



Área de Ciencias Experimentales

Guía para el examen extraordinario de la asignatura Biología III (Quinto semestre)

Elaboraron:

Lucía Herrera Velázquez

María del Rosario López Mendoza

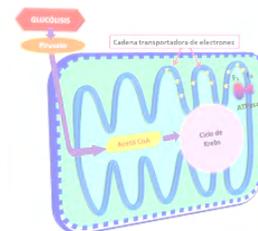
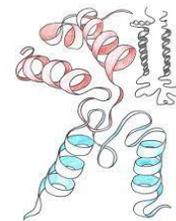
Leticia Martínez Aguilar (compiladora)

Yazmín Anaín Mendoza Segovia

Daríá Razo Balcázar

Ana Lilia Santana Galindo

María Isabel Velázquez Nieto



-2023-

ÍNDICE

PRESENTACIÓN	1
Organización de la Guía.....	1
Forma de uso de la guía.....	2
Tabla de especificaciones.	2
1ª UNIDAD.....	4
Presentación de la Primera Unidad.....	5
TEMA I. Bases moleculares del metabolismo: Metabolismo: anabolismo y catabolismo.....	6
DESARROLLO DEL CONTENIDO.....	7
ACTIVIDAD DE APRENDIZAJE	12
REFERENCIAS	13
Tema I. Bases moleculares del metabolismo: Carbohidratos, lípidos, proteínas y nucleótidos.....	14
DESARROLLO DEL CONTENIDO.....	14
ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE	24
REFERENCIAS	27
Tema I. Bases moleculares del metabolismo: Enzimas.....	28
DESARROLLO DEL CONTENIDO.....	28
ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE	34
REFERENCIAS	35
Tema II. Procesos metabólicos de obtención y transformación de materia y energía: Nutrición heterótrofa y autótrofa	36
DESARROLLO DEL CONTENIDO.....	36
ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE	40
REFERENCIAS	42
TEMA II. Procesos metabólicos de obtención y transformación de materia y energía: Fermentación y respiración celular	43
DESARROLLO DEL CONTENIDO.....	43
ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE	51
REFERENCIAS	53
Tema II. Procesos metabólicos de obtención y transformación de materia y energía: Fotosíntesis.....	54
DESARROLLO DEL CONTENIDO.....	54
ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE	63
REFERENCIAS	66
GLOSARIO DE LA UNIDAD 1	68
2ª UNIDAD.....	73
TEMA I. Organización del material genético: DNA, genes y cromosomas	75
DESARROLLO DEL CONTENIDO	75

ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE	84
REFERENCIAS	87
Tema I Organización del material genético: El genoma de las células procariotas y eucariotas.....	88
DESARROLLO DEL CONTENIDO.....	88
ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE	96
REFERENCIAS	98
TEMA II. Genética y biodiversidad: Replicación del DNA.....	99
DESARROLLO DEL CONTENIDO.....	100
ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE	104
REFERENCIAS	107
Tema II. Genética y Biodiversidad: síntesis de proteínas	108
DESARROLLO DEL CONTENIDO.....	108
ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE	114
REFERENCIAS	117
Tema II. Genética y Biodiversidad: Transmisión y Expresión génica.....	118
DESARROLLO DEL CONTENIDO.....	118
ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE	129
REFERENCIAS	133
Tema III Variación genética y su importancia para la biodiversidad: Mutaciones	134
DESARROLLO DE CONTENIDO.....	134
ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE	142
REFERENCIAS	144
DESARROLLO DEL CONTENIDO.....	145
ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE	155
REFERENCIAS	158
Tema III Variación genética y su importancia para la biodiversidad: Flujo génico	160
DESARROLLO DEL CONTENIDO.....	161
ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE	165
REFERENCIAS	166
GLOSARIO DE LA UNIDAD 2	167
Concepto	167
Definición	167
AUTOEVALUACIÓN	173

PRESENTACIÓN

La presente guía de estudio de la asignatura de Biología III, fue realizada considerando programa actualizado en 2017 de la asignatura de Biología III, en la elaboración de la guía los profesores participantes trabajaron de manera colegiada, con la finalidad de encauzar el estudio para la presentación del examen extraordinario de Biología III.

La guía se puede utilizar de forma autodidáctica o con apoyo de un profesor asesor del Programa Institucional de Asesorías PIA.

En ella podrás encontrar una síntesis de cada una de las temáticas del programa y un conjunto de actividades de aprendizaje que fueron diseñadas con el propósito de facilitar la asimilación de los contenidos, lo que te permitirá avanzar en la preparación de tu examen extraordinario. Al final del desarrollo de los aprendizajes contarás con sugerencias de videos que puedes consultar para estudiar y ampliar tu información. Por último, para poner a prueba tus conocimientos se diseñó un instrumento de evaluación, cuyos reactivos son similares a los que aparecerán en el examen extraordinario.

Te sugerimos que utilices diferentes técnicas de estudio para que sea más fácil revisar la guía.

Organización de la Guía

Descripción general del programa de Biología III. La guía está organizada en función de los aprendizajes a lograr de las temáticas del programa de Biología III. Por lo tanto, su organización es por unidades, donde cada unidad contiene propósitos, aprendizajes y temas que el estudiante interesado debe de conocer y estudiar. A continuación, se mencionan los contenidos de la guía.

Unidad 1. ¿Cómo los procesos metabólicos energéticos contribuyen a la conservación de los sistemas biológicos?

Tema I. Bases moleculares del metabolismo

Metabolismo: anabolismo y catabolismo

Carbohidratos, lípidos, proteínas y nucleótidos

Enzimas

Tema II procesos metabólicos de obtención y transformación de materia y energía:

Nutrición heterótrofa y autótrofa

Fermentación y respiración celular

Fotosíntesis

Unidad 2 ¿Por qué se considera a la variación, transmisión y expresión génica como base molecular de los sistemas biológicos?

Tema I Organización del material genético

DNA, genes y cromosomas

El genoma de las células procariotas y eucariotas

Tema II Genética y biodiversidad

Replicación del DNA

Síntesis de proteínas

Transmisión y expresión génica

Tema III Variación y su importancia para la biodiversidad

Mutación

Recombinación génica

Flujo génico

Forma de uso de la guía.

Se sugiere abordar y resolver la guía de manera ordenada y progresiva. Para ello, se recomienda leer el contenido y posteriormente realizar las actividades de aprendizaje propuestas. Durante el desarrollo del tema, encontrarás códigos QR que te llevarán a videos que complementarán tu aprendizaje. Si presentas dudas sobre algún concepto, recurre al glosario elaborado y colocado al final de cada unidad.

Al finalizar cada tema, resolverás las actividades de autoevaluación que podrás cotejar con las respuestas proporcionadas. Se te sugiere imprimir las actividades y autoevaluaciones para facilitar su realización y, en caso necesario, presentarlas al profesor que aplicará el examen extraordinario.

Tabla de especificaciones.

Es una matriz que sirve para obtener una guía del contenido mínimo que se debe cubrir en el examen; indica el nivel cognitivo, aprendizaje y temática dando sugerencias del número

de reactivos de cada temática de acuerdo con el número de horas empleadas para abordar la temática a lo largo del semestre.

A continuación, te damos recomendaciones para que tengas un mayor éxito en la preparación de tu examen:

- Imprimir solo las actividades, para que las realices. **Recuerda que debes presentar la guía resuelta**
- Organiza tu tiempo para lograr el cumplimiento de las actividades sugeridas en la guía.
- Implementa técnicas de estudio, además acude al PIA, ya que brinda apoyo. Si continúas presentando dudas acude al micrositio <https://www.cch.unam.mx/estudiante/aprendizaje-autonomo> del portal de Colegio de Ciencias y Humanidades o al departamento de Psicopedagogía.
- De ser necesario consultar otras referencias tanto de texto como de vídeos, ubicados en el portal del CCH y de otras instituciones educativas.
- El día del examen prepárate para tener a la mano tu identificación (credencial de la escuela y/o tu credencial del INE en caso de ser mayor de edad).
- Llega temprano al lugar de aplicación del examen.
- Lee con atención las instrucciones generales.
- Toma tu tiempo para resolver cada pregunta.

1^a

Unidad

*¿Cómo los procesos metabólicos
energéticos contribuyen a la
conservación de los sistemas*

Presentación de la Primera Unidad

Esta unidad tiene como propósito dar a conocer como los sistemas biológicos se conservan a través del metabolismo. En este sentido, las células individuales o agrupadas en algún tejido nunca están aisladas, continuamente están intercambiando materia y energía con su alrededor o entorno. La materia y la energía que entra o que sale de la célula ha sido transformadas en su interior, con el propósito de crear y mantener sus propias estructuras y proporcionar la energía necesaria para sus actividades básicas. El conjunto de intercambios y transformaciones que tienen lugar en el interior de la célula se realiza a través de procesos químicos catalizados por enzimas, los cuales constituyen el metabolismo celular.

Posteriormente se explica como los carbohidratos, lípidos, proteínas y nucleótidos están involucradas en una variedad de procesos metabólicos, incluyendo la transformación de energía y cada una de ellas se incorpora en etapas muy específicas. Así que, los carbohidratos, los lípidos y las proteínas son combustibles, cuyo aporte energético puede variar y, los nucleótidos tienen la función de transportar la energía química, generando poder reductor o siendo monedas energéticas como el ATP.

La segunda temática de la unidad se relaciona la nutrición heterótrofa y autótrofa con las formas a partir de las cuales los sistemas vivos obtienen y transforman la materia y la energía. Todos los animales, plantas, hongos y los diversos grupos de microorganismos necesitan obtener energía para sus procesos metabólicos y nutrientes para construir sus moléculas estructurales y funcionales. Por último, se revisan los procesos de respiración celular y fermentación como ejemplos de vías catabólicas y a la fotosíntesis como una de las principales vías anabólicas.

TEMA I. Bases moleculares del metabolismo: Metabolismo: anabolismo y catabolismo

Elaboró: Ana Lilia Santana Galindo

APRENDIZAJE: El alumno compara el anabolismo y catabolismo como procesos de síntesis y degradación para la conservación de los sistemas biológicos

CONCEPTOS CLAVE: Metabolismo, catabolismo, anabolismo, energía.

RESUMEN

Las reacciones químicas implican cambios en la energía, incluyendo las reacciones metabólicas de una célula, los enlaces químicos se rompen y entonces, se pueden formar nuevos y diferentes enlaces cada tipo específico de enlace químico tiene cierta cantidad de energía de enlace definida como la energía requerida para romper dicho enlace la energía de enlace total equivale en esencia la energía potencial total del sistema cantidad conocida como entalpía. La entalpía es la cantidad de energía puesta en juego durante una reacción química en condiciones de presión constante. Esta energía es igual al calor cedido o ganado al ocurrir la reacción. La entalpía global de una reacción es siempre igual a la diferencia de entalpía entre los productos y los sustratos.

Las células individuales o agrupadas en algún tejido nunca están aisladas, continuamente están intercambiando materia y energía con su alrededor o entorno. La materia y la energía que entran o que salen de la célula son o han sido transformadas en su interior, con el propósito de crear y mantener sus propias estructuras y proporcionar la energía necesaria para sus actividades básicas. El conjunto de intercambios y transformaciones que tienen lugar en el interior de la célula, se realizan a través de procesos químicos catalizados por enzimas, los cuales constituyen el metabolismo celular. Formar y/o degradar las biomoléculas necesarias para las funciones especializadas de las célula.

DESARROLLO DEL CONTENIDO

Energía y metabolismo

Las reacciones químicas implican cambios en la energía incluyendo las reacciones metabólicas de una célula, cabe señalar que la energía obedece a las leyes de la termodinámica, la primera ya que la materia no se crea ni se destruye y la segunda ley ya que la energía tiende a dispersarse espontáneamente en la transferencia de energía, recordemos que los enlaces químicos se rompen y entonces se pueden formar nuevos y diferentes enlaces cada tipo específico de enlace químico tiene cierta cantidad de energía de enlace definida como la energía requerida para romper dicho enlace la energía de enlace total equivale en esencia la energía potencial total del sistema cantidad conocida como entalpía. La entalpía es la cantidad de energía puesta en juego durante una reacción química en condiciones de presión constante. Esta energía es igual al calor cedido o ganado al ocurrir la reacción. La entalpía global de una reacción es siempre igual a la diferencia de entalpía entre los productos y los sustratos (Audesirk, 2008).

Si al producirse la reacción se libera energía, la entalpía de los productos disminuye. Esta es la cantidad de energía que se requiere para romperlos y también la cantidad de energía que se libera cuando se forma este enlace. La energía de enlace y la entropía contribuyen a la energía libre de la molécula que es la cantidad de energía disponible libre para hacer el trabajo en la mayoría de las relaciones la energía para hacer trabajo. En la mayoría de las reacciones, la energía libre de los reactivos difiere de la energía libre de los productos.

Las reacciones en las cuales los reactivos tienen menos energía libre que los productos, requieren de un suministro neto de energía para realizarse. Dichas reacciones reciben el nombre de endotérmicas, lo que significa que requieren de energía (Biggs, 2012 y Starr, 2009). Las células almacenan energía realizando reacciones endotérmicas, por ejemplo: la energía de la luz impulsa las reacciones generales de la fotosíntesis, en la que el dióxido de carbono y agua se transforman en glucosa y oxígeno. A diferencia de la luz la glucosa se puede almacenar en el interior de la célula.

En otras relaciones, los reactivos tienen más energía libre que los productos. Estas reacciones se llaman exergónicas, que significan con salida de energía, porque en ellas hay una liberación neta de energía, las células tienen acceso a la energía libre de las moléculas realizando reacciones exergónicas, un ejemplo: es el proceso general de respiración aerobia por el cual la glucosa reacciona con oxígeno y se transforma en dióxido de carbono y agua con producción neta de energía (Solomon, 2008).

Metabolismo

Las células individuales o agrupadas en algún tejido nunca están aisladas, continuamente están intercambiando materia y energía con su alrededor o entorno. La materia y la energía que entran o que salen de la célula son o han sido transformadas en su interior, con el propósito de crear y mantener sus propias estructuras y proporcionar la energía necesaria para sus actividades vitales. El conjunto de intercambios y transformaciones que tienen lugar en el interior de la célula, se realizan a través de procesos químicos catalizados por enzimas, los cuales constituyen el metabolismo celular (Biggs, 2012 y Curtis, 2021).

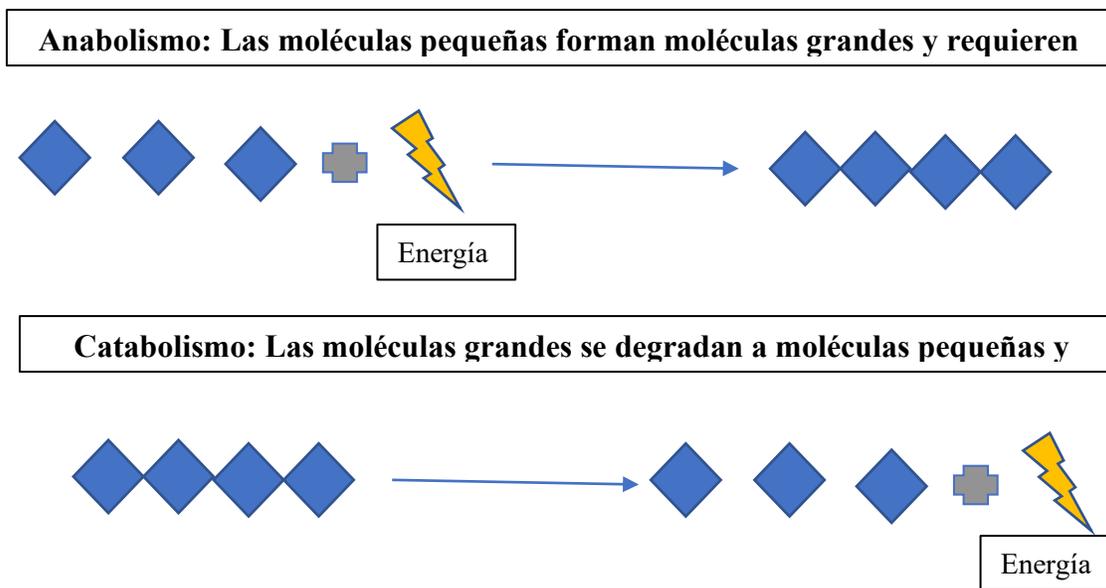
Formar y/o degradar las biomoléculas necesarias para las funciones especializadas de las células. Las distintas reacciones químicas del metabolismo que se agrupan con una determinada función se denominan vías o rutas metabólicas y las moléculas que en ellas intervienen se llaman metabolitos.

Las distintas reacciones químicas del metabolismo que se agrupan con una determinada función se denominan vías o rutas metabólicas y las moléculas que en ellas intervienen se llaman metabolitos. Todas las reacciones del metabolismo están reguladas por enzimas, que son específicas para cada compuesto llamado sustrato y para cada tipo de transformación. Tipos de metabolismo Según la fuente de carbono que utilicen las células u organismos poseerán un metabolismo autótrofo y se llamarán células u organismos autótrofos, o bien, un metabolismo heterótrofo y se denominan seres heterótrofos. Las células o seres autótrofos se nutren exclusivamente de materia inorgánica y realizan reacciones anabólicas para

transformarla en materia orgánica a partir de la energía que toman del medio (Audesirk, 2008 y Starr, 2009). Por su parte, las células y organismos heterótrofos se nutren básicamente de materia orgánica que toman del medio y su fuente de energía es el ATP obtenido a través de sus reacciones catabólicas.

Con fines prácticos el metabolismo se ha dividido en dos grandes fases: a) **Catabolismo** o fase degradativa: serie de reacciones mediante las cuales las moléculas orgánicas complejas se desdoblán en otras más sencillas o inorgánicas, liberando energía que se almacena en el ATP, b) **Anabolismo** o fase constructiva: serie de reacciones de formación de moléculas orgánicas complejas a partir de otras sencillas utilizando el ATP obtenido en el catabolismo o en otros procesos químicos como la fotosíntesis (Starr, 2009) como se muestra en la figura 1.

Figura 1.
Representación de las reacciones metabólicas



Nota. Fuente: Santana, A., (2023). Reacciones metabólicas [imagen] Colección personal para la Guía de Biología III. CC-BY 4.0

El concepto de anabolismo: Es la fase constructiva del metabolismo. El conjunto de rutas metabólicas cuyo objetivo es la obtención de moléculas orgánicas más o menos complejas, fuertemente reducidas a partir de otras más simples y relativamente oxidadas.

Las características de estas rutas metabólicas son las siguientes: a) procesos químicos de reducción, b) reacciones fuertemente endergónicas, para lo cual utilizan la energía liberada en las reacciones catabólicas en forma de ATP, NADH₂ y NADPH₂, c) rutas anabólicas para la síntesis de moléculas son diferentes de las catabólicas aunque con mucha frecuencia comparten reacciones reversibles próximas al equilibrio, siempre existe algún paso distinto en cada ruta, d) enzimas que regulan las rutas anabólicas y catabólicas son diferentes, e) las rutas anabólicas tienen lugar en el hialoplasma aunque utilizan como precursores sustancias procedentes del catabolismo generadas en diferentes organelos: Retículo Endoplásmico Liso (R.E.L.) fosfolípidos y colesterol; Retículo Endoplásmico Rugoso (R.E.R.) Glicosilación de proteínas; Aparato de Golgi glicosilación de proteínas y lípidos; Ribosomas proteínas; Núcleo Ácidos nucleicos (Audesirk, 2008, Biggs, 2012 y Solomon, 2008).

El catabolismo es la fase degradativa del metabolismo en la que moléculas orgánicas más o menos complejas son transformadas en otras moléculas orgánicas o inorgánicas más simples. Como resultado de esta degradación se libera energía que en parte se conserva en forma de ATP, de donde a su vez puede ser utilizada para el anabolismo, para el movimiento, para la producción de calor, para el transporte activo, etc. El catabolismo es semejante en los organismos autótrofos y heterótrofos, consiste en transformaciones químicas enzimáticas, que en su mayoría son reacciones de oxidación y reducción, en las que unos compuestos se oxidan a expensas de otros que se reducen. En estas reacciones intervienen principalmente enzimas del grupo de las deshidrogenasas que utilizan como coenzimas el NAD y el FAD. La oxidación de los principios inmediatos que se lleva a cabo en las reacciones de catabolismo consiste en una pérdida de electrones que en muchos casos está asociada a la pérdida de protones. Los protones que se liberan en la oxidación antes de llegar al aceptor final son captados por los denominados transportadores de hidrógenos que pueden ser el NAD, NADP, FAD, las coenzimas de las deshidrogenasas, que a su vez se reducen a NADH₂, NADPH₂ y FADH₂, CO₂, por parte de las células. Para ser más precisos, este último proceso

puede denominarse respiración celular (Audesirk, 2008, Curtis, 2021, Biggs, 2012 y Solomon, 2008).

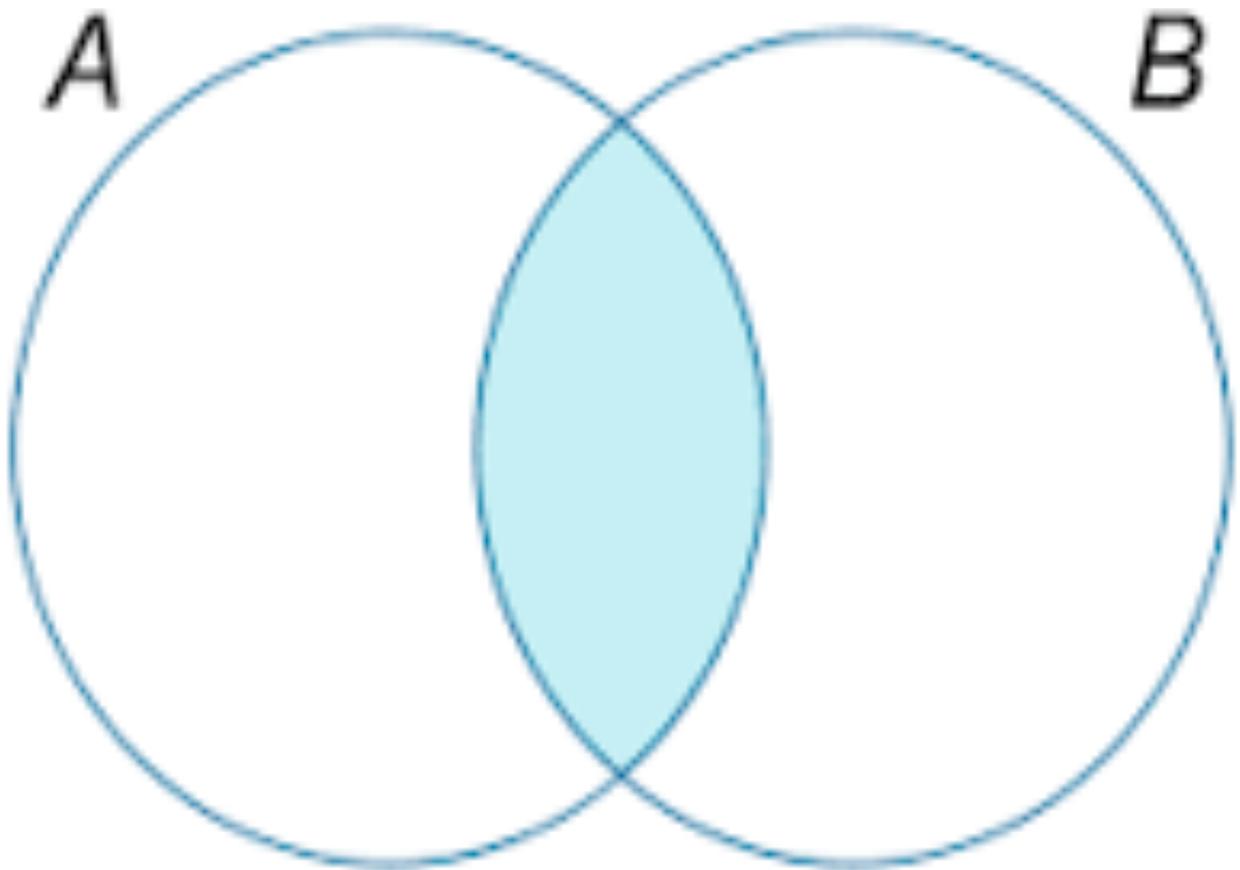
La respiración celular se entiende como un proceso degradativo del catabolismo en el que moléculas orgánicas se oxidan, de modo que el último aceptor de electrones de las moléculas que se oxidan es una molécula inorgánica que a su vez se reduce.

Para complementar la información puedes ver un video con el siguiente código.



ACTIVIDAD DE APRENDIZAJE**ACTIVIDAD 1**

Realiza en el diagrama de Venn la comparación de las características generales del **anabolismo** (A) y **catabolismo** (B). En la **intersección**, coloca las características que comparten ambos procesos, con base en la transformación de energía. Utiliza las siguientes palabras: degradación, síntesis, obtención de energía, endergónico y exergónico.



REFERENCIAS

- Audersirk, T. y Audersirk, G. (2008). *Biología*. (8ª Ed.). Prentice Hall International.
- Biggs, A., Crispen, H., & Holliday, W. (2012). *Biología*. McGraw-Hill Interamericana.
- Curtis, H., Barnes, S., Schnek, A., Massarini, A. (2021). *Biología: en contexto social* (8ª ed.). Editorial Médica Panamericana.
- Solomon, E., Berg L. y Martín, D. (2008). *Biología*. (8ª ed.). Mc Graw Hill/ Interamericana.
- Starr, C., Taggart, C. y Starr, L. (2009). *Biología, la unidad y la diversidad de la vida*. (12ª ed.). Cengage Learning.

Tema I. Bases moleculares del metabolismo: Carbohidratos, lípidos, proteínas y nucleótidos

Elaboraron: Lucía Herrera Velázquez, Leticia Martínez Aguilar, Daría Razo Balcázar, María Isabel Velázquez Nieto

APRENDIZAJE: Relaciona los carbohidratos, lípidos, proteínas y nucleótidos con los procesos metabólicos de transformación de energía.

CONCEPTOS CLAVE: ATP, ADP, GTP, biomolécula, carbohidratos, lípidos, proteínas, nucleótidos, calorías.

RESUMEN.

Los carbohidratos, lípidos, proteínas y nucleótidos son los cuatro macronutrientes esenciales para la vida. Estas biomoléculas están involucradas en una variedad de procesos metabólicos, incluyendo la transformación de energía y cada una de ellas se incorpora en etapas muy específicas. Los carbohidratos, los lípidos y las proteínas son combustibles, cuyo aporte energético puede variar. Por otro lado, los nucleótidos tienen la función de transportar la energía química, generando poder reductor o siendo monedas energéticas como el ATP.

DESARROLLO DEL CONTENIDO

Las biomoléculas son derivadas de los hidrocarburos que contienen átomos o grupos de átomos que sustituyen a algunos hidrógenos, unidos a los carbonos. A estos sustituyentes los llamamos grupos funcionales y otorgan a las moléculas que los poseen nuevas propiedades y entre ellas una mayor reactividad o facilidad para unirse a otras moléculas, los más frecuentes se mencionan en el siguiente cuadro con algunas otras características que puedes observar en la tabla 1.

Tabla 1.				
Características generales de las biomoléculas				
Biomolécula	Carbohidratos	Lípidos	Proteínas	Ácidos nucleicos
Monómero	Monosacárido	Ácidos graso y glicerol	Aminoácido	Nucleótido

Grupo funcional	Aldehídos C-OH Cetonas C=O	Ácido carboxilo COOH Grupos H	Amino NH ₂ y carboxilo COOH Grupo H	Diversidad de grupos funcionales
Tipo de enlace	Covalente y Glucosídico cuando se unen las unidades monoméricas	Covalente	Covalente y Peptídico cuando se enlazan aminoácidos	Fosfodiéster (entre el azúcar y el grupo fosfato) N – nucleotídico (entre la base nitrogenada y el azúcar) Puente de hidrógeno (entre bases nitrogenadas) N-glucosídico
Aporte calórico	4 kcal/g (17 KJ/G)	9 kcal/g (37 KJ/g)	4 kcal/g (17 KJ/g)	

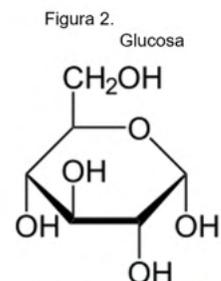
Nota: Características generales de las biomoléculas. Elaboró Razo-Balcázar.

Las biomoléculas se forman por la polimerización de otras moléculas más pequeñas llamadas **monómeros** (Freeman, 2009).

Los carbohidratos, lípidos y proteínas son biomoléculas capaces de aportar energía a la célula a través del metabolismo (anabolismo o catabolismo), cada una de ellas se incorpora en etapas muy específicas y su aporte energético puede variar.

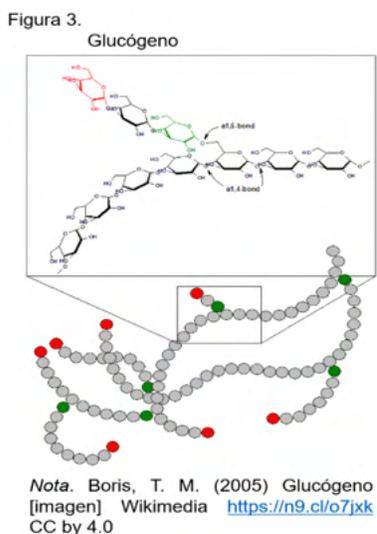
Carbohidratos

Los carbohidratos (carbono más agua) son las macromoléculas, compuestas por átomos de carbono (C), hidrógeno (H) y oxígeno (O), en una proporción 1:2:1. La familia de carbohidratos incluye azúcares simples y complejos. La glucosa mostrada en la figura 2 y la fructosa son ejemplos de azúcares simples,

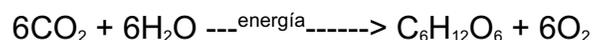


Nota. Neurotiker Glucosa [imagen]
Wikimedia <https://n9.cl/2sqfl> CC by 4.0

también hay disacáridos formados por dos monómeros, generalmente son glucosa o isómeros de esta. El almidón (células vegetales), glucógeno (células animales) representado en la figura 2 son ejemplos de azúcares complejos, también **polisacáridos**, formados de múltiples moléculas de **monosacáridos unidos por enlaces glucosídicos**; todos los carbohidratos mencionados sirven como almacenamiento de energía química. Hay polisacáridos con función estructural como quitina en insectos y celulosa en plantas).



Por ejemplo, en el almidón y el glucógeno mostrado en la figura 2, podemos observar que están formados por una gran cantidad de glucosas unidas por enlaces glucosídicos. y los carbohidratos son una de las principales fuentes de energía para plantas y animales. Las plantas elaboran carbohidratos en el proceso de fotosíntesis, durante este proceso, las plantas convierten la energía luminosa en energía química al construir moléculas de gas dióxido de carbono (CO₂) y agua (H₂O) en moléculas de glucosa (C₆H₁₂O₆). Este proceso implica construir enlaces para sintetizar una molécula grande, la síntesis de glucosa por fotosíntesis se describe mediante esta ecuación:



Las plantas utilizan los carbohidratos como fuente de energía, para la formación de tejidos y además los pueden almacenar en forma de almidón (Pacheco - Pérez, V., Caballero - Zamora, A., Martínez - González, S., Prado - Rebolledo, O, García - Casillas, A., 2022), otros organismos como animales, hongos y protozoos comen plantas u otros animales para obtener carbohidratos y pueden almacenar carbohidratos en forma de glucógeno cuya estructura esta representada en la figura 3.

Los polisacáridos contienen muchos enlaces químicos y por lo tanto almacenan mucha energía química. Durante la digestión, en muchos organismos pluricelulares, los carbohidratos se hidrolizan en azúcares simples y solubles que pueden transportarse a través de la pared intestinal hacia el sistema circulatorio para distribuirse por todo el cuerpo. Cuando estas moléculas en el interior de la célula se descomponen en el metabolismo heterótrofo, la energía contenida en los enlaces químicos se libera a través de una compleja serie de reacciones químicas. A medida que la energía química se libera, esta a su vez se aprovecha para sintetizar moléculas de Adenosina Trifosfato (ATP) formando un enlace denominado de alta energía. El ATP es la moneda de energía primaria de todas las células, que

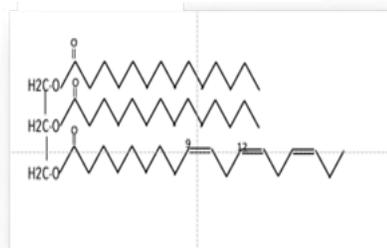
es utilizado para realizar un trabajo inmediato y potenciar reacciones químicas; y en diferentes procesos celulares. Los carbohidratos aportan 4 Kcal por gramo de carbohidrato, otras funciones son: de reserva energética, estructural y de comunicación celular (Wong, s/f).

Lípidos

Los lípidos es otro grupo de biomoléculas que participa en los procesos de transformación de energía, además de conformar estructuras celulares como las membranas celulares, conformar algunas hormonas (estrógeno, progesterona), vitaminas liposolubles, almacén de grasas aislantes térmicos, y reguladores biológicos como las prostaglandinas.

Los lípidos en la mayoría de los organismos se encuentran en forma de triacilglicéridos figura 4 (anteriormente denominado triglicéridos o más comúnmente grasas), un mamífero típico contiene entre un 5 y un 25%, o más, de su peso corporal en forma de lípidos y hasta un 90% de estos están en forma de triacilgliceroles. La mayor parte de esta grasa, que está almacenada en el tejido adiposo, constituye la reserva energética principal.

Figura 4
Triglicérido



Nota: Aguilar, L. (2023) Triglicérido [imagen] colección personal CC BY 4.0

Figura 5
Aceite de olivo



Nota: Mareefe (2018) Aceitunas en taza de aceite de a oliva Pexels <https://acortar.link/8YDAsI> CCBY4.0

En los mamíferos, las grasas se almacenan en unas células especializadas llamadas adipocitos, en las que hay glóbulos de grasa gigantes, en varias de plantas (girasol, almendras, ricino, aguacate, olivo) como se observa en la figura 5 se almacena una gran cantidad de grasa para proporcionar energía al embrión de la planta que se forma, dado que los lípidos de las plantas contienen principalmente ácidos grasos insaturados, los triacilgliceroles se encuentran en forma de aceites líquidos.

Los triacilglicéridos intervienen en otras funciones, aparte del almacenamiento de energía. La grasa sirve para amortiguar los golpes que puedan recibir los órganos internos y constituye un aislante térmico eficaz, en especial en mamíferos marinos, que deben tener una temperatura corporal más alta que la del medio que los rodea, por ejemplo, osos y focas.

Las cadenas hidrocarbonadas largas de los ácidos grasos son eficaces en el almacenamiento de energía, ya que contienen carbono en una forma totalmente reducida y, por lo tanto, proporcionan una cantidad máxima de energía con la oxidación, constituyendo reservas de energía mucho más eficaces que los carbohidratos. La oxidación metabólica de la grasa consume más oxígeno a igualdad de peso, que los carbohidratos con la liberación de energía metabólica superior. La oxidación metabólica completa de los triacilglicéridos produce 37 KJ/g, mientras que los carbohidratos y proteínas rinden 17 KJ/g.

Por otra parte, para su incorporación intracelular los carbohidratos y proteínas por ser hidrofílicos, se asocian a moléculas de agua; por ejemplo, el glucógeno se asocia casi con 2g de agua por gramo de carbohidrato; pero los lípidos por ser apolares, estos prácticamente no están asociados a moléculas de agua, entonces en la grasa intracelular puede rendir hasta 6 veces más de energía que el glucógeno. Esto es muy importante en animales que hibernan o que migran, en ambos casos tienen periodos de aumento de peso, correspondiendo en su mayoría a grasas.

En los humanos un hombre de 70 Kg de peso puede tener reservas de combustible de 400 000 KJ en la grasa total y unos 100 000 KJ en las proteínas y en forma de glucógeno asciende solo 2 500 KJ de energía disponible y la glucosa total cerca de 170 KJ. Las reservas de grasa se mantienen a partir de la alimentación, alrededor del 40% del valor calórico de la típica alimentación occidental las proporciona las grasas, aunque se recomienda sea entre 25-30%, adicionalmente el consumo excesivo de carbohidratos que no se utilizan en el catabolismo y no se almacenan

en glucógeno, se convierten en grasas. La oxidación de los ácidos grasos constituye la principal fuente de energía para muchos tejidos animales.

La fuente de los triacilglicéridos en animales son 1) la alimentación, 2) biosíntesis *de Novo*, en especial del hígado y 3) reservas existentes en los adipocitos Mostrado en la figura 7. Los lípidos como se mencionó anteriormente son apolares, para ello



Nota. Posible2006 (2018)
Estructura de un quilomicrón
[imagen] Wikimedia
<https://acortar.link/WzgEHr>

en muchos organismos, como el humano, se emplean para su digestión y distribución sales biliares, facilitando su absorción a través de la mucosa intestinal; para su transporte a través de sistema circulatorio se utilizan proteínas, formando un complejo llamado lipoproteína, por ejemplo, los quilomicrones, representado en la figura 6.

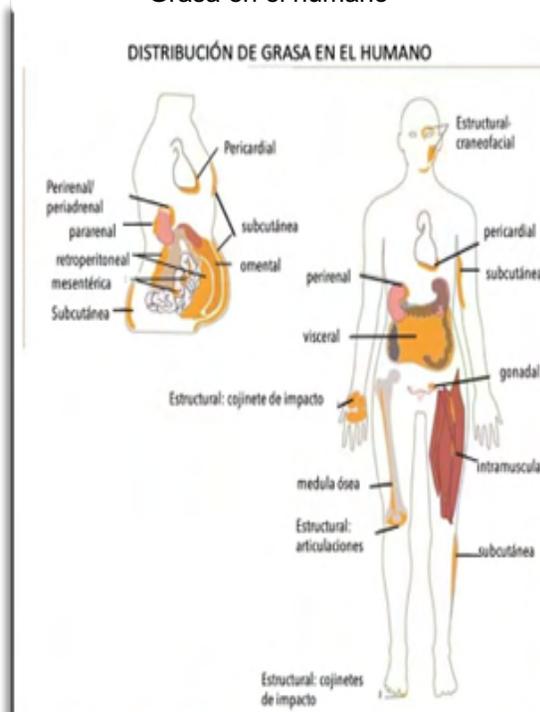
Proteínas

Las proteínas son moléculas complejas que están

formadas por aminoácidos. Las proteínas están involucradas en una variedad de procesos, incluyendo la construcción y reparación de tejidos, la producción de hormonas, enzimas, y de anticuerpos. También están involucradas en el transporte de nutrientes y la regulación de los fluidos corporales, son reservas nutricionales en plantas (semillas, principalmente) y huevos de muchos grupos de vertebrados.

Por ejemplo, las proteínas, para ser digeridas en el aparato digestivo de humanos, implica la función de las glándulas responsables de la producción

Figura 7
Grasa en el humano



Nota. Cook, A. Cowan, C., (2009) Adipose StemBook.
Wikimedia <https://acortar.link/un0iKz> CCBY 4.0

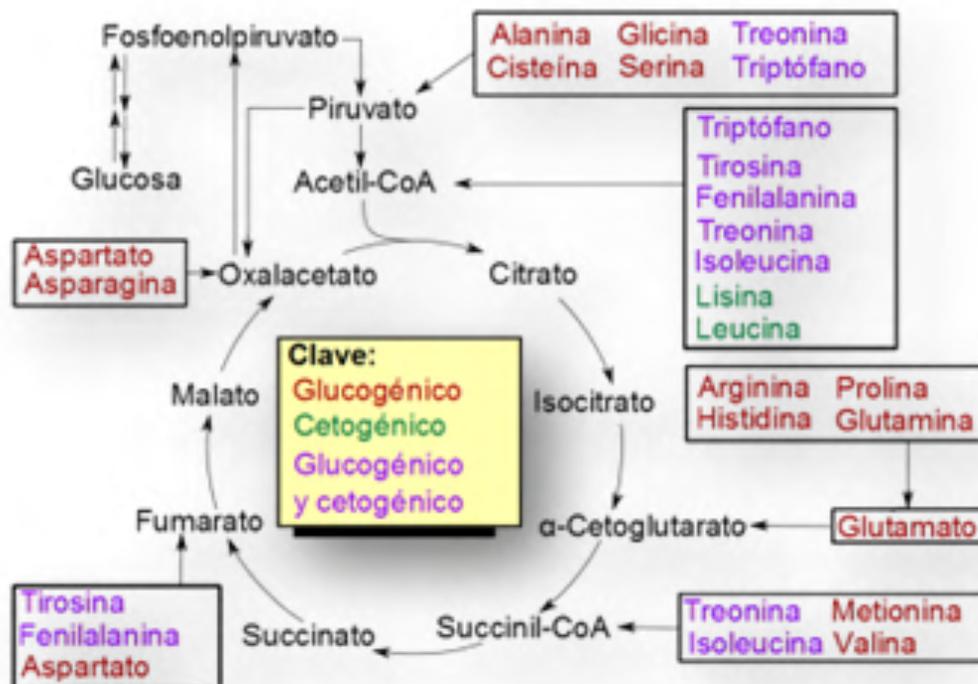
de enzimas digestivas, lo hacen liberando enzimas inactivas, que se activan en el intestino delgado, tal como el tripsinógeno, que se transforma a tripsina.

Todas estas enzimas digestivas descomponen a las proteínas grandes en péptidos más pequeños, a este proceso se le denomina proteólisis, estos péptidos se vuelven a catalizar en sus aminoácidos constituyentes, los cuales son transportados a través de la superficie apical de la mucosa intestinal en un proceso que está mediado por transportadores de sodio-aminoácido. Los aminoácidos se distribuyen por el torrente sanguíneo al hígado y a las células de todo el cuerpo.

