ciclo dos moléculas de acetil coenzima-A, en el balance neto se originan 4 moléculas de dióxido de carbono, 6 NADH, 2 FADH₂ y 2 ATP.

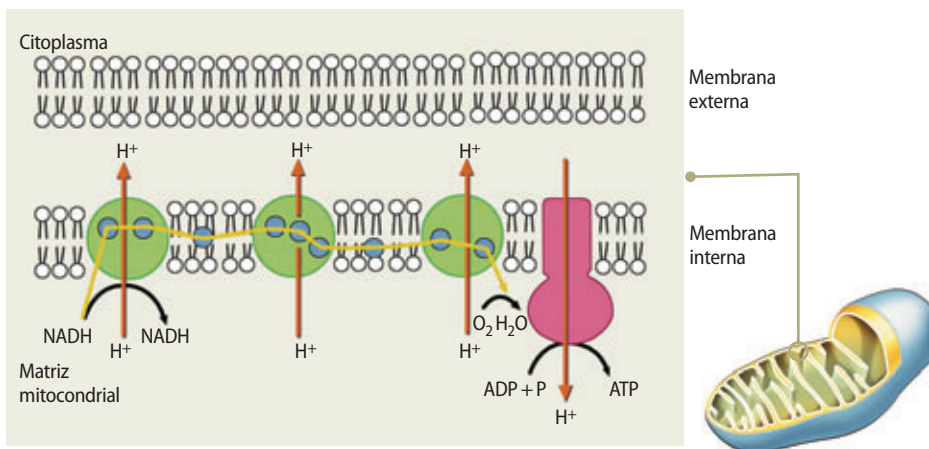
Por cada grupo acetilo que ingresa en el ciclo, se generan 3 NADH y 1 FADH₂. Durante el ciclo de Krebs, parte de la energía liberada se almacena en un ATP. Finalmente, los 2 carbonos constituyentes del acetil Co-A se liberan en forma de CO₂.



La **cadena respiratoria** y la **fosforilación oxidativa** son los procesos en los cuales la energía de todos los electrones provenientes de los NADH y FADH₂ es liberada y empleada para sintetizar ATP.

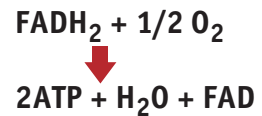
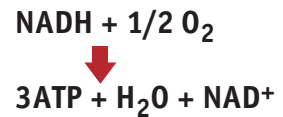
La cadena respiratoria consiste en el transporte de los electrones provenientes del NADH y del FADH₂ hasta un aceptor final. Los electrones son cedidos a las moléculas transportadoras de electrones, que se encuentran enclavadas en secuencia en las membranas mitocondriales internas. Los electrones pasan sucesivamente de un transportador al siguiente. El último transportador cede los electrones al aceptor final: el oxígeno que proviene del medio y difunde hasta la matriz mitocondrial. Cuando el oxígeno acepta los electrones, acepta simultáneamente protones que se hallan libres en la matriz y se forma agua como producto final de la cadena respiratoria.

El resultado de todo el transporte de electrones a través de la cadena respiratoria es la síntesis de ATP y se denomina fosforilación oxidativa. Este complejo proceso no ocurre sin el aporte de oxígeno. La importancia de esta sustancia para nuestro organismo radica en que sin oxígeno es imposible la obtención de energía, es decir, la síntesis de ATP.



1. Dadas las siguientes situaciones, indiquen a qué etapa de la respiración celular afectarían. Justifiquen.

- No se oxidan el NADH y el FADH₂.
 - Se impide la llegada de oxígeno a la célula.
 - Se bloquea la cadena de transporte de electrones.
 - Se inhibe la formación de acetil-CoA.
- 2.** Relacionen la ventilación pulmonar con la respiración celular.
- 3.** Realicen un esquema conceptual para sistematizar la secuencia de procesos que ocurren durante la respiración celular aeróbica.

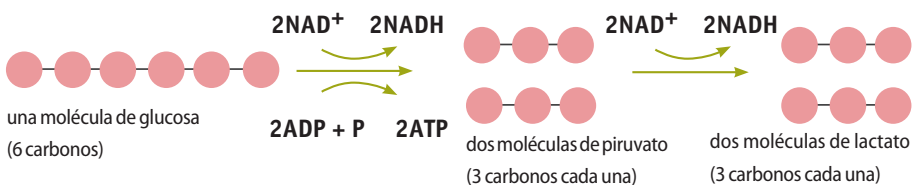


Por cada NADH originado durante la respiración celular se producen 3 ATP, y por cada FADH₂ formado, 2 ATP. Los H⁺ y e⁻ que llevan cada uno de estos aceptores se unen a media molécula de oxígeno (un átomo) y se forma una molécula de agua.