Los aminoácidos disponibles se utilizan para crear nuevas proteínas, si hay en exceso se transforman en glucosa o cetonas, o se descomponen, ya que las proteínas no se almacenan como lo hacen los lípidos o carbohidratos. La descomposición de aminoácidos resulta en hidrocarburos y desechos nitrogenados. Sin embargo, en altas concentraciones el nitrógeno es tóxico.

Los aminoácidos también se pueden utilizar como fuente de energía, especialmente en tiempos de inanición, debido a que el procesamiento de aminoácidos resulta en

Figura 8
Aminoácidos y el Ciclo de Krebs



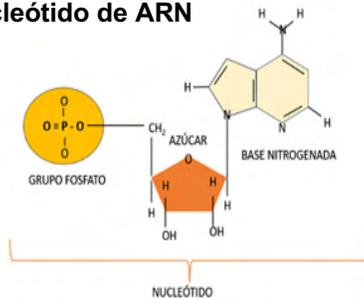
Nota [Mikael Häggström](#) (traducido al español por Alejandro Porto) (2013) Degradación de los esqueletos carbonados de los aminoácidos

la creación de intermediarios metabólicos, incluyendo a piruvato, acetil, acetoacil, oxalacetato y α -cetoglutarato, los aminoácidos pueden servir como fuente de producción de energía a través del ciclo de Krebs, esto se puede observar en el esquema del ciclo de Krebs de la figura 8.

Nucleótidos

Los nucleótidos son un grupo de moléculas orgánicas que cumplen con varias

Figura 9
Nucleótido de ARN



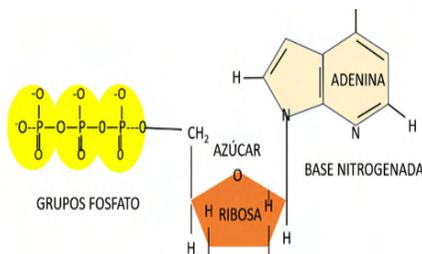
Nota. En la imagen se muestran los componentes de un nucleótido de ARN. El azúcar es la ribosa y la base nitrogenada es la adenina. Herrera, L. (2023) nucleótido [imagen] colección personal CC BY 4.0

funciones en los sistemas biológicos, estas moléculas pueden actuar como portadores de energía, como coenzimas en los procesos metabólicos transportando grupos químicos, átomos o electrones de una reacción a otra, son importantes como mensajeros químicos y además son los componentes estructurales del DNA y RNA

quienes actúan como depositarios y transmisores de la información genética de cada célula, tejido y organismo.

En cuanto a su estructura los nucleótidos cuentan con tres componentes: Un azúcar de cinco átomos de carbono (ribosa o desoxirribosa), una base nitrogenada (Adenina, Guanina, Timina, Citosina y Uracilo) y de uno a tres grupos fosfato, representado en la figura 9.

Figura 10
Adenosín trifosfato (ATP)

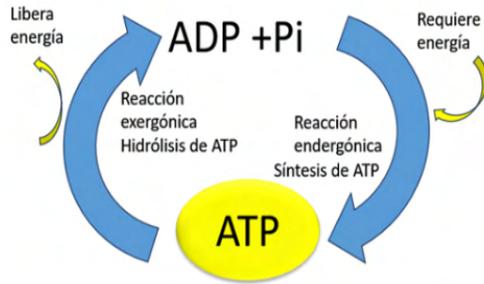


Nota. El ATP consta de una base de adenina, el azúcar de cinco carbonos ribosa y tres grupos fosfato. Es el principal transportador de energía entre los sitios de reacción de las células. Herrera, L. (2023) ATP [imagen] colección personal CC BY 4.0

Un nucleótido energético es el ATP adenosín trifosfato figura 10. Esta molécula participa en muchas reacciones metabólicas donando y aceptando el grupo fosfato gracias a la acción de enzimas específicas. Una reacción en donde un grupo fosfato se transfiere de una molécula a otra recibe el nombre de fosforilación. Los enlaces entre los grupos fosfatos contienen energía y cuando son transferidos la energía de enlace se transfiere junto con él. Por lo que, el nucleótido de ATP puede recibir energía de

una reacción exérgica y puede aportar energía a una reacción endérgica, representado en la figura 11.

Figura 11
Ciclo del ATP



Nota. Herrera, L. (2023) Ciclo del ATP/ADP [imagen] colección personal CC BY 4.0

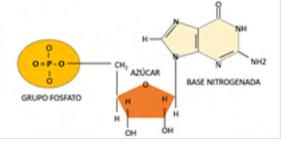
El ATP en particular es una “moneda energética” en el metabolismo celular. Como la célula realiza de forma constante procesos que requieren energía, la molécula de ATP cede un grupo fosfato y se forma ADP (adenosín difosfato), posteriormente para poder tener una reserva de ATP el ADP se fosforila. Por lo tanto, el uso y reposición de ATP se conoce

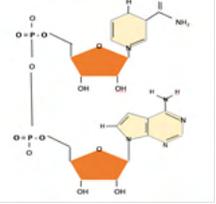
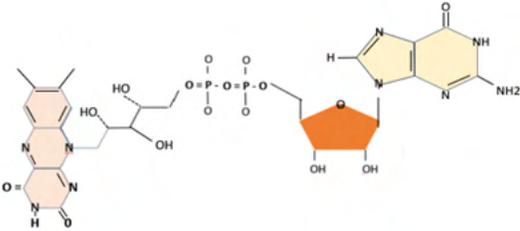
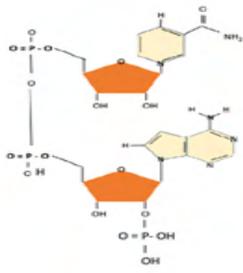
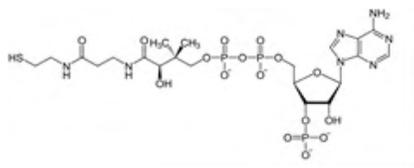
como ciclo de ATP/ADP. Esta molécula que es esencial para la vida se puede producir por dos mecanismos: la fosforilación a nivel de sustrato y la fosforilación oxidativa.

Otros nucleótidos indispensables en los procesos metabólicos y sus funciones se resumen en la tabla 2.

Tabla 2

Nucleótidos que participan en el metabolismo

Nucleótido/ Estructura	Función y ejemplos de vías metabólicas en las que participan.
<p>Figura 12 GTP (Guanosin trifosfato)</p>  <p><i>Nota.</i> Herrera, L. (2023) GTP [imagen] colección personal CC BY 4.0</p>	<p>Es un nucleótido que contiene la base guanina y es utilizado como una fuente de energía para la célula, al igual que el ATP puede trasladar energía al transferir un grupo fosfato. Participa en el Ciclo de Krebs y la síntesis de proteínas.</p>
<p>Figura 13 NAD⁺ (nicotinamida adenina dinucleótido)</p>	<p>Puede existir en forma oxidada (NAD⁺), que se convierte a la forma reducida (NADH₂) cuando acepta</p>

 <p>Nota. Herrera, L. (2023) NAD+ [imagen] colección personal CC BY 4.0</p>	<p>electrones. Participa en la glucólisis y ciclo de Krebs que forman parte del proceso de respiración celular.</p>
<p>Figura 14 FAD⁺ (flavin adenin dinucleótido)</p>  <p>Nota. Herrera, L. (2023) FAD+ [imagen] colección personal CC BY 4.0</p>	<p>Es una coenzima que en el metabolismo celular puede donar o aceptar electrones y protones (genera poder reductor). Junto con el NADH donan su carga de electrones e iones hidrógeno a la cadena transportadora de electrones en la membrana mitocondrial interna.</p>
<p>Figura 15 NADP⁺ (dinucleótido fosfato de nicotinamida y adenina fosfato)</p>  <p>Nota. Herrera, L. (2023) NADP+ [imagen] colección personal CC BY 4.0</p>	<p>Fuente de electrones para la biosíntesis reductora. El NADPH + H⁺ se genera durante la fase luminosa de la fotosíntesis y participa en el ciclo de Calvin-Benson.</p>
<p>Figura 1 Acetil CoA</p>  <p>Nota Colaboradores de Wikipedia. (2023). Coenzima A. Wikipedia, la enciclopedia libre. https://es.wikipedia.org/wiki/Coenzima_A#/media/Archivo:Coenzym_A.svg</p>	<p>La mayoría de las vías catabólicas celulares (carbohidratos, lípidos y proteínas) dan lugar, en último término, al acetil CoA. Es un intermediario activo en la síntesis de biomoléculas.</p>

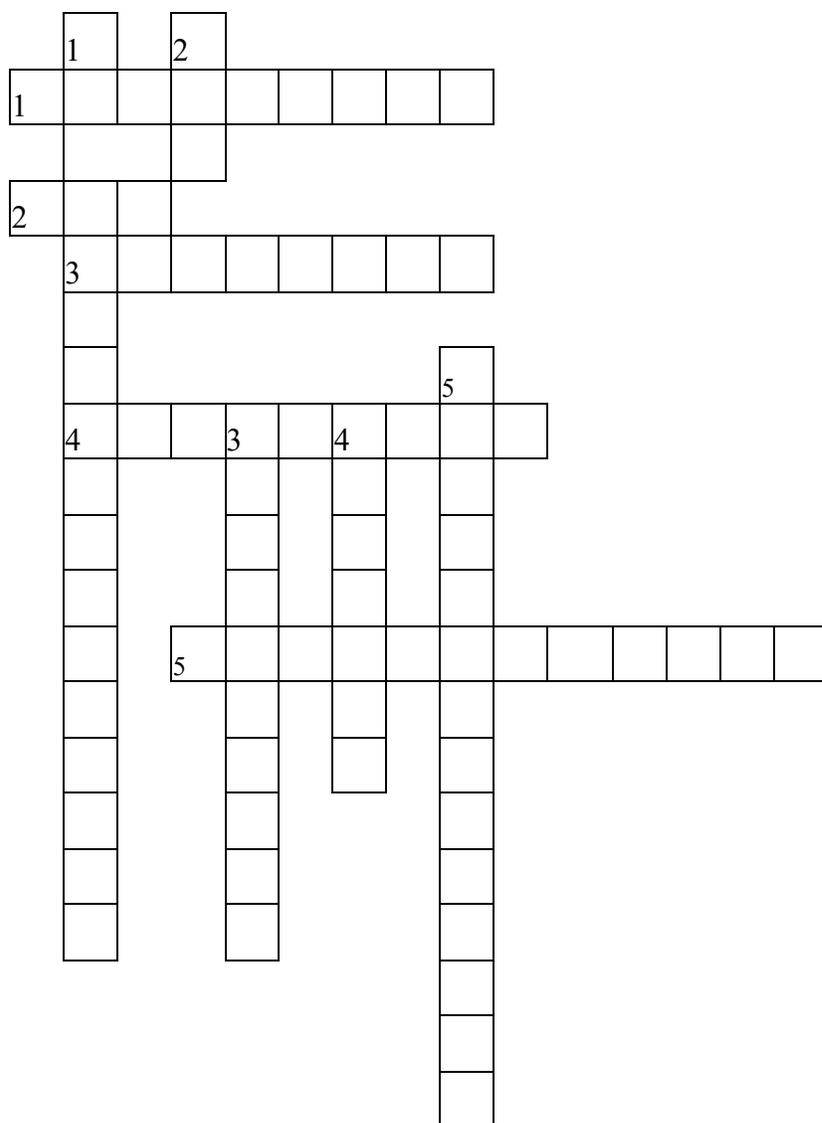
Nota: Como apoyo, te sugerimos el siguiente vídeo.



ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE

ACTIVIDAD 1

Instrucciones. Completa el siguiente crucigrama de biomoléculas.



VERTICALES

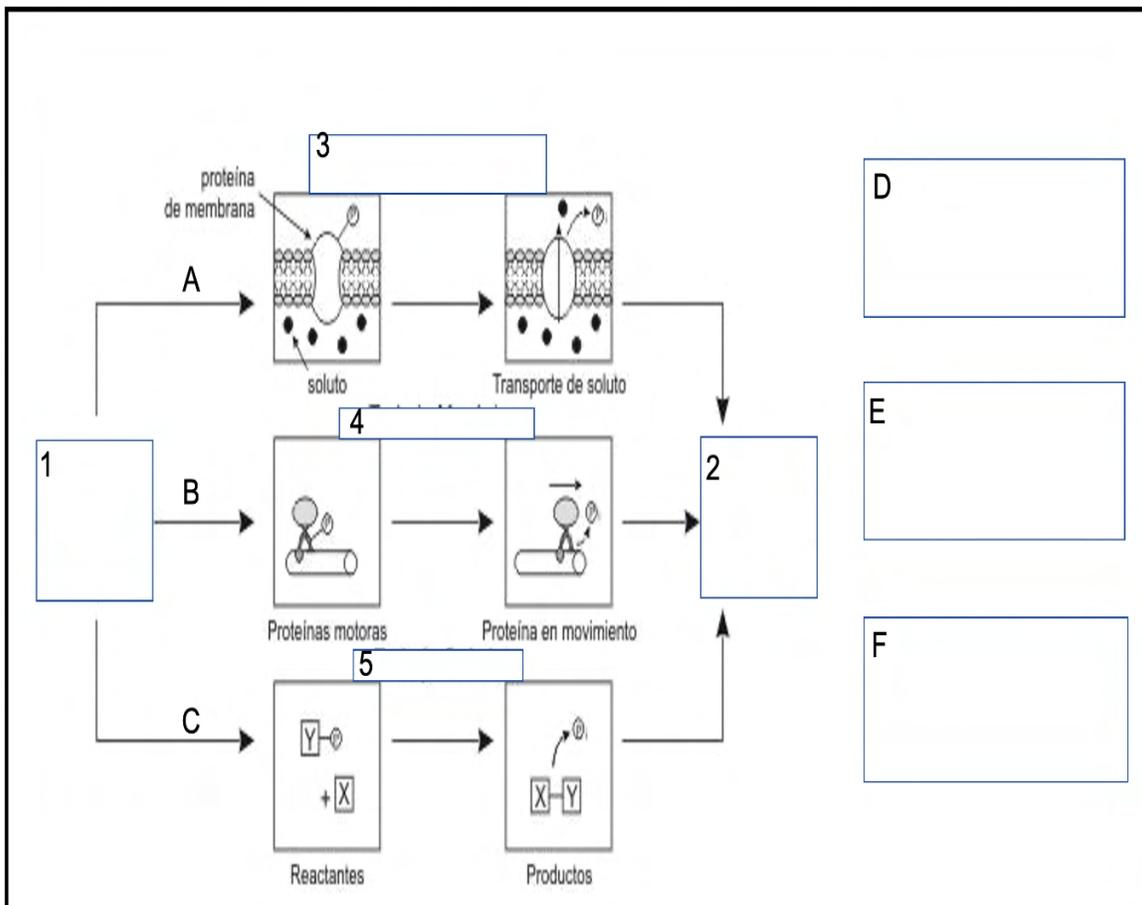
1. Es el lípido con función energética
2. Este nucleótido tiene 3 grupos fosfatos en su estructura
3. Los aminoácidos que son utilizados para obtener energía se incorporan en esta etapa de la ruta central del metabolismo (palabras juntas).
4. Es el monómero de los polisacáridos.
5. Tipo de energía que se utiliza en el metabolismo (sin espacio).

HORIZONTALES

1. Este polímero no tiene almacén en los organismos pluricelulares
2. Es un ejemplo de nucleótido con poder reductor (inv.)
3. Unidad de medida de la energía de las biomoléculas
4. Polisacárido de almacén en humanos
5. Proceso anabólico para la formación de glucosa

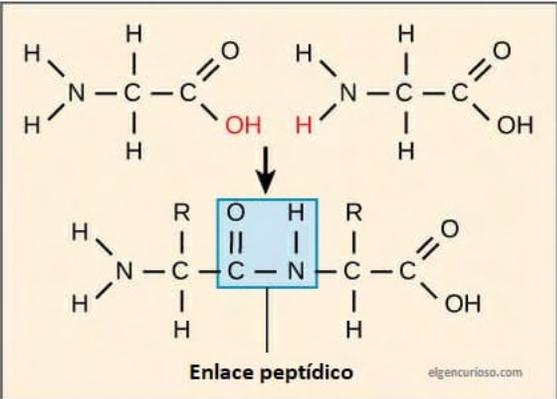
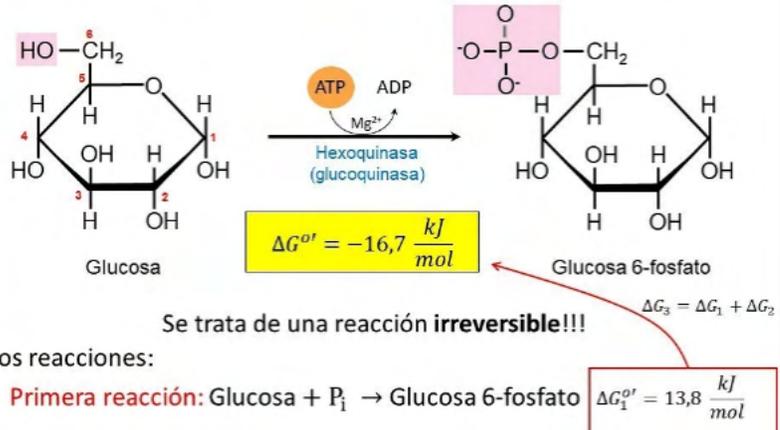
ACTIVIDAD 2

Instrucciones. Coloca en los recuadros 3, 4, 5 los procesos donde interviene el ATP, en los cuadros 1 y 2 cómo ingresa y sale la molécula energética, en los cuadros de la derecha explica lo que ocurre desde el punto energético.



ACTIVIDAD 3

Instrucciones. A partir de las imágenes incluidas en la tabla que se presenta a continuación, deduce, en cada reacción química, los procesos de transferencia de energía.

Reacción química	Interpretación
 <p style="text-align: center;">Enlace peptídico</p> <p style="text-align: right; font-size: small;">elgencurioso.com</p> <p>https://www.elgencurioso.com/diccionario/enlace-peptidico/</p>	<p>¿Cómo se llaman las dos moléculas de la parte superior en la imagen? ¿Qué les sucedió? ¿Cómo se denomina a la molécula que se formó? ¿Qué molécula forman los átomos de color rojo? ¿Su formación, requirió o liberó energía?</p>
<p>① Fosforilación de la glucosa.</p>  <p style="text-align: center;">$\Delta G^{0'} = -16,7 \frac{kJ}{mol}$</p> <p style="text-align: center;">$\Delta G_3 = \Delta G_1 + \Delta G_2$</p> <p style="text-align: center;">Se trata de una reacción irreversible!!!</p> <p>Dos reacciones:</p> <p>Primera reacción: $Glucosa + P_i \rightarrow Glucosa\ 6-fosfato$ $\Delta G_1^{0'} = 13,8 \frac{kJ}{mol}$</p> <p>https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=H0HUbhxUsVw</p>	<p>¿Qué le sucede a la glucosa? ¿Qué molécula aporta al grupo fosfato (cuadro rosa de la derecha)? La glucosa, después de la reacción, ¿gana o pierde energía?</p>

ACTIVIDAD 4

Instrucciones. Elige una de las comidas que realizas un día de la semana y en un cuadro coloca los 3 grupos de biomoléculas y los alimentos en que se ubican (un alimento puede tener más de una biomolécula) que están representados en la comida, además indica el destino de las biomoléculas en tu cuerpo, la función que realizan y de ellas cual da más aporte energético a tus células, y donde potencialmente pueden ser almacenadas sino se utilizan. Apóyate del siguiente cuadro.

	Carbohidratos	Lípidos	Proteínas
Alimentos			
Destino			
Función			
Pueden ser almacenadas ¿Dónde?			

REFERENCIAS

Mathews, C, Van, K., (2003) *Bioquímica*. **Pearson**

Horton, H. Moran, L. Scrimgeour, K. Perry, M y Rawn, J. (2008). *Principios de bioquímica* (4ª ed.). Pearson Prentice Hall. <https://goo.su/Tqg4b>

Wong, V. (s.f.) 2.4: Azúcares **libretexts** <https://goo.su/sgm74u>

Pacheco-Pérez, V., Caballero-Zamora, A., Martínez-González, S., Prado-rebolledo, O, García-Casillas, A., (2022) *bioquímica y vías metabólicas de polisacáridos, lípidos y proteínas*. Abanico Veterinario vol.11 <https://acortar.link/8A0UMv>

Tema I. Bases moleculares del metabolismo: Enzimas

Elaboró: María del Rosario López Mendoza

Aprendizaje: el alumno comprende el papel de las enzimas en las reacciones metabólicas.

Conceptos clave: funciones celulares, metabolismo, anabolismo, catabolismo, energía de reacción, rutas metabólicas, reacciones endergónicas y exergónicas, proteínas, enzimas, cofactores, coenzimas.

RESUMEN

Las enzimas son proteínas que funcionan como catalizadores en el metabolismo celular. Son responsables de degradar o sintetizar diferentes biomoléculas con un bajo gasto de energía. Intervienen tanto en el catabolismo como en el anabolismo. Las enzimas actúan reduciendo la energía de activación, siendo entonces las reacciones enzimáticas, más eficientes y rápidas. Las enzimas se pueden clasificar de acuerdo a su reacción y complejidad química.

DESARROLLO DEL CONTENIDO

Las enzimas son un gran grupo de proteínas y, como todas las proteínas, están hechas de aminoácidos. Se sintetizan en la célula y realizan funciones dentro y fuera de ésta.

Sus funciones son catalíticas, es decir, permiten romper (degradar) o sintetizar (elaborar) a otras biomoléculas, con el beneficio de un bajo gasto energético. Sí, las enzimas ahorran energía a las células. Todo ello sucede en un conjunto de múltiples reacciones químicas, una después de otra, en un proceso complejo conocido como rutas metabólicas, tal como la fermentación, respiración celular, fotosíntesis, síntesis de proteínas, digestión, etcétera.

Así, uno de los parámetros para realizar la caracterización de los sistemas biológicos es el efectuar intercambio de materia y energía, a través de procesos que en conjunto se denominan metabolismo.

Por ello, podemos definir al metabolismo como el conjunto de reacciones y procesos fisicoquímicos que ocurren en cada célula. Estos procesos están interrelacionados en los organismos pluricelulares, son la base de la vida y se explican siempre a nivel molecular, denominados genéricamente como crecer, reproducirse, respirar, desarrollarse, mantener estructuras, excretar, nutrirse, responder a estímulos y tender al equilibrio dinámico (homeostasis), entre otras funciones.

Todas las formas de vida, desde las algas unicelulares, plantas, mamíferos, entre otros, dependen de la realización simultánea de centenares de reacciones metabólicas reguladas con gran precisión, desde el nacimiento y la maduración hasta la muerte.

El metabolismo se divide, con fines de estudio, en dos procesos conjugados, es decir que se realizan simultáneamente: catabolismo y anabolismo.

Las reacciones **catabólicas** o degradativas liberan energía; un ejemplo es la respiración, un proceso de ruptura de compuestos como la glucosa, cuya reacción resulta en la obtención de la energía retenida en los enlaces químicos. Si bien, con más precisión, las reacciones que liberan energía en los organismos se denominan **exergónicas**, ya que no se libera calor. Esta definición también considera que es un proceso continuo, centrado en la transformación de la energía necesaria para la realización de todas las actividades biológicas. Para algunos animales incluye también el mantenimiento de la temperatura corporal.

El catabolismo implica la ruptura (degradación) de las moléculas químicas complejas (carbohidratos, lípidos y hasta proteínas), generando sustancias más sencillas, tal como: ácido acético, amoníaco, ácido láctico, dióxido de carbono o urea, entre otras, que constituyen los productos de desecho, expulsados a través de las membranas celulares y en los organismos pluricelulares, como los animales, salen del cuerpo a través de los riñones, el intestino, los pulmones y la piel.

En dicha degradación se libera energía química que es capturada en otra molécula cuyo nombre es Adenosín trifosfato (ATP), que es usada por todo sistema biológico en los diferentes procesos que requieren energía, llamados anabólicos.

Así, las reacciones **anabólicas** o biosintéticas, en cambio, utilizan esta energía liberada para recomponer enlaces químicos y construir componentes de las células como por ejemplo las proteínas y los ácidos nucleicos.

En los sistemas biológicos, las reacciones que requieren energía se denominan **endergónicas**, no endotérmicas pues la energía requerida no se obtiene como energía calorífica sino como energía química, es decir almacenada en los enlaces químicos.

Se llama anabolismo, o metabolismo constructivo, al conjunto de las reacciones de síntesis necesarias para la formación y el crecimiento de nuevas células y, en el caso de los organismos pluricelulares, el mantenimiento de todos los tejidos. Las reacciones anabólicas incluyen la síntesis (formación) enzimática de los ácidos nucleicos, los lípidos, los polisacáridos y las proteínas; todos estos procesos necesitan la energía química suministrada por el ATP (obtenido por el catabolismo).

¿Pueden nombrar funciones de tu cuerpo que se clasifiquen como anabolismo y catabolismo?

El anabolismo y el catabolismo son procesos **acoplados** que hacen al metabolismo en conjunto, puesto que cada uno depende del otro. Cuando ambos procesos están equilibrados, se dice que el organismo se encuentra en equilibrio dinámico.

Iniciando con detalles, hemos de considerar que, la economía de la actividad celular se establece en vías o rutas metabólicas, es decir, un compuesto químico (sustrato) es transformado en otro (producto), y este a su vez funciona como sustrato para otras reacciones químicas y generar otro producto, siguiendo así una secuencia de reacciones. Permanentemente ambos tipos de rutas se combinan unas con otras para producir compuestos finales específicos y esenciales para la vida.



Sustratos → productos

La figura 17 muestra la reacción E-S (enzima-sustrato), en verde el sustrato (molécula que se rompe), es decir, la sustancia química que reaccionará, la enzima

Figura 17.
Modelo llave-Cerradura



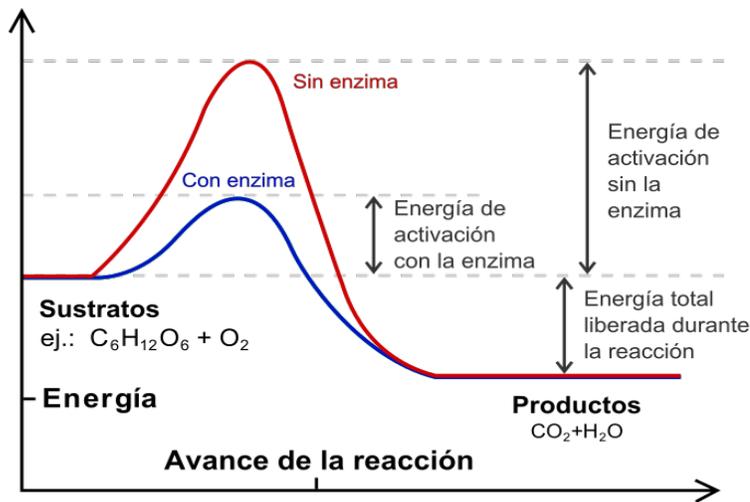
Nota. Bekerr. (2011). [imagen] Diagrama esquemático de una unión llave-cerradura de un complejo enzima-sustrato [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Complejo_enzima-sustrato_\(llave-cerradura\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Complejo_enzima-sustrato_(llave-cerradura).jpg). CC By 4.0

(color gris oscuro) está representada por el semicírculo y el sitio activo refiere parte de la molécula que estará en contacto con el sustrato, similar a la cerradura y su llave y denominado formalmente complejo enzima-sustrato. Ellos, deben coincidir perfectamente para poder reaccionar y generar los productos (representados por la imagen rojo y naranja), en este caso la ruptura del sustrato genera dos moléculas más pequeñas. El acoplamiento E-S se explica por la presencia de determinados grupos funcionales que interactúan, se atraen químicamente.

Su especificidad, explica por qué se pueden encontrar un número muy grande de enzimas diferentes (tanto como llaves y cerraduras en nuestro entorno). Cada enzima es reciclable, ya que al liberarse de la primera reacción puede seguir catalizando más reacciones con el mismo tipo de moléculas (sustratos) y su función estará regulada por factores como el pH, temperatura, concentración, entre otros. Además, los científicos encontraron que muchas enzimas requieren para su funcionamiento de otros componentes “ayudantes” denominados coenzimas (algunas vitaminas) y cofactores (algunos elementos químicos en forma iónica, como Mg^{+2} , Mn^{+2} , Ca^{+2} , entre otros)

Todo ello ocurre bajo la intervención de diferentes enzimas (E) o sea catalizadores, sustancias **específicas**, lo cual quiere decir una para cada sustrato-reacción, haciendo posible que reacciones químicas complicadas o muy lentas resulten en reacciones favorables y aceleradas, con ahorro de energía.

Figura 18
Catálisis enzimática



Nota. Colaboradores de Wikipedia (2010). [imagen] catálisis enzimática
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Catalisis_enzimatica1.svg CC By 4.0

Al observar un ejemplo, en la figura 18, podemos ubicar en la línea roja, cuánta energía se consumiría sin la enzima y la disminución neta de energía, en la línea azul, con la participación de la enzima, a lo cual se le llama energía de activación. Una característica del metabolismo es la similitud de las rutas metabólicas básicas incluso entre especies muy diferentes. Por ejemplo: la secuencia de pasos químicos en una vía metabólica, como el proceso de la glucólisis, es casi universal entre células vivientes tan diversas como la bacteria *Escherichia coli* y organismos pluricelulares como las plantas y los animales. Esta estructura metabólica compartida es muy probablemente el resultado de la alta eficiencia de estas rutas, y de su temprana aparición en la historia evolutiva. Por el tipo de acción que realizan las enzimas, se clasifican en¹:

- Oxidorreductasas: Enzimas que catalizan la transferencia de electrones de un compuesto a otro. Casi siempre los electrones van acompañados de protones.
- Transferasas: Enzimas que transfieren un grupo químico de un compuesto a otro.

- Hidrolasas: Enzimas que catalizan reacciones de hidrólisis, o sea ruptura del agua.
- Liasas: Enzimas que agregan (o sustraen), grupos químicos a dobles ligaduras o dobles enlaces.
- Isomerasas: Enzimas que transforman un compuesto en alguno de sus isómeros (compuestos que tienen los mismos átomos, pero diferente arreglo en el espacio).
- Ligasas: Enzimas que forman uniones covalentes entre dos compuestos, la reacción es endergónica y requieren de la ruptura de moléculas de ATP que proporcionan energía.

Inclusive, el estudio de las enzimas ha llevado a su uso comercial, por lo que actualmente se usan las enzimas en la industria alimentaria, de productos de limpieza y otros campos biotecnológicos.

Nota: Como material de apoyo de sugerimos los siguientes vídeos “lee” el QR



Papel de las enzimas y del ATP en el metabolismo. Scienza Educación.
<https://www.youtube.com/watch?v=upoOrtNrxQo>



Enzimas. Amoeba sister.
<https://www.youtube.com/watch?v=U1BqsQR8HMQ>



¿Qué ENZIMAS hay en la DIGESTIÓN? / Enzimas en el Sistema Digestivo en Nutrición.
https://www.youtube.com/watch?v=STXPBQZV_IQ



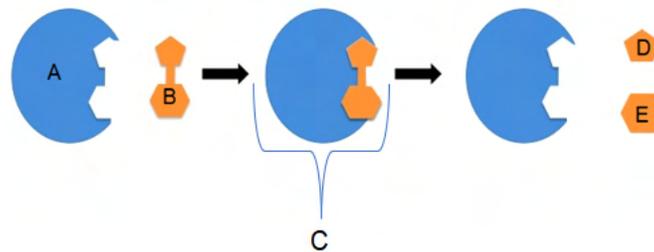
Gassos Laura. aplicaciones enzimas industria alimentaria 2
<https://www.youtube.com/watch?v=6kz1AdGtFok>

ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE

ACTIVIDAD 1

Instrucciones. Observa con detalle y contesta en el espacio designado.

Figura 19
Catálisis enzimática



Nota. Colaboradores de Wikipedia (2011). [imagen] Mecanismo enzimático Modificado de https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/fc/Enzyme_mechanism_1.jpg CC-BY-SA-3.0

Nombra en la siguiente tabla cada uno de los componentes de la imagen.

A _____	C _____	D _____
B _____		E _____

ACTIVIDAD 2

Instrucciones. Investiga las funciones de las siguientes enzimas y anota brevemente en el espacio de la tabla:

a. Amilasa salival	b. lipasa
c. Lactasa	d. Sacarasa

ACTIVIDAD 3

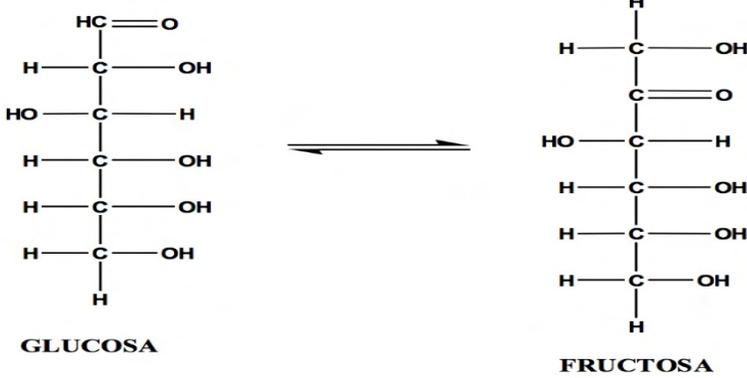
Instrucciones. Investiga 3 ejemplos de Vitaminas que funcionan como cofactores:

- _____
- _____

c. _____

ACTIVIDAD 4

Instrucciones. Anota en la línea el tipo (clasificación) de la enzima que realiza la reacción química

Número	Imagen con la reacción química que cataliza (reactivo y productos)	Tipo/ clasificación
I	 <p style="text-align: center;">GLUCOSA FRUCTOSA</p>	
II	$A + B \xrightarrow{\text{ATP} + \text{H}_2\text{O}} A-B \xrightarrow{\text{ADP} + \text{Pi}}$	
III	$AB + H_2O \rightleftharpoons AH + BOH$	
IV	$AX + B \rightleftharpoons A + BX$	
V	$R_1-\text{C}=\text{C}-R_2 + X-Y \rightleftharpoons R_1-\underset{\text{X}}{\text{C}}-\underset{\text{Y}}{\text{C}}-R_2$	

REFERENCIAS

- Biggs, A., Crispen, H. y Holliday, W. (2012). *Biología*. McGraw-Hill Interamericana.
- Curtis, H., Barnes, S., Schnek, A., y Massarini, A. (2021). *Biología: en contexto social* (8ª ed.). Editorial Médica Panamericana.
- Mader, S. (2019). *Biología* (13ª ed.) . McGraw-Hill Interamericana.
<https://bookshelf-ref.vitalsource.com/books/9781456271497>

Tema II. Procesos metabólicos de obtención y transformación de materia y energía: Nutrición heterótrofa y autótrofa

Elaborado por: Lucía Herrera Velázquez

Aprendizaje: Relaciona la nutrición heterótrofa y autótrofa con las formas de obtención y transformación de materia y energía.

Conceptos clave: autótrofo, heterótrofo, quimiosintético, fotosintético.

RESUMEN

Una de las características distintivas de los sistemas vivos es la forma en la que obtienen y transforman la materia y la energía. Todos los animales, plantas, hongos y los diversos grupos de microorganismos necesitan obtener energía para sus procesos metabólicos y nutrientes para construir sus moléculas estructurales y funcionales. Así que, los sistemas vivos se pueden clasificar desde un punto de vista metabólico según la forma en la que se nutren, es decir según las fuentes de carbono y la fuente de energía que utilizan en autótrofos y heterótrofos y en fotosintéticos y quimiosintéticos, respectivamente.

DESARROLLO DEL CONTENIDO

Desde el inicio de la vida en el planeta los sistemas vivos han realizado diferentes procesos metabólicos para poder sobrevivir. Uno de ellos es la obtención de energía, ya que todos organismos desde los unicelulares procariontes como las bacterias fotosintéticas, las algas y hasta los árboles como el ahuehuete la obtienen del sol; mientras que, otras bacterias, los hongos y los animales obtienen la energía que necesitan degradando moléculas orgánicas formadas por otros sistemas vivos. En cuanto a la obtención de materia, por ejemplo, las plantas, las algas y las bacterias fotosintéticas utilizan materiales sencillos como el bióxido de carbono y el agua que toman del medio exterior y sólo requieren de un sistema para transportarlos al interior de las células. Por su parte, los animales, utilizan algunas

moléculas sencillas y en su mayoría una gran cantidad de macromoléculas, como carbohidratos, proteínas o grasas. Estas biomoléculas contenidas en los alimentos son ingeridas y sometidas al proceso de digestión para ser hidrolizadas antes de ser absorbidas y de entrar propiamente al organismo. Así, lo que ingresa a la sangre para ser tomado por las células son las moléculas sencillas: los aminoácidos, los ácidos grasos y los carbohidratos simples. Otros organismos como los hongos y algunos protistas se alimentan de restos orgánicos de otros organismos, y con ayuda de las enzimas degradan los restos orgánicos para absorber los nutrientes. Como podrás darte cuenta, los sistemas vivos cuentan con diferentes fuentes para aprovechar la materia y la energía. Por lo que se pueden clasificar en organismos **autótrofos** y **heterótrofos** dependiendo de la fuente de carbono y en **fotosintéticos** si la fuente de energía es la luz solar o en **quimiosintéticos** si la fuente de energía es producto de las reacciones oxidativas que ocurren en algunos sistemas vivos ver la tabla 3.

Fuente de carbono	Compuestos orgánicos	hetero "diferente"	trofos "nutrición"	Heterótrofos
	Bióxido de carbono	auto "por si mismo"		Autótrofos
Fuente de energía	Luz solar	foto "luz"		Fotótrofos fotosintéticos
	Química de compuestos preformados	Quimio "producto químico"		Quimiotrofos quimiosintéticos

Nota: Clasificación de los organismos basado en la fuente de carbono y en la fuente de energía. Elaboración propia.

Así que, al combinar estas fuentes de energía y materia se tienen cuatro tipos de metabolismo que se describen a continuación.

Fotoautótrofos o fotolitótrofos: Un ejemplo de este grupo de sistemas vivos los constituyen las cianobacterias, se les atribuye el hecho de que cambiaron las condiciones de la atmósfera primitiva hace aproximadamente 2500 millones de años de reductora a oxidante al producir el primer oxígeno atmosférico. El proceso de fotosíntesis evolucionó a partir de este grupo. En su hábitat estos procariontes unicelulares forman colonias en la superficie de los cuerpos de agua donde abunda

la luz, la que utilizan para convertirla en energía química; necesitan una fuente de

Figura 20.

Organismos fotoautótrofos



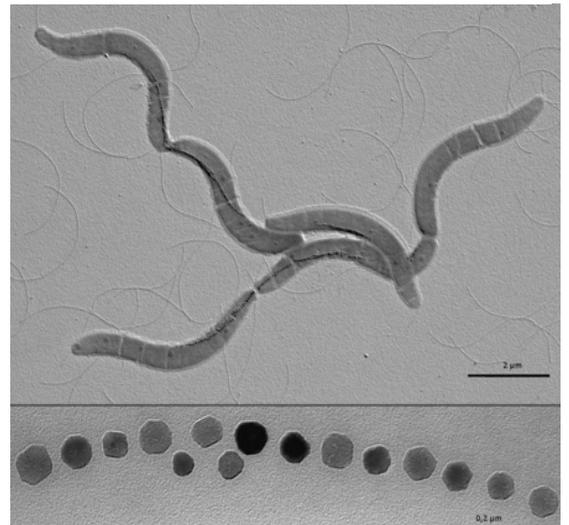
Nota Ignurtonsbg (2023) [imagen] Los helechos son un ejemplo de organismos fotoautótrofos Pixabay <https://n9.cl/gdl14>

electrones que en este caso es el agua y al tomar el hidrógeno se libera el oxígeno (fotosíntesis oxigénica). Por último, como fuente de carbono requieren de un compuesto inorgánico, el CO₂. Otros sistemas vivos que cuentan con este tipo de metabolismo son las plantas como los helechos (figura 20), bacterias fotosintéticas verdes y rojas sulfurosas.

Fotoheterótrofos o fotoorganótrofos: En la actualidad, en busca de una fuente de energía limpia, los investigadores han estudiado ampliamente a las bacterias púrpuras no sulfurosas ya que son candidatas para la producción biológica de hidrógeno a partir de sustratos de tipo carbohidrato o residuos orgánicos. La mayoría son anaerobias, realizan fotosíntesis y viven en ambientes acuáticos con bajos niveles de sulfuros y que son ricos en materia orgánica de la cual se nutren. Las bacterias verdes no sulfurosas también pertenecen a este grupo (figura 21).

Figura 21

Magnetospirillum gryphiswaldense



Nota. s/a (2012) [imagen] Micrografía electrónica de células de *Magnetospirillum gryphiswaldense* que contienen cadenas de cristales de magnetita <https://lc.cx/o6NrYd>

Quimioautótrofos o quimiolitótrofos: Este tipo de organismos, también llamados quimiosintéticos, utilizan CO₂ como fuente de carbono, como fuente de hidrógeno

Figura 22
Bacterias de *Rhizobium* fijadora de N₂



Nota. Koffel, T. (s/a) [imagen] Nódulos de bacterias de Robina proporcionan azúcares para la bacteria *Rhizobium* fijadora de N₂ que vive en su interior. <https://lc.cx/FRkjL7>

amoniaco (NH₃) a nitritos (NO₂⁻), y los nitritos a nitratos (NO₃⁻). Su metabolismo permite que el nitrógeno se recicle en los ecosistemas y que pueda ser asimilado por los organismos que consumen las leguminosas. Otros representantes de este grupo son las arqueas termófilas del azufre, las bacterias metanógenas, del hidrógeno, del hierro y las carboxibacterias.

Quimioheterótrofos quimiorganótrofos: Este grupo es muy diverso y está constituido por animales, hongos (en la figura 23), protozoos y por la mayoría de las bacterias. obtienen carbono y energía en la forma de nutrientes orgánicos producidos por otros organismos vivos. Por ejemplo, en muchos ecosistemas, las bacterias saprótrofes sirven como agentes descomponedores que desintegran la materia orgánica de organismos muertos. Muchas de las bacterias se utilizan con fines comerciales para producir alcohol etílico, ácido acético, entre otros. La acción bacteriana de estos quimioheterótrofos también se usa en la fabricación de mantequilla, queso, yogurt y col fermentada.

compuestos inorgánicos (H₂, NH₃, NO₂, H₂S, S⁰, S₂O₃, F₂⁺, CO, CH₄) y como fuente de energía la que se desprende en las reacciones químicas redox de compuestos inorgánicos. Muchas bacterias realizan este tipo de metabolismo, por ejemplo, las bacterias nitrificantes que viven en una relación simbiótica en los nódulos de las raíces de las leguminosas como la alfalfa, el frijol, que se puede observar en la figura 22 el trébol y la soya, oxidan el

Figura 23
Hongos repisa



Marti, M. (2021) [imagen] Hongo de repisa <https://lc.cx/cwLSM5>

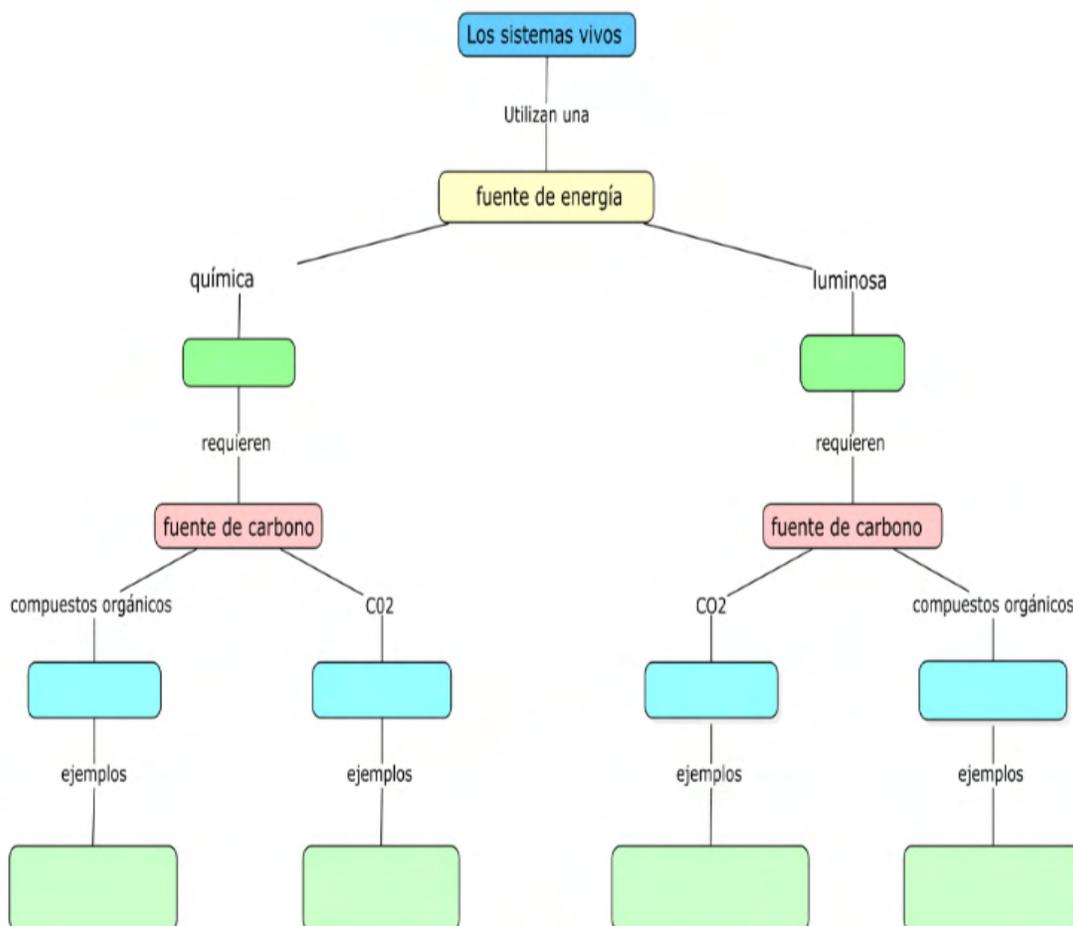
Nota: Un resumen sobre los tipos de nutrición lo podrás consultar en el siguiente video usando el código QR.



ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE

ACTIVIDAD 1

Instrucciones. Investiga ejemplos de cada tipo metabólico y utiliza las siguientes palabras para completar el mapa conceptual. *Fotoautótrofos*, *Fotoheterótrofos*, *Fotótrofos*, *Quimioautótrofos*, *Quimioheterótrofos*, *Quimiotrofos*



ACTIVIDAD 2

Instrucciones. Lee cada uno de los siguientes ejemplos y distingue el tipo de nutrición que presentan los sistemas vivos involucrados.

Ejemplo	Tipo de nutrición
A. Los hongos se alimentan de materia orgánica que fue elaborada por otros organismos y para tomar los nutrientes segregan enzimas al medio para transformarlos a compuestos orgánicos simples, que son absorbidos por el hongo.	
B. Las heliobacterias son organismos anaerobios que obtienen la energía de la luz solar, pero los esqueletos de carbono son de una fuente orgánica, se distribuyen en los suelos, particularmente en los cultivos de arroz.	
C. Las bacterias metanógenas son microorganismos anaerobios que viven en ambientes pantanosos, Ciénegas y en el intestino de los rumiantes. Utilizan hidrógeno (H ₂) para reducir dióxido de carbono (CO ₂) a metano y destinar la energía liberada a la producción de ATP.	
D. Las bacterias púrpuras sulfurosas tienen pigmentos como la bacterioclorofila alfa y beta, además de carotenoides que son capaces de capturar la luz solar. Este grupo de bacterias no produce oxígeno ya que el agente reductor implicado en la fotosíntesis es el sulfuro o azufre. Utilizan CO ₂ como fuente de carbono.	

ACTIVIDAD 3

Instrucciones: Lea el siguiente problema y responda lo que se pide

Si usted fuera un científico, ¿qué sistemas vivos utilizarías para resolver los siguientes problemas ambientales y/o favorecer al hombre? Realiza una investigación utilizando fuentes confiables para fundamentar tu respuesta.

Puedes observar el siguiente video que te orientará a realizar la siguiente actividad, utilizando el código QR.



Problemática	Sistema vivo	Tipo metabólico	Posible solución
Cuerpo de agua con un derrame de petróleo			
Escasez de alimentos lácteos			
Mitigar el calentamiento global			
Fuente de energía limpia			

REFERENCIAS

Biggs, A., Crispen, H. W., y Holliday, W. G. (2012). *Biología*. McGraw-Hill Interamericana.

Curtis, H., Barnes, S.N., Schnek, A., y Massarini, A. (2021) *Biología: en contexto social* (8ª ed.). Editorial Médica Panamericana.

Mader, S.S. (2019). *Biología* (13ª ed.). McGraw-Hill Interamericana. <https://bookshelf-ref.vitalsource.com/books/9781456271497>

TEMA II. Procesos metabólicos de obtención y transformación de materia y energía: Fermentación y respiración celular

Elaboró: Lucía Herrera Velázquez

APRENDIZAJE: Explica que la fermentación y la respiración celular son procesos metabólicos para la síntesis de ATP.

Conceptos: clave fermentación, respiración celular, aerobio, anaerobio, ATP, glucólisis, ciclo de Krebs, cadena transportadora de electrones, quimiósmosis.

RESUMEN

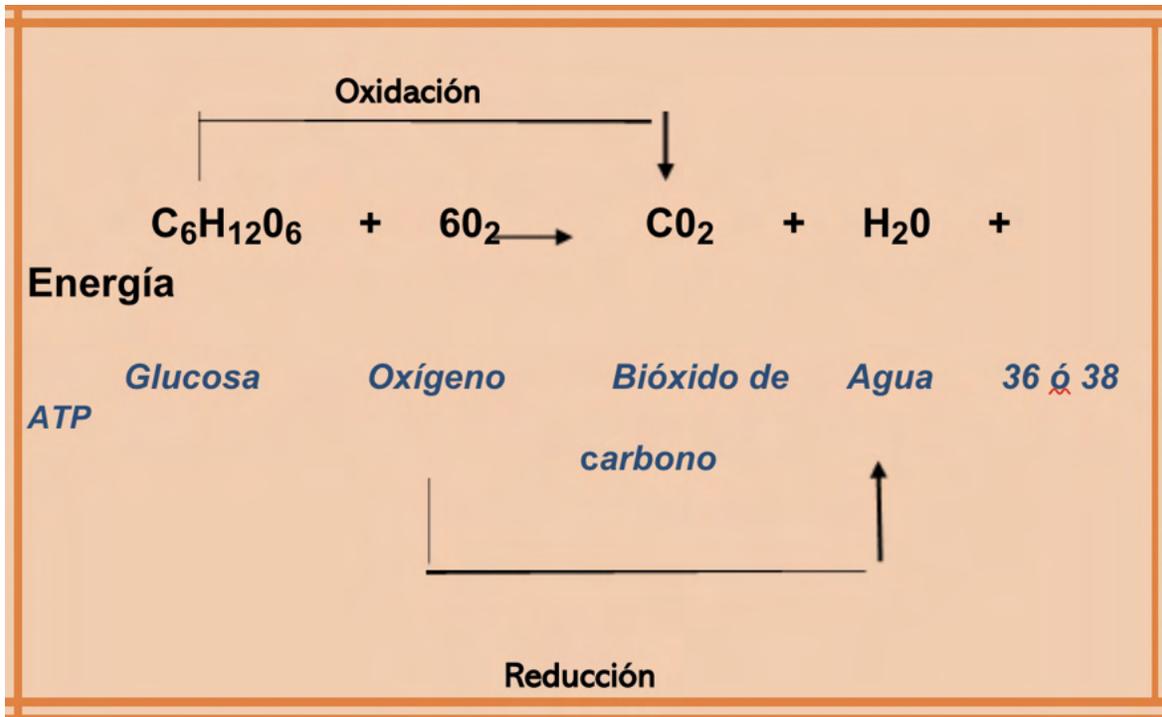
La **respiración celular** es un proceso a partir del cual algunos sistemas vivos transforman la energía contenida en los alimentos en ATP para cumplir con todas sus funciones. El proceso de la respiración aerobia involucra cuatro etapas: la glucólisis, formación del acetyl coenzima A, el ciclo del ácido cítrico y la cadena de transporte de electrones. La glucólisis tiene lugar fuera de las mitocondrias y no requiere de la presencia de oxígeno; por lo que es una vía **anaerobia**. Las otras fases de la respiración celular aerobia se llevan a cabo en las mitocondrias, donde el oxígeno es el aceptor final de electrones. La **fermentación** por su parte es un proceso **anaerobio** (no requiere de oxígeno) que produce una cantidad limitada de ATP. En las células animales, como las musculares, en el caso de la especie humana, el piruvato es reducido a lactato gracias a la acción enzimática. En otros casos, las bacterias, pueden producir el lactato o un alcohol y CO₂. Por ejemplo, las levaduras son organismos que generan alcohol etílico y CO₂ como resultado de la fermentación.

DESARROLLO DEL CONTENIDO

Los sistemas vivos para poder llevar a cabo sus funciones vitales intercambian con el ambiente materia y energía. La respiración aeróbica y la fermentación anaeróbica son vías que liberan energía de los carbohidratos. Ambos procesos almacenan la energía liberada en el ATP, y comienzan con las mismas reacciones en el citoplasma, pero sus reacciones finales utilizan diferentes aceptores de electrones. Por ejemplo, en la respiración aeróbica, la forma más eficiente de

producir ATP se utiliza al oxígeno como aceptor de electrones. (Starr, 2018). La ecuación general de la respiración se muestra en la figura 24.

Figura 24
Oxidación de la glucosa



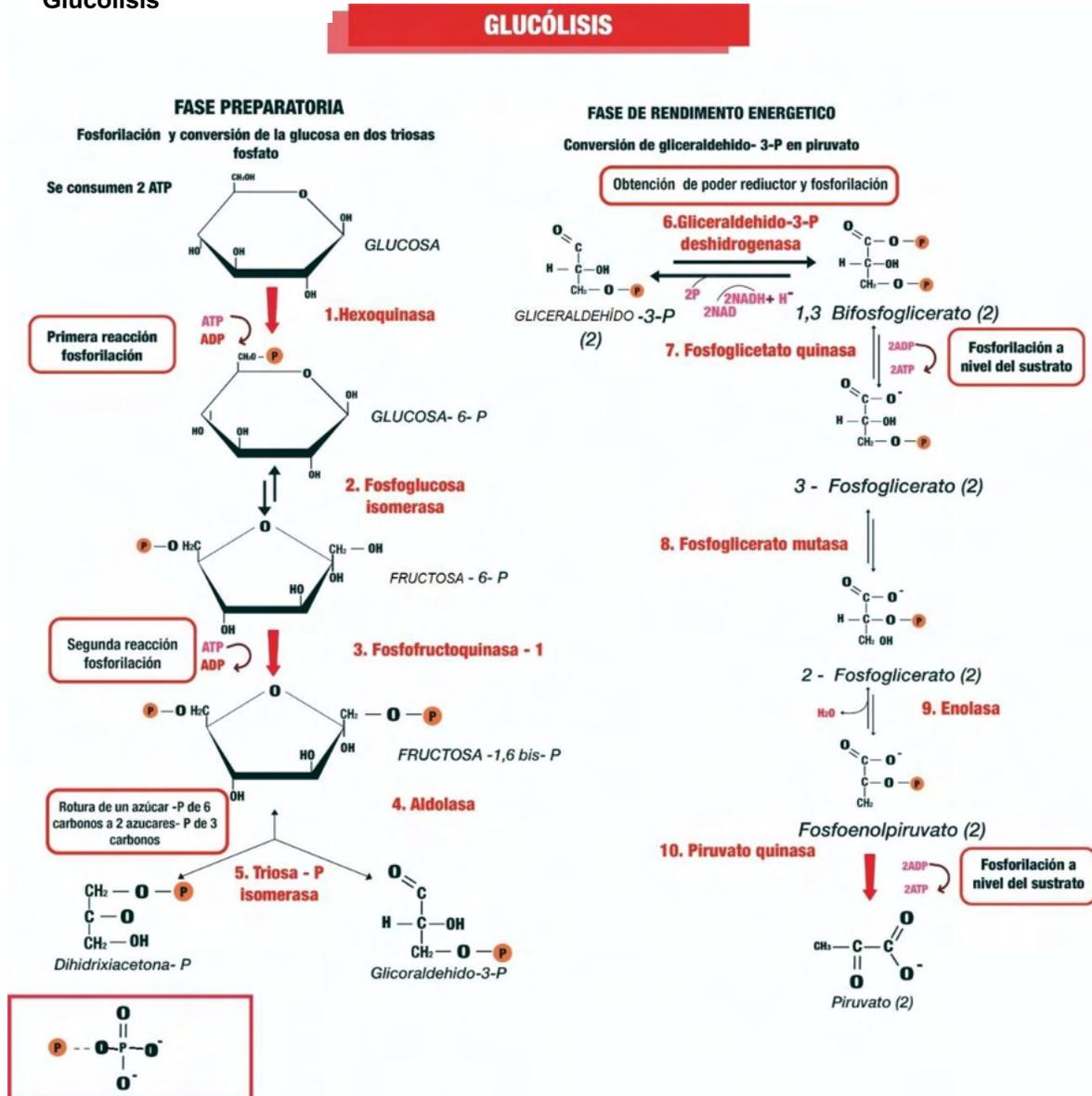
Nota. Herrera, L. (2023) oxidación de la glucosa [imagen] Oxidación de la glucosa. La glucosa se oxida en las células mediante una larga serie de reacciones redox estrechamente controladas. colección personal CC BY 4.0

Glucólisis

Glucólisis (del griego **glycos**, azúcar, y **lysis**, división) involucra la descomposición de la glucosa, una molécula de 6 carbonos en dos moléculas de piruvato (3 carbonos). La oxidación de la glucosa da por resultado dos moléculas de NADH y provee suficiente energía para la ganancia neta de dos moléculas de **ATP**. El proceso que incluye 10 reacciones químicas consecutivas representadas en la figura 25 se lleva a cabo en dos etapas, durante la **fase preparatoria de inversión de energía**, que se realiza en el citoplasma de la célula, la glucosa en 5 reacciones químicas que son catalizadas por enzimas específicas se reestructura, se le añaden dos grupos fosfatos provenientes de dos moléculas de ATP, se divide formando dos compuestos de tres átomos de carbono; el gliceraldehído-3-fosfato (**G3P**) y la

dihidroxicetona-3-fosfato (**DHAP**). Por último, la DHAP se convierte en su isómero G3P, así que los dos gliceraldehídos fosfato formados entran a la segunda etapa.

Figura 25
Glucólisis



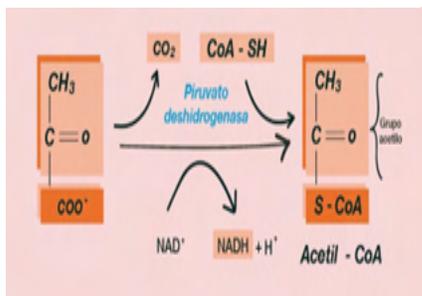
Nota. Herrera, L. (2023) Glucólisis [imagen]Visión general de la glucólisis. En la imagen se muestran los intermediarios y las reacciones que ocurren en cada una de las dos fases principales. En la fase preparatoria, se producen dos ATP por cada ATP utilizado en la fase de inversión de energía. colección personal CC BY 4.0

En la **fase de recuperación de energía** se lleva a cabo la conversión del gliceraldehído 3 fosfato a piruvato y se produce ATP y NADH. Al inicio el G3P se oxida por la eliminación de dos electrones (como parte de dos átomos de

hidrógeno), los cuales se combinan con el NAD^+ para producir NADH . En otras dos reacciones donde el G3P se reestructura para formar al piruvato, se forma ATP en un proceso conocido como **fosforilación a nivel de sustrato**. Es así como, durante los glucólisis, cada molécula de glucosa se transforma en dos piruvatos con una ganancia energética de dos moléculas de ATP y dos moléculas de NADH .

Formación del acetil CoA

Figura 26
Oxidación del piruvato



Nota. El piruvato se oxida a acetil-CoA. La reacción está catalizada por la enzima piruvato deshidrogenasa. Herrera, L. (2023) formación del acetil coenzima A. [imagen] colección personal CC BY 4.0

ruvato, cuando hay oxígeno disponible, la molécula de tres átomos de carbono atraviesa la membrana externa de la mitocondria hasta llegar a la matriz mitocondrial; en este sitio el piruvato pierde un átomo de carbono en forma de bióxido de carbono (se descarboxila) y el grupo acetil de dos átomos de carbono se une a la coenzima A. Durante esta etapa por cada molécula de glucosa se forman dos moléculas de acetil-CoA, se producen dos

NADH y dos moléculas de CO_2 como lo puede observar en la figura 26 (Solomon, 2013).

Ciclo de Krebs

La siguiente etapa del proceso aerobio se realiza en la matriz mitocondrial. Implica la oxidación del ácido pirúvico a bióxido de carbono y agua. Al iniciar el ciclo el grupo acetil se une a un compuesto de cuatro átomos de carbono llamado ácido oxaloacético para formar un compuesto de seis átomos de carbono, el ácido cítrico. Durante el ciclo dos de los seis átomos de carbono del ácido cítrico se oxidan a bióxido de carbono, Como se puede observa en la figura 27, posteriormente el ácido oxaloacético se regenera y completar el ciclo (Curtis, 2021). En el ciclo parte de la energía proveniente de la oxidación es utilizada para producir ATP y $\text{NADH} + \text{H}^+$ a partir de ADP y NAD^+ respectivamente. Para finalizar, otra parte de la energía se utiliza para la reducir un transportador de electrones, el FAD. Así que los productos de esta etapa son:

- 4 moléculas de bióxido de carbono
- 2 moléculas de ATP

- 4 moléculas de NADPH
- 2 moléculas de FADH₂

Figura 27
Ciclo de Krebs



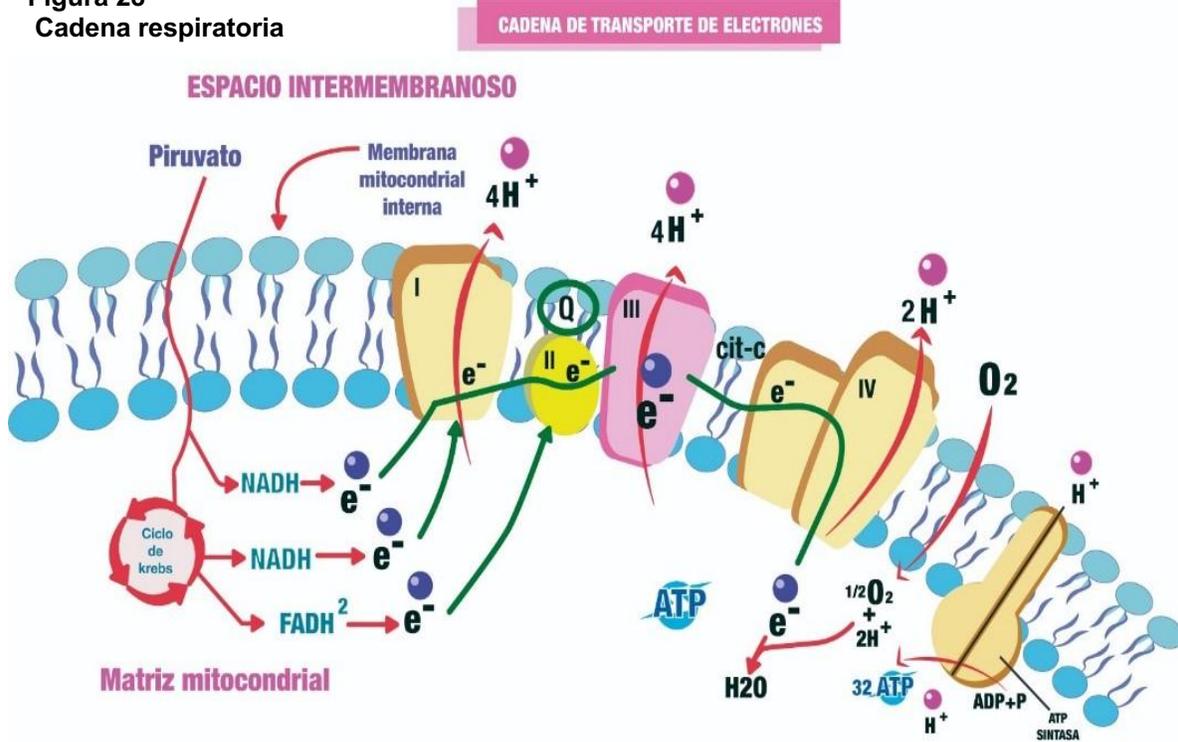
Nota. Herrera, L. (2023) ciclo de Krebs [imagen] Destino de los átomos de carbono en el ciclo de Krebs, en el esquema se muestran las enzimas que participan en cada reacción y los procesos involucrados. colección personal CC BY 4.0.

La cadena transportadora de electrones y la quimiosmosis

La cadena de transporte de electrones se lleva a cabo en las crestas mitocondriales, ahí se encuentran firmemente embebidas a la membrana interna una serie de complejos enzimáticos proteicos. Estas proteínas transportadoras se ensamblan en cinco complejos multiproteicos denominados I, II, III, IV más la ATP sintasa. El complejo I recibe electrones de la oxidación del NADH, mientras que el complejo II recibe electrones del (FADH₂), y estos a su vez los transfieren a otro transportador electrónico lipídico, denominado coenzima Q, que se desplaza libremente a través de la membrana mitocondrial. El complejo III oxida la forma reducida de la coenzima Q y reduce a su vez al citocromo C, que es un transportador de electrones que puede desplazarse por el interior de la membrana interna (Mathews C. K., Van Holde K. E. y Ahern K. G., 2002). Por último, el complejo IV acopla la oxidación del

citocromo c con la reducción del O_2 . Después de que el oxígeno recibe electrones al final de la cadena, se combina con iones de hidrógeno (H^+) y se forman moléculas de agua (H_2O).

Figura 28
Cadena respiratoria



Nota. Herrera, L. (2023) cadena transportadora de electrones [imagen] Visión general de la cadena transportadora de electrones y la fosforilación oxidativa. Los electrones disminuyen su energía a medida que pasan por los cuatro complejos de la cadena transportadora de electrones localizados en la membrana mitocondrial interna, también se observa como el gradiente de protones impulsa la producción de ATP. Colección personal CC BY 4.0

La energía liberada producto de estas reacciones exérgicas genera un gradiente de protones (fuerza-protón motriz) a través de la membrana interna, y al bombearse los protones hacia el espacio intermembranoso los protones vuelven a entrar luego en la membrana a través de la ATP sintetasa. La energía liberada impulsa la síntesis endérgica de entre 32 y 34 ATP mediante quimiósmosis a partir de ADP y fosfato inorgánico figura 28.

Fermentación

Una vez que la glucosa ha sido metabolizada hasta formar ácido pirúvico se puede seguir varios caminos, uno de ellos es degradarse de forma completa durante la respiración aerobia como se describió anteriormente, o se puede transformar en un

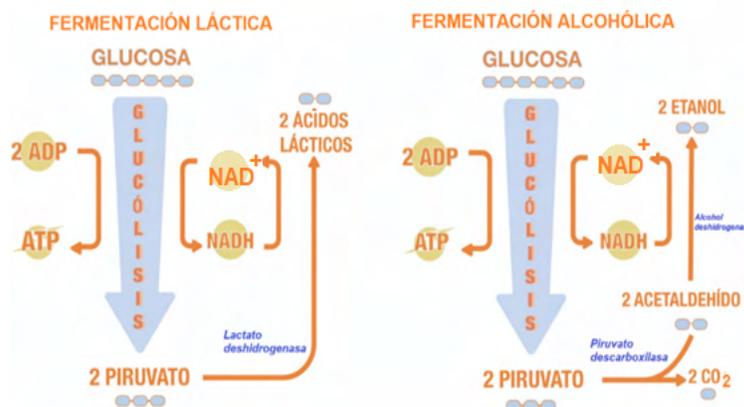
producto orgánico durante la **fermentación**, donde se regenera el NAD^+ y posteriormente puede ingresar en otro ciclo de glucólisis. Así que la fermentación se puede definir como un proceso que libera energía a partir de azúcares u otras moléculas orgánicas, como aminoácidos, ácidos orgánicos, purinas y pirimidinas. No necesita de la presencia de oxígeno ni de la cadena transportadora de electrones y utiliza una molécula orgánica como aceptor final de electrones (Tortora Funke y Case, 2017).

Por ejemplo, las bacterias del género *Streptococcus* y *Lactobadllus*. reducen el piruvato a lactato en un solo paso durante la **fermentación del ácido láctico**.

Durante la glucólisis, primera fase de la fermentación láctica, la oxidación de una molécula de glucosa produce dos moléculas de ácido pirúvico. Esta reacción de oxidación genera la energía necesaria para formar las dos moléculas de ATP. Posteriormente, las dos moléculas de ácido pirúvico son reducidas por dos moléculas de NADH para formar dos moléculas de ácido láctico, la enzima que cataliza esta reacción es la lactato deshidrogenasa. Por lo tanto, este tipo de fermentación sólo genera una escasa cantidad de energía Algunos tejidos, como los eritrocitos, que no poseen mitocondrias obtienen la mayor parte de su energía del metabolismo anaerobio. En el caso del tejido esquelético durante el ejercicio vigoroso pueden ocurrir estados de anaerobiosis y por lo tanto se lleva a cabo la fermentación láctica figura 29.

Figura 29.

Esquema representando la fermentación láctica y alcohólica



Nota. Herrera, L. (2023) fermentación láctica y alcohólica [imagen] Esquema de la fermentación láctica y alcohólica. colección personal CC BY 4.0

La **fermentación alcohólica** también inicia con el proceso de glucólisis en el cual se forman dos moléculas de ácido pirúvico y dos moléculas de ATP. En el siguiente paso las dos moléculas de ácido pirúvico se transforman en acetaldehído en presencia de la enzima piruvato descarboxilasa y como subproducto se obtienen dos moléculas de CO_2 . Posteriormente, las dos moléculas de acetaldehído son reducidas por dos moléculas de NADH_2 con ayuda de la enzima alcohol deshidrogenasa, para formar dos moléculas de etanol. Este proceso al igual que la fermentación láctica produce una escasa cantidad de energía. La fermentación del alcohol se observa en numerosas bacterias y levaduras. La levadura *Saccharomyces* se utiliza a nivel industrial para producir bebidas alcohólicas y el dióxido de carbono elaborado por las levaduras es utilizado en la fabricación de pan.

Nota: Estos vídeos pueden apoyarte con mas información; escanea el Qr para poder acceder a ellos.

 <p>Fermentación</p>	 <p>Ciclo de Krebs</p>	 <p>Cadena respiratoria</p>
--	--	---

ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE

ACTIVIDAD 1

Instrucciones. Observa la ecuación general de la respiración celular aerobia y anota lo que se solicita.

a. Sustancia inicial

b. Productos finales

c. Reactivo que se oxida

d. Reactivo que se reduce

e. Cantidad de energía que se produce en forma de ATP

f. Aceptor final de electrones

ACTIVIDAD 2

Instrucciones. Utiliza la información de la lectura para completar el siguiente cuadro.

	Glucólisis	Formación del acetil CoA	Ciclo de Krebs	Cadena transportadora de electrones y quimiósmosis
En qué consiste				
Lugar donde se lleva a cabo				
Materiales de inicio				
Productos finales				
Moléculas de ATP que se producen				

Moléculas de FADH ₂ que se producen				
Moléculas de NADH que se producen				

ACTIVIDAD 3

Instrucciones. Completa el cuadro comparativo de la respiración celular aerobia y la fermentación

	Respiración celular aerobia	Fermentación
Importancia del proceso		
Organismos que lo realizan		
Aceptor final de electrones en la cadena transportadora		
Destino de los electrones del NADH		
Producto reducido que se forma		
Mecanismos de producción de ATP		
Cantidad de moléculas de ATP obtenidas al final del proceso		

ACTIVIDAD 4

Instrucciones. Contesta falso o verdadero a las siguientes afirmaciones relacionadas con el proceso de fermentación.

1. La fermentación aporta más energía a la célula que la producida durante la glucólisis. _____
2. La función del último paso de la fermentación es regenerar el NAD⁺ (oxidado). _____
3. En condiciones aeróbicas después de la glucólisis ocurre la fermentación. _____
4. Para regenerar el NADH₂, las células musculares fermentan moléculas de piruvato en lactato usando electrones del NADH₂ y iones hidrógeno. _____
5. Las bacterias del género *Streptococcus* y *Lactobadllus* realizan la fermentación alcohólica. _____

REFERENCIAS

- Audesirk, T. Audesirk, G., Byers, B. (2013). *Biología: La vida en la tierra con fisiología* (novena edición). Pearson Hispanoamérica. Contenido <https://bookshelf-ref.vitalsource.com/books/9786073215268>
- Carbajal, C. , Estrada, C. (2017). *Biología I: Serie basada en competencias y valores*. IURE Editores.
- Curtis H., Barnes N. , Schnek A., Massarini A. (2021). *Biología: en contexto social*. (octava edición). Editorial Médica Panamericana. Contenido <http://www.medicapanamericana.com/VisorEbookV2/Ebook/9789500696692>
- Mathews C., Van Holde K., Ahern K. (2002). *Bioquímica*. (tercera edición). Pearson Educación.
- McKee T., McKee J (2009). *Bioquímica: Las bases moleculares de la vida* (cuarta edición). McGraw-Hill Interamericana.
- Solomon, E., Berg L. y Martín, D. (2008). *Biología*. (8^a ed.). Mc Graw Hill/ Interamericana.
- Tortora G., Berdell R., Case C. (2017). *Introducción a la microbiología* (doceava edición). Médica Panamericana.

Tema II. Procesos metabólicos de obtención y transformación de materia y energía: Fotosíntesis

Elaboró: Daría Razo Balcázar

APRENDIZAJE: Comprende que la fotosíntesis es un proceso anabólico que convierte la energía luminosa en energía química.

PALABRAS CLAVE: autótrofo, ciclo de Calvin–Benson, clorofila, energía luminosa, estroma, fotoautótrofo, fotólisis, fotón, fotosíntesis, fotosistema, plastos, cloroplastos, tilacoide.

RESUMEN

La fotosíntesis es un proceso anabólico en el cual la energía luminosa se transforma en energía química que se almacena en las moléculas de ATP. En este tipo de proceso se da la síntesis de compuestos orgánicos como carbohidratos y oxígeno a partir de CO_2 y H_2O en presencia de luz luminosa y la molécula de clorofila.

La síntesis de carbohidratos se realiza en dos fases: a) luminosa o dependiente de luz en la cual se produce energía en forma de ATP y poder reductor (NADPH_2) para la siguiente etapa; b) fase no dependiente de luz u oscura, en ella se da la fijación del bióxido de carbono (CO_2) para formar monosacáridos (de tres a siete átomos de carbono), como la glucosa, aunque se pueden producir glicerol, ácidos grasos y aminoácidos. La fotosíntesis la realizan los autótrofos de reino monera (cianobacterias, bacterias verdes, azules y parda); algunos protoctistas (diatomeas, dinoflagelados, euglenas y algas) y todos los vegetales del reino plantae.

DESARROLLO DEL CONTENIDO

La fotosíntesis es el proceso biológico más importante que se efectúa en la superficie terrestre por dos razones: a) es la principal **fuentes externa de carbono**, como de energía, de la que dependen los organismos que no sintetizan su alimento (heterótrofos); los carbohidratos sólo se obtienen mediante la fijación de CO_2

atmosférico por medio de la fotosíntesis. b) el **oxígeno** que se obtiene como **producto de la fotosíntesis es indispensable para todos los organismos aerobios**.

La fotosíntesis es un proceso anabólico en el cual la energía luminosa se transforma en energía química almacenada en las moléculas de ATP. En este tipo de proceso se da la síntesis de compuestos orgánicos como carbohidratos y el oxígeno (como subproducto de las reacciones) a partir de CO₂ y H₂O en presencia de luz y clorofila Figura 4 (Muñiz, Velasco, Albarracín, Correa, Magaña, Morales, Lunar, Jiménez, Rodríguez, Lauría, 2000; Jimeno, Ballesteros y Ugendo, 2003; Curtis, Barnes, Schnek y Massarini, 2015). La reacción o ecuación general de la fotosíntesis es la siguiente:



Tabla 4	
Reactivos y productos de la fotosíntesis	
Reactivos iniciales	Productos finales
-Luz solar	-Carbohidratos como la glucosa (C ₆ H ₁₂ O ₆)
Agua (H ₂ O) que proviene del suelo	que se almacena en la planta
*Clorofila pigmento presente en los cloroplastos de las hojas.	-Oxígeno (O ₂) que se libera a la atmósfera
-Dióxido de carbono (CO ₂)	

Nota. Reactivos y productos para la fotosíntesis. Elaboró Razo-Balcázar.

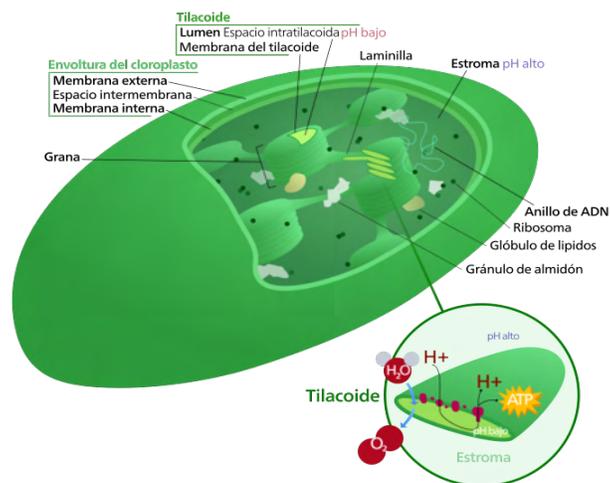
Pigmentos: bacterioclorofila, carotenoides, clorofila, ficobilina, ficoeritrina, xantofilas que son moléculas que captan luz.

La fotosíntesis la realizan los fotoautótrofos = autótrofos que son organismos sintetizan moléculas orgánicas a partir de sustancias inorgánicas simples (H₂O, CO₂, NH₃) y de alguna fuente de energía, (Miller, 2004 y Curtis, 2015) y se les conoce como productores y pertenecen a diferentes reinos como se muestra en la tabla 5.

Tabla 5. Reinos, fotoautótrofos y sitio de realización de la fotosíntesis.			
Reino	Fotoautótrofo	Organelo celular	
		Fase dependiente de luz	Fase no dependiente de luz
Monera	Cianobacterias Bacterias verdes Bacterias purpúreas	Membrana tilacoidal o las laminillas fotosintéticas	Citoplasma
Cloroplasto			
Protoctistas	Dinoflagelados, Diatomeas, Euglenoides, Algas (verdes, rojas y pardas)	Membrana tilacoidal	Estroma
Plantae	Todos los vegetales		

Nota. Elaboró Razo-Balcázar.

Figura 30
Estructura del cloroplasto



Nota. Kelvinsong (2012) [imagen] Las partes del cloroplasto; de manera mas detallada el del tilacoide https://lc.cx/06z_kn CC-BY-4-0

Luz y fotosíntesis

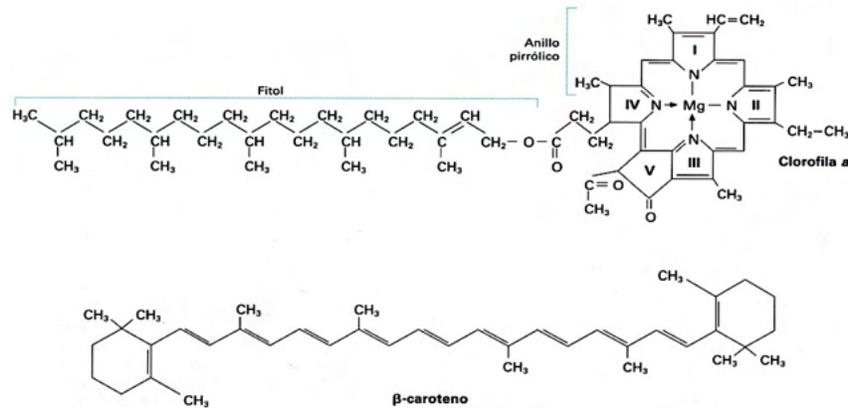
Uno de los componentes del proceso fotosintético es, la luz como **cuántos como o fotones**.

En la fotosíntesis la luz interactúa con los pigmentos -lípidos- que están unidos a proteínas presentes en algunas membranas tilacoidales o plasmáticas de procariontas. Tienen la capacidad de aprovechar luz visible y del infrarrojo para iniciar reacciones químicas y tienen color propio denominados cromóforos como se observa en la tabla 6 (Lira, 1994; Brock, 2001 y Jimeno, 2015).

Tabla 6. Pigmentos fotosintéticos en diferentes grupos de organismos fotosintéticos		
Pigmento	Luz absorbida	Presente en
Clorofila a	Azul - violeta y rojo	
Clorofila b	Verde y anaranjado	Cianobacterias y plantas
Clorofila c	Azul y rojo	Algas pardas y diatomeas
Clorofila d	Azul y rojo	Algas rojas
Protoclorofila	Infrarroja	Plantas etioladas (crecen en ausencia de luz)
Bacterioclorofila	Infrarrojo y azul violeta	Bacterias púrpuras (rojas),
Bacterioviridina	Infrarrojo y azul violeta	Bacterias verde sulfurosas
Carotenoides (carótenos y xantofilas)	Azul, verde – azul	Bacterias y plantas
Ficoeritrina	Verde – amarillo	Cianobacterias, algas rojas y verde azules
Ficocianinas	Rojo naranja	Cianobacterias y algas rojas

Nota. Lira, 1994; Brock, 2001; De Erice y González, 2012).

Figura 31
Esquema de dos pigmentos fotosintéticos



Nota. Jimeno, Ballesteros y Ugedo. (2003) [imagen] Pigmentos fotosintéticos

Cuando un pigmento absorbe un fotón un electrón de la molécula de pigmento es lanzado a un nivel energético más alto y alcanza su estado excitado para ser absorbido, el fotón tiene la energía necesaria para que un electrón pase de un nivel energético dado a otro superior, figura 31 (Jimeno, 2003; Solomon, 2013 y Curtis, 2015).

El aparato fotosintetizador = unidad fotosintética = Cuantosoma

Se encuentra en los cloroplastos, concretamente en las **membranas del tilacoide**. Está constituido por cuatro tipo de estructuras denominadas: fotosistema I (PSI), fotosistemas II (PSII), cadena transportadora de electrones y la bomba de ATP (CF1); a continuación describiremos.