RESPIRACIÓN ANAERÓBICA

Durante una actividad física intensa, las células del músculo esquelético pueden degradar glucosa en ausencia de oxígeno. Estas células pueden seguir una vía aeróbica o una anaeróbica según la disponibilidad de oxígeno en el medio.

El catabolismo de glucosa en ausencia de oxígeno puede resumirse con la siguiente ecuación química:



En la glucólisis de la respiración anaeróbica, la glucosa se degrada parcialmente y origina 2 moléculas de ATP. En esta primera etapa la glucosa se oxida y forma piruvato.

Del paso posterior, la **fermentación láctica**, no se obtiene energía y el piruvato se transforma en lactato.

Fermentación alcohólica

La respiración anaeróbica es el único proceso generador de energía en algunos seres unicelulares. Por ejemplo, ciertas bacterias obtienen ATP por medio de la degradación de glucosa que se transforma en lactato. Algunos hongos unicelulares, como las levaduras, la obtienen a partir de la degradación de la glucosa que se transforma en etanol y dióxido de carbono. Este último tipo de respiración anaeróbica se denomina **fermentación alcohólica**. De cada molécula de glucosa que se degrada anaeróbicamente se obtienen 2 de ATP.



1. Identifiquen a qué aminoácidos corresponden la siguiente secuencia de codones:

CUU-CUA-CUG-CAA-GGU-AGU-AGU-AAA-UCU-CUG-CUG-CUA-GUC-UAA

2. Modelicen con bolitas de plastilina, botones o clips la porción de proteína identificada.

3. ¿Qué representa cada uno de los objetos que usaron en la modelización de la porción de proteína: una molécula, un átomo o una unidad del polímero?

4. Dada la siguiente secuencia de aminoácidos, escriban al menos dos ARNm que los codifiquen:

metionina – metionina – triptófano – triptófano – serina



Si quieren recordar la estructura y las características del ADN y de las proteínas, releen el Capítulo 1.

CONCIENCIA EN LOS DATOS

■ La síntesis de una molécula de proteína puede durar entre 1 y 2 minutos.

■ En el ser humano se han identificado alrededor de 35 000 genes.

■ 1 cm³ de ADN contiene más información que 1000 millones de discos compactos.

■ En el núcleo de cada célula humana hay

aproximadamente 2 metros de ADN.

■ Trabajando 8 horas por día y tipeando 60 palabras por minuto, una persona tardaría 50 años en escribir todo el genoma humano.

Síntesis de otras macromoléculas

Los retículos endoplasmáticos liso y granular intervienen en la síntesis de macromoléculas.

El REG está especializado en la síntesis de proteínas. En el REL, en cambio, se sintetizan lípidos, como los fosfolípidos y el colesterol.

Vías anabólicas: la síntesis de proteínas

La estructura y las actividades celulares dependen de dos tipos de macromoléculas: el ADN y las proteínas.

Las proteínas se sintetizan a partir de la información contenida en el ADN. Podría decirse que la información genética del ADN es como un “libro de recetas” en la que cada una detalla los ingredientes y sus cantidades (número, tipo y orden de aminoácidos) para preparar una “comida” (cada una de las proteínas que se sintetizan en la célula).

El ADN contiene un “lenguaje” propio llamado **código genético**. En este “idioma”, tres bases de ADN (un triplete) conformarían una “palabra” o **codón** (unidad del código genético). Cada codón es una clave para designar uno de los 20 aminoácidos diferentes. Dado que el ADN posee cuatro tipos de bases, la cantidad de tripletes posibles y diferentes entre sí resultan 4³, es decir, 64 codones.

Del total de tripletes, 61 codifican aminoácidos. Cada aminoácido puede estar codificado por más de un codón. A esos tripletes se los denomina **codones sinónimos**. Los 3 tripletes que no codifican aminoácidos se llaman **codones stop** porque funcionan como punto final en la construcción de una proteína.