Tipos de fotosíntesis

Fotosíntesis anoxigénica o bacteriana el donador de electrones es el azufre (S), que puede acumularse en el interior de las bacterias o puede ser expulsado al agua. La reacción o ecuación general de la fotosíntesis anoxigénica es la siguiente:



Fotosíntesis oxigénica El donador de electrones es el agua, y consecuentemente, se desprende oxígeno. La realizan las plantas superiores, las algas y las

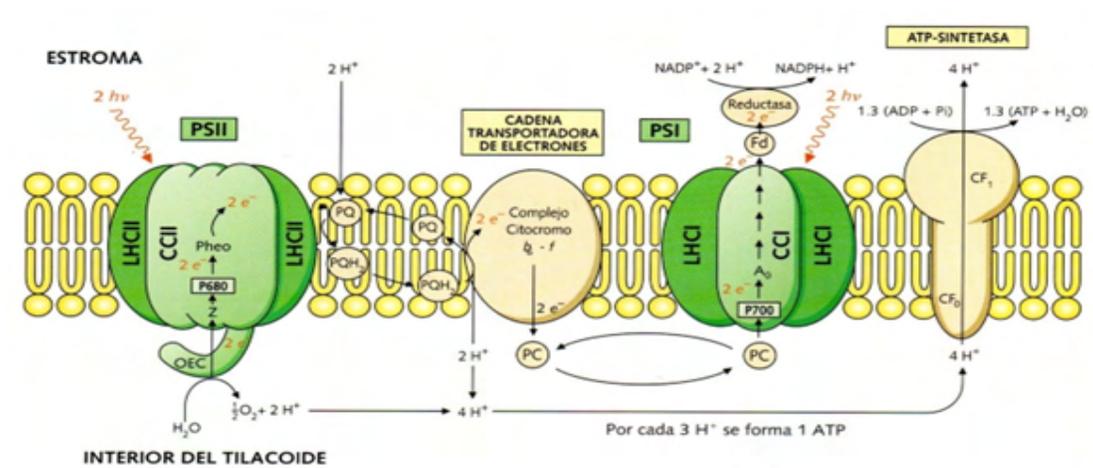
cianobacterias. La reacción o ecuación general de la fotosíntesis oxigénica es la siguiente:



La fotosíntesis es un proceso que se divide en dos fases: **la fase I Hill**, llamada luminosa, donde se llevan a cabo reacciones que dependen de la luz y **la fase II** denominada oscura, en la cual ocurren reacciones independientes de la luz del solar, en esta etapa pueden presentarse en la noche o en el día (De Erice y González, 2012).

Fase luminosa = dependiente de luz = de reacción con luz = ciclo de Hill, que ocurre en la membrana del tilacoide de procariontes y eucariontes ver figura 32. El proceso inicia cuando los fotones llegan al fotosistema II (PSII) y provoca **la excitación de la clorofila P680 del LHCII** la cual pierde $2e^-$ que son cedidos al CCII y de ahí a la feofitina (Pheo), los $2e^-$ pasan a otros aceptores para llegar a la PQ. Para reponer los $2e^-$ de la clorofila P680, se produce la hidrólisis del agua (H_2O), proceso que se **denomina fotólisis**; representada en la siguiente ecuación $\text{H}_2\text{O} \rightarrow \frac{1}{2}\text{O}_2 + 2\text{H} + 2e^-$

Figura 32
Movimiento de los electrones en la fotosíntesis



Nota. Jimeno A, Ballesteros M y Ugedo. (2003) [imagen] Fase luminosa lineal, proceso de fotoexcitación, fotólisis, fotofosforilación y fotoreducción. Fotosíntesis acíclica a) La membrana de los tilacoides. Z = donador primario del PSII p 215.

La fotólisis se realiza en la cara interna de la membrana tilacoidal. Los $2e^-$ liberados por cada molécula de H_2O son transferidos a la molécula Z y los protones (H^+) se

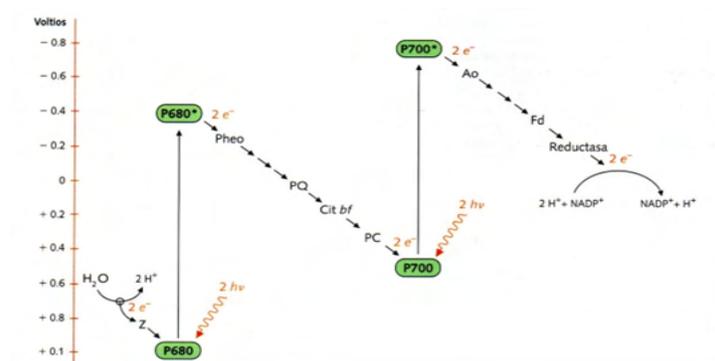
quedan en el mismo sitio para generar un gradiente electroquímico. La PQ, al recibir los $2e^-$, se activa y capta dos $2H^+$ del estroma figura 33. Luego PQ transfiere $2e^-$ al complejo Cit b-f y después cede los $2H^+$ Cit b-f que los pasa (transloca) hacia el tilacoide que se suman a los $2H^+$ del H_2O ($= 4H^+$) crean una diferencia de potencial o gradiente electroquímico a ambos lados de la membrana del tilacoide y se genera la fuerza necesaria para empujar los H^+ a través de la ATP sintetasa para que se produzca la síntesis de ATP, que se acumula en estroma. Lo que se conoce como **fotofosforilación del ADP**.



Al incidir fotones de luz en el PSI, la clorofila P700 pierde $2e^-$ que son captados por la Fd a través del aceptor A_0 , y otros aceptores posteriores. Los $2e^-$ perdidos por la clorofila P700 son repuestos por la PC, que los recibe del Cit b-f. La Fd pasa $2e^-$ a la enzima $NADP^+$ - reductasa, que se activa, capta $2H^+$ del estroma y se los transfiere, junto a $2e^-$, a un ion $NADP^+$ del estroma, que se reduce a $NADPH + H$; es lo que se denomina **fotorreducción del $NADP^+$** : $NADP^+ + 2H^+ + 2e^- \rightarrow NADPH_2$

Figura 33

Esquema en Z del movimiento de energía en la fase luminosa de la fotosíntesis



Nota. Jimeno, Ballesteros y Ugedo. (2003) Movimiento de electrones durante la fase luminosa lineal

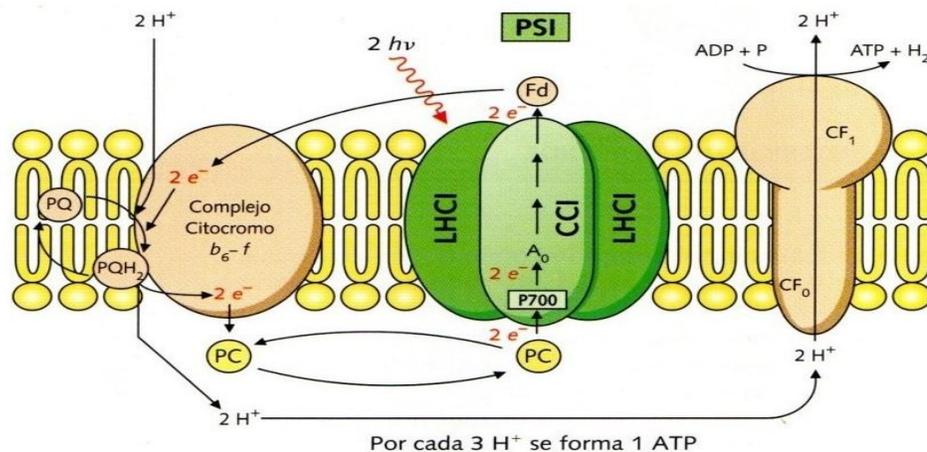
Cíclica donde solo se producen 6 ATP, interviene únicamente el fotosistema I (PSI), y se crea un flujo o ciclo de electrones que en cada vuelta da lugar a la síntesis de ATP. No interviene el PSII, por lo que no hay fotólisis ni reducción del $NADP^+$ y no hay producción de oxígeno. La finalidad de la fase cíclica es la de subsanar el déficit

de ATP y se pueda realizar la fase oscura observe la figura 34. Cuando se ilumina con luz de longitud de onda superior a 680 nm, lo que se denomina “rojo lejano”, Al

Figura 34

Fotosíntesis cíclica

... libera $2e^-$ que llegan a la Fd, la cual ... que capta $2H^+$ y pasa a (PQH_2) . La PQ reducida cede los $2H^+$ al citocromo f e los lleva al interior del tilacoide. Los $2H^+$ generan el gradiente electroquímico para salir a través de la ATP - sintetasa, provocan la síntesis de ATP. La PC retoma los $2e^-$ a la clorofila P700.



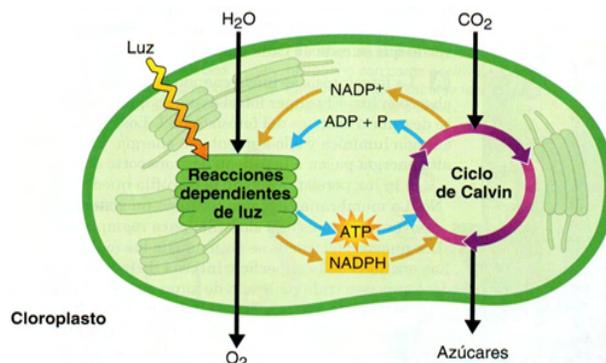
Nota. Jimeno, Ballesteros y Ugedo, (2003). [imagen] Movimiento de electrones y protones durante la fase luminosa cíclica.

Fase oscura

También llamada no dependiente de luz ó biosintética, reacción de Blackman. Los descubridores de este proceso son Melvin Calvin y Andy Benson, en esta etapa se da la fijación de CO_2 y se da la producción de carbohidratos (lípidos, proteínas, ácidos nucleicos). Los productos como el ATP y el $NADPH_2$ de la fase luminosa se utilizan para producir carbohidratos representado en la figura 35. Por cada CO_2 incorporado, se requieren $2 NADPH_2$ y $3 ATP$. En el siguiente cuadro se muestra el sitio donde se realiza la fijación del carbono.

Figura 35.

Relación energética entre fases de la fotosíntesis



Nota Miller, L., Levin, R. (2010) Fases de la fotosíntesis en plantas superiores

La fase oscura es un proceso puramente bioquímico: no requiere de la presencia de luz, ni siquiera de clorofila. **El ciclo de Calvin** consta de cuatro etapas, que a continuación describirán.

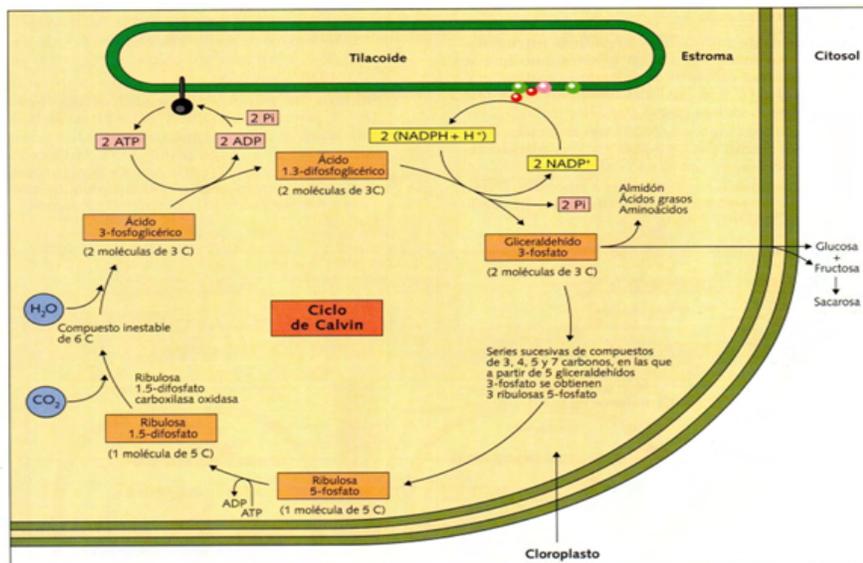
Fijación del CO₂ (carboxilación): el CO₂ se une a la pentosa ribulosa-1,5 difosfato, con la ayuda de la enzima ribulosa difosfato carboxilasa oxidasa, y se disocia en dos moléculas de ácido 3-fosfoglicérico de tres átomos de carbono, por lo que las plantas que siguen esta vía metabólica se suelen denominar plantas C3.

2. **Reducción** se consume de ATP y del NADPH₂ (que se produjo en la fase luminosa), el ácido 3-fosfoglicérico se reduce a gliceraldehído 3- fosfato. Este puede seguir dos vías:

Regeneración de la ribulosa -1,5-difosfato, se realiza a partir del gliceraldehído 3-fosfato, mediante un proceso complejo, en el que se suceden compuestos de 4, 5 y 7 carbonos, similar al ciclo de las pentosas fosfato en el sentido inverso. Biosíntesis de almidón, ácidos grasos y aminoácidos; es un proceso similar a la glucólisis en sentido inverso.

Síntesis de compuestos orgánicos: carbohidratos, aminoácidos, alcohol, ácidos grasos como se puede constatar en la figura 35.

Figura 35
Síntesis de compuestos orgánicos



Nota. Jimeno, Ballesteros y Ugedo, (2003) [imagen] Etapas del Ciclo de Calvin-Benson.

Tipos de fijación del CO₂

La fotorespiración o mecanismo estándar planta “normal” = C

Nota: Para comprender mejor el tema te sugerimos estos vídeos, solo lee los QR's

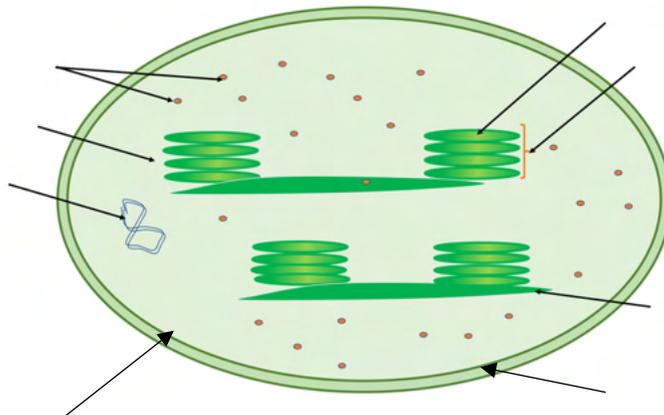


ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE

ACTIVIDAD 1. Partes del cloroplasto

Instrucciones. Escribe el nombre de las partes del cloroplasto en el lugar que corresponde, utiliza el banco de palabras.

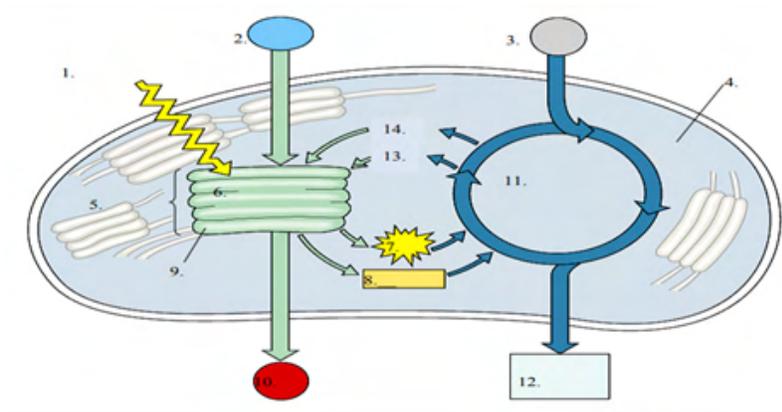
Banco de palabras: DNA del cloroplasto (plastoma), espacio intermembrana, estroma, grana, membrana externa, membrana interna, ribosomas, tilacoide, tilacoides del estroma, tilacoides del grana



ACTIVIDAD 2. Fases de la fotosíntesis en un eucarionte

Instrucciones. Identifica y escribe en el siguiente esquema las partes y procesos que se realizan en el cloroplasto, utiliza el banco de palabras

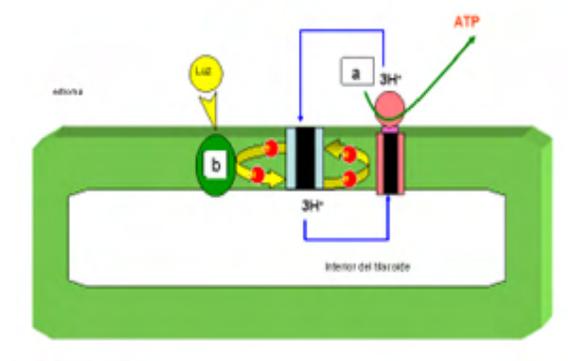
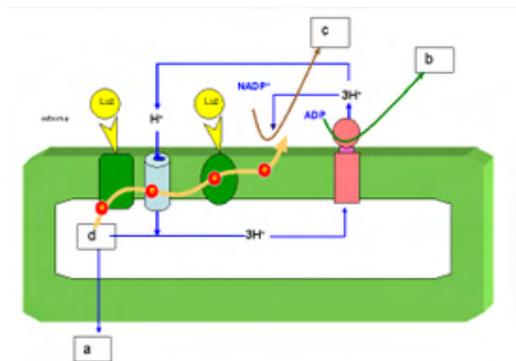
Banco de palabras: ADP, ATP, Azúcar, Ciclo de Calvin – Benson, CO₂, Estroma, grana, H₂O, Luz, NADP⁺, NADPH₂, oxígeno P, reacciones dependientes de luz, Tilacoide



Recuperado de:
http://schwablhs.weebly.com/uploads/1/3/2/1/13214866/reactions_of_photosynthesis_worksheet.pdf

ACTIVIDAD 3. Fase luminosa acíclica y cíclica

Instrucciones: Identifica en las siguientes figuras la fase luminosa acíclica y cíclica, escribe ¿Cuáles son los reactivos y productos de cada una de ellas?



Fase luminosa:

Reactivo (s):

Producto (s):

Fase luminosa:

Reactivo (s):

Producto (s):

Recuperado de:

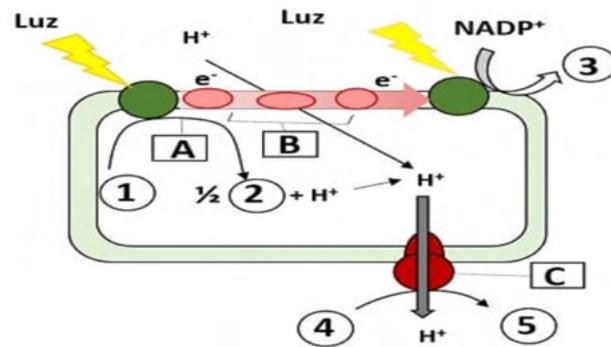
http://www.iespando.com:81/web/departamentos/biogeno/web/departamento/2BCH/B3_METABOLISMO/t32_FOTOSINTESIS/TEST/69_Diapositiva.GIF

2.

http://www.iespando.com:81/web/departamentos/biogeno/web/departamento/2BCH/B3_METABOLISMO/t32_FOTOSINTESIS/TEST/70_Diapositiva.GIF

ACTIVIDAD 4. Unidad fotosintética

Instrucciones: utiliza la imagen para dar respuesta a cada pregunta



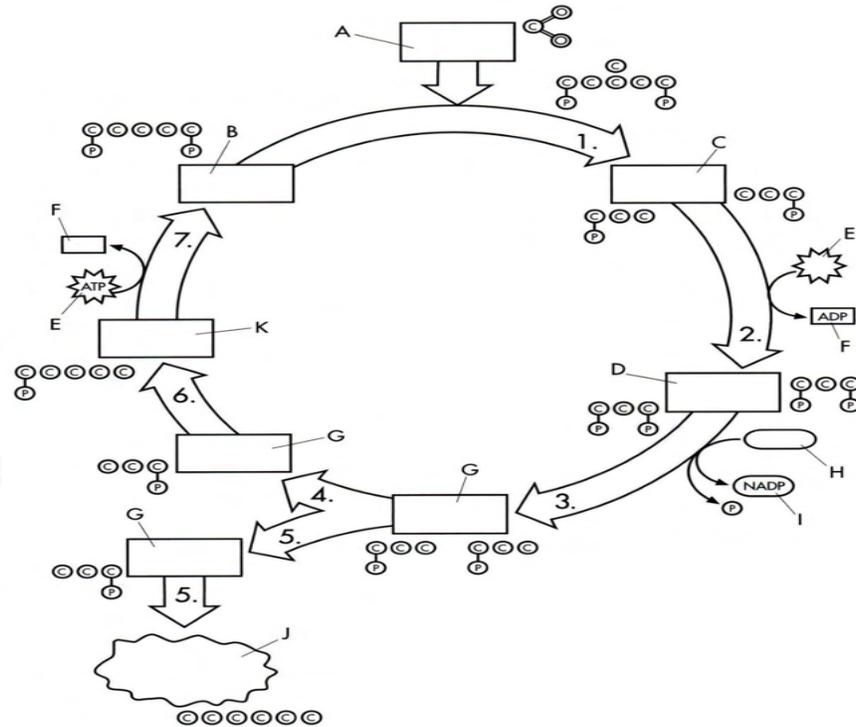
Recuperado: de https://biologia.com/biologia2/7321_fase_fotoquimica_o_luminica.html#gsc.tab=0

- a) Identifica las moléculas 1: _____ y 2: _____.
- b) ¿Qué etapa de la fase luminosa representa la letra A?
_____.
- c) ¿Qué papel tiene la molécula con el 1 en la fase luminosa?
_____.
- d) ¿Qué proceso se describe en la letra B?
_____.
- e) ¿Qué etapa de la fase luminosa representa el número 3?
_____.
- f) ¿Qué le ocurre a la molécula de NADP+? _____.
- g) ¿Cuáles son las moléculas 4 y 5? _____.
- h) ¿Cuál es el nombre de la enzima que marca la letra C? _____.
- h) ¿En qué proceso están involucradas las moléculas 4 y 5? _____.
- j) ¿Qué destino tienen las moléculas 3 y 5? _____.

ACTIVIDAD 4. Ciclo de Calvin – Benson

Instrucciones. Completa el ciclo de Calvin con el banco de palabras, utiliza las abreviaturas y contesta el cuestionario

Banco de palabras: Ácido fosfoglicérico (6 PGA), Ácido difosfoglicerido (6 DPGA), ADP, ATP, Dióxido de carbono (3CO_2), Carbohidrato, Fosfogliceraldehído (6PGAL), NADP⁺, NADPH₂, Ribulosa fosfato (3 RP), Ribulosa bifosfato (3RuBP).



Ciclo de Calvin (recuperado de Alcamo, 1998).

Questionario

1. ¿Cuántas son las etapas tiene el ciclo de Calvin – Benson? 3
2. ¿Cuáles son las etapas tiene el ciclo de Calvin – Benson? Fijación, reducción y regeneración
- 3 ¿Cuáles pueden ser los productos del ciclo de Calvin – Benson? Carbohidratos, lípidos, proteínas.
4. ¿Dónde ocurre la fase no dependiente de luz en una eucariota vegetal y en un procarionte? Eucariote estroma del cloroplasto y en citoplasma de procariotas.

REFERENCIAS

- Alcamo I. (1998). *Biology Coloring Workbook*. New York: Random House, Inc.
- Audersirk, T. (2003). *Biología I unidad en la diversidad*. Pearson Educación.
- De Erice, E. y González A. (2012). *Biología. La ciencia de la vida*. Mc Graw -Hill.
- Galván H. y Bojórquez. (2004). *Biología*. Santillana.
- Jimeno A., Ballesteros M. y Ugedo L. (2003). *Biología*. Santillana Bachillerato.

Mathew K. Christopher E. Van Holde, Kevin G, Ahern. (2002). *Bioquímica*. Addison Wesley.

Miller, K.y Levine J (2010). *Biología*. Boston: Pearson.

Muñiz H., Velasco S.; Albarracín F., Correa C., Morales A., Lunar H., Jiménez M., Rodríguez In; Lauría B. (2000). *Biología*. Mc Graw -Hill.

Solomon, E., Berg L. y Martín, D. (2008). *Biología*. (8ª ed.). Mc Graw Hill/ Interamericana.

GLOSARIO DE LA UNIDAD 1

Concepto	Definición
Aceptor de electrones	Molécula que puede aceptar electrones de otra molécula y que se reduce en el proceso, por ejemplo, NAD, NADP, FAD, FMN y acetyl-CoA.
Adenosín trifosfato (ATP)	Es el principal portador de energía en las células. Molécula compuesta del azúcar ribosa, la base adenina y tres grupos fosfatos. Los últimos dos grupos fosfato están unidos por enlaces de "alta energía".
Aeróbico	Sistema vivo o proceso que requiere oxígeno en estado gaseoso, para degradar materia orgánica y obtener energía.
Aminoácido (aa)	Unidad estructural de las proteínas.
Anabolismo	Serie de reacciones de formación de moléculas orgánicas complejas a partir de otras sencillas utilizando el ATP obtenido en el catabolismo o en otros procesos químicos como la fotosíntesis.
Anaeróbico	Sistema vivo o proceso que no requiere de oxígeno.
Autótrofo	Organismo que produce sus propios alimentos utilizando como fuente de energía la proveniente del sol y carbono a partir de moléculas inorgánicas como el bióxido de carbono y un agente donador de H, como el H ₂ O, H ₂ S.
Biomolécula	Macromolécula compuesta por otras moléculas monoméricas unidas entre sí, generalmente compuestas por carbono, hidrogeno, oxígeno, nitrógeno, fosforo y azufre.
Carbohidratos	Ejemplo de biomolécula formada de carbono, hidrogeno y oxígeno en su mayoría, pueden tener pequeñas cantidades de nitrógeno, fosforo y azufre.
Catabolismo	Serie de reacciones mediante las cuales las moléculas orgánicas complejas se desdoblán en otras más sencillas o inorgánicas, liberando energía que se almacena en el ATP. Es la fase degradativa del metabolismo.

Catalizador	Sustancia que acelera una reacción química sin sufrir cambios permanentes. Un catalizador reduce la energía de activación de una reacción los hay inorgánicos y biológicos como las enzimas.
Clorofila	Pigmento fotosintético que absorbe luz en las bacterias, algas y las plantas.
Cloroplasto	Orgánulo donde se realiza la fotosíntesis en las células de las plantas y de muchos protistas.
Dador de electrones	Molécula que puede ceder electrones a un aceptor oxidandose durante el proceso. Ejemplos, NAD, FAD, Acetil -CoA.
Endergónicas	Las reacciones en las cuales los reactivos tienen menos energía libre que los productos, requieren de un suministro neto de energía para realizarse.
Energía	Capacidad para realizar trabajo.
Enzima	Catalizador biológico que acelera la velocidad de una reacción.
Exergónicas	Las reacciones en las cuales los reactivos tienen más energía libre que los productos.
Fermentación alcohólica	Proceso catabólico que comienza con la glucólisis y produce alcohol etílico para reoxidar el NADH a NAD ⁺ .
Fermentación del ácido láctico	Proceso catabólico que comienza con la glucólisis y produce ácido láctico para reoxidar al NADH a NAD ⁺ .
Fermentación	Proceso que libera energía a partir de azúcares u otras moléculas orgánicas, como aminoácidos, ácidos orgánicos, purinas y pirimidinas. No necesita de la presencia de oxígeno ni de la cadena transportadora de electrones y utiliza una molécula orgánica como aceptor final de electrones. Degradación enzimática de los hidratos de carbono en la cual el aceptor final de electrones es una molécula orgánica, el ATP se sintetiza por fosforilación al nivel de sustrato y no se precisa de oxígeno.
Flavin Mono Nucleótido (FMN)	Transportador de electrones. FMN oxidado y FMNH ₂ reducido.
Flavín Adenin Dinucleótido (FAD)	Transportador de electrones (2e ⁻), se encuentra en mitocondrias. FAD oxidado y FADH ₂ reducido
Fosforilación a nivel de sustrato	Agregar un grupo fosfato a una molécula de ADP por acción enzimática para formar ATP.

Fosforilación oxidativa	Proceso para fabricar ATP a expensas de la fuerza protón motriz generada por la cadena de transporte de electrones y con ayuda de la ATPasa.
Fotoautótrofos o fotolitótrofo	Sistemas vivos que requieren la energía lumínica y el carbono inorgánico para producir materiales orgánicos. Por ejemplo; las plantas, bacterias fotosintéticas verdes y rojas sulfurosas.
Fotoheterótrofos o fotoorganótrofos	Organismos que utilizan la luz como energía, y compuestos orgánicos que obtienen del medio para satisfacer sus requerimientos de carbono; estos compuestos pueden ser carbohidratos y ácidos grasos. Las bacterias verdes no sulfurosas pertenecen a este grupo.
Fotosistema	Es la unidad estructural de una membrana celular o tilacoidal que captura la energía luminosa y convierte una parte de esta en energía química. En ella se pueden distinguir dos subunidades: el complejo antena y el centro de reacción.
Fotosíntesis	Proceso en el cual la energía luminosa se transforma en energía química almacenada en las moléculas de ATP.
Fotólisis	Ruptura de una molécula de agua con la ayuda de la luz.
Fotón	Unidad mínima de energía luminosa.
Glucólisis	Glucólisis (del griego glycos , azúcar, y lysis , división) es una ruta catabólica en donde la glucosa se oxida para producir ATP, NADH ₂ y compuestos orgánicos como el ácido pirúvico.
Heterótrofo	Sistema vivo que requiere aportes externos de biomoléculas elaboradas por otros organismos para sintetizar su propio alimento. Se nutren de materia orgánica que toman del medio y su fuente de energía es el ATP obtenido a través de las reacciones catabólicas.
Lípidos	Grupo heterogéneo de moléculas orgánicas constituidas de carbono, hidrogeno y oxígeno en su mayoría; pueden tener pequeñas cantidades de nitrógeno, fosfato y azufre.
Metabolismo celular	El conjunto de intercambios y transformaciones que tienen lugar en el interior de la célula, se realizan a través de procesos químicos catalizados por enzimas.
Metabolitos	Son moléculas que intervienen en las rutas metabólicas.
Monosacárido	Unidad básica a partir de la cual se construyen todos los carbohidratos.

Monómero	Es una molécula de pequeña masa molecular que está unida a otros a través de enlaces químicos para formar un polímero.
Nicotin Adenin Dinucleótido Fosfato (NADP)	Transportador de electrones que se encuentra en la en citoplasma y cloroplasto.
Nicotin Adenin Dinucleótido	Transportador de electrones que se encuentra en la mitocondria. NAD ⁺ oxidado y NADH ₂ reducido
Nucleótido	Unidad mínima de los ácidos nucleicos, compuesto por una base nitrogenada, un azúcar y un grupo fosfato.
Pigmentos fotosintéticos	Son moléculas que absorben la energía de la luz solar y transformarla en energía química a través de la fotosíntesis. por ejemplo, bacterioclorofila, carotenoides, clorofila, ficobilina, ficoeritrina, xantofilas.
Producto	Átomo o molécula que se forma a partir de los reactivos de una reacción química.
Quimioautótrofos o quimiolitótro	Este tipo de organismos, también llamados quimiosintéticos, utilizan CO ₂ como fuente de carbono, como fuente de hidrógeno compuestos inorgánicos (H ₂ , NH ₃ , NO ₂ , H ₂ S, S, S ₂ O ₃ , F ₂ ⁺ , CO, CH ₄) y como fuente de energía la que se desprende en las reacciones químicas redox de los compuestos.
Quimioheterótrofos o quimiorganótrofo	Este grupo de organismos obtienen carbono y energía en la forma de nutrientes orgánicos producidos por otros organismos vivos. Algunos representantes de este grupo son: animales, hongos, protozoos y la mayoría de las bacterias.
Reactivo	Átomo o molécula que se consume en una reacción química para formar un producto.
Respiración celular	Es un proceso a partir del cual algunos sistemas vivos transforman la energía contenida en los alimentos en ATP para cumplir con todas sus funciones.
Ruta metabólica	Las distintas reacciones químicas del metabolismo que se agrupan con una determinada función.
Sustrato	Molécula o sustancia sobre la que actúan las enzimas y se unen por medio del centro activo.
Tilacoide	Saco membranoso en forma de disco de los cloroplastos, cuya membrana contiene los fotosistemas, cadenas de transporte de

electrones y enzimas sintetizadoras de ATP que se usan en las reacciones luminosas de la fotosíntesis.

Triglicérido

Compuesto químico que es un éster derivado de glicerol y tres ácidos grasos.

2^a

Unidad

*¿Por qué se considera a la variación,
la transmisión y expresión génica
como la base molecular de los
sistemas biológicos?*

Presentación de la Segunda Unidad

En la presente unidad se abordaran temas en los que se involucra a la molécula de ADN; debido a que contiene la información genética organizados en genes. El ADN se empaqueta en estructuras cromosómicas. Cada cromosoma contiene varios genes, que están en segmentos de una secuencia de bases de la molécula del ADN que codifican para un ARN o proteína.

La expresión génica es el proceso por el cual se produce la información genética (ADN y ARN) en las células y cómo se traduce en proteínas y diversas moléculas, que permitirá el desarrollo y funcionamiento de los organismos.

La replicación es el proceso por el cual se forman dos moléculas de DNA cada una constituida por una hebra original y otra recién sintetizada y por división de la célula, se transmite a las nuevas células hijas.

La transcripción es el proceso donde el DNA se copia en RNA, seguido de la traducción, el cual acontece al unirse el RNA ribosomal (rRNA), el ARN mensajero (mRNA) y el ARN de transferencia (tRNA) para organizar el código genético y ser traducido a un aminoácido y formar una cadena polipeptídica.

La variación, la transmisión y la expresión genética de los caracteres son los tres procesos por los que se da la adaptación y la evolución. La variación consiste en las diferencias genéticas que existen entre los individuos de una población de una misma especie. Las variaciones entre los individuos de la población permiten adaptarse a diferentes ambientes y condiciones. La transmisión de los caracteres se refiere a cómo se heredan de una generación a otra.

La expresión de los genes es el proceso por el que se transmiten las características hereditarias a través de la descendencia. Estas formas de expresión génica pueden ser influenciadas por factores ambientales y por fenómenos como la penetrancia y la expresividad. Las mutaciones son cambios en el DNA o RNA, permanecen en las células cuando los mecanismos de reparación no actúan, estos cambios afectan la secuencia, alteran el número de nucleótidos o de cromosomas de una célula; pueden alterar la información contenida originalmente en la célula.

TEMA I. Organización del material genético: DNA, genes y cromosomas

Elaborado por: Yazmín Anaín Mendoza Segovia

Aprendizaje: Describe las características estructurales del DNA y su organización en genes y cromosomas.

Conceptos claves: ácidos nucleicos, bucles, cromatina, cromosoma, collar de perlas, doble hélice, enlace fosfodiéster, genes, histonas, nucleótidos, plegamiento del DNA, nucleosoma, rodillos y solenoide.

Resumen

El DNA es una macromolécula la cual contiene la información de los rasgos hereditarios y que consta de dos cadenas de nucleótidos enrolladas en forma de doble hélice; dicha molécula suele estar empaquetada en estructuras conocidas como cromosomas. Los organismos procariotas suelen tener un cromosoma, mientras que los eucariotas tienen dos o más, como el caso de los helechos que pueden tener hasta 1600. Cada cromosoma posee varios genes, los cuales son segmentos de una secuencia de bases del DNA que codifican para un RNA o un producto proteico.

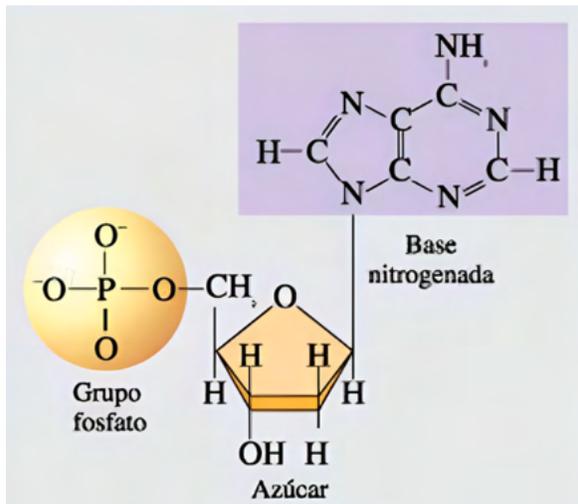
DESARROLLO DEL CONTENIDO

Ácido desoxirribonucleico (DNA)

Los **ácidos nucleicos**, en un principio llamados así porque fueron localizados en el núcleo celular, son macromoléculas, que desempeñan funciones importantes en los sistemas vivos. Uno de los dos tipos de ácidos nucleicos que existen es el **DNA o ácido desoxirribonucleico**, el cual en su estructura almacena toda la información necesaria para formar una nueva célula, y en el caso de organismos multicelulares, un individuo entero. Además, la célula utiliza el orden de las bases de nucleótidos en el DNA para guiar la producción del RNA y de las proteínas (Starr, 2013).

Figura 36

Estructura de nucleótidos



Nota. Fuente. Material didáctico ESO bachillerato. (s. f.). **Estructura de los nucleótidos. Biología y geología.** (2023, 20 de septiembre). <https://bit.ly/3PpnNlj> CC BY-NC-SA 3.0.

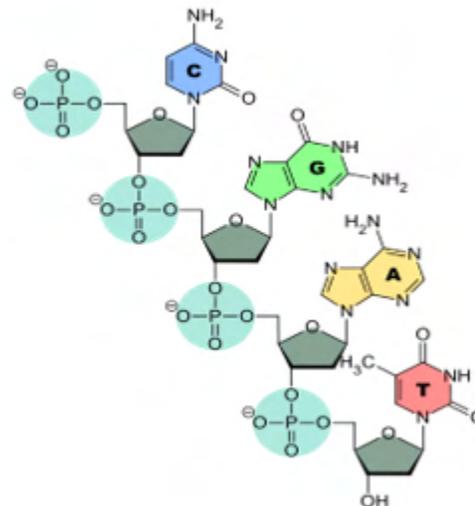
El descubrimiento de la estructura de esta molécula fue realizado por Watson y Crick en 1953, dilucidando que el DNA está formado de dos polímeros de nucleótidos enlazados llamados hebras. Un **nucleótido** está compuesto por la unión de tres unidades: 1) un monosacárido (pentosa o azúcar) llamado desoxirribosa, 2) una base nitrogenada púrica (adenina o guanina) o pirimidínica (timina o citosina) y 3) un grupo fosfato. Tanto la base nitrogenada como los grupos fosfato están unidos a la pentosa o azúcar (Figura 36). A nivel estructural, la molécula del DNA puede alcanzar diferentes niveles de complejidad, los cuales se describirán a continuación:

- **Estructura primaria:** Es la secuencia de nucleótidos de una sola cadena o hebra. Es relevante mencionar que los carbonos que forman al azúcar desoxirribosa se nombran como “1 prima” (1') hasta llegar al 5 prima (5'), con la finalidad de distinguirlos de los átomos de carbono de la base nitrogenada. Cuando se sintetiza *una hebra de DNA*, el fosfato de un nucleótido unido al carbono 5' del azúcar se une (por medio de un **enlace fosfodiéster**) con el grupo

El descubrimiento de la estructura de esta molécula fue realizado por Watson y Crick en 1953, dilucidando que el DNA está formado de dos polímeros de nucleótidos enlazados llamados hebras. Un **nucleótido** está compuesto por la unión de tres unidades: 1) un monosacárido (pentosa o azúcar) llamado desoxirribosa, 2) una base nitrogenada púrica (adenina o guanina) o pirimidínica (timina o citosina) y 3) un grupo fosfato. Tanto la base nitrogenada como los grupos fosfato están unidos a la pentosa o azúcar (Figura 36). A nivel

Figura 37

Unión de dos nucleótidos para formar una cadena de DNA

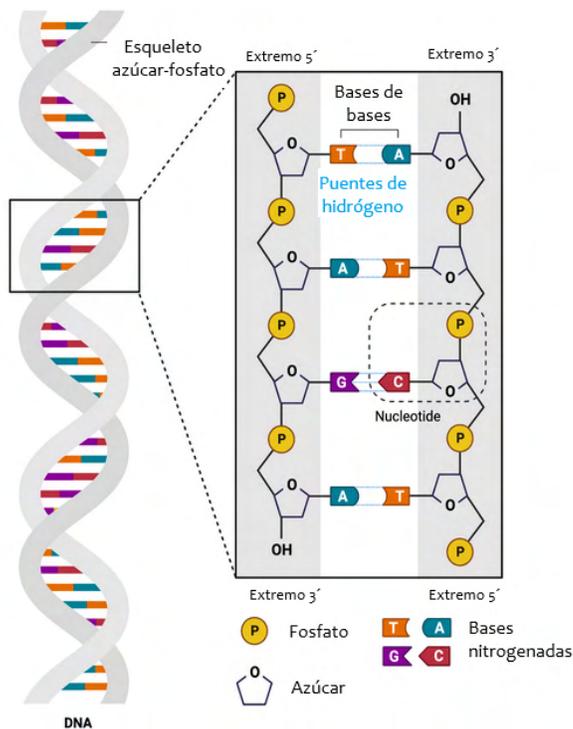


Nota. Fuente. **Estructura primaria del ADN. Biología 2o Bachillerato.** (2023, 20 de septiembre) <https://bit.ly/3F680cZ> CC BY-NC-SA 3.0.

hidroxilo que se encuentra unido al carbono 3' del azúcar del siguiente nucleótido (Figura 37), así es como se va construyendo la cadena de DNA.

Figura 38

Estructura secundaria del DNA



Nota. Fuente. Tolosa, A. (2023, 25 abril). *Día del ADN: 25 de abril*. Genotipia <https://bit.ly/44ZidIO> CC BY-NC-SA 3.0.