	UUU U	UCU C	UAU A	UGU G	
U	UUC fenilalanina	UCC serina	UAC tirosina	UGC cisteína	U
	UUA	UCA	UAA	UGA	C
	UUG leucina	UCG	UAG codón stop	UGG codón stop	A
	CUU	CCU	CAU	CGU triptófano	G
C	CUC leucina	CCC prolina	CAC histidina	CGC arginina	U
	CUA	CCA	CAA	CGA	C
	CUG	CCG	CAG glutamina	CGG	A
	AUU	ACU	AAU	AGU	G
A	AUC isoleucina	ACC treonina	AAC asparagina	AGC serina	U
	AUA	ACA	AAA	AGA	C
	AUG	ACG	AAG lisina	AGG arginina	A
	GUU metionina	GCU	GAU	GGU	G
G	GUC valina	GCC alanina	GAC ácido aspártico	GGC glicina	U
	GUA	GCA	GGA	GGA	C
	GUG	GCG	GGG ácido glutámico	GGG	A G

Si bien el ADN contiene la información genética, no controla la síntesis de proteínas en forma directa. Este proceso ocurre a través de una molécula intermediaria: el ácido ribonucleico o ARN.

En la síntesis de proteínas participan tres tipos de ARN:

■ el **ARN mensajero (ARNm)**;

■ el **ARN de transferencia (ARNt)**; y

■ el **ARN ribosomal (ARNr)**

Los ARN se sintetizan en el núcleo, tomando el ADN como molde. Este proceso se denomina **transcripción**.

La síntesis de ARN comienza con la separación de las cadenas de ADN en el tramo que será transcrito. Una enzima construye la cadena de ARN, acoplando los nucleótidos complementarios a los expuestos en la hebra del ADN que sirve de molde. Una vez concluida la transcripción, el ARN resultante se separa del molde y las dos cadenas de ADN vuelven a aparearse.

La síntesis proteica es uno de los procesos anabólicos más complejos que realiza la célula y, como tal, es muy endergónico. Se calcula que por cada aminoácido incorporado a la proteína en síntesis, se usan 3 ATP. A este costo se le debe agregar el que corresponde al proceso de la transcripción.

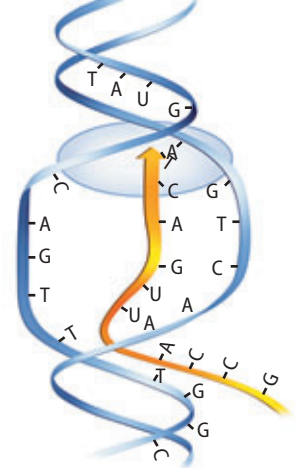
Los distintos tipos de ARN salen del núcleo, atravesando los poros de la envoltura nuclear, hacia el citoplasma, donde se realiza la síntesis proteica.

Dada la forma en que se transcribe la información, un triplete de bases del ARNm equivale a un codón. El ARNm lleva así la “receta” para armar parte de la proteína en el citoplasma.

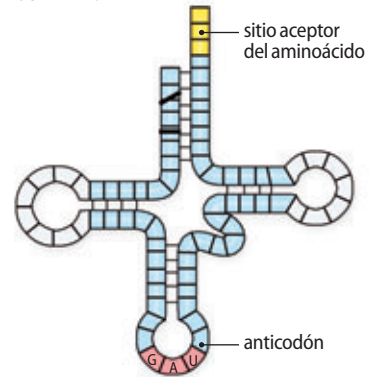
El ARNt transporta los aminoácidos que se usarán en la síntesis de la proteína.

En una célula hay tantos ARNt como aminoácidos serán utilizados en este proceso. Cada uno tiene dos extremos: uno de ellos reconoce y se une específicamente a determinado tipo de aminoácido; el otro tiene una secuencia de tres bases denominada **anticodón**.

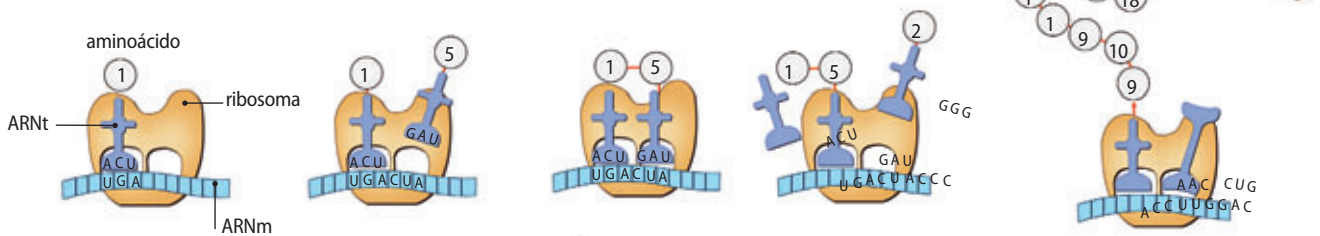
El tercer tipo de ARN, el ARNr, forma parte de los ribosomas. Dichas estructuras están constituidas por dos partes: la **subunidad ribosomal mayor** y la **subunidad ribosomal menor**. Ambas se organizan separadamente en el nucléolo y abandonan el núcleo en forma independiente.