- *Estructura secundaria*: Hace referencia a la configuración tridimensional del DNA la cual fue propuesta como se mencionó previamente, por James Watson y Francis Crick. Dicha estructura está formada por **una doble hélice** de cadenas de polinucleótidos, las cuales son antiparalelas, lo que significa que corren en direcciones opuestas, una orientada en sentido 3'- 5' y la otra de 5'- 3' (Figura 38). Además, las dos hebras están enrolladas en torno a un eje imaginario, que gira en contra del sentido de las agujas de un reloj y se mantienen juntas gracias a los enlaces químicos. Siempre que hay

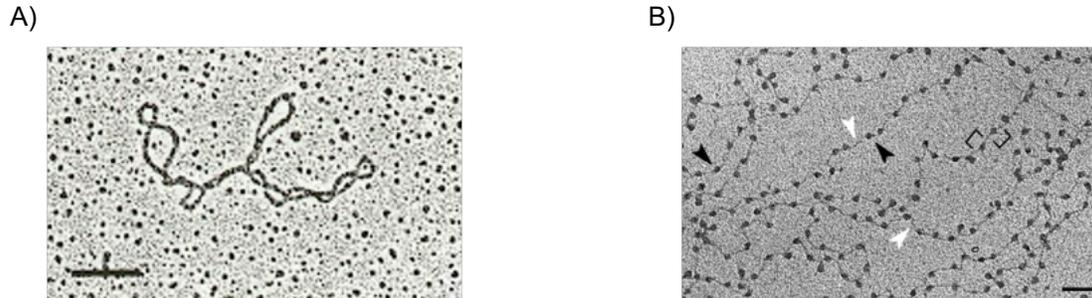
una adenina en una cadena se acopla con la timina de la otra cadena por medio de dos puentes de hidrógeno; en cambio, cuando en una de las cadenas se encuentra una guanina se une con la citosina de la otra, usando tres enlaces (Audersik et al, 2013; Gálvez, 2009).

-*Estructura terciaria*: Hace referencia al **plegamiento del DNA**. En procariontes el DNA circular se retuerce sobre sí mismo, formando una superhélice (Figura 39). Mientras que en las células eucariotas las moléculas de DNA son muy largas y de cadena abierta, encontrándose almacenadas en el núcleo; por lo tanto, el nivel de empaquetamiento es más complejo y compacto, requiriendo la acción de algunas proteínas conocidas como histonas. La estructura terciaria de DNA en eucariotas es

también conocida como fibra de cromatina laxa de 100 Å o collar de perlas (Figura 4b); esta estructura consiste en una sucesión de partículas llamadas nucleosomas (Nelson y Cox, 2009; Moreno, s.f).

Figura 39

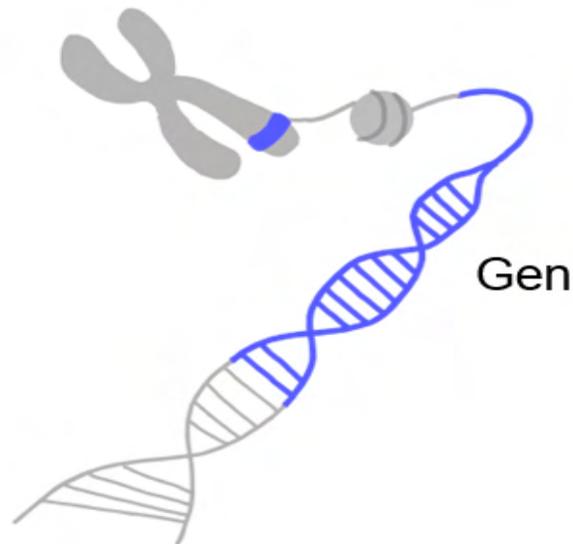
Superenrollamiento del DNA: A) superhélice en procarionta y B) collar de perlas en eucariota observadas al microscopio electrónico.



Nota. Fuente. A) Rojas, L. (2023, 24 septiembre). **3.1.2 Proteínas asociadas.** Blogger. <https://bit.ly/3LyKCIB> CC BY-NC-SA 3.0 y Colaboradores de Wikipedia. (2023, 24 septiembre). **Cromatina.** Wikipedia, la enciclopedia libre. <https://bit.ly/44kLqYE> CC BY-NC-SA 3.0.

Gen

En una visión biológica clásica, el gen es definido como una parte de un cromosoma que determina o afecta a un carácter o fenotipo (una característica visible, por ejemplo, el color de ojos). En 1940, George Beadle y Edward Tatum propusieron una definición molecular a partir de sus investigaciones realizadas en el moho *Neurospora crassa*; en un experimento expusieron esporas de este moho a rayos X para causar daños en el DNA y generar mutaciones (alteraciones en el DNA). Algunos de los mutantes eran deficientes en una enzima, lo que suspendía las vías metabólicas del moho. Estas observaciones los llevaron a proponer que un **gen** es un segmento de DNA que codifica para una enzima (un tipo de proteína). Sin embargo, más tarde este concepto fue redefinido, como una **secuencia de DNA que codifica para** un producto final, el cual puede ser **una proteína o un RNA con una función estructural o catalítica** (Figura 40, Nelson y Cox, 2009).

Figura 40*Representación de un gen*

Nota. Fuente. Editado de: **Gene. Instituto de genómica innovadora.** (2023, 25 de septiembre). <https://bit.ly/3row2fZ> CC BY-NC-SA 3.0.

Cromosomas

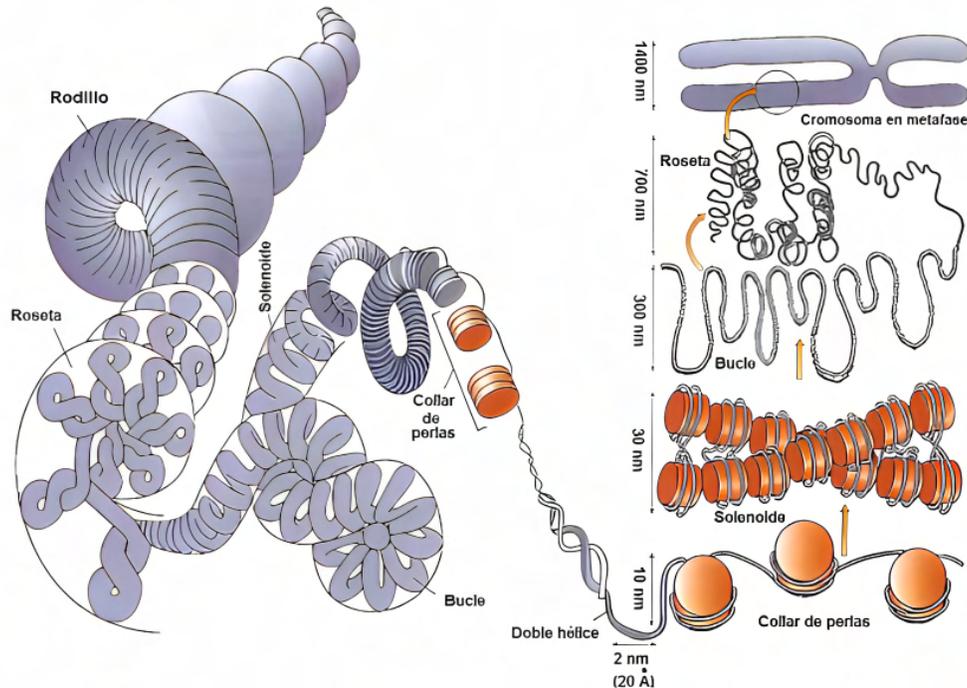
Las moléculas de DNA son las mayores macromoléculas de la célula y suelen estar empaquetadas en **cromosomas**, estructuras filiformes que contienen el material genético de una célula y que se encargan del almacenamiento y la transmisión de la información genética (Nelson y Cox, 2009). En los procariotas, como las bacterias, generalmente su cromosoma está compuesto de una molécula de DNA circular de doble cadena (cerrada por enlaces covalentes) asociada a una pequeña cantidad de proteínas; estas moléculas hacen que el cromosoma se enrolle apretadamente y se “superenrolle” formando una superhélice, la cual ocupa una parte del interior de la célula conocida como nucleoide (Campbell y Reece, 2007). En cambio, en las células eucariotas, se encuentran presentes varios cromosomas lineales, ubicados dentro del núcleo celular; cuando el material cromosómico no está en división, se encuentra en estado amorfo, disperso y desordenado y se le denomina *cromatina*. Sin embargo, cuando las células se preparan para la división celular, la cromatina se condensa (compacta) y se presenta en un conjunto de

cromosomas bien definidos, cuyo número es una característica de cada especie. Para pasar del estado laxo al compacto el DNA pasa por diferentes niveles (Nelson y Cox, 2009).

El *primer nivel* de compactación es el nucleosoma (o cuenta de un collar). Cada una de estas consiste en: 1) un octámero de histonas que forman un núcleo proteico (compuesto de cuatro pares de histonas, H2A, H2B, H3 y H4) y 2) un fragmento de 146 pares de bases de DNA; la unión de estos dos elementos es por medio de otro tipo de histonas (H1). Los nucleosomas se unen con otros mediante un fragmento de 54 pares de bases, el cual es llamado DNA ligador o espaciador. En conjunto, nucleosoma y espaciador, forman una estructura que mide 100 Å y tiene un aspecto repetitivo en forma de **collar de perlas**. El *segundo nivel* de compactación del DNA se presenta cuando la fibra cromatina de 100 Å se empaqueta formando una fibra de 300 Å (30 nm). El enrollamiento que se da en el collar de perlas se le conoce como **selenoide**; para formar cada uno de estos se enrollan 6 nucleosomas por vuelta y las histonas H1 se disponen al centro formando el eje de la hélice, el cual da estabilidad a esta estructura. Posteriormente, la fibra de 300 Å puede compactarse formando una serie de **bucles** (*tercer nivel* de empaquetamiento) que posiblemente estabilizan ciertas proteínas del eje del cromosoma. Después, seis bucles formarían una roseta y treinta rosetas seguidas, dispuestas en espiral formarían un **rodillo** o vuelta en espiral, que constituye el *cuarto nivel* de empaquetamiento. El último nivel (*quinto*), estaría formado por la sucesión de rodillos, los cuales formarían al **cromosoma** (Figura 41; Moreno, s.f).

Figura 41

Niveles de compactación del DNA en el cromosoma eucariota



Nota. Fuente. Moreno, S. (2023, 25 de agosto). *Ácidos nucleicos*. <https://bit.ly/3Xvoll3>.

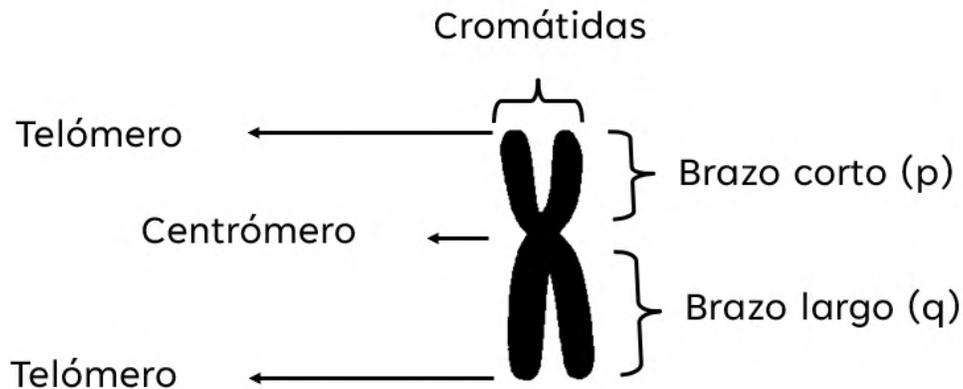
Cuando los cromosomas se encuentran en la metafase de meiosis y mitosis, y se observan a través del microscopio óptico como cuerpos compactos y alargados en forma de bastoncillos y se pueden visualizar las siguientes partes:

- Brazos del cromosoma: Consiste en dos brazos separados por un estrechamiento denominado centrómero; al brazo largo se le designa brazo "q" y al corto, se le conoce como brazo "p". Los cromosomas metafásicos presentan dos cromátidas hermanas unidas por una región llamada centrómero.
- Centrómero. Es una región estrecha del cromosoma que lo divide en brazo corto y largo; en ella se unen las cromátidas hermanas (cada una de las hebras de DNA duplicadas).

- Telómeros. Son unas estructuras especializadas que cubren los extremos de los cromosomas eucariotas que se encargan de conservar la integridad estructural de estos (Figura 42; Aguilar, 2019).

Figura 42

Componentes de los cromosomas metafásicos

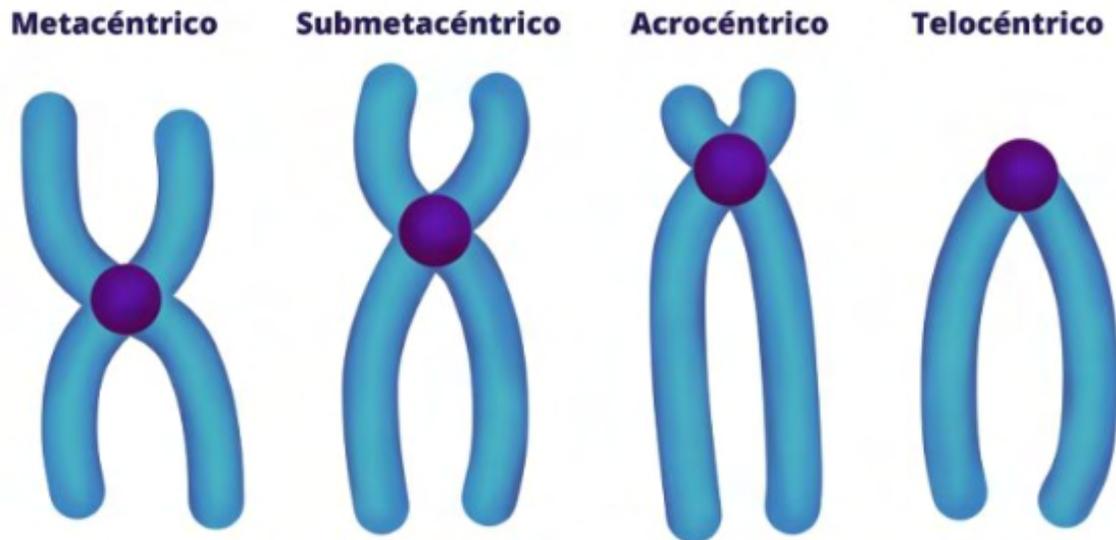


Nota. Fuente. Mendoza-Segovia, Y. (2023). **Componentes de los cromosomas metafásicos**
[imagen] colección personal CC BY 3.0.

De acuerdo, la posición del centrómero y tamaño relativo de los brazos se puede distinguir diferentes tipos de cromosomas. Los metacéntricos que se caracterizan por tener el centrómero situado en una posición central y los brazos “p” y “q” son del mismo tamaño. En cambio, los submetacéntricos tienen el centrómero en una posición ligeramente fuera del centro y el brazo “p” es de menor longitud que el brazo “q”. Los cromosomas acrocéntricos su centrómero se encuentra casi en la parte superior del cromosoma y tiene brazos “p” muy pequeños (Esparza-García et al., 2017). Por último, los cromosomas telocéntricos tienen el centrómero tan desplazado hacia un extremo que los brazos cortos no se observan (Figura 43; Lantigua, 2004).

Figura 43

Tipos de cromosomas



Nota. Fuente. Tolosa, A. (2023, 25 de septiembre). **CROMOSOMAS: Qué son los cromosomas y por qué son importantes.** Genotipia. <https://bit.ly/3EVHvXg> CC BY-NC-SA 3.0.

ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE**Actividad 1**

Instrucciones: Contesta lo que se te pide.

1. ¿Cuál es la función del DNA y de qué unidades está formado?

--

2. Describe brevemente cada uno de los niveles de complejidad que puede alcanzar el DNA y realiza un dibujo que represente a cada uno.

Nivel	Descripción	Dibujo
Primario		
Secundario		
Terciario		

--	--	--

3. Escribe las dos definiciones que se te presentan en el texto sobre el término gen.

--

4. ¿Qué es un cromosoma y cuál es su función?

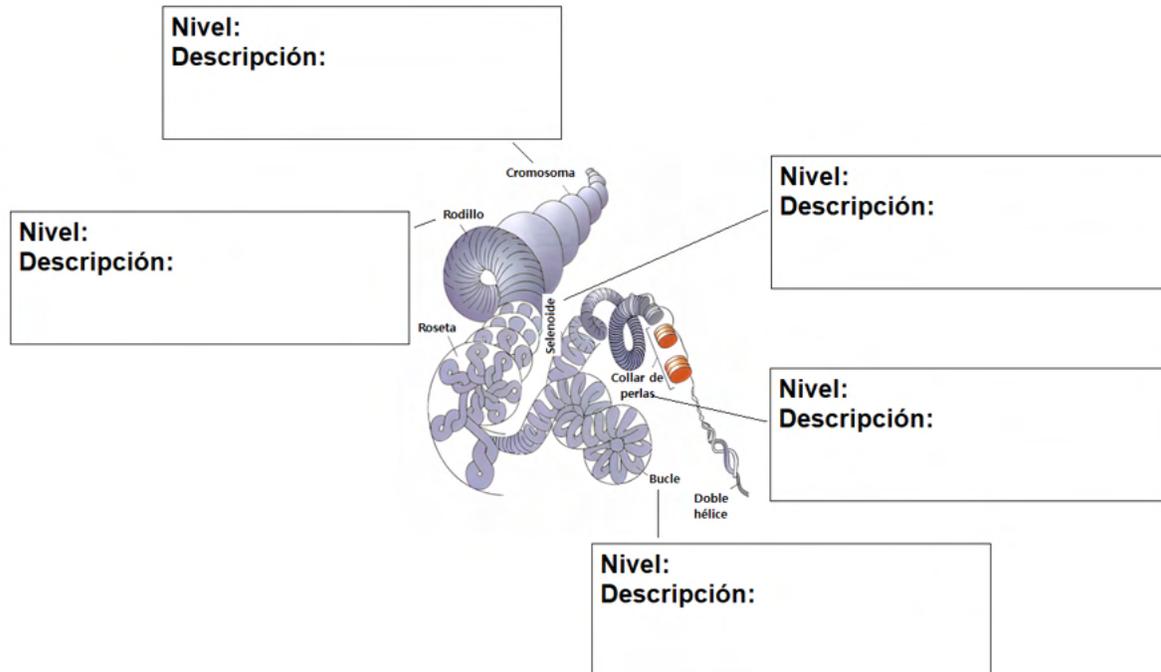
--

5. Realiza un dibujo donde señales las partes de los cromosomas.

--

Actividad 2

Instrucciones. En la siguiente imagen identifica el nivel de compactación (primario, secundario, etcétera) del DNA que se señala y descríbelo brevemente.



Nota. Fuente. Moreno, S. (s. f.). Ácidos nucleicos. Recuperado 25 de agosto de 2023, de <https://bit.ly/3XvolL3>.

REFERENCIAS

- Aguilar, M. (2019). *Biología molecular y citogenética*. Editorial síntesis.
- Audesirk, G., Audesirk, T. y Audesirk. B. (2013). *Biología. La vida en la Tierra*. Pearson.
- Campbell, A., Mitchel, L. y Reece, J. (2001). *Biología, conceptos y relaciones*. Pearson Educación.
- Esparza-García, E., Cárdenas-Conejo, A., Huicochea-Montiel, Aráujo-Solís. (2017). Cromosomas, cromosopatías y su diagnóstico. *Tema pediátrico* 84(1), 30-39.
- Gálvez, F. (2009). *Ácidos nucleicos* [Tesis maestría]. Universidad Politécnica de Valencia.
- Lantigua, A. (2004). Los cromosomas humanos y su estudio. En: *Introducción a la Genética Médica* (pp: 65-74). Editorial Ciencias Médicas
- Moreno, S. (s. f.). *Ácidos Nucleicos*. Recuperado 25 de junio de 2023, de <https://dagus.unison.mx/smoreno/6%20%C3%81cidos%20Nucleicos.pdf>
- Nelson, D. y Cox, M. (2009). *Lehninger principios de bioquímica*. OMEGA.
- Starr, C., Evers, C. y Starr, L. (2013). *Biología. Conceptos y Aplicaciones*. Cengage Learning.

Tema I Organización del material genético: El genoma de las células procariontas y eucariotas.

Elaboró: Leticia Martínez Aguilar

APRENDIZAJE: Compara las características generales del genoma procarionta y eucariota

CONCEPTOS CLAVE: Genoma, genómica estructural, genómica comparativa, genómica funcional y gen.

RESUMEN.

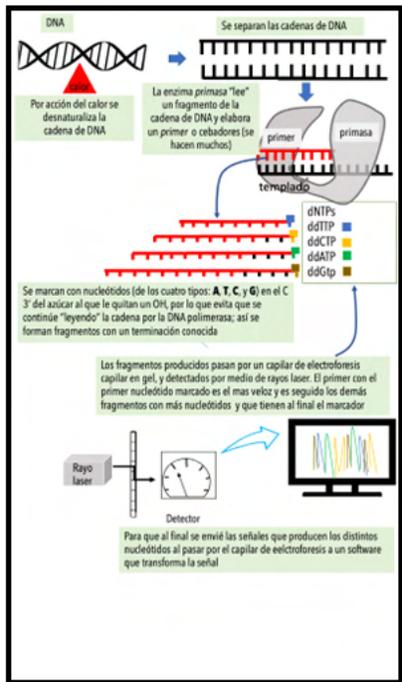
El genoma se refiere a la totalidad de la información contenida en el DNA de un organismo, organizada en genes individuales. La genómica se ocupa de estudiar el genoma desde tres perspectivas. En primer lugar, se investiga su estructura, es decir, cómo se distribuyen los genes a lo largo de los cromosomas. En segundo lugar, se analiza su función, centrándose en la cantidad y tipo de genes codificantes presentes en el genoma y por último, se lleva a cabo un enfoque comparativo, examinando la información genómica de organismos procariontas y eucariotas, con el objetivo de identificar similitudes y diferencias en términos de estructura y función genómica, y establecer relaciones de parentesco entre ambos grupos.

DESARROLLO DEL CONTENIDO

El genoma es la totalidad de la información genética en un organismo. Esta información se encuentra compuesta por las secuencias de bases de todas las moléculas de DNA de una célula. Estas secuencias se agrupan en genes individuales, los cuales se localizan tanto en los cromosomas como en pequeños fragmentos de DNA extracromosómico, ya sea en el citoplasma o en organelos celulares (Mathews, 2004). El estudio del genoma abarca la exploración de su estructura, función y comparación entre los genomas de diferentes especies.

Para determinar su tamaño, secuencia y estructura que adopta el DNA, se han desarrollado herramientas tanto moleculares como computacionales. Estas herramientas permiten analizar fragmentos de DNA que luego son ensamblados para reconstruir el orden original del genoma, lo que a su vez facilita la localización

Figura 44
Secuenciación del DNA



Nota. Aguilar, L. (2023) Etapas principales de la secuenciación del DNA [imagen] Colección personal CC BY 4.0

e identificación de los genes. Antes de continuar, mencionamos las unidades de medida del tamaño, ya sea de fragmentos de DNA, de cromosomas e incluso del genoma, es en pares de bases utilizando unidades como kilobases (1 kb = 1000 bases), megabases (1 Mb = 1000 kb), gigabases (1 Gb = 1000 Mb) o incluso picobases (1 Pb = 1000 Gb = 10^9 pb). En la figura 44 presentamos de manera general el proceso de secuenciación del DNA. El desarrollo en estas técnicas permitió en 1995 la publicación de la secuencia del primer genoma del virus del *Haemophilus influenzae*, relativamente pequeño de 1.830.140 pares de bases (pb) y que codifica sólo 1.740 genes (Lamolle, G; Musto, H, 2018). Este genoma se le considera "pequeño" por la cantidad de pares de bases, comparando con el genoma humano, que tiene aproximadamente 3×10^9 pb, distribuidos en 23 cromosomas y codifica para

aproximadamente 23.000.

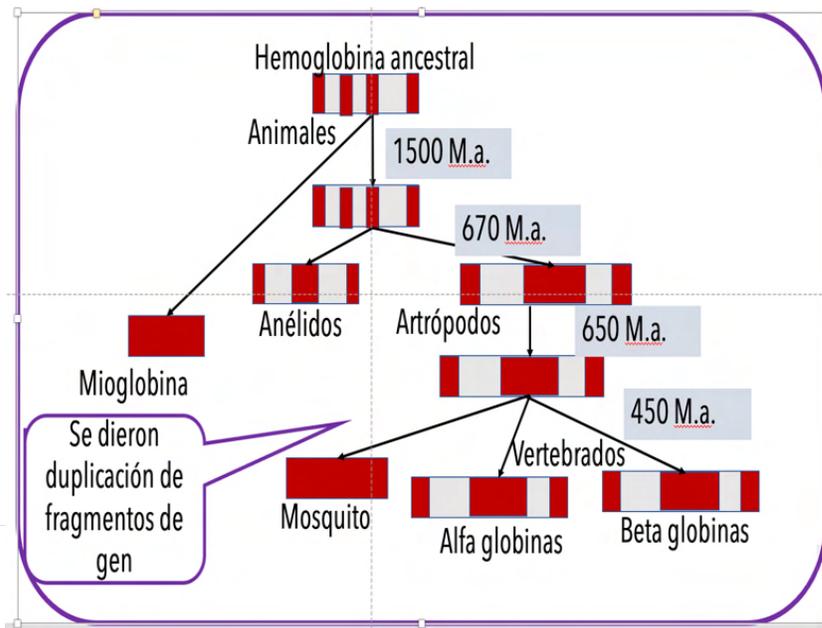
El genoma típico de las bacterias tiene un tamaño de $1,5 \times 10^6$ pb a aproximadamente, en los mamíferos tenemos genomas de 2 o 3×10^9 pb, lo cual implica que nuestros genomas tienen tres órdenes de magnitud más ADN que el "procarionta promedio". Además, en procariontas suele haber un solo cromosoma circular, mientras que en eucariotas, como por ejemplo en mamíferos encontramos habitualmente más de 20 cromosomas lineales.

Existen varias causas para el incremento del tamaño del genoma. Una de ellas es la **duplicación de genes**, que puede ocurrir en diferentes escalas, desde porciones de genes hasta genomas completos. La duplicación génica es considerada como uno de los mecanismos más eficaces para generar nuevos genes y vías de control bioquímico, lo que ha permitido la divergencia adaptativa de los organismos. En las plantas, la duplicación genómica es común y contribuye al aumento del tamaño del genoma.

Durante la duplicación génica, las copias pueden dar lugar a la generación de nuevas funciones o a la pérdida de funcionalidad, lo que explica la presencia de **pseudogenes** o copias no funcionales. La duplicación génica también ha contribuido a la complejidad fisiológica y estructural en los organismos a lo largo de la evolución. Hace

aproximadamente 600-800 millones de años, ocurrió un evento de duplicación

Figura 45
Gen de la Hemoglobina en diversos grupos de organismos animales



Nota. Aguilar, L. (2023). La proteína hemoglobina como ejemplo de duplicación génica, en incremento del tamaño del genoma [imagen]. Colección personal. CC-BY 4.0

representado en la figura 45, que dio origen a dos tipos de proteínas funcionales distintas: la mioglobina, que se encarga de acumular oxígeno en los músculos, y la hemoglobina que se encarga de transportar oxígeno en la sangre.

Posteriormente, hace aproximadamente 450-500 millones de

años, otro evento de duplicación dio origen a las familias alfa y beta de estas proteínas, las cuales se encuentran ubicadas en cromosomas distintos y se expresan diferencialmente durante el desarrollo embrionario de los mamíferos.

Otro mecanismo importante es el intercambio de **exones** (*Exon Shuffling*), que se produce en la recombinación meiótica de los cromosomas homólogos. Esta recombinación ocurre de manera aleatoria, en posiciones homólogas de los cromosomas donde su ubicación está relacionada con la longitud del DNA. Los exones, que representan solo el 1% del genoma humano, son los principales sitios de entrecruzamiento y recombinación. Este proceso natural, conocido como "*exon shuffling*" o intercambio de exones, tiene un efecto inmediato en la alteración del orden de los genes duplicados, lo que genera una mayor diversidad proteica al crear multidominios (García, L.F., 2011).

También se produce la **fusión de genes**, lo cual puede dar lugar a la aparición de nuevas funciones genéticas. Esta fusión puede ocurrir mediante la recombinación de DNA, como se ha observado en primates. Una vez que se generan los nuevos genes a través de la fusión, se producen cambios adaptativos rápidos a nivel de aminoácidos y se imponen fuertes restricciones funcionales, alejándose aparentemente de las funciones ancestrales. Este proceso representa un paso crítico en la evolución de estos genes quiméricos surgidos por fusión génica (Jones y Begun, 2005).

La transferencia horizontal de genes (THG) es un fenómeno que implica la transmisión genética horizontal o lateral entre entidades biológicas sin una relación evolutiva directa. Es muy común en procariotas y se da entre especies diferentes.

A través de análisis filogenéticos y datos genómicos de numerosos organismos procariotas, se ha descubierto que muchos organismos han adquirido genes por transferencia horizontal. Este fenómeno está empezando a evidenciar su impacto en la comprensión de la evolución (García, 2011).

El tamaño de los genomas bacterianos también varía considerablemente, aunque tienden a ser más pequeños que los genomas eucariotas. Algunos genomas bacterianos pueden ser tan pequeños como solo 112,000 pares de bases. A menudo, el tamaño del genoma de una bacteria se relaciona directamente si son de vida libre o si establecen relación con otros organismos, como el ser parásito o simbiote. Generalmente pierden genes que codifican ciertas proteínas, ya que las toman de su hospedero o de su simbiote según sea el caso; Estos son ejemplos de genomas de procariotas y el tamaño de su genoma: *Mycoplasma genitalium* (580,000 pares de bases), *Chlamydia trachomatis* (1.0 millones), *Rickettsia prowazekii* (1.1 millones) y *Treponema pallidum* (1.1 millones), todos son parásitos patógenos causan que causan en humanos uretritis e inflamación pélvica, clamidia, tifus y sífilis respectivamente.

Tipos de Genes

Los genes que siempre se expresan se conocen como genes codificantes, constitutivos o domésticos; en el caso de eucariotas pluricelulares estos genes se expresan en toda la diversidad celular; por ejemplo, en mamíferos corresponden a

menos del 1% de todo el DNA nuclear. Los procariotas parecen usar sus genomas de manera muy eficiente, con un promedio de 88% de secuencias codificantes.

En contraste, en eucariotas el DNA no codificante puede representar aproximadamente 98%, como se observa en humanos, pero el porcentaje de DNA no codificante varía entre especies.

La mayor parte del DNA está contenida dentro de los cromosomas de una célula, muchas células tienen moléculas adicionales de DNA fuera de los cromosomas, llamadas DNA extracromosómico, que también forman parte de su genoma. En algunos casos, los genomas de ciertos virus de DNA se mantienen independientemente en las células hospedadoras durante la infección viral latente. En estos casos, estos virus son otra forma de DNA extracromosómico; por ejemplo, el virus del papiloma humano (VPH) puede mantenerse en células infectadas de esta manera.

Algunas procariotas pueden tener bucles de DNA más pequeños llamados plásmidos que contienen uno o algunos genes no esenciales para el crecimiento normal. Las bacterias pueden intercambiar estos plásmidos con otras bacterias en un proceso conocido como transferencia génica horizontal (HGT). El intercambio de plásmidos proporciona a los organismos receptores con nuevos genes beneficiosos para la supervivencia en condiciones especiales, ya que codifican factores de virulencia que dan la capacidad de causar enfermedad o resistencia a ciertos antibióticos. Los plásmidos también se utilizan en ingeniería genética y biotecnología como una forma de mover genes de una célula a otra

La paradoja del valor C

La secuenciación de genomas de especies diferentes ha abierto un fascinante campo en la genómica, que consiste en comparar estos genomas para comprender los factores causales que han dado lugar a los cambios, a veces drásticos, observados en organismos que van, desde virus y procariotas hasta los mamíferos y plantas superiores.

Dentro del ámbito genómico, se utiliza el término *sintenia* para referirse a la conservación del orden de los genes entre segmentos cromosómicos de uno o más

organismos. Pero ¿Cómo los ubican a estos genes homólogos en los cromosomas?

Figura 46
Representación hipotética de
síntesis de un gen



sea en papel o en computadora, donde marcan estos grupos de genes en diferentes especies ubicando *loci* (o lugares) altamente conservados en los cromosomas. Estos *loci* codifican para proteínas con una función específica y similar, considerándolos homólogos (es decir, que derivan de un ancestro común). A continuación, en la figura 46 se muestra una representación hipotética de tres cromosomas de especies diferentes, donde se han ubicado genes homólogos en rojo.

El valor C se define como la cantidad de DNA presente en un genoma haploide. Al evaluar este

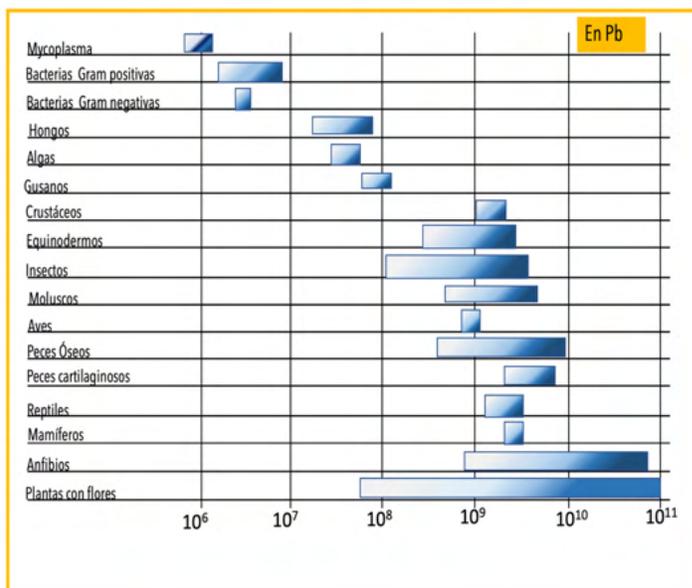
valor en distintas especies, no se observa una relación aparente entre el contenido de DNA y la complejidad del organismo o el contenido de genes codificados por el mismo. Por ejemplo, varios protozoarios poseen una cantidad de DNA mucho mayor que los mamíferos, que son más complejos. La falta de una relación consistente

Nota. Aguilar, L. (2023) Ejemplo de síntesis de genes en especies hipotéticas [imagen] Colección personal CC 4.0

entre el valor C y la complejidad de un organismo es llamada la paradoja del valor C.

En general los organismos más complejos, tienen genomas más grandes, existe gran variación dentro de grupos; por ejemplo, salamandras y peces pulmonados tienen genomas que superan los 120 pg de DNA por núcleo, mientras el genoma humano tiene 3,5 pg. En el caso de las plantas terrestres, predominan los genomas gigantes como el de *Fritillaria assyriaca*, una especie de la familia Liliaceae con 127 pg de DNA; o la flor japonesa *Paris japonica* tiene un tamaño de genoma de aproximadamente 150 mil millones de nucleótidos, ¡tiene un genoma 50 veces el tamaño del genoma humano! Existen numerosas formas de vida en la Tierra que

Figura 47
Tamaño de gen en diferentes especies.



Nota. Aguilar, L. (2023) Tamaños de genomas en Pb de diferentes especies [imagen] Colección personal. CC BY 4.0

poseen genomas considerablemente más grandes que el genoma humano, en la figura 47. Se presentan los tamaños de diferentes grupos de organismos.

Varias hipótesis han surgido para explicar el exceso del DNA y su posible función en los genomas eucariotas no codificantes. Una de ellas sugiere que estas secuencias no codificantes proporcionan

una protección global y diferencial contra mutágenos químicos, formando así un nuevo sistema de protección para la información genética eucariota. Otra teoría plantea que el exceso de DNA podría estar involucrado en la regulación génica, ya que la mayoría de los organismos requieren entre 30,000 y 40,000 genes para su funcionamiento, lo que sugiere que el DNA adicional podría estar relacionado con procesos reguladores aún desconocidos. Por ejemplo, la cantidad de DNA no codificante en los eucariotas puede variar desde 3 Mb, abarcando desde un 30% hasta casi el 100% del genoma. (Green, E, 2023).

Paradoja del valor de G y el valor de I

La información genómica ha revelado que no existe una relación directa entre el número de genes y la complejidad de un organismo, lo que ha dado lugar al concepto de la **paradoja del valor G** (número de genes por genoma haploide) y el **valor I** (medida de información codificada por el genoma). Este último busca incorporar el número efectivo de genes en un organismo, teniendo en cuenta fenómenos como el corte y empalme alternativos, las modificaciones postranscripcionales, las proteínas multidominio, la redundancia de genes y la interacción entre genes.

Han surgido explicaciones del comportamiento del valor de I , una de ellas sugieren una posible interacción coevolutiva entre el volumen del núcleo y el tamaño celular, donde la cantidad de DNA podría ajustarse como un mecanismo adaptativo ante cambios en el tamaño celular. Es probable que en los próximos años, con el avance de la investigación genómica, surjan nuevas evidencias que respalden estas u otras teorías para explicar la diversidad en el tamaño de los genomas de los organismos eucariotas (Hardison, s.f).

NOTA: Para más información puedes consultar el siguiente vídeo; “lee” el siguiente QR.



ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE

ACTIVIDAD 1

Instrucciones. De acuerdo con la lectura anterior, clasifica las siguientes oraciones marcando con una X, la columna según sea el caso si es exclusivo de genoma de procariontes, de genoma de eucariotas o es de ambos grupos.

ORACIÓN	Ambos (procariontes y eucariotas)	Solo procariontes	Solo eucariotas
Genoma formado por DNA			
Genoma organizado en cromosomas			
Cromosomas circulares			
Cromosomas lineales			
DNA extracromosómico			
Tamaño máximo de 1.0^6 pb			
Tamaño de hasta 10^9			
Presencia de plásmidos			
Presencia de genes estructurales			
Gran cantidad de DNA NO codificante			
El DNA codificante es de hasta un 85 %			

ACTIVIDAD 2

Instrucciones. De acuerdo a la lectura coloca el tamaño de los genomas de las siguientes especies y/o grupos de organismos.

Especie y/o grupo de organismos	Tamaño de su genoma
<i>Mycoplasma genitalium</i>	
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	
<i>Paris japonica</i>	
<i>Haemophilus influenzae</i>	
<i>Homo sapiens</i> (humano)	

ACTIVIDAD 3

Instrucciones.Relaciona los siguientes conceptos con su significado.

- 1 () medida de información codificada por el genoma. A. El valor C
- 2 () Son genes que siempre se expresan. B. Genoma
- 3 () es la totalidad de la información genética de un organismo, constituido por las secuencias de bases de todas las moléculas de DNA de una célula. C. Valor I
- 4 () Es la cantidad de DNA por genoma haploide. D. Valor G
5. () Es número de genes por genoma haploide. E. Genes constitutivos

REFERENCIAS

- Gallego, F., Fernández, A., (2019) Genómica y proteómica Pp: 13-17 Ed Síntesis
<https://goo.su/XML1n>
- Garcia, L. F. (2011). Genes y evolución el delgado hilo que nos conecta por miles de millones de años. *Acta Biológica Colombiana*, 16(3), 71–88.
<https://revistas.unal.edu.co/index.php/actabiol/article/view/20154>
- González, F. (2002) ¿Qué es el genoma? Mètode <https://goo.su/a1aCzxA>
- Green, E, (2023) concepto de genoma NHGCR <https://www.genome.gov/genetics-glossary/Genome>
- Hardison, R. (s.f) 4.5: Tamaños de genomas-la paradoja del valor de C Libretexts
<https://goo.su/NGyfGI0>
- Lamolle, G., Musto, H., (2018) Genoma humano. Aspectos estructurales. Anales de la facultad de medicina <https://goo.su/ZRro>
- López-López, M., López Gutiérrez, A. U., Sainz Espuñes, T. D., & Rosales Torres, A. M. (2005). ¿Qué sabe usted acerca de... Genómica?. *Revista Mexicana de Ciencias Farmacéuticas*, 36(1), 42-44. <https://goo.su/xrohFK>
- Mathews, C., Van, K., Ahern, K. (2004). *Bioquímica*. Pearson

TEMA II. Genética y biodiversidad: Replicación del DNA

Elaboró: Yazmín Anaín Mendoza Segovia

APRENDIZAJE: Reconoce que el proceso de replicación del DNA permite la continuidad de los sistemas biológicos.

Conceptos claves: Ácido desoxirribonucleico (DNA), semiconservativa, inicio, elongación, terminación, origen de replicación, cadena conductora y cadena rezagada.

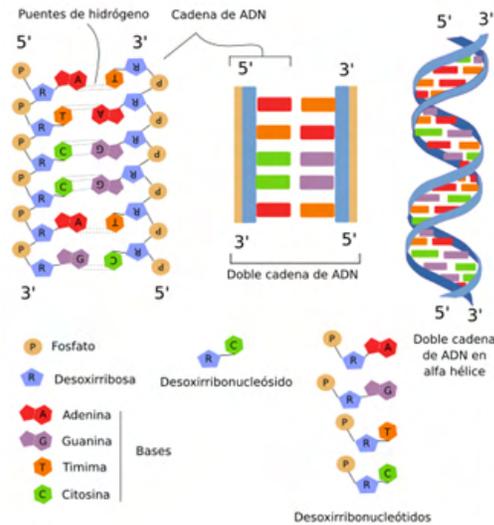
RESUMEN

La replicación es el proceso mediante el cual una molécula de DNA se duplica; se considera fundamental en la vida de la célula y es necesario que ocurra antes de la división celular para poder transmitir su información genética a las nuevas células hijas. Existen tres modelos que explican el proceso y uno de ellos es el conocido como replicación semiconservativa, el cual inicia en regiones conocidas como orígenes de replicación. Enseguida, se forman horquillas de replicación con forma de Y en los extremos opuestos de una burbuja de replicación, donde se separan las dos cadenas que servirán de molde para la síntesis del DNA; esta comienza cuando una primasa agrega un cebador y después la DNA polimerasa III cataliza la síntesis de nuevas cadenas de DNA, trabajando en la dirección 5'→ 3'. La cadena conductora se sintetiza en forma continua y la cadena discontinua lo hace en segmentos cortos, llamados fragmentos de Okazaki que posteriormente se unirán por medio de la DNA ligasa. Al final del proceso de replicación, se habrán formado dos moléculas de DNA, cada una de ellas constituida por una hebra original y otra recién sintetizada.

DESARROLLO DEL CONTENIDO

Estructura del ácido desoxirribonucleico (DNA)

Figura 48.
Molécula de DNA



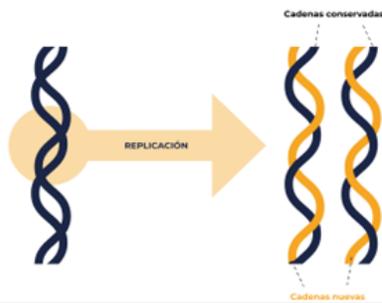
Nota. Fuente. Megías, M., Molist, P. y Pombal, M. (2019). Atlas de histología vegetal y animal. La célula. Recuperado (20 de marzo de 2023) de: <https://bit.ly/3Kr6qo0> CC BY-NC-SA 3.0.

Antes de describir el proceso de replicación, es importante recordar que el DNA está formado por dos cadenas de nucleótidos. La parte estructural de esta molécula está formada por la unión de las desoxirribosas con los grupos fosfato por medio de enlaces fosfodiéster, mientras que las bases nitrogenadas (A, T, G y C) se encargan de almacenar la información genética. Cada cadena tiene un extremo 5', llamado así porque presenta un grupo fosfato libre unido al carbono 5' del nucleótido y tiene un extremo 3' denominado así porque también presenta el grupo OH⁻ (hidroxilo) en la

posición 3' del nucleótido. La otra cadena corre en sentido contrario, del extremo 3' al extremo 5', donde este último representa el extremo terminal del fosfato y el 3' el extremo final del átomo de carbono del azúcar (De Erice y González, 2012). Los nucleótidos se mantienen unidos por enlaces de puente de hidrógeno entre las bases nitrogenadas, lo cual provoca que se pliegue, formando una estructura helicoidal (Oñate, 2010). En la figura 1 se ilustra lo descrito en este subtema.

Replicación del DNA

Figura 49.
Imagen ilustrativa del proceso de replicación



Nota. Fuente. Megía, R. (2021). *La replicación del ADN*. Genotipia. Recuperado (22 de marzo de 2023) de <https://bit.ly/3Kr6ao0> CC BY-NC-SA 3.0.

En la molécula de DNA se encuentra toda la información necesaria para el funcionamiento celular y la transmisión de las características distintivas de cada especie. Por ello, es importante que pueda ser copiado con fidelidad para ser repartido entre la progenie, ya sea para la generación de nuevas células que se regeneran o nuevos individuos de una especie, por eso se considera un proceso fundamental para la continuidad de la vida.

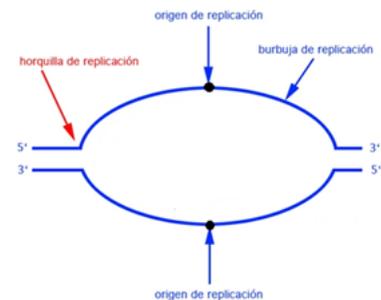
La generación de copias idénticas de material genético se le conoce como replicación o duplicación del DNA y se considera un proceso semiconservativo (Figura 2), ya que cada cadena del DNA actúa de molde para la síntesis de una nueva cadena, teniendo como resultado dos moléculas de DNA nuevas, cada una con una cadena nueva y otra vieja (García y Sánchez, 2015; Nelson y Cox, 2009).

El proceso de replicación se divide en tres fases: iniciación, elongación y terminación. Las propiedades fundamentales y los mecanismos utilizados por las diferentes enzimas que participan en el proceso de replicación del DNA son similares en todos los organismos, por lo que a continuación se describe este proceso en el procarionte *Escherichia coli* y se indicarán algunas características propias de este proceso en los organismos eucariotas (Nelson y Cox, 2009).

Iniciación

El **inicio** de la replicación de una molécula de DNA comienza en sitios especiales llamados **orígenes de replicación** (una secuencia específica de nucleótidos). En el caso de los procariontas como las bacterias, su cromosoma es circular y solo tiene un origen. Las proteínas que inician la replicación reconocen estas secuencias y se fijan al DNA, separando la doble cadena por medio de la enzima

Figura 50
Formación de la burbuja de replicación



Nota. Fuente. Tadeo, C. (2015). *Replicación del ADN*. Recuperado (01 de marzo de 2023) de: <http://bit.ly/3KPxLNA> (modificado) CC BY-NC-SA 3.0.

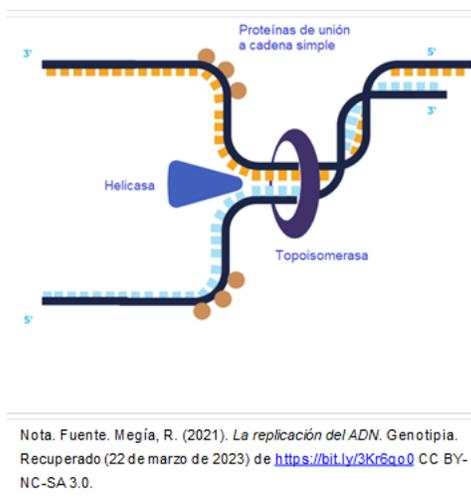
helicasa, la cual rompe los enlaces de hidrógeno entre pares de bases complementarias que mantienen unidas a las dos hebras. Con esto se separa y desenrolla la doble hélice original y se forma una “**burbuja**” de replicación, la cual en cada extremo posee una “**horquilla**” de replicación en donde se observa como el DNA original apenas comienza a desenrollarse (Figura 3).

En cambio, en un cromosoma lineal eucariota, puede haber cientos o miles de sitios de replicación, por lo que se crean múltiples burbujas que con el tiempo se

fusionarán (Campbell y Reece, 2007; Nelson y Cox, 2009).

Durante la separación de las cadenas de DNA se crea una tensión en su estructura helicoidal, la cual es relajada por acción de las **topoisomerasas**; en esta parte del proceso también son importantes las **proteínas de unión a cadena simple** que se unen a cada una de las cadenas, evitando así que se vuelvan a unir entre ellas (Figura 4, Nelson y Cox, 2009).

Figura 51
Representación de la iniciación de la replicación

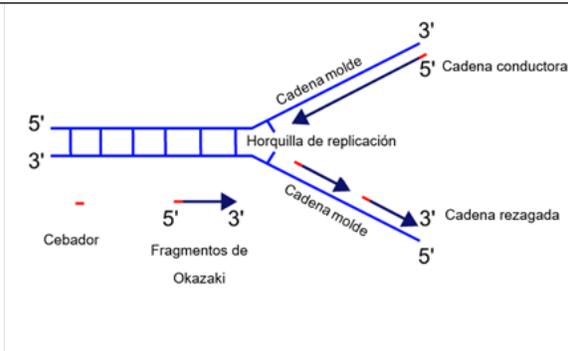


Nota. Fuente. Megía, R. (2021). *La replicación del ADN*. Genotipia. Recuperado (22 de marzo de 2023) de <https://bit.ly/3Kr6ao0> CC BY-NC-SA 3.0.

Elongación

En esta fase cada cadena de DNA sirve de molde para la síntesis de una nueva cadena. En este punto es importante recordar que las cadenas del DNA son antiparalelas, es decir, una de ellas tiene una dirección $5' \rightarrow 3'$ y la otra se encuentra en sentido contrario, $3' \rightarrow 5'$ (ver Figura 1). Sin embargo, la molécula encargada de la síntesis de la nueva cadena, únicamente trabaja en dirección $5' \rightarrow 3'$ para la formación de la nueva cadena; por lo tanto, la cadena que actúa de molde es leída en sentido $3' \rightarrow 5'$, por lo tanto ¿cómo pueden sintetizarse simultáneamente las dos cadenas si tienen sentidos opuestos? La respuesta a esta cuestión fue resuelta por Reiji Okazaki y colaboradores en 1960 cuando descubrieron que una de las cadenas nuevas se sintetizaba en fragmentos cortos denominados como DNA polimerasa III fragmentos de Okazaki; así que una de las cadenas es sintetizada de manera

Figura 52
Síntesis continua (cadena conductora y discontinua (rezagada) del DNA



Nota. Fuente. Liferder. (2022). *Horquilla de replicación*. Recuperado de (24 de marzo de 2023) de <https://bit.ly/45JElwv>.

continua (cadena conductora) y la otra de forma discontinua (cadena rezagada). La síntesis de la cadena conductora es más simple e inicia con la síntesis de un cebador (un fragmento corto de RNA), el cual es formado por una enzima llamada RNA primasa; enseguida la DNA polimerasa III se une al cebador y comienza a agregar nucleótidos¹ complementarios a la cadena molde de manera continua, al

mismo ritmo que se va desenrollando el DNA en la horquilla de replicación. En cambio, en la cadena rezagada, cada fragmento de Okazaki deberá tener un cebador (Figura 5). Otra enzima, la DNA polimerasa I, cambiará los nucleótidos de RNA de los cebadores por nucleótidos de DNA. Sin embargo, la DNA polimerasa I no puede unir el nucleótido final de este segmento de DNA de reemplazo al primer nucleótido del ADN del fragmento de Okazaki y es aquí, donde interviene la DNA ligasa uniendo los fragmentos en uno solo (Campbell y Reece, 2007; Nelson y Cox, 2009).

Terminación

El proceso de replicación finaliza en procariotas, cuando las dos horquillas de replicación del cromosoma circular se encuentran y la DNA polimerasa III encuentra una secuencia de terminación (Campbell y Reece, 2007; Nelson y Cox, 2009). En el caso de los eucariontes, que cuenta con múltiples burbujas de replicación, la DNA ligasa unirá todos los fragmentos de DNA hasta que la hebra nueva conste de un polímero largo y continuo, el proceso será finalizado cuando los cromosomas lineales eucariotas sintetizan unas estructuras lineales llamadas telómeros (Audesirk et al., 2013).

Puntos clave del proceso de replicación del DNA

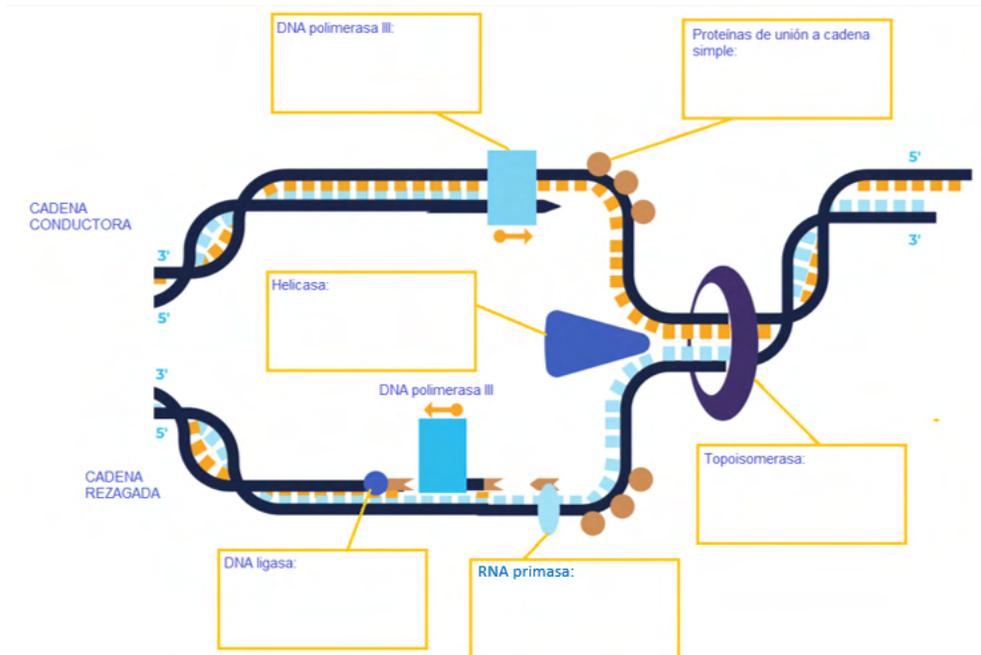
A continuación, se destacan algunos puntos relevantes del proceso de duplicación del DNA:

1. La replicación se inicia en uno (en procariotas) o varios puntos de iniciación (en eucariotas).
2. Las dos cadenas que integran el DNA sirven como molde para que se forme una hebra complementaria.
3. La replicación es discontinua y bidireccional. Esto se debe a que las dos cadenas tienen trayectorias opuestas.
4. Los nucleótidos se unen uno por uno de acuerdo con la complementariedad de bases: adenina con timina y guanina con citosina. Si una de las hebras tiene, por ejemplo, A-T-G, la otra hebra debe tener T-A-C.
5. La cadena de DNA no puede iniciarse por sí sola, requiere de un cebador.
6. Requiere del trabajo de varias proteínas, en su mayoría enzimas.
7. Es un proceso semiconservativo; esto es, la doble hélice recién formada estará constituida por una hebra original y otra recién sintetizada.

ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE

ACTIVIDAD 1

Instrucciones. Describe brevemente, dentro del recuadro, la función de cada una de las moléculas señaladas en la imagen en el proceso de replicación.



Nota. Fuente. Megía, R. (2021). La replicación del ADN. *Genotipia*. Recuperado (22 de marzo de 2023) de <https://bit.ly/3Kr6qo0> CC BY-NC-SA 3.0.

ACTIVIDAD 2

Instrucciones. Escanea el siguiente código QR y revisa el proceso de replicación. Enseguida, organiza en orden progresivo (utilizando los números del 1 al 6) los enunciados que describen la síntesis de la cadena conductora.



El DNA polimerasa comienza a agregar nucleótidos complementarios a () medida que avanza a lo largo de la cadena molde.

Las proteínas de unión a cadena simple (SSBs) se unen a cada una de () las cadenas con la finalidad de evitar que se vuelvan a unir entre ellas y se forme una burbuja de replicación.

La RNA primasa agrega un cebador (un fragmento corto de RNA) que () proporciona un extremo 3' libre para que se enlace la DNA polimerasa.

Se desarrolla y se abre la hélice de DNA por acción de la enzima () helicasa que rompe los puentes de hidrógeno.

La DNA ligasa une los fragmentos de DNA de las múltiples burbujas de () replicación.

Otro tipo de DNA polimerasa reemplaza el cebador de RNA por DNA. ()

ACTIVIDAD 3

Instrucciones. A partir del texto leído y de una búsqueda en diversas fuentes de información, completa el siguiente cuadro comparativo entre el proceso de replicación entre organismos procariotas y eucariotas.

	Procariota	Eucariota
Sitio en el que se realiza		
Forma del cromosoma		
Origen de replicación		
Tipos de polimerasas que participan		
¿Cómo finaliza el proceso?		
¿Se presenta síntesis de telómeros?		

REFERENCIAS

- Audesirk, G., Audesirk, T. y Audesirk, B. (2013). *Biología. La vida en la Tierra*. Pearson.
- Campbell, A., Mitchel, L. y Reece, J. (2001). *Biología, conceptos y relaciones*. Pearson Educación.
- Megías, M., Molist, P. y Pombal, M. (2019). *Atlas de histología vegetal y animal*. La célula. <http://bit.ly/3nQsmkP>.
- Megía, R. (2021). *La replicación del ADN*. Genotipia. <http://bit.ly/3nYIRN0>.
- Oñate, L. (2010). *Biología I*. Cengage Learning Editores.
- Tadeo, C. (2015). *Replicación del ADN*. <http://bit.ly/3KPXLNA>

Tema II. Genética y Biodiversidad: síntesis de proteínas

Elaboró: María Isabel Velázquez Nieto

Aprendizaje: El estudiante **identifica los procesos** de transcripción, procesamiento y traducción genética como bases de la expresión génica en la síntesis de proteínas.

Conceptos clave: DNA, mRNA, transcripción, rRNA, tRNA, aminoácido, polipéptido, traducción.

RESUMEN

Las proteínas son el grupo de moléculas más grande y compleja de los compuestos químicos que sintetizan las células, desarrollan diversas funciones como, estructura, reconocimiento, transformación, entre otras. Estas se forman por la unión variable de 20 aminoácidos a partir de un código genético (tripleto de nucleótidos). La unión y organización de estos aminoácidos ocurre a través del mecanismo llamado de transcripción, donde participan la transferencia de información genética desde el DNA al RNA, la cual ocurre en el citoplasma de las células procariontes y en células eucariontes dentro del núcleo, seguido de la traducción, el cual acontece en el interior de la célula, al reunirse el RNA ribosomal (rRNA), el ARN mensajero (mRNA) y el ARN de transferencia (tRNA) para organizar el código genético en tripletes formando un codón, que será leído por un anticodón para ser traducido a un aminoácido y formar la cadena polipeptídica.

DESARROLLO DEL CONTENIDO

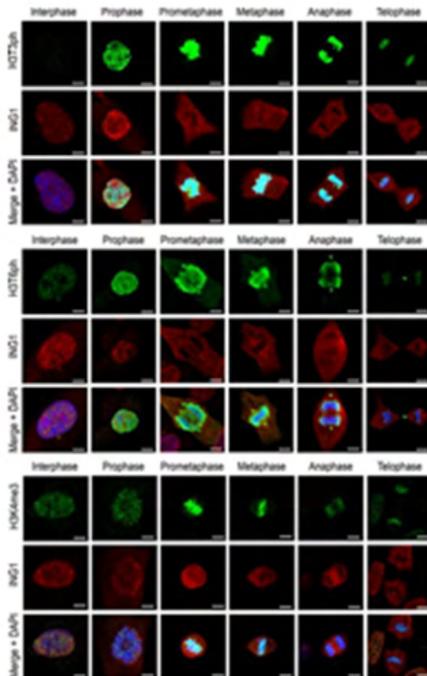
La expresión génica de los sistemas biológicos se da en las Proteínas.

Las proteínas¹ que se observan en la figura 53 son los motores de batalla moleculares de las células, encargadas de construir componentes celulares y llevar a cabo las reacciones bioquímicas necesarias. Hoy cada célula tiene un juego

¹ [1] Retomar el Tema I. Bases moleculares del metabolismo: Carbohidratos, lípidos, proteínas y nucleótidos.

Figura 53

Células en diferentes fases del ciclo celular con marcaje en diferentes colores de las histonas modificadas y el ADN.



Nota: Silveyra, M., Evin, G., Montenegro, M., Vidal, C., Martínez, S., Culvenor, J., & Sáez-Valero, J. (2008, 27 de marzo). [Fotografía] Co-localización celular de Preselina 1 (rojo) y acetilcolinesterasa (verde) obtenida por microscopía con focal se muestra en amarillo. 28(9), 2908–2919. <https://doi.org/10.1128/MCB.02065-07>

específico de proteínas cuyas actividades determinan la forma, los movimientos, la función y la capacidad de reproducción de la célula. Las proteínas son moléculas que se forman por la unión de un número variable (21 tipos) de aminoácidos, la combinación de estas pequeñas moléculas origina una extraordinaria variación de proteínas, lo que explica el alto tipos de funciones que realizan en la célula. En la membrana celular aparecen proteínas con una gran diversidad de funciones entre las que destacan, las que reconocen las sustancias existentes en el medio externo y las de regular el paso de sustancias a través de la membrana, en el medio interno celular las proteínas forman un intrincado sistema reticular de filamentos y microtúbulos que determinan su forma y pueden prolongarse hacia el exterior construyendo cilios y flagelos que facilitan el desplazamiento de la célula, también actúan como vías de comunicación (Jimeno, et al. 2000).

La función de cada proteína se define según su estructura molecular y composición exacta, su

localización dentro de la célula a la que pertenece y su participación en un determinado proceso biológico, la cual queda cifrada dentro del ADN.

Un ejemplo de la función de las proteínas llamadas histonas, lo muestran las investigaciones que han realizado los científicos del Centro Nacional de Biotecnología del CSIC, ellos han analizado las modificaciones va sufriendo la histona la histona llamada H3: la adición de fosfato en H3T3, H3T6 y la triple metilación en H3K4. durante la división celular.

La información genética

La información genética está escrita como codones que se traducen en secuencias de aminoácidos.

Para comprender cómo la información genética pasa de ser una secuencia de nucleótidos, lenguaje químico de la molécula de ADN a traducirse a un lenguaje químico de polipéptidos, en otras palabras, la información genética pasa del genotipo al fenotipo, esto ocurre por los **procesos de transcripción y la traducción**.

Transcripción

Jimeno (2000) y Audesirk (2003). Presentan a la transcripción como un proceso de las células que ocurre en el citoplasma de las células procariotas y en el núcleo de las células eucariotas, los elementos implicados para este proceso son el ADN, unidad de transcripción -caja TATA-, factores de transcripción: TFIID, TBP, TFIIA, TFIIB, región potenciadora, ARN primasa, ARN polimerasa, ATP, complejo de transcripción maduro, ARNm, capucha metilada CH₃; factores de escisión (como AAUAAA); polimerasa A; exones, intrones; cola poliA; pre-ARNm; ARNm maduro.

El proceso de transcripción consiste, en producir una copia de una secuencia de nucleótidos (llamados genes) de una hebra de la molécula del ADN a un transcrito de ácido ribonucleico mensajero ARNm.

Para producir el transcrito, un complejo de transcripción copia de la cadena 5´- 3´ del ADN, al transcrito pre-ARNm, a través, de tres etapas, inicio, elongación y terminación, este transcrito madura para iniciar la traducción, por medio del proceso de corte intrones y empalme de exones, por un complejo enzimático llamado espleisosoma.

La traducción

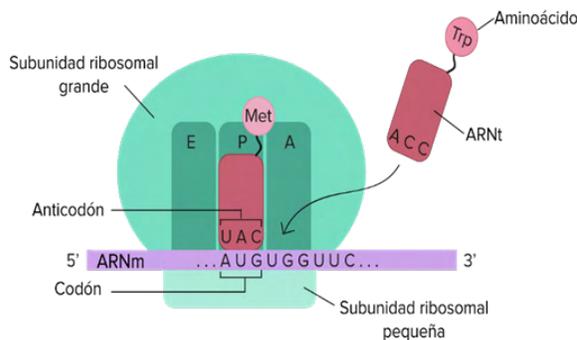
La traducción o biosíntesis de proteínas es un proceso que ocurre en los ribosomas de las células procariotas y de las células eucariotas.

En la traducción, el ARNm es decodificado por los ribosomas para sintetizar proteínas. El código genético se lee en grupos de tres nucleótidos llamados

codones. Según Alberts et al. (2008), el inicio de la síntesis de proteínas es señalado por el codón AUG, que codifica para el aminoácido metionina. La subunidad ribosómica grande se une en la subunidad pequeña y se recluta un segundo ARNt. A medida que la ARNm se mueve en relación con el ribosoma se forma una cadena polipeptídica y la entrada de un factor de liberación en el sitio finaliza la traducción y los componentes se disocian

Figura 54

Ensamblaje de ribosomas



Nota. Fuente: Traducción [ARNm a proteína], (2023). Khan Academy. Fundación Carlos Slim. <https://youtu.be/kkpHy7nH3Dk>

Karp, (2008) y Audesirk especifican que a medida que los ribosomas avanzan a lo largo del mRNA, van añadiendo aminoácidos a la cadena polipeptídica hasta completar la proteína. En la síntesis de proteínas participan varios tipos de RNA (rRNA, tRNA y enzimas), que trabajan en conjunto para asegurar la correcta traducción de la información genética en proteínas.

El ribosoma proporciona un conjunto de espacios útiles o huecos dónde los RNA de transferencia pueden encontrar sus codones correspondientes en la plantilla del RNA mensajero y entregar sus aminoácidos. Estos huecos se llaman sitios E, P y A.

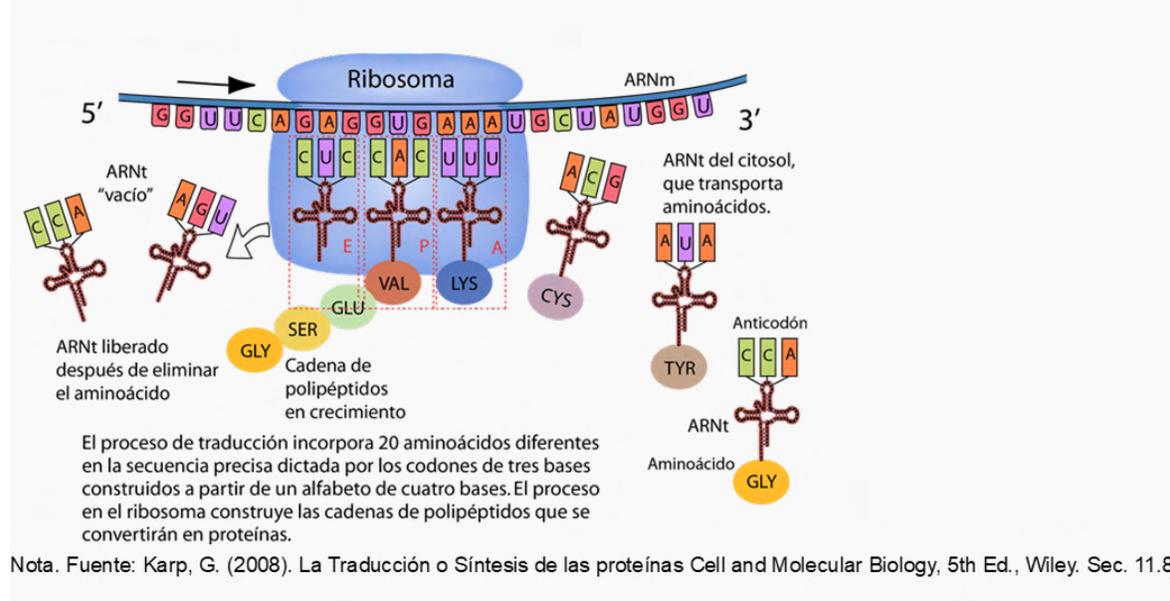
Además, el ribosoma actúa como enzima catalizadora de la reacción química que une los aminoácidos para formar una cadena.

Campbell, (2001) y Karp, (2006). Exponen que la siguiente imagen representa lo que implica el proceso de traducción, que está dividido en las etapas de iniciación, elongación y terminación. La iniciación implica que, tres de los factores de iniciación ayudan a unir el mRNA a la subunidad pequeña de los ribosomas con la subunidad

grande. La unión en la ubicación correcta utiliza el codón de iniciación AUG en el ARNm. La fase de elongación, o de adición de otros aminoácidos a la cadena polipeptídica en construcción, se puede lograr en aproximadamente en 1/20 segundos, hoy por lo que una proteína de 400 unidades podría ser generada en unos 20 segundos. Aluden que la mayor parte de este tiempo la célula lo utiliza en hoy el muestreo de los tRNA portadores de aminoácidos en el citosol, para lograr una coincidencia de codón-anticodón a lo largo del patrón del mRNA.

Figura 55

Proceso de traducción

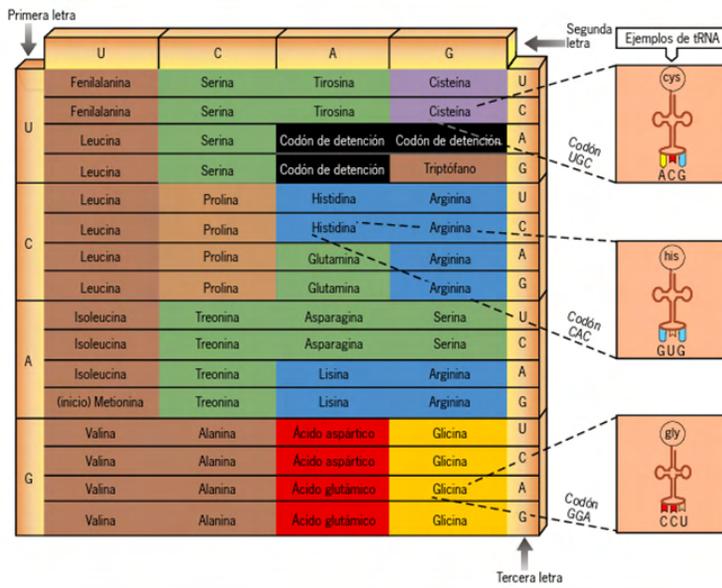


El código genético

La siguiente figura muestra el código genético, donde se puede observar 61 de los 64 tripletes que codifican para aminoácidos, el triplete AUG cuenta con función iniciadora al aminoácido metionina y da la señal para iniciar la cadena polipeptídica. Tres de los codones marcados en negro dan instrucciones a los ribosomas para que termine el polipéptido, algunos aminoácidos tienen varios tripletes que generalmente difieren en un solo nucleótido, por ejemplo, UAU, UAC que se traducen a aminoácido Tirosina y de forma semejante el UUU y UUC que especifican para el aminoácido Alanina. A esto se le denomina degeneración del código genético y representa la información para formar los péptidos, Campbell, 2001 y Karp, 2006.

Figura 56

Código genético



Nota. Figura: Fuente Karp (2006). Sección 11.7, p 457

ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE

ACTIVIDAD 1

Instrucciones. En los siguientes videos (escanea cada uno de los QR)



En ellos identificarás cómo ocurre el proceso de transcripción y reconocerás la acción de cada uno de los elementos implicados, posteriormente realizas las siguientes indicaciones:

- Dibujar cada uno de los elementos implicados en este proceso y nombrarlos.
- En el dibujo que realizaste nombra cada una de las etapas del proceso.

ACTIVIDAD 2

Instrucciones. Identifica a qué tipo de ácido nucleico es, complementando las siguientes secuencias de nucleótidos:

1. 5' ... CCGATC ...3'

_____ es _____

2. 3' ... GGATCC... 5'

_____ es _____

3. 3' ...UACCGA ... 5'

_____ es _____

4. 5'... ACCGGC ... 3'

_____ es _____

ACTIVIDAD 3

Instrucciones. De los siguientes pares de cadenas de información genética, ¿cuál es la cadena de DNA y cuál la cadena de RNA?

5'ACA GTA TTC TAC AAG ATC-3' -ACA GTA TTC TAC

1. RNA
2. DNA

5'-UGU CAU AAG AUG UUC UAG-3'

1. RNA
2. DNA

5' - CGC AAC AGA AGUA CGG AAC – 3'

1. RNA
2. DNA

5'GCG TTG TCT TCA GCC TTG-3'

1. RNA
2. DNA

ACTIVIDAD 4

Instrucciones. Realiza las siguientes actividades tomando en cuenta lo que se te pide en cada etapa

a. En el siguiente espacio, nombra los elementos que intervienen en el proceso de traducción.

b. En el siguiente espacio, describe la función de cada uno de estos elementos.

c. Supongamos que la hebra de ADN:

3'... AATACAAAT ...5'. Durante la transcripción de esta hay un error de tal manera que frente al nucleótido C se sitúa otro de citosina, en lugar de una G. ¿Se modificará la secuencia peptídica codificada por esa hebra de ADN?

d. ¿Cuál es la secuencia de un segmento de ADN de doble hélice que ha servido de molde para sintetizar el siguiente ARNm?

e. Indica qué tripletes de mRNA, codifica para Glicina
¿Cuál es la secuencia de un segmento de ADN de doble hélice que ha servido de molde para sintetizar el siguiente ARNm: 5'..., AUCCUCAUG ...3'?

f. Un mRNA, con información para una proteína, es traducido por 8 ribosomas. Determina el número de veces que deberá ser transcrito dicho gen para que se formen 600 moléculas de proteína.

g. ¿Cuántas secuencias diferentes de DNA llevan información para la síntesis del polipéptido H₂N-Gly- Cys- Gly – Ala -Ser- COOH?

REFERENCIAS

Alberts, B., Johnson, A., Lewis, J., Raff, M., Roberts, K., & Walter, P. (2008). *Biología Celular y Molecular conceptos y experimentos*. Omega.

Audesirk, T. y Audersirk, G. y Byers B. (2003). *Biología*. 6ª Ed. Prentice Hall International.

Curtis, H., Barnes, S., Schnek, A., Massarini, A. (2021) *Biología: en contexto social* (8a ed.). Editorial Médica Panamericana.

Jimeno, J., Ballesteros, M. y Ugedo, L. (2003). *Biología*. (1ra Ed mexicana.). Editorial Santillana

Karp, G. (2008). *La Traducción o Síntesis de las proteínas Cell and Molecular Biology*, 5th Ed., Wiley. Sec. 11.8.

Fuentes complementarias

Rodríguez, S. (2020-2021). *Transcripción Curso material de apoyo: Bioquímica General FQ-UNAM*. Consultado el 20 de marzo en

https://sitios.quimica.unam.mx/departamento/proteinas/Lic/new/mol_biol/4_t_ranscrip_22/siframes.html

Síntesis de proteínas

https://uapas1.bunam.unam.mx/ciencias/sintesis_de_proteinas/

Transcripción ciencia UNAM

<https://www.rua.unam.mx/portal/recursos/ficha/84070/transcripcion>

<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/Organic/translation.html>

Animation 8 Translation, (2014). *Molecular Biology: Principles of Genome*

Function. 2 Edition. Oxford University Press. Consultado el 18 de marzo en

https://youtu.be/8Hsz_Vmcy-Y

Traducción (ARNm a proteína), (2023). Khan Academy. Fundación Carlos Slim. Consultado el 23 marzo en <https://youtu.be/kkpHy7nH3Dk>

Tema II. Genética y Biodiversidad: Transmisión y Expresión génica.

Elaboró: Leticia Martínez Aguilar

Aprendizaje: Comprende que la expresión génica se explica a través de diferentes modelos de herencia y su relación con el ambiente.

Conceptos clave: Gen, Alelo, Cromosomas autosómicos, Dominancia, Recesividad, Alelos múltiples, Herencia ligada a cromosomas sexuales, Herencia mitocondrial, Cromosomas sexuales, Expresividad, Penetrancia, Pleiotropía.

RESUMEN

La expresión de los genes es fundamental para la transmisión de características hereditarias a través de la descendencia. Para comprender este proceso, se han propuesto diferentes modelos explicativos, entre ellos la dominancia/recesividad, los alelos múltiples, los genes ubicados en los cromosomas sexuales y la herencia de los genes localizados en las mitocondrias y cloroplastos. Estas formas de expresión génica pueden ser influenciadas por factores ambientales, por fenómenos como la penetrancia y la expresividad. Además, puede darse un efecto pleiotrópico, es decir, un gen puede tener múltiples efectos en diferentes características o sistemas biológicos.

DESARROLLO DEL CONTENIDO

Gregor Mendel, «llamado padre de la genética» nos definió las leyes de Mendel que son explicadas en la figura 1. Estos trabajos fueron la base para otros investigadores describieran otros patrones de herencia que rigen la transmisión hereditaria de características, generación tras generación, de diferentes caracteres; estos patrones se clasifican en función del cromosoma implicado si son autosómicos es *herencias autómica* y si son sexuales es *herencia ligada al sexo*.

Modelos de herencia monogénica dominante y recesiva

A partir de los descubrimientos de Mendel resumidos en la figura 57 se inició el estudio de la expresión de los genes en los organismos, los patrones de herencia mendeliana; que se refiere al tipo de herencia de genes que presentan dos formas alternativas o alelos 2 alelos y que se ubican en cromosomas autosómicos.

El primer patrón hace referencia al rasgo dominante, el cuál para expresarse en la descendencia solo requiere de una sola copia del alelo dominante para expresar el rasgo, pudiendo ser heterocigoto u homocigoto.

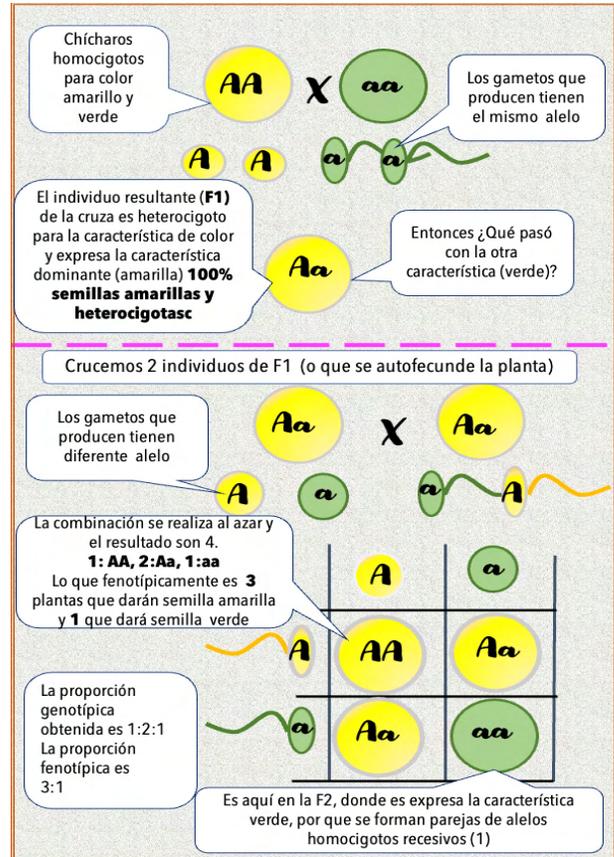
En el segundo patrón de herencia es del recesivo, donde para expresar la característica es necesario que estén los dos alelos es decir que sean homocigotos; en la figura 57 se muestran las posibles combinaciones de los alelos de un gen, con este patrón hereditario.

Genes letales

Las variantes alélicas de un gen no solo pueden establecer distintos tipos de relación entre sí, sino también reducir (o aumentar) la supervivencia de los individuos, incluso provocando su muerte, en fases tempranas o tardías del desarrollo (letalidad). Este efecto sobre la viabilidad complica el análisis mendeliano, ya que modifica en muchos casos las proporciones esperadas.

El efecto más drástico sobre la *supervivencia* se da en el caso de que un alelo dado sea letal para el individuo en donde se encuentra, la letalidad de un gen puede ser

Figura 57
Ejemplo hipotético de leyes de Mendel



Nota. Aguilar, L. (2023) Representación de cruces de diferentes tipos de plantas de chícharo [imagen] colección personal CC-BY 4.0

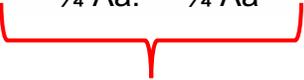
dominante cuando en heterocigosis provoca la muerte del individuo portador: Muchos alelos letales dominantes actúan en fases tempranas del desarrollo, por lo que son eliminados y no pasan a la siguiente generación, pero los otros lo hacen tardíamente como el caso de la enfermedad de Huntington en la especie humana.

Los alelos letales pueden ser letales debido a

-Tener un efecto fenotípico morfológico dominante sobre el alelo normal como el gen para pelaje amarillo en los ratones.

-Siempre se encuentran en heterocigosis.

-Al cruzar dos heterocigotos, aparece una proporción especial en la descendencia; por ejemplo en los ratones de pelaje amarillo depende del alelo de un gen que es dominante sobre el alelo normal (que condiciona el pelaje agutí): Siempre que se crucen dos ratones de pelaje amarillo, encontraremos la descendencia ratones de pelaje agutí.

P:	pelaje amarillo	X	pelaje amarillo	
GENOTIPO:	Aa.		Aa	aa
F1:	$\frac{1}{4}$ AA	$\frac{1}{4}$ Aa.	$\frac{1}{4}$ Aa	$\frac{1}{4}$ agutí
				
	MUERE	2/3 pelaje amarillo		1/3 pelaje agutí.

Siempre que se crucen ratones amarillo y agutí, tendremos:

P: pelaje amarillo X pelaje agutí

F1. $\frac{1}{2}$ pelaje amarillo. $\frac{1}{2}$ pelaje agutí.

No se podrá obtener organismos homocigotos para el carácter pelaje amarillo.

Lo anterior también ocurre con rasgos hereditarios recesivos, que en homocigosis en la descendencia, los individuos que los presentan no son viables y mueren en alguna etapa del desarrollo.

Modelo hereditario de alelos múltiples

Se encontró que hay características en muchos mamíferos exhiben más de dos alternativas, como en los grupos sanguíneos ABO, en estos casos el carácter puede estar determinado y controlado no solamente por un par de alelos de un gen, sino por varios alelos del mismo gen (tres o más alelos pueden ocupar un mismo

locus aunque en cada organismo solo se encuentran presentes dos de ellos), como en el caso del color del pelaje de los conejos figura 58, que está determinado por cuatro alelos (C, c^{ch} , c^h y c), resultado de mutaciones diferentes en solo gen.

El alelo C determina una coloración oscura o agutí.

El alelo c^{ch} determina color de pelo gris claro o Chinchilla.

El alelo que determina el pelaje blanco con extremidades negras o Himalaya.

El alelo c determina los conejos albinos.

En el caso de los alelos múltiples, la simbología cambia con respecto a los de dominancia y recesividad. Por convención se suele utilizar la letra que caracteriza al gen dominante, en el caso del pelaje de los conejos la C y los demás alelos en minúscula con superíndices que indican el alelo de que se trata. Otro ejemplo, clásico

también, de alelos múltiples lo constituye el caso que vimos con anterioridad del sistema ABO de tipos sanguíneos del humano, en el que intervienen tres alelos del mismo gen: I^A , I^B e i representada en la figura 4, aquí además existe codominancia. En algunos casos, varios genes pueden contribuir a aspectos de un fenotipo común sin que sus productos genéticos interactúen directamente. En el caso del desarrollo de órganos, por ejemplo, los genes pueden expresarse secuencialmente, con cada gen aumentando la complejidad y especificidad del órgano. Los genes pueden funcionar de manera complementaria o sinérgica: dos o más genes deben

Figura 58.
Alelos múltiples de un gen



Nota. Aguilar, L. (2023) Patrón de colores de pelo de los conejos, producto de la interacción de alelos del mismo gen [imagen]. Colección personal CC-BY 4.0

Figura 59
Sistema ABO de la sangre en humanos

FENOTIPO	GRUPO SANGUINEO	GENOTIPOS
	GRUPO A	$I^A I^A, I^A I^O$
	GRUPO B	$I^B I^B, I^B I^O$
	GRUPO AB	$I^A I^B$
	GRUPO O	$I^O I^O$

Nota. Aguilar, L. Representación fenotípica y genotípica de grupo sanguíneo sistema ABO [imagen] CC-BY 4.0

expresarse simultáneamente para afectar a un fenotipo. Los genes también pueden oponerse entre sí con un gen que modifica la expresión de otro.