Modelo simplificado de transcripción del ARNm.



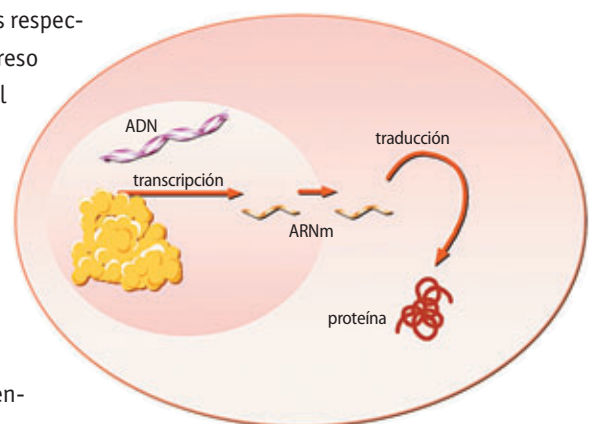
Modelo simplificado de ARNt.



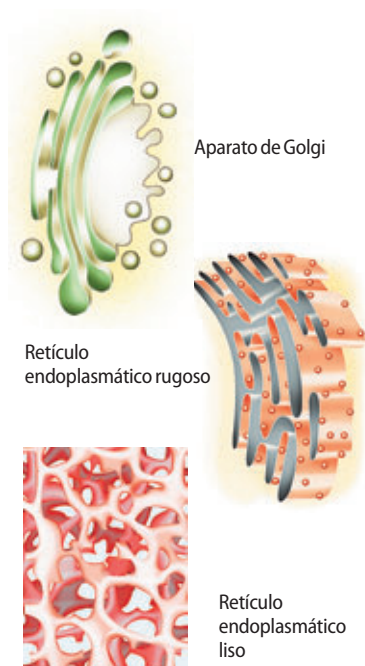
La síntesis de una proteína se inicia cuando un ARNm se une a dos subunidades ribosómicas. Éstas constituyen así un ribosoma completo y funcional.

En el ribosoma existen dos sitios para los ARNt. Éstos, unidos a sus respectivos aminoácidos, ingresan a dichos sitios. La condición para su ingreso es que exhiban los **anticodones complementarios** a los codones del ARNm. Entonces, se une el codón con el anticodón y los ARNt alinean los aminoácidos que transportan en el orden que indica el ARNm (que es el mismo del ADN).

Cuando los dos primeros aminoácidos se unen, se separa el primer ARNt y deja un sitio vacante en el ribosoma. Éste se desplaza la distancia equivalente a un codón sobre el ARNm y entonces ingresa el tercer ARNt, que lleva el aminoácido específico que se agregará a la nueva cadena proteica. Esta secuencia de acontecimientos se repite tantas veces como codones contenga el ARNm.



Modelo simplificado de síntesis proteica.



Aparato de Golgi

Retículo endoplasmático rugoso

Retículo endoplasmático liso

Transformación de macromoléculas

Cuando en la célula ingresan macromoléculas, éstas pueden ser transformadas en el **sistema de endomembranas**. Este complejo está conformado por el **aparato de Golgi**, el **retículo endoplasmático liso (REL)**, el **retículo endoplasmático granular (REG)**, los **lisosomas** y las **vesículas**.

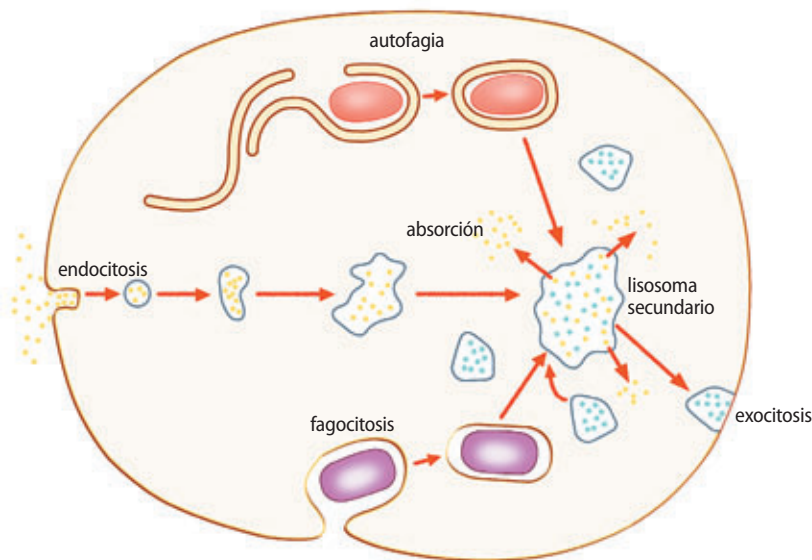
Además de la síntesis y circulación intracelular de macromoléculas, alguna de las cuales son secretadas hacia el medio extracelular, el sistema de endomembranas interviene en la digestión intracelular.