Modelo hereditario de cromosomas sexuales y herencia ligada al sexo.

El descubrimiento de Thomas Hunt Morgan en 1910 de este patrón fue en las moscas *Drosophila melanogaster* donde las hembras tienen dos cromosomas sexuales XX y machos tienen los cromosomas sexuales X e Y; el gen para el color de ojos fue uno de

los primeros rasgos vinculados al cromosoma X. Los caracteres cuyos genes se localizan en la región diferencial del cromosoma X y del Y se denominan ligados al sexo.

En las moscas de la fruta, el color de los ojos de tipo salvaje es rojo (X^W) es dominante sobre el color de los ojos blancos (X^w). Debido a que este gen del color de los ojos se encuentra solo en el cromosoma X, las cruces recíprocas no producen las mismas proporciones de descendencia; siendo los machos son hemicigotos, porque solo tienen un alelo para cualquier característica ligada al cromosoma X. La *hemicigosidad* hace que las descripciones de dominancia y recesividad sean irrelevantes para los

Figura 60. Análisis de rasgo color de ojos de *Drosophila melanogaster* utilizando Cuadro de Punnet

			
	$X^W Y$	$X^W X^W$	
	Gametos femeninos X^W		Todas las hembras de la descendencia tienen ojos rojos
Gametos masculinos	X^W		
	Y		
	$X^W X^W$	$X^W X^W$	Todos los machos de la descendencia tienen ojos blancos
	$X^W Y$	$X^W Y$	

Nota. Aguilar, L. Representación de la cruce de moscas de la fruta *Drosophila melanogaster* hembras (♀) y machos (♂) [imagen] CC-BY 4.0

machos **XY** porque cada macho solo tiene una copia del gen. Por el contrario, las hembras tienen dos copias alélicas de este gen y pueden ser $X^W X^W$, $X^W X^w$ o $X^w X^w$ como se puede observar en la tabla 5 que representa la cruce de un macho ojos rojos y una hembra ojos blancos y las posibles combinaciones de alelos en su descendencia que dependen del sexo.

Muchos organismos eucariotas el sexo se hereda de acuerdo al esquema de un *cruzamiento de prueba* entre un heterocigoto (o sexo heterogamético) y un homocigoto (o sexo homogamético) que da lugar a una proporción 1:1 de los sexos, aunque hay excepciones. En muchos casos la herencia ligada al sexo y en gran medida la proporción 1:1, de los sexos, depende de la existencia de una pareja de heterocromosomas o cromosomas sexuales. Observe la tabla 1 donde se presentan las formas más frecuentes de determinación cromosómica del sexo.

Por tanto los individuos homogáméticos pueden ser homocigotos para los genes situados en el cromosoma X (o Z) mientras que los individuos heterogaméticos son hemocigotos, ya que no suele haber genes homólogos en el cromosoma Y (o W).

Los cromosomas sexuales (X, Y o Z, W) presentan una zona más o menos grande homóloga entre el complementario, lo que les permite emparejarse (establecer sinapsis) y segregarse correctamente hacia las células hijas, por ejemplo en la especie humana la región homóloga es muy pequeña (5% de la longitud del cromosoma Y).

Tabla 5. Representación de los tipos más frecuentes de determinación cromosómica del sexo

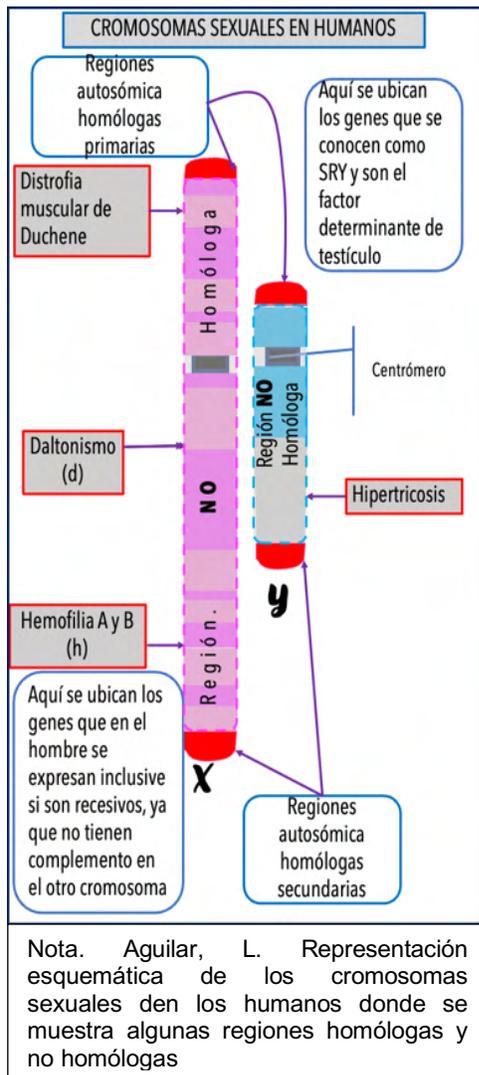
CROMOSOMAS	ORGANISMOS	SEXO MASCULINO	SEXO FEMENINO
X e Y	mamíferos	XY	XX
X	saltamontes	XO	XX
Z y W	aves	ZZ	ZW

Nota. Aguilar, L. elaboración propia

Herencia holandrica/hologónica

La herencia holandrica se da en genes situados en la región exclusiva del cromosoma Y, por lo que se transmitirá solo por vía masculina. La herencia hologónica se da en genes situados exclusivamente en el cromosoma W, por lo que el gen se transmitirá sólo por vía femenina.

Figura 61 Anatomía de los cromosomas sexuales de humanos



Esto mismo ocurre en humanos cuando se habla de los genes presentes en la región no homóloga del cromosoma **X** y **Y**; en sexuales del humano, tienen regiones homólogas y regiones no homólogas; aquí encontramos información que veremos el patrón que siguen.

Gran parte del cromosoma **X** lo conforma una región diferencial, que porta los genes exclusivos de **X** (caracteres ginándricos), y la gran mayoría del cromosoma **Y** porta los genes exclusivos de **Y** (caracteres holándricos). Herencia recesiva ligados a cromosomas **X** se expresan en las mujeres únicamente si existen dos copias del gen (una en cada cromosoma **X** para que el rasgo o trastorno se exprese, Por ejemplo, una mujer puede ser portadora de un gen recesivo en uno de sus cromosomas **X** sin saberlo y transmitírselo a su hijo, que expresará al rasgo o el trastorno. Entre los ejemplos de trastornos recesivos en el cromosoma **X** son el daltonismo y la hemofilia provocados por el gen

recesivo situado en el segmento no homólogo del cromosoma **X**. Recalcamos que para que una mujer desarrolle la enfermedad debe ser homocigota recesiva.

Modelo de herencia mitocondrial

El núcleo no es el único organelo que lleva material genético en una célula eucariota, en el citoplasma se encuentran las mitocondrias y cloroplastos, y suelen heredarse de un solo progenitor, por lo tanto, los rasgos por DNA mitocondrial (mtDNA) y DNA de cloroplastos (cpDNA) presentan herencia uniparental. En animales, el mtDNA se hereda casi con exclusividad del progenitor femenino. La herencia paterna de orgánulos es frecuente en las gimnospermas (coníferas) y en

pocas angiospermas (plantas con flores). Incluso, algunas plantas muestran herencia biparental de mtDNA y cpDNA.

Una mutación que aparece en el DNA de estos organelos genera una mezcla de organelos dentro de la célula, algunos con la secuencia de DNA mutante y otros con la secuencia de DNA silvestre u original. La aparición de dos variedades distintas de DNA dentro del citoplasma se denomina heteroplasmia: Cuando se divide una célula heteroplásmica, los organelos se segregan de manera aleatoria entre las dos células de la progenie en un proceso conocido como segregación replicativa, y al azar determina la proporción de organelos mutantes de cada célula. La homoplasmia es cuando por azar una célula recibe solo organelos de un solo tipo mutantes o silvestres.

Las mitocondrias y cloroplastos contienen un escaso número de genes; por ejemplo, en los seres humanos hay aproximadamente 23 000 genes en el genoma nuclear y 37 en el cromosoma mitocondrial . Los genomas de los plastidios son alrededor de cinco veces más grandes que el de las mitocondrias. Varios genes de los orgánulos citoplasmáticos son importantes para su ensamble y su función. Es importante mencionar, que este tipo de herencia no tiene una nomenclatura determinada.

Los fenotipos de las mutaciones del DNA de los orgánulos reflejan sus funciones. Por ejemplo, en las plantas y en algunos protistas fotosintéticos, ciertas mutaciones de los genes de los plastidios afectan las proteínas que ensamblan las moléculas de clorofila a los fotosistemas y dan como resultado un fenotipo esencialmente blanco en lugar de verde.

Las mutaciones de los genes de las mitocondrias, que afectan uno de los complejos de la cadena de transporte de electrones, dan como resultado menor producción de ATP. Estas mutaciones tienen efectos especialmente notables en los tejidos con altas demandas energéticas, como el sistema nervioso, los músculos y los riñones. Las alteraciones que resultan de variaciones en el ADN mitocondrial pueden aparecer en cada generación de una familia y pueden afectar tanto a hombres como a mujeres, pero los padres no transmiten estos trastornos a sus hijas o hijos.

Expresión génica y su interacción con el ambiente.

El fenotipo de un individuo no es el resultado solo de su genotipo. El genotipo y el ambiente interactúan determinando el fenotipo del organismo. Las variables ambientales, como la luz, temperatura y la nutrición, pueden afectar la expresión de un genotipo como de un fenotipo. La penetrancia de un gen describe la probabilidad de que la característica visible que el gen controla –el fenotipo– se manifieste en la persona que es portadora del gen.

Las alteraciones genéticas heredadas de penetrancia alta pueden ser perjudiciales sin apenas necesidad de que concurren factores externos, aunque sí participan factores endógenos. En cambio, las alteraciones de baja penetrancia necesitan, para manifestarse, la participación de otros procesos, fundamentalmente ambientales.

Las interacciones con el medio ambiente son *intrínsecas* al modo de actuación de los genes de baja penetrancia; lo que puede ocurrir es que las alteraciones de estos genes permanezcan silenciosas o mudas hasta que algún factor externo provoque su expresión para ello son importantes 3 hechos:

1. Suele haber una relación inversa entre la frecuencia poblacional de una mutación genética deletérea y su penetrancia: cuanta más penetrancia tiene una mutación menos frecuente es en la población.
2. Puesto que son poco frecuentes, las alteraciones más penetrantes sólo causan una proporción pequeña de los casos de las enfermedades más prevalentes en nuestras sociedades.

La inmensa mayoría de estas características son el resultado de acumular durante años alteraciones genéticas somáticas, tras complejas interacciones entre múltiples genes, sus productos (sus proteínas) y una diversidad de procesos socio-ambientales por ejemplo en los humanos; entre estos últimos podemos mencionar la exposición crónica, a dosis generalmente bajas, a agentes químicos ambientales (AQA), genotóxicos o no.

- VI. Los polimorfismos o variantes genéticas de baja penetrancia causan una menor carga social de enfermedad que factores ambientales como los AQA y el tabaco.

La biología contemporánea está reafirmando de forma asombrosa la importancia de lo ambiental en la regulación de la *expresión* de los genes. Muchas sustancias frecuentes en el ambiente cotidiano pueden alterar la expresión de genes implicados en la reparación del daño al DNA, en la diferenciación, en la apoptosis y en otros mecanismos de control del ciclo celular.

Ello sucede en parte mediante mecanismos *epigenéticos*, es decir, mediante cambios en la expresión génica *que no están codificados directamente en la propia secuencia de nucleótidos del DNA*; por ejemplo, silenciamiento del gen por hipermetilación del DNA o por modificación de histonas. En estos mecanismos epigenéticos influyen exposiciones ambientales a metales pesados y otros. Comprender las interacciones genético-ambientales exige pues integrar mecanismos epigenéticos y mecanismos genéticos clásicos. Esos conocimientos son asimismo potencialmente útiles para proteger el ambiente y la estabilidad de muchas especies y la salud de los humanos; permiten, por ejemplo, monitorizar respuestas biológicas precoces ante exposiciones laborales a dosis bajas de genotóxicos.

Expresividad genética

Es la fuerza con que se manifiesta un gen y su interacción con el ambiente. Por ejemplo, las alas de *Drosophila* pueden ser largas o cortas, y están determinadas por un gen. Pero si las larvas están a una temperatura determinada favorable, provocará que se desarrollen el que sean un poco más largas o cortas. Otro ejemplo en las personas que tienen más de cinco dedos en cada mano o pie, tienen polidactilia. Pero pueden tener cinco dedos y una anomalía únicamente observable en radiografía, cinco y un muñón, o más de cinco dedos.

Regresemos a la expresividad producto de la interacción con el ambiente, cada genotipo responde al ambiente de una forma determinada (norma de

reacción). A veces, se pueden producir fenotipos que coinciden con otros genotipos (fenocopia). Por ejemplo, la *Drosophila* con genotipo normal, si está en un medio con sales de plata, produce un fenotipo amarillo. Éste es fenocopia del amarillo genotípico, aunque el origen sea distinto. También la expresividad puede estar influida por otros genes, por lo que personas con un mismo gen pueden variar en cuanto al fenotipo. La expresividad puede variar incluso entre miembros de una misma familia.

La *expresividad genética variable* aparece cuando un fenotipo se expresa en un grado diferente entre individuos que presentan el mismo genotipo; por ejemplo, individuos con el mismo alelo en un gen implicado en un carácter cuantitativo, como la altura, pueden tener diferencias considerables (algunos son más altos que otros), haciendo la predicción del fenotipo asociado a un único genotipo difícil. La expresión de un gen puede ser modificada por el envejecimiento, por otros *loci*, o por el ambiente. Un buen ejemplo de esto es la neurofibromatosis, en la que pacientes con la misma mutación presentan síntomas diferentes de la enfermedad.

Pleiotropía

En biología la pleiotropía (*pleio-* = muchos, *-tropic* = efectos) o polifenia es el fenómeno por el cual un solo gen o alelo es responsable de efectos fenotípicos o caracteres distintos y no relacionados. Ejemplo de ello es la fenilcetonuria, para la cual un único gen varía la producción de una enzima, y esto produce deficiencia intelectual, problemas en la coloración de la piel, etc.

Los genes afectados en trastornos genéticos humanos, a menudo son pleitrópicos. El efecto pleiotrópico más extremo es la letalidad, por ejemplo el observado en ratones cuando se cruzan ratones de pelaje amarillo y con ratones pelaje café, el resultado esperado de una proporción mendeliana es modificada, debido a que solo sobreviven los ratones amarillos heterocigotos amarillo y los homocigotos no, siendo letal la homocigosis para el alelo amarillo. También en los humanos, por ejemplo en la enfermedad de Huntington incurable y mortal.

Nota: Vídeos sugeridos para la comprensión del tema



ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE

ACTIVIDAD 1

Instrucciones. Con la información de la lectura completa la siguiente tabla:

PATRÓN (DEFINICIÓN)	DEFINICIÓN	PROPORCIÓN	EJEMPLO
Dominante			
Recesivo			
Cromosomas sexuales			
ADN mitocondrial Y del cloroplasto			

--	--	--	--

ACTIVIDAD 2

Instrucciones. Lee con atención los siguientes problemas y da una respuesta, de acuerdo con el proceso que se te pide que realices.

- VI. Se cruzaron dos grupos de plantas chícharo, una era homocigota para la característica plantas de talla corta (enenas) y heterocigota para la característica alta. (decide cual es hembra y cual es macho). Realiza la cruce en un cuadro de Punnet del problema arriba propuesto, menciona la proporción y porcentaje el carácter dominante y recesivo en la descendencia. Posteriormente responde las siguientes preguntas

¿Cuál es el carácter dominante? Justifica tu respuesta

¿Cuál es el carácter recesivo? Justifica tu respuesta

II. Menciona la principal diferencia entre el modelo de herencia de alelos dominantes y el modelo de herencia de alelos recesivos. _____

- VI. Se casó una joven cuyo padre es daltónico con su pareja que no tiene daltonismo, se sabe que esta enfermedad es genética recesiva, asociada al cromosoma sexual X.

Menciona la situación genética de la joven. _____

Menciona la situación genética de su futuro esposo. _____

¿Qué probabilidad hay que tenga una hija daltónica? _____

¿Qué probabilidad hay que tenga un hijo daltónico? _____

Justifica tus respuestas con un cuadro de punnet.

V. Se sabe que hay un tipo de acondroplasia como consecuencia de un modelo hereditario dominante, pero que además es pleiotrópico letal, ya que en homocigosis, los recién nacidos fallecen por sus características morfológicas. Una pareja de acondroplásicos desean procrear, pero asisten a la consejería médica y tu como su médico tienes que explicarles las posibilidades de tener un hijo normal, uno acondroplásico heterocigoto y un homocigoto, para ello te debes guiar con un cuadro de punnett.

VI. En una población hipotética de peces, una mutación dominante, cambia su piel blanca a azul, pero se ha observado distintos tonos de azul ¿Cómo explicas esta variación de color en los peces afectados desde la penetrancia y expresividad?

VII. Indica el resultado de las siguientes cruces:

$C^+ \times C^{ch} \times C^h \times C$ [C^+ = Conejo silvestre, C^{ch} = conejo chinchilla, C^h = conejo himalaya

C = conejo albino]

1. C^+C^{ch} Vs C^hC

2. C^hC Vs $C^{ch}C^h$

1				

2				

ACTIVIDAD 3.

En el siguiente espacio realiza un mapa mental de la **Expresión génica y su interacción con el ambiente.**

REFERENCIAS

1. Barrera-Esinosa, L., Chávez-Sahagún, E. (2019) El genoma de las plantas: los cloroplastos y su ADN. Desde el herbario CICY. pp 201-206
2. Finegold, D. (2021) Factores que afectan la expresión génica (temas médicos) <https://goo.su/c7wU>
3. Garrigues, F. (Abril,6 2017) patrones de herencia: generación tras generación El blog de genotípica <https://genotipia.com/herencia/>
4. Genetic, A. The New York-Mid-Atlantic Consortium for Genetic and Newborn Screening Services. (2009 Jul 8) .Cómo entender la genética: Una guía para pacientes y profesionales médicos en la región de Nueva York y el Atlántico Medio. Washington (DC): Genetic Alliance; Anexo E, PATRONES HEREDITARIOS. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK132213/>
5. Le, T. (2010). First aid for the USMLE step 1 2010 (20th anniversary edición). New York: McGraw-Hill Medical. pp. 83. ISBN 978-0-07-163340-6.
6. Pierce, B. (2016) Genética un enfoque conceptual Ed panamericana
- Rye, C., Wise, R., Jurukovski, D., Desaix, J., Choi, J., Avissar, Y. (21/10/2016) Biología, OpenStax: <https://openstax.org/books/biology/pages/12-3-laws-of-inheritance>

Tema III Variación genética y su importancia para la biodiversidad: Mutaciones

Aprendizaje: Analiza los tipos de mutación como fuente de cambio genético que contribuyen a la diversidad biológica.

Elaboraron: Daría Razo Balcázar y Leticia Martínez Aguilar

CONCEPTOS CLAVE: mutación, mutación génica, mutación cromosómica, mutación genómica, mutaciones somáticas, mutaciones germinales, variación genética.

RESUMEN

Las mutaciones son cambios en el DNA o RNA, permanecen en las células cuando los mecanismos de reparación no actúan, estos cambios afectan la secuencia, alteran el número de nucleótidos o de cromosomas de una célula; también pueden alterar la información contenida originalmente en la célula. Las mutaciones se deben a factores internos o externos a las células; pueden o no ser heredables, son una importante fuente de variación genética y diversidad en las especies, que pueden provocar la evolución.

DESARROLLO DE CONTENIDO

La mutación es el cambio en la secuencia o en el número de nucleótidos en el DNA o RNA de una célula cuando los mecanismos de reparación no actúan. Las mutaciones se clasifican por el nivel donde ocurren, su origen, su efecto y el tipo de células que se ven afectadas (De Erice y González, 2012, Feduchi, Romero, Yáñez, Blasco y García-Hoz, 2017). A continuación mencionaremos la clasificación de las mutaciones.

I. Las mutaciones por su nivel se clasifican en génicas, cromosómicas y genómicas.

Mutaciones génicas

También llamadas moleculares o puntuales se produce en un nucleótido dentro de las secuencias del DNA (o en el RNA), pueden alterar a un gen. A la unidad de cambio de la información se llama **mutón** (Jimeno, Ugedo y Ballesteros, 2003; Starr y Taggar, 2004).

Tipos:

- Sustitución de bases de una base por otra, afectando a la base complementaria, tiene dos variantes dependiendo de los nucleótidos involucrados:

-Transición: es el cambio de purina por otra purina (AG) → (GA) o bien de pirimidina por otra pirimidina (UC) → (CU).

-Transversión: una purina se cambia por una pirimidina o de una pirimidina por una purina (AG) ↔ (TC).

- Inserción: entrada de una base nitrogenada en una secuencia determinada.

-Delección: elimina una base de una secuencia dada.

-Duplicación: se duplica una base y quedan dos bases iguales juntas que no estaban así en la secuencia original (De Erice y González, 2012). En el siguiente cuadro 7, se describen ejemplos de cada uno de los tipos de mutaciones puntuales:

Tabla 7. Ejemplo de mutaciones puntuales en una secuencia de DNA

Secuencia Normal	DNA Normal	3'	TAC	GGA	GAT	TCA	GAG
	RNA Normal	5'	AUG	CCU	CUA	AGU	CUC
	Proteína	H2N-	Met	Pro	Leu	Ser	Leu
Delección	DNA mutante	3'	TAC	GG_	GAT	CAG	GA_
	RNA mutante	5'	AUG	CCC	UAA	GUC	UC--
	proteína	H2N	Met	prolina	ALTO	valina	
Adición	DNA Mutante	3'	TAC	GGA	GGA	TTC	AGA-G
	RNA mutante	5'	AUG	CCU	CCU	AGU	UCU-C
	proteína	H2N-	Met	prolina	prolina	serina	serina
Transición	DNA Normal	3'	TAC	GGA	GAC	TCA	GAG
	RNA Normal	5'	AUG	CCU	CUG	AGU	CUG
	Proteína	H2N	Met	prolina	Leucina	Serina	leucina

Nota. Jimeno A, Ballesteros M. y Ugedo L, (2003). Modificado de Cuadro I. Mutaciones puntuales.

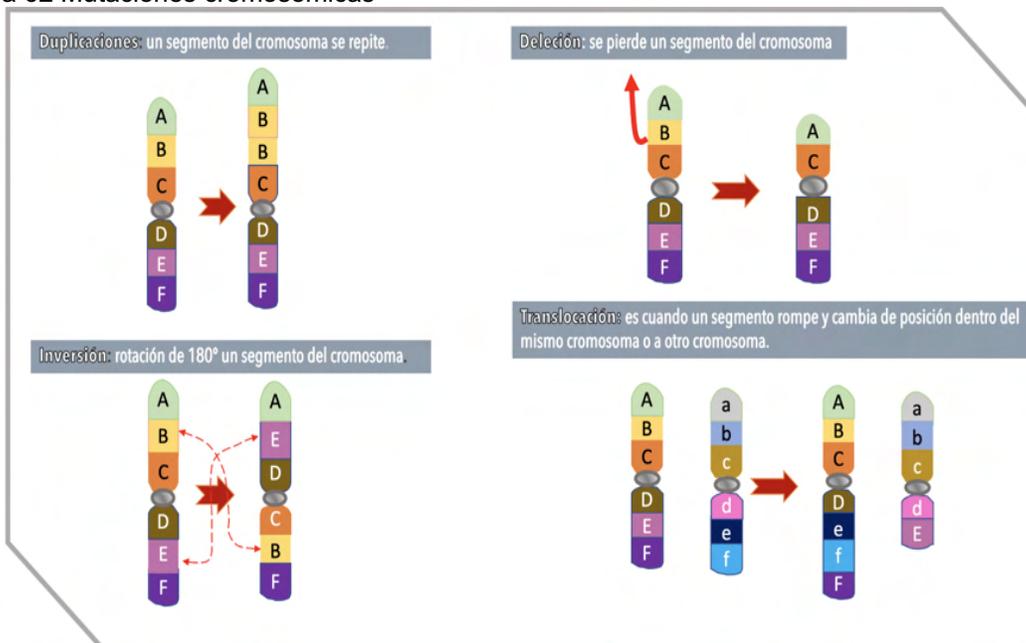
Las mutaciones puntuales se caracterizan por ser: a) poco frecuentes raras ya que en la mayoría de los genes ocurre una por cada cien mil a cien millones de generaciones celulares; b) aleatorias pueden ocurrir en cualquier momento, en cualquier gen de cualquier célula, y puede o no representar un beneficio para esta última; c) recurrentes, ya que suceden con regularidad; hoy esto permite calcular la

proporción o tasa de mutación de cada gen individual; y d) reversibles lo que significa que los cambios pueden o no ser definitivos (Galván y Bojórquez, 2004). Un ejemplo de mutaciones puntuales son la que cambiaron la información en gen MCM6 ubicado en el cromosoma 2, que de manera natural deja de funcionar para producir la enzima lactasa, pero con las mutaciones que lo han modificado, el gen sigue produciendo lactasa aún después del destete en los humanos, permitiendo a los humanos poder consumir productos lácteos.

Mutaciones cromosómicas

Se dan por la alteración de la estructura de los cromosomas al realizar observaciones se pueden detectar cambios en el patrón de tinción de los cromosomas. La mutación a este nivel implica la fragmentación, el reordenamiento estructural del cromosoma y alterar el número cromosómico del tipo celular o de la especie, lo anterior afecta a los genes del cromosoma afectado. Este tipo de mutaciones pueden provocar que gametos con diferentes arreglos en los individuos de la misma especie, generando incompatibilidad; en el figura 62 se representan los tipos de mutaciones cromosómicas:

Figura 62 Mutaciones cromosómicas



Nota: Aguliar, L. Representaciones de mutaciones cromosómicas [imagen] Colección personal CC BY 4.0

Mutaciones genómicas (cromosómicas)

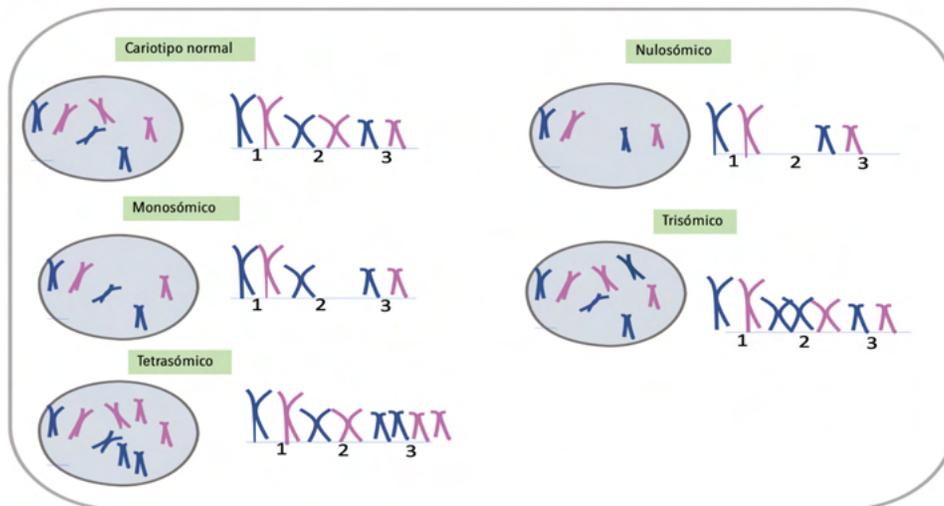
Antes de describir estas alteraciones, es importante mencionar que la mayoría de los organismos son **diploides**, es decir, que sus células poseen pares de cromosomas (cromosomas homólogos) y se representan como **2n**; las células sexuales son **haploides**, esto es, tienen un solo juego de cromosomas y se representan como **n**.

Cambios en el número de cromosómico

Pueden ser de dos tipos:

- **Aneuploidias** son un aumento o disminución en el número de cromosomas de una célula. Estas aberraciones se pueden presentar en las **células somáticas** (por el ejemplo el síndrome de Down donde hay tres copias del cromosoma 21) o **sexuales** (por ejemplo, el síndrome de Turner monosomía del cromosoma X, donde falta un cromosoma X del par, dando origen a una monosomía, que es el resultado de una separación anormal de los cromosomas durante la meiosis en la formación de gametos). Las alteraciones en los autosomas se pueden ver en la siguiente figura 63, además de las descritas arriba.

Figura 63 Tipo de aneuploidías

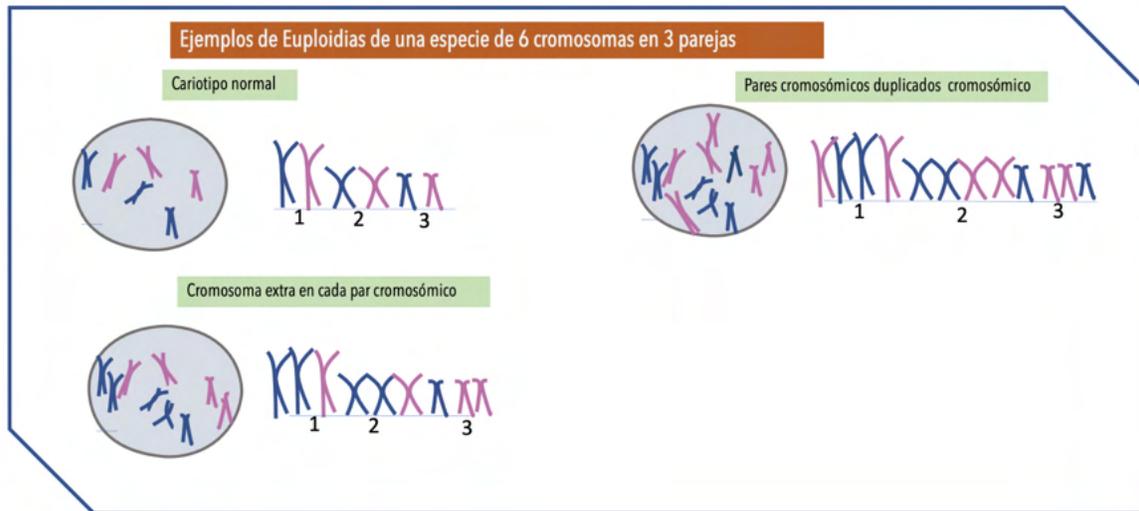


Nota. s/a (2022) Biología y Geología. Mutaciones cromosómicas [imagen] <https://goo.su/C5N9hAl> modificado por Aguilar, L. CC-BY 4.0

- **Euploidias** son los cambios en el número normal de dotaciones de cromosomas de un organismo; se clasifican en:

- **Monoploidía** o haploidía es la existencia de una sola dotación cromosómica, es decir, un solo ejemplar de cada tipo de cromosomas, se representan en la figura 64.

Figura 64. Euploidias ejemplo de mutaciones genómicas



Nota. Aguilar, L. Mutaciones genómicas [imagen] Colección personas. CC-BY 4.0

- **Poliploidía** es el cambio en el número de juegos de cromosomas. Hay más de dos juegos completos de cromosomas y puede ser triploidias, tetraploidias, etc. Son frecuentes en algunas plantas y raras en los animales. Es una forma de evolución común en plantas, como las manzanas, peras, tomates y otras. Por ejemplo, en el trigo, la planta conocida como 'trigo' en realidad incluye tres especies distintas en el género *Triticum*: Trigo einkhorn, Trigo emmer y Trigo pan. Cada una de estas especies tiene parientes silvestres que pueden considerarse especies separadas o pueden agruparse con la forma domesticada. Estas especies están relacionadas evolutivamente en lo que se conoce como una serie poliploide. Einkhorn tiene un número de cromosomas diploides de 14 y produce gametos haploides con siete cromosomas. El trigo Emmer tiene 28 cromosomas, 14 de los cuales provienen del trigo Einkhorn y 14 de los cuales provienen de un género relacionado, pero separado (*Aegilops*, aunque algunos trabajadores han agrupado *Aegilops* y *Triticum*). El trigo panero tiene 42 cromosomas, 28 de los cuales provienen del trigo emmer y 14 de otra especie de *Aegilops*.

La poliploidía es común en las plantas y es un aspecto en la historia de múltiples cultivos. Puede venir de varias maneras, siendo la más común un evento de hibridación donde se combinan gametos de dos especies separadas.

La poliploidía de cromosomas de la misma especie se llama **autopoliploidía** y la que incluye juegos de cromosomas de especies diferentes, **aloploidía**. Esta produce genomas híbridos que generalmente son estériles (Jimeno, Ballester y Ugendo, 2003; Galván y Bojórquez, 2004; Pierce, 2009).

Mutaciones por tipo de células.

En los organismos eucariontes multicelulares existen dos categorías de mutaciones: las somáticas y las de la línea germinal.

- Las mutaciones somáticas se producen en las células no sexuales, o que forman a los tejidos del organismo, estas mutaciones son numerosas, en el cuerpo humano hay cerca de 10^{14} células. Por lo general ocurre una mutación por cada millón de divisiones celulares, este tipo de mutación es la responsable del conjunto de enfermedades a las cuales llamamos cáncer.
- Mutaciones germinales ocurren en las células que producen gametos. Una mutación en la línea germinal puede transmitirse a generaciones futuras y producir organismos individuales que sean portadores de mutaciones en todas sus células somáticas y en las de la línea germinal.

III. Mutaciones por su origen: son el resultado de factores internos y externos. Aquellas que surgen debido a cambios naturales en la estructura del DNA se denominan mutaciones espontáneas, ocurren generalmente por fallas durante la replicación del DNA, por ejemplo, la formación de tautómeros (unión de bases de manera errónea G - A). Las mutaciones inducidas son causadas por sustancias químicas, ambientales o por radiación; son mutaciones provocadas por mutágenos y pueden ser agentes físicos, químicos y biológicos (Pierce, 2010).

Agentes físicos incluyen a) radiaciones no ionizantes (UV), favorecen la formación de enlaces covalentes entre dos piridinas contiguas y dan origen a mutaciones génicas de tipo transición; b) las ionizantes (rayos X, alfa, beta y gamma), pueden

provocar la ruptura de los anillos de las bases nitrogenadas e incluso romper los enlaces fosfodiéster con la consiguiente ruptura del DNA, de los cromosomas.

Agentes químicos son sustancias que reaccionan con el DNA y provocan tres tipos de alteraciones.

a) Modificaciones de las bases nitrogenadas, por ejemplo, el ácido nitroso (HNO_2) las desamina, la hidroxilamina les añade grupos hidroxilo, y el etilmetanosulfonato (EMS) y el gas mostaza les añade grupos alquilo, metilo, etilo, etcétera.

b) La sustitución de una base por otra análoga, por ejemplo, en lugar de una timina situarse el 5-bromouracilo, o en lugar de una adenina la 2-aminopurina.

c) Intercalación de moléculas que son similares a un par de bases enlazadas, como la acridina o proflavina, capaces de introducirse entre los pares de bases apiladas del DNA. Al duplicarse luego, pueden aparecer inserciones, deleciones de un solo par de bases, con el consiguiente corrimiento en el orden de lectura (Galván y Bojórquez, 2004)

Mutaciones por su efecto

Para determinar el cambio en el organismo, se compara con el fenotipo silvestre.

Mutación silenciosa cambia un codón codificante por otro sinónimo, sin alterar la secuencia de aminoácidos de la proteína, gracias a la redundancia del código genético.

Mutación en el marco de lectura inserción o deleción que altera el marco de lectura de un gen.

Mutación con pérdida de la función genera una pérdida de función completa o parcial, debido a la alteración de la estructura de la proteína de tal modo que ésta ya no puede trabajar de manera correcta, o bien la mutación puede producirse en regiones regulatorias que afectan la transcripción, la traducción o el corte y empalme de la proteína.

Mutación con ganancia de la función: produce un rasgo o una función nueva, o provoca la aparición de un rasgo en tejidos inapropiados o en los momentos inadecuados.

Importancia de la mutación

Como revisamos las mutaciones pueden tener efectos positivos o bien ocasionar enfermedades; los efectos nocivos que ocasionan se observan en cambios morfológicos y fisiológicos en los organismos que las presentan. (Pierce, 2010; De Erice y González, 2012; Feduchi et al, 2017).

Como se discutió anteriormente las mutaciones son básicas para la evolución, son la materia prima de los cambios que sufren los organismos, son una fuente de variabilidad genética entre las poblaciones, muchas de ellas son neutras, Pero ¿cómo saber si las mutaciones son benéficas o perjudiciales? Ocasionalmente una mutación provee beneficios o perjuicios en las interacciones de los organismos con su ambiente, la secuencia mutante benéfica aumenta a lo largo de las generaciones en la población y predomina, conforme los organismos que la poseen compiten con sus rivales que albergan la secuencia de la original no mutada (Audesirk, 2003). La mutación no benéfica o deletérea desaparece. La selección natural prueba nuevas secuencias en la competencia por la supervivencia y la reproducción. Las mutaciones se acumulan gradualmente provocando cambios genéticos a lo largo del tiempo.

ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE

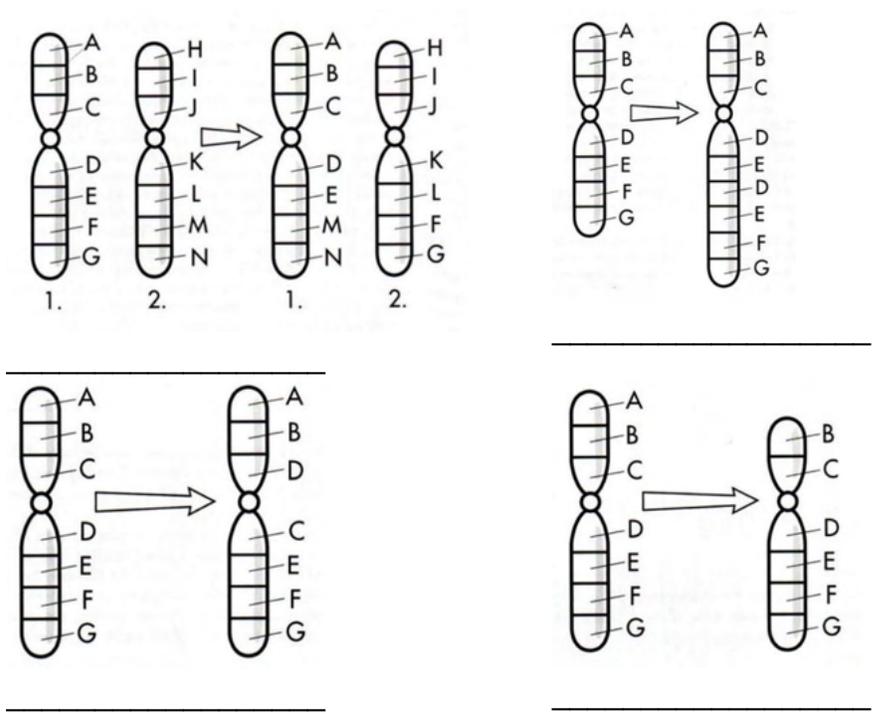
ACTIVIDAD 1. Mutaciones puntuales

Instrucciones a continuación, se presenta una secuencia original transcríbela y después utiliza la tabla del código genético para escribir el aminoácido que se forma y posteriormente identifica qué tipo mutación genética se está ilustrando. Selecciona entre mutación por: deleción, inserción, transición, transversión, escribe si se da por el cambio corrimiento en el marco de lectura, se sintetiza o no en su totalidad toda la secuencia. Utiliza la tabla de código genético.

	Secuencia	Tipo de mutación
DNA	T A C- A C C -T T G- G C G -A C G -A C T	Original
RNA		
Aminoácidos		
DNA	T A C A T C T T G G C G A C G A C T	
RNA		
Aminoácidos		
DNA	T A C G A C C T T G G C G A C G A C T	
RNA		
Aminoácidos		
DNA	T A C A C C T T A G C G A C G A C T	
RNA		
Aminoácidos		

ACTIVIDAD 2. Mutaciones cromosómicas

Instrucciones. utiliza la siguiente figura para identificar el tipo de mutación cromosómica y coloca su nombre debajo de cada imagen.



Nota Alcamo E, (1998). Chromosomal alterations

REFERENCIAS

- Alcamo, E. (1998). *Biology Coloring Workbook*. New York: Random House.
- Audersirk, T. (2003). *Biología I unidad en la diversidad*. México: Pearson Educación.
- Cooper M. y Hausman, E. (2011). *La célula*. España: Marbán.
- De Erice, E. y González, A. (2012). *Biología*. La ciencia de la vida. Mc Graw -Hill.
- Feduchi C., Romero M., Yañez C., Blasco C. y García-Hoz J. (2017). *Bioquímica conceptos esenciales*. Editorial Médica Panamericana.
- Galván H. y Bojórquez C. (2004). *Biología*. Santillana.
- Jimeno A., Ballesteros M. y Ugedo L. (2003). *Biología*. Santillana Bachillerato.
- Pierce, B. (2009). *Genética. Un enfoque conceptual*. Editorial Médica Panamericana
- Yee, C, (s.f) Persistencia a la lactosa CC BY-NC-SA 4.0 <https://acortar.link/NDVHU3>
- Vargas, K. Simonazzi, V. (s.f) Genética y evolución: digestión de lactosa asociada a actividades de nuestros ancestros. Facultad de ciencias exactas y naturales
- Cornell, B. (2016) *Bloque de mutaciones* <http://ib.bioninja.com.au>

Tema III. Variación genética y su importancia para la biodiversidad: Recombinación genética.

Elaboró: María Isabel Velázquez Nieto

Aprendizaje: el estudiante comprende que la recombinación en procariontas y eucariotas genera distintas alternativas que aumentan la variación genética.