DIGESTIÓN INTRACELULAR

En la **digestión intracelular** participan los **lisosomas**, vesículas que encierran enzimas hidrolíticas o **hidrolasas**, que pueden digerir gran variedad de macromoléculas.

Los lisosomas que aún no han participado en procesos digestivos se denominan **lisosomas primarios**.

Cuando las células incorporan macromoléculas por medio del transporte en masa, se originan vesículas que se fusionan con los lisosomas primarios. El resultado de esta fusión es un **lisosoma secundario**. Los lisosomas secundarios contienen macromoléculas que provienen del exterior de la célula, junto con enzimas hidrolíticas. En el interior de estas organelas se produce la **digestión intracelular**: las macromoléculas son hidrolizadas o digeridas hasta transformarlas en moléculas simples. Estas moléculas pueden dejar el lisosoma atravesando sus membranas hacia el citoplasma. Este pasaje recibe el nombre de **absorción** y de esta forma ingresan, por ejemplo, aminoácidos y monosacáridos. Éstos se suman a los materiales que pueden ser obtenidos directamente del medio y pueden ser utilizados en vías catabólicas o anabólicas.



Así como la célula degrada los materiales que ingresan en ella, también puede procesar sus propios orgánulos citoplasmáticos.

Con cierta frecuencia, las células envuelven algunos de sus orgánulos en membranas del retículo endoplasmático y se forman los **autofagosomas**. Éstos se fusionan con lisosomas primarios y allí se produce la digestión de su contenido.

Se denomina **autofagia** la digestión de materiales propios de la célula. En cambio, con el término **heterofagia** se designa la digestión de sustancias provenientes del exterior.



I. ¿Cómo averiguar la acción de la catalasa sobre el peróxido de hidrógeno?

Para responder esta pregunta necesitan un trozo pequeño de hígado de vaca, un puñado de sal fina, un cuchillo y una cuchara, un frasco de agua oxigenada, mechero, tubos de ensayo, gradilla, mortero, arena y un broche de madera.

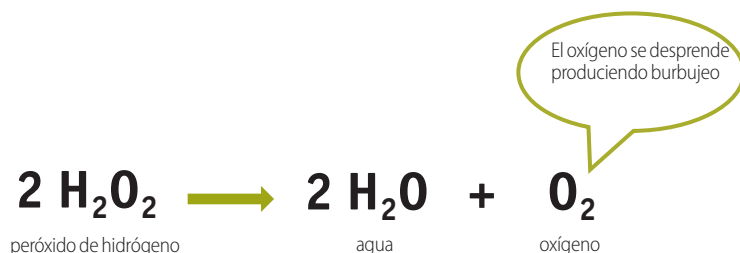
1. Corten el hígado en dos dados de aproximadamente 2 cm de lado.
2. Coloquen uno de los trozos en un tubo con agua y sometan a ebullición hasta que esté cocido.
3. Trituren uno de los trozos de hígado con un poco de arena en el mortero. Luego procedan de la misma manera con el otro trozo, enjuagando los utensilios entre una operación y otra.
4. Coloquen el hígado crudo y el cocido, ambos triturados, en sendos tubos de ensayo. Identifiquenlos.
5. Coloquen una punta de cuchara de sal fina en otro tubo de ensayo.
6. Agreguen a cada tubo 2 ml de agua oxigenada.
7. Observen y comparen los resultados.
8. Relean la información de la página siguiente para interpretar los resultados obtenidos.
9. Formulen una conclusión.

La absorción de los productos de la digestión, ya sea por autofagia o por heterofagia, permite que variados materiales puedan ser utilizados por la célula en otros procesos metabólicos.

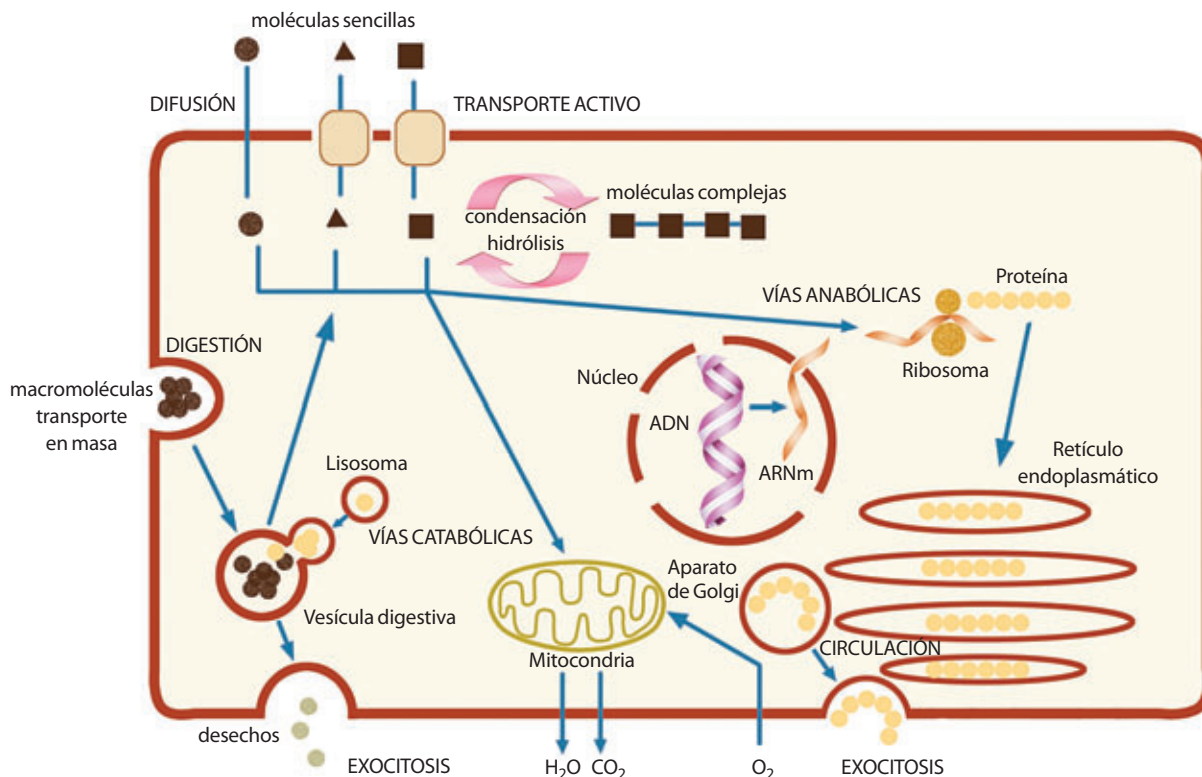
Después de la absorción, dentro de los lisosomas secundarios solo quedan desechos no digeribles. Cuando el lisosoma contiene únicamente desechos, se llama **cuerpo residual**. En ciertas ocasiones los cuerpos residuales se fusionan a la membrana plasmática; entonces los residuos que contienen se excretan por **exocitosis**.

Otras veces, los cuerpos residuales son mantenidos dentro de la célula hasta su muerte. Los científicos han observado que cuanto más larga es la vida celular, mayor es el número de estos cuerpos que se acumulan en el citoplasma.

Como se explicó en el capítulo anterior, los **peroxisomas** son organelas de membrana simple, dentro de los cuales se forman productos tóxicos para la célula, resultantes de las reacciones químicas que ocurren en ella. El **peróxido de hidrógeno (H_2O_2)**, sustancia habitualmente llamada agua oxigenada, es uno de estos compuestos tóxicos que la célula degrada por la acción de la enzima **catalasa**, antes de que se vuelva nocivo para el organismo. La catalasa degrada el peróxido de hidrógeno según la siguiente reacción:



1. Modelicen con botones, bolitas de plastilina o clips la reacción que produce la catalasa en presencia de peróxido de hidrógeno.
2. ¿Cuántas moléculas de oxígeno se producen cuando reaccionan 100 moléculas de peróxido de hidrógeno?
3. ¿Cuántas moléculas de agua se producen cuando reaccionan 75 moléculas de peróxido de hidrógeno?
4. Observen atentamente los modelos de célula de las páginas 58, 67, 68 y 69, y escriban un texto que relacione los procesos representados en los mismos.
5. Copien la trama conceptual de la página 45 y agréguele los conectores adecuados para relacionar los conceptos.



Modelo simplificado para comprender, destacar y resumir la variedad de componentes que interactúan durante el metabolismo celular.



1. Después de la lectura del artículo I:

- busquen las descripciones, escribanlas y analicenlas según las orientaciones de las páginas 42 y 43;
- realicen una lista de las endoscopías que aparecen en las páginas de este capítulo; y
- escriban una síntesis de las propiedades de los tipos de endoscopios descriptos en el artículo.

2. Después de la lectura del artículo II:

- busquen las descripciones, escribanlas y analicenlas según las orientaciones de las páginas 42 y 43;
- comparen los objetivos de las investigaciones realizadas en perros que se propusieron Pavlov y Nieponice.

3. Después de la lectura del artículo III:

- busquen las definiciones, escribanlas y analicenlas según las orientaciones de las páginas 42 y 43.
- elaboren un cuadro de doble entrada para sistematizar la información del artículo; y
- realicen una encuesta para investigar el tipo de alimento que las personas ingieren habitualmente. Para ello:
 - elaboren el cuestionario;
 - lleven los datos a clase y compárenlos con los resultados de los demás grupos;
 - formulen conclusiones;
 - si de la investigación se concluye que no es frecuente la ingesta de los alimentos que sugiere el artículo, piensen y realicen acciones de difusión de las ventajas de su consumo.

42 || CLARIN || VIVA || 5 DE JUNIO DE 2005

artículo I

Estudio del interior del tubo digestivo

En general, para el diagnóstico de muchas enfermedades del sistema digestivo se utiliza la endoscopia. El endoscopio es un tubo flexible conectado mediante cables a una computadora. Consta de una cámara montada en su extremo, con la que se puede filmar el interior del tracto digestivo y el paso de pequeños instrumentos para tomar muestras de tejido. Así por ejemplo, en la gastroscopia se introduce el endoscopio por la boca hasta llegar al estómago para realizar su estudio. Hay muchos tipos de endoscopios y reciben su nombre de acuerdo con el área u órganos que exploran. También, pueden ser utilizados para el estudio de las articulaciones y los órganos de otros sistemas.

Desde la década de 1960 se especula en las películas de ciencia ficción con viajes fantásticos por el interior del organismo. En la actualidad, la fantasía de máquinas viajando por el interior del cuerpo humano ha sido posible gracias al avance tecnológico.

Desde el año 2000 se ha desarrollado una

técnica no invasiva denominada endoscopia capsular.

La miniaturización de estructuras electrónicas ha permitido la fabricación de un endoscopio inalámbrico (sin cables) del tamaño de una pastilla. Esta mini-cámara, después de ser ingerida, filma el tracto gastrointestinal y envía información a un dispositivo adosado al paciente. Luego, la información recolectada en el dispositivo es procesada a través de un software en una computadora. Este método permite, sobre todo, el estudio del intestino delgado, de difícil acceso. Con el endoscopio inalámbrico pueden diagnosticarse, por ejemplo, posibles tumores, úlceras u obstrucciones intestinales en forma más precisa y con menos complicaciones que con la endoscopia tradicional.

Además, si se sospecha una obstrucción intestinal, se utiliza un tipo similar de cápsula endoscópica compuesta por material biodegradable, que se disuelve en 48 a 80 horas y es reabsorbido por el organismo.

28 || CLARIN || SOCIEDAD || 1 DE AGOSTO DE 2005

artículo II

Ingeniería de tejidos aplicada al esófago

La ingeniería de tejidos conforma un campo de investigación en el cual se manipulan células, tejidos y órganos para reemplazar o dar sostén a órganos dañados o enfermos.

El esófago es un órgano difícil de reemplazar. Actualmente se lo sustituye fabricándolo a partir de una porción de estómago.

El científico argentino Alejandro Nieponice investiga sobre la regeneración de los tejidos del esófago en la Universidad de Pittsburg. Esta técnica serviría para la reparación de este órgano en pacientes con cáncer o traumatismos en el esófago debido

a excesos de acidez. Fue probada en 2004 en 12 perros que perdieron o tenían dañados algunos centímetros de este conducto. Los científicos les colocaron una malla o red con forma de tubo construida con parte de la submucosa de la vejiga de cerdos. Al mes del implante, la regeneración del esófago era total.

En la ingeniería de tejidos, la recuperación de huesos, piel y cartílago está muy avanzada. Hoy en día, además de la recuperación del esófago, se estudia la posibilidad de regenerar vasos sanguíneos, intestino, vejiga, estómago, páncreas e hígado.

NUTRICIÓN – ALIMENTOS FUNCIONALES

Cuidados a la carta

Los especialistas consideran una nueva opción terapéutica a los alimentos que tienen componentes benéficos para la salud.

Laura Vilariño

“Que tu alimento sea tu medicina”, predicaba Hipócrates en la Grecia clásica. Pasaron 2500 años y la ciencia y la industria alimentaria siguen caminando en esa dirección. “El desarrollo de los alimentos funcionales continuará en aumento en el siglo XXI debido a la creciente demanda de los consumidores, el envejecimiento de la población, el encarecimiento del cuidado de la salud y la evidencia científica de que la dieta cumple un rol en la promoción de la salud y la prevención de enfermedades”, explica la licenciada Carina Peretti, nutricionista del Instituto Cardiovascular de Buenos Aires. ¿Qué son los alimentos funcionales? Son aquellos que por sus componentes proveen beneficios para la salud más allá de la nutrición básica, según la definición de *The International Life Sciences Institute of North America*. Así, hoy es corriente escuchar hablar de ácidos grasos esenciales, fibras y carotenoides, componentes de algunos alimentos que han demostrado su capacidad de prevenir y participar en el tratamiento de muchas enfermedades, entre ellas cáncer, aterosclerosis, problemas cardiovasculares y osteoporosis. El grupo abarca tanto a los alimentos en estado natural (llamados alimentos fuente) como a los enriquecidos con nutrientes de otros productos.

Los grandes grupos

Si bien la cantidad de sustancias identificadas son muchas y cada una aporta beneficios específicos, María Elena Torresani, docente de Dietoterapia del Adulto de la carrera de Nutrición de la UBA, sintetiza en tres grandes grupos a los alimentos funcionales: Pro y Prebióticos, que se encuentran especialmente en los lácteos; el Omega 3, un ácido graso que el organismo no produce y es esencial para su pro-

tección; y los fitoquímicos, provenientes de verduras y frutas. “Todos ellos tienen un efecto benéfico en la salud cuando se consumen como parte de una dieta variada y en niveles efectivos”, aclara Peretti.

Pre y probióticos

Los lácteos enriquecidos con lactobacilos (probióticos) equilibran la flora intestinal, mejoran el estado inmunológico y reducen el riesgo de contraer cáncer de colon. ¿Cómo reconocerlos en el supermercado? En la etiqueta de la leche fermentada debe leerse: “con *Lactobacilos casei*, *defensis* y *shirota*”, y se presenta en envases de 100 cm³, que equivalen a la dosis diaria recomendada. Estos probióticos se encuentran también en yogures “probio”, “GG” y “biopuritas”. Por otra parte, los prebióticos son fibras que trabajan para que el organismo absorba mejor los minerales, estimulan el sistema inmunológico, reducen los niveles de colesterol y triglicéridos y el riesgo de cáncer de colon. En los comercios se los consigue como leche con inulina o con Prebio/FOS. También hay yogures, quesos, helados y harinas enriquecidas.

Ácidos grasos Omega 3

Son grasas poliinsaturadas que disminuyen el riesgo de arritmias y trombosis, previniendo accidentes cardio y cerebrovasculares. Disminuyen también el LDL (colesterol malo) y los triglicéridos, y aumentan el HDL (colesterol bueno). Algunas de sus variedades pueden reducir la posibilidad de contraer cáncer de mama. Los nutricionistas recomiendan 2 a 3 porciones semanales de pescados de mar (caballa, arenque, salmón y atún, en orden decreciente de aporte de Omega 3), aceites vegetales (soja, oliva y girasol Alto Oleico), y también leche y huevos enriquecidos con Omega 3.



Paleta de colores. La variedad cromática en los vegetales asegura variedad de nutrientes.

Fitoquímicos

Son de origen vegetal y se agrupan según las funciones de protección para el organismo. Estas clases, a su vez, se relacionan con el color predominante en cada una. Por ejemplo, los carotenoides son pigmentos presentes en vegetales y frutas que van desde el amarillo al rojo y que el organismo transforma en vitamina A (retinol). “Muchas investigaciones han atribuido un efecto protector a los carotenos contra las enfermedades degenerativas. El betacaroteno es el más importante en la prevención de enfermedades crónicas”, comenta Torresani. Para incorporarlos a la dieta diaria, la profesional sugiere consumir espinaca, hinojo, zanahoria, batata, duraznos desecados, remolacha, ají colorado, melón, zapallo, damasco, acelga, tomate crudo, apio, brócoli, puerro, lechuga y pomelo rosado. Torresani pone énfasis en el licopeno, presente en el tomate y sus derivados (jugo, salsas, etc.). “En los últimos años se revelaron diferentes hallazgos acerca del licopeno frente al cáncer y enfermedades cardiovasculares”.

Otros componentes activos de los vegetales son las fibras que benefician al aparato digestivo y al sistema cardiovascular y disminuyen la posibilidad de cáncer de colon. Por eso no deben faltar los cereales integrales, el salvado de trigo y, especialmente, la avena integral. La soja aporta proteínas que reducen los riesgos cardíacos y sus fitoestrógenos alivian los síntomas de la menopausia.