Conceptos clave: Recombinación, meiosis, cromosoma, alelos, genes, variabilidad

RESUMEN

La recombinación genética es el proceso por el cual se produce el intercambio de material genético entre dos cromosomas homólogos durante la meiosis. Esto da como resultado la creación de nuevas combinaciones alélicas y la variabilidad genética, lo que es esencial para la evolución de las especies y la adaptación a nuevos ambientes. Además, la recombinación genética permite la redistribución de genes beneficiosos y la eliminación de los dañinos. Sin embargo, también puede dar lugar a mutaciones que causan enfermedades genéticas. Las tecnologías de manipulación genética han permitido a los científicos controlar la recombinación genética y crear organismos con características deseables.

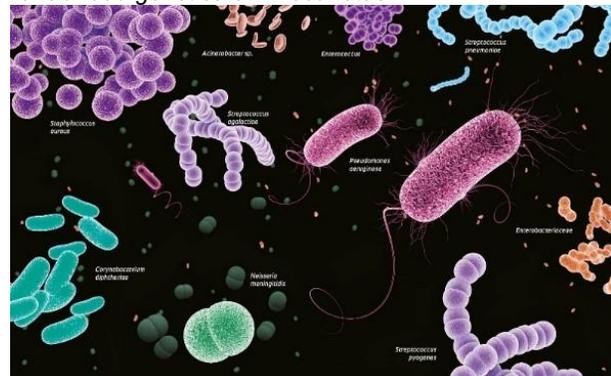
DESARROLLO DEL CONTENIDO

Figura 65
Variabilidad genética en Eucariontes



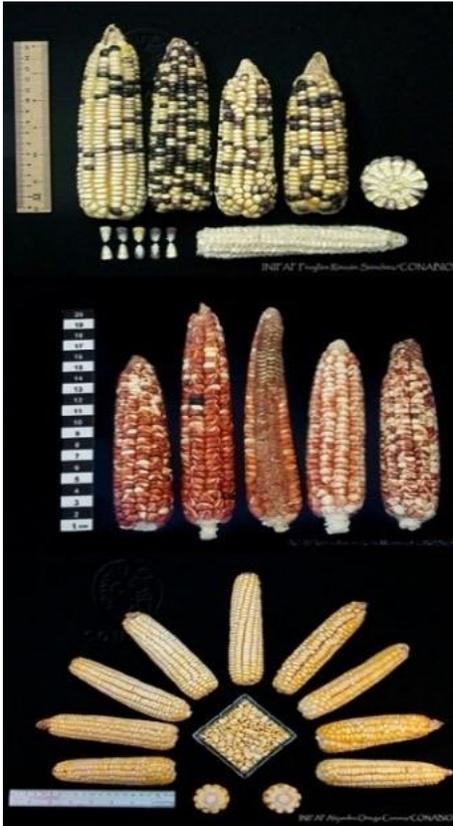
Nota. Fuente: CONABIO, 2020.

Figura 66.
Variabilidad genética en Procariontas



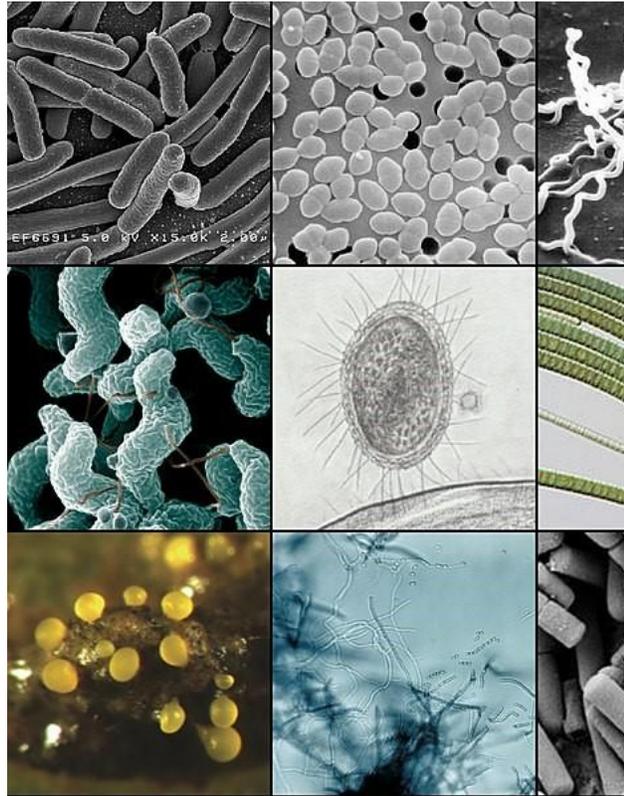
Nota. Fuente: Fioravanti 2019 edición 284, en Pesquisa FAPESP

Figura 67.
Variabilidad



Nota. Fuente: CONABIO, 2023.

Figura 68.
Variabilidad



Nota. Fuente: 148LENIN, 2022. Wikimedia Commos

Las figuras 65, 66, 67, 68 son imágenes de organismos que representan la **variabilidad genética** de una población. Los individuos de una misma especie son reconocidos como pertenecientes a la especie, pero existen muchas diferencias en forma, función y comportamiento.

La variabilidad genética proviene de los genes, y se origina por mutaciones, recombinaciones y alteraciones en el cariotipo (el número, forma, tamaño y ordenación interna de los cromosomas).

La variabilidad genética permite la evolución de las especies, ya que en cada generación una fracción de la población sobrevive y se reproduce transmitiendo características particulares a su progenie. (Conabio, 2020). Además, permite la mezcla de genes, que da lugar a nuevas combinaciones de rasgos.

Los procesos que dirigen o eliminan la variabilidad genética son la Selección natural, la deriva génica.

Campbell y col., (2019), Griffiths y col., (2016), Lewin (2013), determinan que la recombinación, tanto para los eucariotas, como para los procariotas, es un proceso complejo e importante que juega un papel vital en la evolución de la vida, tal que, ayudan a adaptarse a nuevos entornos, resistir a enfermedades y reparar el ADN dañado.

La recombinación puede aumentar la variación genética de dos maneras. Primero, puede crear nuevas combinaciones de genes que no estaban presentes en ninguno de los progenitores. Esto puede conducir a nuevos rasgos y adaptaciones que pueden ayudar a los organismos a sobrevivir y reproducirse en su entorno. En segundo lugar, la recombinación puede aumentar la frecuencia de mutaciones beneficiosas en una población. Esto debido a que es más probable que las mutaciones beneficiosas se transmitan a la descendencia si están ubicadas en un cromosoma que también se recombinan con otros cromosomas que contienen mutaciones beneficiosas.

La recombinación consiste en la producción de nuevas combinaciones genéticas a partir de dos moléculas de ADN que pueden intercambiar segmentos y dar lugar a la aparición de nuevas combinaciones genéticas.

láñez, E. (1999), Benito y Espino, (2013) Especifica que, el proceso por el cual se intercambian secuencias de ADN entre dos moléculas de ADN, mediante la ruptura y unión, mediada por enzimas. Esto puede ocurrir tanto en procariotas, como eucariotas; como desarrollamos a continuación.

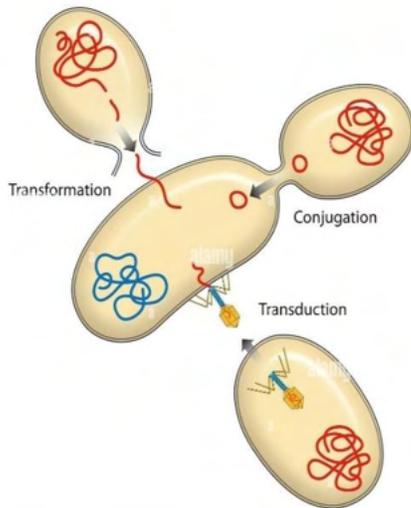
Recombinación en procariotas

En el caso de las bacterias existen tres mecanismos de recombinación denominados sitios específicos: transformación, conjugación y transducción. La existencia de estos mecanismos permite la construcción de mapas genéticos en bacterias.

Recombinación en eucariotas

En eucariotas, hay un número de diferentes mecanismos por los cuales puede ocurrir la recombinación.

Un mecanismo común es la recombinación homóloga, ocurre cuando dos moléculas de DNA que son similares en secuencia entran en contacto entre sí. Las enzimas que

Figura 69

alamy

Nota. Fuente: Alamy 348 fotografías, imágenes 360° panorámicas, vectores y videos. 342. 513

En esta imagen se muestran los tres mecanismos por los que las bacterias realizan recombinación.

Transformación: en determinadas condiciones, fragmentos de DNA exógeno pueden entrar en el interior de las bacterias. El DNA exógeno puede intercambiar segmentos con el DNA el cromosoma principal bacteriano.

Conjugación: transferencia del material hereditario DNA de una bacteria donadora a otra receptora. Requiere del contacto físico entre las dos estirpes bacterianas, la donadora y la receptora. El contacto físico se

median la recombinación homóloga rompen el DNA en puntos específicos, intercambian las piezas rotas y luego catalizan el intercambio en esas secuencias.

La meiosis es el tipo de división celular que produce gametos (las células sexuales). Durante la meiosis, los cromosomas se duplican y los cromosomas homólogos (que contienen genes idénticos) se aparean y se recombinan. El cruce ocurre durante la profase I, recordando que, en esta fase, **los cromosomas homólogos se alinean en pares, gen por gen en toda su longitud, formando una configuración con cuatro cromátidas,** conocidas como tétrada.

En este punto, las cromátidas están muy próximas entre sí, el material de dos cromátidas se rompe y se vuelve a unir en la misma posición en el cromosoma homólogo, esto con la intervención de la enzima recombinasa. Este intercambio de material genético puede ocurrir muchas veces dentro del mismo par de cromosomas homólogos, creando combinaciones únicas de genes.

establece a través los pili-F de la bacteria donadora formándose un tubo de conjugación.

Transducción: ocurre cuando un virus que infecta a una bacteria transfiere DNA de esa bacteria a otra bacteria.

Una vez que se ha absorbido el DNA, se puede integrar en el cromosoma de la bacteria.

Cuando el material genético (genomio) es introducido a la célula receptora inicia el proceso de recombinación, tras el proceso de transferencia se presenta una diploidía parcial, llamado merodiploidía o merozigotos.

Para que se den nuevos genotipos es esencial que las dos secuencias homólogas sean genéticamente diferentes, una procedente de cada padre.

El mecanismo exacto de cruce se considera que implica los siguientes pasos:

- a. La recombinasa se une a regiones homólogas del DNA.
- b. La recombinasa rompe el DNA en estas regiones.
- c. La recombinasa vuelve a unir el DNA, con el material genético de los dos cromosomas intercambiados.

El cruce puede ocurrir varias veces dentro de una tétrada. El número de veces que se produce el cruce es aleatorio.

La célula tiene dos cromosomas homólogos, que se muestran como dos hebras largas y delgadas de DNA. Los cromosomas se emparejan y el DNA se rompe en regiones homólogas. Luego, el DNA se desenrolla y se inserta DNA nuevo en los espacios. Luego, el DNA se vuelve a unir, creando dos nuevos cromosomas con nuevas combinaciones de genes.

Las siguientes enzimas están involucradas en la recombinación en eucariotas:

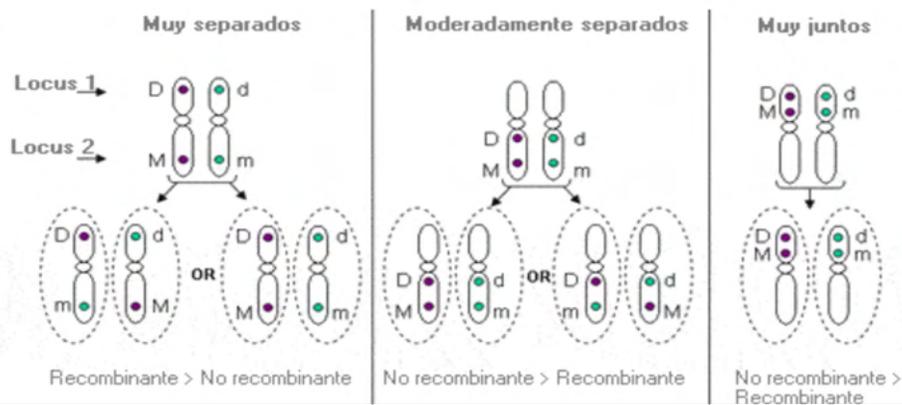
El DNA recombinasa es la principal enzima que cataliza la reacción de recombinación. Se une a regiones homólogas de DNA y rompe el DNA en estas regiones.

La topoisomerasa es una enzima que remedia el estrés que se crea cuando se rompe el ADN. Lo hace al romper y volver a unir las hebras de DNA.

La helicasa es una enzima que desenrolla la doble hélice del DNA. Esto permite que el ADN recombinasa se una al DNA y lo rompa.

Dos genes localizados en el mismo cromosoma pueden segregarse juntos o no. El entrecruzamiento al asociarse los cromosomas homólogos durante la meiosis da lugar a combinaciones nuevas de genes en el gameto, y, por lo tanto, en los descendientes, como se muestra en la siguiente figura.

Figura 70 Locus y herencia.



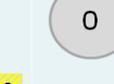
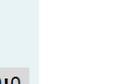
Nota. Ilustración adaptada de Thompson & Thompson Genetics in Medicine, 6th.edition, RL Nussbaum, RR McInnes. HF Willard, Gene Mapping and the Human Genome Project; Figura 18-12, pág 120. Copyright 2001. Con permiso de Elsevier. (203).

El comportamiento durante la meiosis de los alelos en dos loci (1 y 2) del mismo cromosoma depende de su proximidad, como se demuestra en la siguiente imagen.

A continuación, se te presentan los siguientes ejemplos de cómo la recombinación puede aumentar la variación genética:

- En los humanos, la recombinación de genes que controlan el tipo de sangre puede resultar en la producción de nuevos tipos de sangre, como la sangre AB.

Figura 71
Recombinación hipotética de 3 tipos de sangre

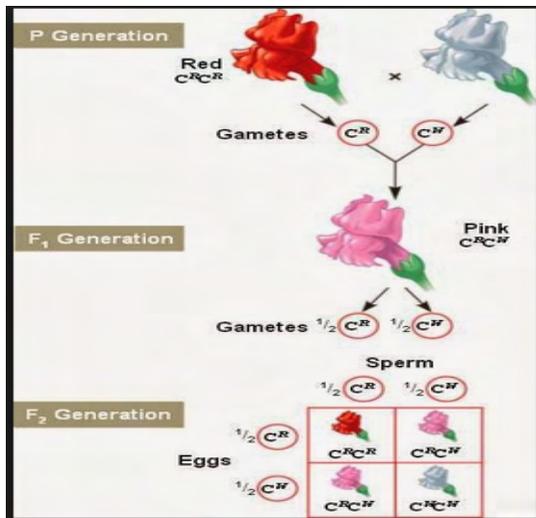
	I ^A	I ^B	I ^O
I ^A	 A I ^A I ^A	 AB I ^A I ^B	 A I ^A I ^O
I ^B	 AB I ^A I ^B	 B I ^B I ^B	 B I ^B I ^O
I ^O	 A I ^A I ^O	 B I ^B I ^O	 O I ^O I ^O

Nota. Fuente, Biología 2.0. (2014).

En la figura 71 se muestra una recombinación de los tres tipos de sangre de los progenitores y en la población como se recombinan para que se presente el tipo de sangre AB

-En las plantas, la recombinación de genes que controlan el color de las flores puede dar como resultado la producción de nuevos colores de flores, como las flores de dondiego.

Figura 72
Cruza de flores blancas y rojas



Nota. Fuente tomada de Blog de Banco de preguntas (2014). Creative Commons Reconocimiento 3.0.

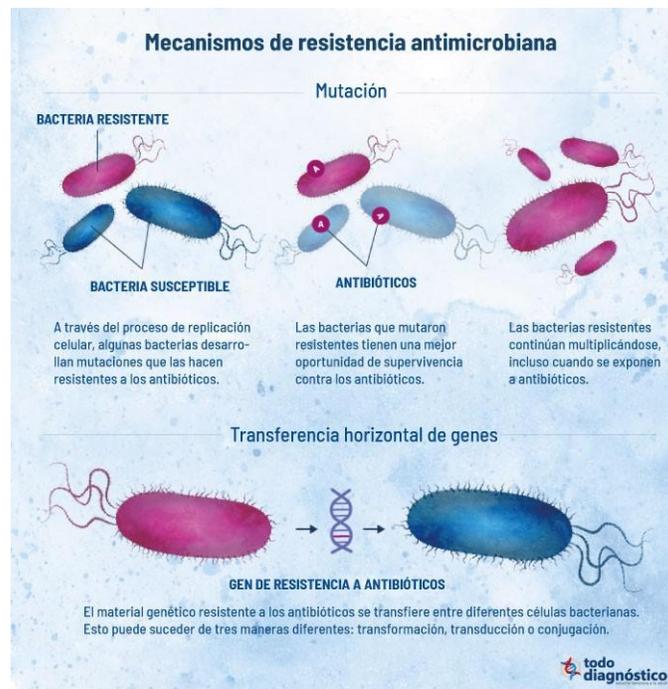
En la figura 72 se presenta una cruza de flores blancas (CBCB) y rojas (CRCR), donde se obtiene de la recombinación una proporción genotípica de, 1/4 de flores blancas (CBCB) 2/4 de flor rosada (CRCW) y 1/4 de flor roja.

-En las bacterias, la recombinación de genes que controlan la resistencia a los antibióticos puede dar lugar a la aparición de nuevas cepas de bacterias resistentes a los antibióticos.

Ejemplos de cómo la variación genética puede ser beneficiosa para una población:

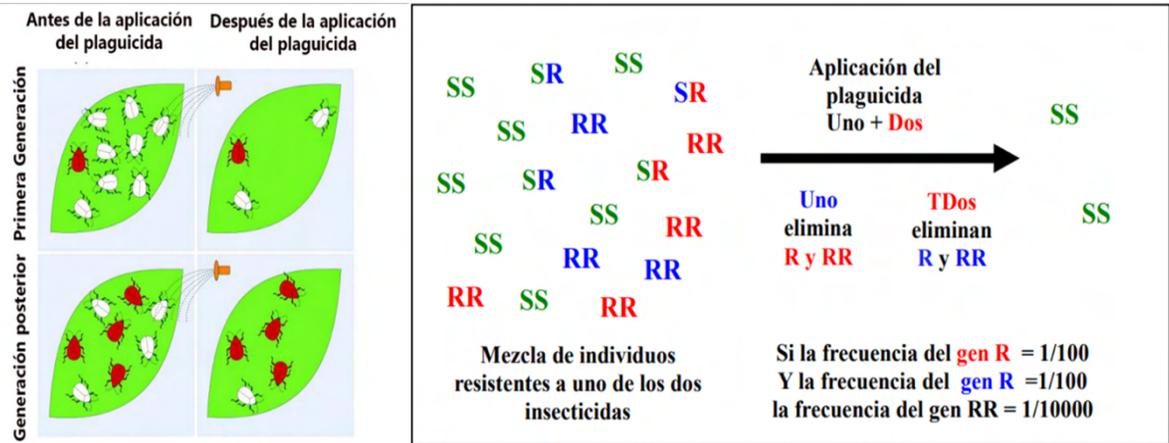
- La variación genética puede ayudar a una población a adaptarse a los cambios en su entorno, por ejemplo, si una población de insectos está expuesta a un nuevo insecticida, los individuos con genes que los hacen resistentes al insecticida tendrán más probabilidades de sobrevivir y reproducirse. Esto aumentará la frecuencia de los genes resistentes en la población, haciendo que la población en su conjunto sea más resistente al insecticida.

Figura. 73



Nota. Tomada de Todo Diagnóstico-Investigación y Compilación (2020).

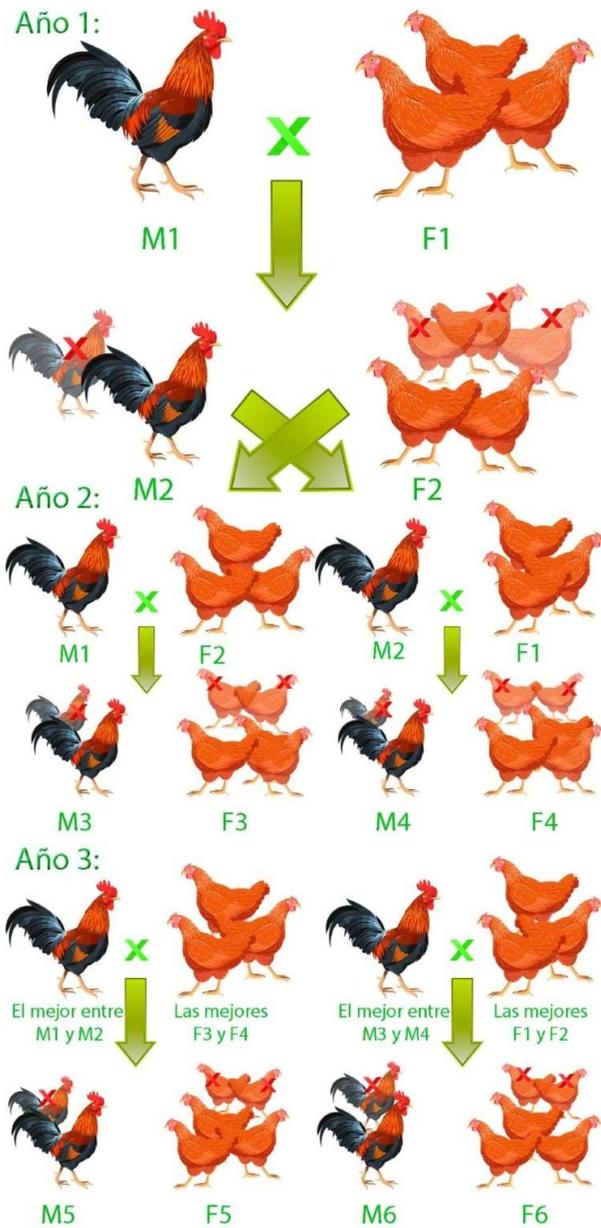
Figura 74



Nota tomada de FAO (2012).

- La variación genética también puede ayudar a una población a evitar la depresión endogámica. La depresión consanguínea es una disminución de la aptitud que se produce cuando los individuos de una población se reproducen entre sí. Esto puede suceder porque es más probable que los parientes cercanos compartan genes recesivos dañinos. La variación genética puede ayudar a reducir la frecuencia de genes recesivos dañinos en una población, lo que hace que la depresión por endogamia sea menos probable.

Figura 75
Reproducción entre gallinas



Esta figura muestra cómo se evita la reproducción entre parientes cercanos de gallinas y gallos para generar lo mejor de un ejemplar, ya marcado con la progresión de la generación venidera.

Nota.. Tomada de Finca Casarejo (2019).

ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE**Actividad 1**

Instrucciones. Lee con atención cada una de las siguientes preguntas y responde

1. Menciona cada uno de los mecanismos de recombinación que se dan en los procariontes e ilustralos _____

2. Menciona cada uno de los mecanismos recombinación que se presentan en las eucariotas. _____

3. Busca una ilustración que represente la meiosis, una que represente el entrecruzamiento entre cromosomas homólogos y expícala

Imagen	Explicación

Actividad 2

Instrucciones. Consulta el siguiente video y analiza los aspectos abordados y argumenta y definas los siguientes conceptos



cromosomas homólogos	
heterocigoto	
cromátidas idénticas	
segregación independiente	
heterocigoto	
homocigoto	
probabilidad	
frecuencia	
cromátidas recombinantes	
cromátidas no recombinantes	

- b. Presenta dos ejemplos de segregación independiente, uno en plantas y otro en hongos. Además, ejemplifica el acoplamiento/cis y la repulsión/trans en la segregación y determina el genotipo y el fenotipo.

Ejemplo 1 _____

Ejemplo 2 _____

Responde

¿Qué es la tasa de recombinación, qué factores implica y cómo se calcula?

¿Cómo se determina el porcentaje recombinación?

¿Qué aspectos te permiten construir un mapa genético?

¿Cómo se determina la frecuencia alélica de las cromátidas recombinantes?

¿Cómo se determina la tasa de recombinación y la distancia genética?

De la probabilidad de entrecruzamiento

¿Cómo se determinan los mapas genéticos y cuál es la finalidad de estos?

d. Busca y presenta cuatro ejemplos de mapas genéticos

REFERENCIAS

- Benito, J. (2013). Genética conceptos esenciales. Sección 1. Genética de la transmisión Genes y cromosomas; cap.5 Ligamiento y Recombinación mapas genéticos. Primera edición, Editorial Panamericana. 81-107 p. en <https://goo.su/c7wU>
- Campbell, N., Jane B. y Lawrence G. (2019). Biología; Genética: Bases cromosómicas de la herencia. recombinación genética y ligamiento. Unidad tres, 7ª ed. Panamericana. 273-292 p. en <https://goo.su/UAzqnl>
- CONABIO, (2020). Variabilidad genética. Biodiversidad de México. Copyright 2023. Consultado en <https://goo.su/ySUUp>
- CONABIO, (2023). Proyecto global de maíces nativos. Biodiversidad de México. Copyright 2023. Consultado en <https://goo.su/ctRM>
- Griffiths. A., Wessler, R., Carroll S., Mullinkin, B. y Berg J. (2016). Genética: un enfoque conceptual. Capítulo 2, Cromosomas y reproducción. 2ª edición. Editorial panamericana En <https://goo.su/fqRzSOw>
- láñez, E. (1999). Recombinación y Restricción. Curso de microbiología general. Hipertextos del área de biología 1998-2007. Universidad nacional del nordeste. Facultad de agroindustrias, Sáenz Peña, Chaco República Argentina. Consultada en <https://goo.su/32p6rQ>
- Lewin, B. (2004). Genes VIII. Capítulo 12 Recombinación y reparación 7ª ed. PEARSON Prentice Hall.

Figuras

- 148LENIN. (2022). Collage of Bacteria. Wikimedia Commos. El repositorio multimedia libre. Consultado en <https://goo.su/q4qd6>
- Blog de Banco de preguntas (2014, junio 20). P-73 En el entrecruzamiento de flores blancas y rojas de cierto tipo de plantea. Banco de preguntas de biología, preguntas resueltas para exámenes de biología -nivel escolar, Bachillerato, Preuniversitario en <https://goo.su/79u7Oz0>
- Catanesi, C. y Villegas, C. (s/a). Elementos de Genética para estudiantes de Ciencias Biológicas Facultad de Ciencias Naturales y Museo. Universidad Nacional de la Plata. Pág. 20. Consultado en <https://goo.su/JoUF>

- CONABIO, (2020). Lo que nos aportan los frijoles. Biodiversidad de México. Copyright 2023. Consultado en <https://goo.su/SvWJUUn>
- FAO (2012). Directrices sobre la Prevención y Manejo de la Resistencia a los Plaguicidas. Código Internacional de Conducta para la Distribución y Utilización de Plaguicidas. Pág. 8 y 34. Consultado en <https://www.fao.org/3/bt561s/bt561s.pdf>
- Fioravanti, E. (2019). Las bacterias en la UTI. Microbiología. Edición 284, en Pesquisa FAPESP, octubre. Consultado en <https://goo.su/HeqzZQr>
- Griskeviciene, A. (2019). Recombinación de bacterias. Transformación bacteriana, conjugación, transducción. Genética. Alarmy foto de stock. ID: 2G3M48J. consultado en <https://goo.su/8eTlb>
- Instituto Roche. (2023). Entrecruzamiento -Crossing over (sinónimo recombinación). Glosarios de genética. Medicina personalizada de precisión. Fundación Instituto Roche para soluciones integrales de salud. en <https://goo.su/bqhEb6U>
- Mateos, F. P. (s/a) Tema 10: Recombinación genética. Consultado en <https://goo.su/HWw4fjT>
- Moreno M, Claudia, González E, Rubén, & Beltrán, C. (2009). Mecanismos de resistencia antimicrobiana en patógenos respiratorios. *Revista de otorrinolaringología y cirugía de cabeza y cuello*, 69(2), 185-192. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-48162009000200014>
- Se escribe con e (2014). (Un poco) más allá de las leyes de Mendel Martes 30 de diciembre. B.log.ia 2.0. consultado en <https://goo.su/xOrSMCp>
- TODOS DIAGNÓSTICO - INVESTIGACIÓN Y COMPILACIÓN (2020). Genes de resistencia: mecanismos de resistencia antimicrobiana. 7 febrero, consultado en <https://goo.su/zEWAe0>
- Upson, R. (2018). Cómo mejorar la línea en las gallinas: estrategia para criadores. Finca Casarejo, 29 de enero. Consultado en <https://goo.su/K0h7DJ>

Tema III Variación genética y su importancia para la biodiversidad: Flujo génico

Elaboró: Ana Lilia Santana Galindo

Aprendizaje El alumno analiza el papel del flujo génico como factor de cambio en la frecuencia de alelos de las poblaciones.

Conceptos clave: *variabilidad, flujo, genes, alelos, frecuencia, locus, población.*

RESUMEN

El flujo génico es un proceso microevolutivo que consiste en la diseminación de genes entre individuos de una misma población o entre una población y otra, el cual juega un papel importante en la evolución de las especies. La selección natural que favorece la adaptación local en diferentes condiciones ambientales locales tiende a actuar en favor de alelos diferentes en un locus genético, si dichos alelos causan adaptaciones locales, solamente en los casos en que la tasa de inmigrantes sea menor a la intensidad de selección podrá haber adaptaciones locales.

El flujo génico es cualquier desplazamiento de genes desde una población hasta otra (Audesirk, 2008), permite que se produzca un intercambio de alelos entre poblaciones, lo que puede aumentar la variabilidad genética y, por lo tanto, la capacidad de una población para adaptarse a los cambios en su entorno. El flujo génico puede tener un impacto significativo en la frecuencia de alelos en las poblaciones se puede explicar a través de los siguientes mecanismos: a) Introducción de nuevos alelos: Cuando individuos de una población migran a otra, pueden llevar con ellos alelos que no se encontraban en la población receptora o se cambian las frecuencias alélicas de las variantes existentes, por ejemplo, una mariposa lleva la versión del gen para la coloración amarilla de una población a otra. Los efectos del flujo génico en la población puede ser alto flujo génico que aumenta el tamaño poblacional y reduce las diferencias locales que se presentan por deriva génica o selección natural.

Es decir el flujo génico es un proceso fundamental en la evolución de las especies ya que, puede aumentar la variabilidad genética, prevenir la endogamia, unir poblaciones, reducir la diferenciación entre poblaciones y ser una herramienta importante en la conservación de la biodiversidad (Audesirk, 2008, Curtis, 2021, Biggs, 2012 y Solomon, 2008).

DESARROLLO DEL CONTENIDO

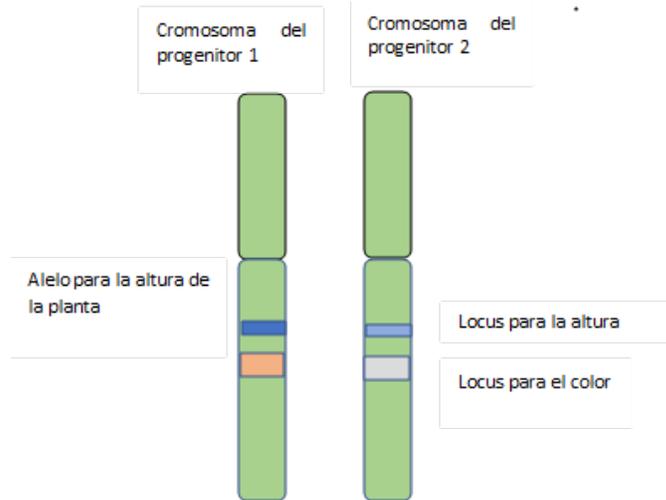
Para hablar del flujo génico vamos a comenzar por definir qué es: El flujo génico es el intercambio de genes entre poblaciones que estaban aisladas reproductivamente. El flujo génico es la transferencia de genes de una población a otra, ya sea por el movimiento de individuos o por la dispersión de gametos o semillas. Este intercambio de genes puede alterar la frecuencia de alelos de una población y por lo tanto, afectar la evolución de la especie en cuestión. El flujo génico es el proceso mediante el cual los genes se mueven de una población a otra a través de la migración de individuos. Este flujo puede tener un impacto significativo en la variabilidad genética de las poblaciones y en su capacidad para adaptarse al medio ambiente (Solomon, 2008). Este proceso puede tener consecuencias importantes para la diversidad genética de las poblaciones y su capacidad para evolucionar.

Importancia del flujo génico en la evolución de las especies

La selección natural, que favorece la adaptación local en diferentes condiciones ambientales locales, va a tender a actuar en favor de alelos diferentes en un locus genético, si dichos alelos causan adaptaciones locales, solamente en los casos en que la tasa de inmigrantes sea menor a la intensidad de selección podrá haber adaptaciones locales. En la ausencia de flujo génico, la deriva génica que es un mecanismo de la evolución en el que las frecuencias alélicas de una población cambian a lo largo de varias generaciones debido al azar, conducirá también a diferencias locales en las frecuencias alélicas, se asume la existencia de un gran número de poblaciones locales, cada una de ellas con N individuos y asumió que

en cada generación una fracción N de individuos eran reemplazados por un conjunto de individuos, escogidos al azar del resto de las poblaciones (Curtis, 2021 y Biggs, 2012).

Figura 76.
Conceptos básicos de genética



Nota: Studocu (2021)
<https://www.studocu.com/pe/document/universidad-tecnologica-del-peru/biologia>

1. Flujo génico y la frecuencia de alelos

El flujo génico es un proceso fundamental en la evolución de las especies, ya que puede tener un impacto significativo en la diversidad genética y en la adaptación de las poblaciones a su entorno. Algunas de las razones por las que el flujo génico es importante en la evolución de las especies:

1. Intercambio de alelos: El flujo génico permite que se produzca un intercambio de alelos entre poblaciones, lo que puede aumentar la variabilidad genética y por lo tanto, la capacidad de una población para adaptarse a los cambios en su entorno.
2. Evita la endogamia: El flujo génico puede evitar que las poblaciones se vuelvan endogámicas, lo que puede reducir la diversidad genética y aumentar la probabilidad de que se produzcan enfermedades y defectos genéticos.

3. Unión de poblaciones: El flujo génico también puede unir poblaciones que estaban anteriormente aisladas reproductivamente, lo que puede aumentar la diversidad genética y por lo tanto, la capacidad de adaptación de la población combinada.
4. Reducción de la diferenciación entre poblaciones: Cuando hay flujo génico entre poblaciones, puede haber una reducción en la diferenciación genética entre ellas, lo que puede dificultar la identificación de grupos distintos de poblaciones.
5. Conservación de la biodiversidad: El flujo génico puede ser una herramienta importante en la conservación de la biodiversidad, ya que puede evitar la endogamia y aumentar la variabilidad genética en poblaciones en peligro de extinción.

¿Cómo el flujo génico afecta la frecuencia de alelos en las poblaciones?

El flujo génico puede tener un impacto significativo en la frecuencia de alelos en las poblaciones se puede explicar a través de los siguientes mecanismos:

- a) Introducción de nuevos alelos: Cuando individuos de una población migran a otra, pueden llevar con ellos alelos que no se encontraban en la población receptora. Esto puede aumentar la diversidad genética y potencialmente, aumentar la frecuencia de los alelos introducidos.
- b) Reducción de la frecuencia de alelos: Si los individuos que migran a una población tienen una frecuencia de alelos diferente a la de la población receptora, el flujo génico puede reducir la frecuencia de los alelos en la población receptora. Si esto continúa por un tiempo suficiente, puede cambiar significativamente la composición genética de la población.
- c) Equilibrio de Hardy-Weinberg: El flujo génico puede afectar el equilibrio de Hardy-Weinberg, que describe la frecuencia esperada de los alelos en una población que no experimenta mutaciones, selección natural, deriva genética o flujo génico. Si hay flujo génico, la frecuencia de alelos puede desviarse del equilibrio de Hardy-Weinberg.
- d) Combinación de alelos: Cuando individuos de dos poblaciones diferentes se unen y tienen descendencia, los alelos se combinan en la descendencia. Esto puede crear

combinaciones de alelos que no estaban presentes en las poblaciones progenitoras (Audesirk, 2008 y Curtis, 2021).

El flujo génico puede afectar la frecuencia de alelos en las poblaciones al introducir nuevos alelos, reducir la frecuencia de los alelos existentes, afectar el equilibrio de Hardy-Weinberg y crear nuevas combinaciones de alelos en la descendencia. Estos cambios pueden tener un impacto significativo en la diversidad genética y la capacidad de adaptación de las poblaciones.

Nota: Si requieres un apoyo extra en el siguiente código puedes ver un video que te servirá para complementar lo visto.



ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE

Instrucciones. Relaciona las siguientes columnas, con base en los siguientes ejemplos define cual es el efecto del flujo génico que lo representa.



() Un estudio realizado en la rana del árbol europea (*Hyla arborea*) encontró que el flujo génico entre poblaciones estaba asociado con una mayor diversidad genética. El estudio también encontró que la frecuencia de alelos raros aumentaba con el flujo génico, lo que sugiere que el flujo génico puede aumentar la diversidad genética al introducir nuevos alelos en la población.

A. Efecto del flujo génico en la diversidad genética

() Un estudio en mariposas de la especie *Heliconius* encontró que el flujo génico puede tener un impacto significativo en la especiación. El estudio encontró que el flujo génico entre dos especies estrechamente relacionadas estaba asociado con la disminución de la divergencia genética y la hibridación entre las especies.

B. Efecto del flujo génico en la adaptación local

() Un estudio en el leopardo de las nieves (*Panthera uncia*) encontró que el flujo génico entre poblaciones aisladas era esencial para la conservación de la biodiversidad. El estudio

encontró que el flujo génico reducía la diferenciación genética entre poblaciones, lo que aumentaba la diversidad genética y la capacidad de adaptación de la población.	C. Efecto del flujo génico en la conservación de la biodiversidad
() Un estudio en el pez topote (<i>Poecilia mexicana</i>) encontró que el flujo génico entre poblaciones estaba asociado con una mayor capacidad de adaptación local. El estudio encontró que la presencia de migrantes aumentó la capacidad de las poblaciones para adaptarse a los cambios en su entorno.	D) Efecto del flujo génico en la especiación

REFERENCIAS

- Audersirk, T. y Audersirk, G. (2008). *Biología*. (8ª Ed.). Prentice Hall International.
- Biggs, A., Crispen, H. W., & Holliday, W. G. (2012). *Biología*. McGraw-Hill Interamericana.
- Curtis, H., Barnes, S. N., Schnek, A., Massarini, A. (2021). *Biología: en contexto social* (8ª ed.). Editorial Médica Panamericana.
- Solomon, E., Berg L. y Martín, D. (2008). *Biología*. (8a ed.). Mc Graw Hill/ Interamericana.
- Starr, C. R., Taggart, C. E. y Starr, L. (2009). *Biología, la unidad y la diversidad de la vida*. (12ª ed). Cengage Learning

GLOSARIO DE LA UNIDAD 2

Concepto	Definición
Ácidos nucleicos	Macromolécula compuesta por carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, fósforo y azufre.
DNA	Macromolécula que contiene la información de los rasgos hereditarios, consta de dos cadenas de nucleótidos enrolladas en forma de doble hélice; dicha molécula suele estar empaquetada en estructuras conocidas como cromosomas.
Alelos	Son las variantes alternativas de un gen que se encuentran en diferentes cromosomas homólogos.
Aneuploidías	Es la falta o exceso en el número de cromosomas de una célula.
Brazos del cromosoma	Consiste en dos brazos separados por un estrechamiento denominado centrómero; al brazo largo se le designa brazo "q" y al corto, se le conoce como brazo "p". Los cromosomas metafásicos presentan dos cromátidas hermanas unidas por una región llamada centrómero
Bucle	Tercer nivel de compactación de la cromatina se forma cuando una de las fibras del DNA debe doblarse sobre sí misma. Tienen longitudes en el rango de entre 15 y 30 micras.
Centrómero	Es una región estrecha del cromosoma que lo divide en brazo corto y largo; en ella se unen las cromátidas hermanas (cada una de las hebras de DNA duplicadas).
Código genético	Conjunto completo de los 64 codones del RNA m. Cada uno dirige la incorporación de un aminoácido específico en la formación de una proteína durante la síntesis de proteínas o hace que dicho proceso se inicie o termine.
Codón	Secuencia de tres nucleótidos que determina la identidad de un aminoácido en la proteína a sintetizar o una señal que detiene la traducción.
Cromatina	Material cromosómico que no está en división, se encuentra en estado amorfo, disperso y desordenado. Término colectivo para el DNA y las proteínas asociadas en un núcleo celular.
Cromosomas	Las moléculas de DNA son las mayores macromoléculas de la célula y suelen estar empaquetadas en estructuras

	que permiten el almacenamiento y la transmisión de la información genética. Mayor nivel de empaquetamiento del DNA de los eucariontes.
Cromosomas acrocéntricos	Su centrómero se encuentra casi en la parte superior del cromosoma y tiene brazos "p" muy pequeños.
Cromosomas metacéntricos	Se caracterizan por tener el centrómero situado en una posición central y los brazos "p" y "q" son del mismo tamaño.
Cromosomas submetacéntricos	Tienen el centrómero desplazado del centro y el brazo "p" es de menor longitud que el brazo "q".
Cromosomas telocéntricos	Tienen el centrómero tan desplazado hacia un extremo que los brazos cortos no se observan.
Delección	Mutación en la cual se pierden uno o más nucleótidos de una secuencia dada.
Diploides	Las células poseen pares de cromosomas (cromosomas homólogos) y se representan como $2n$.
Duplicación	Sección repetida de un cromosoma.
DNA	Macromolécula que contiene la información de los rasgos hereditarios y que consta de dos cadenas de nucleótidos enrolladas en forma de doble hélice, dicha molécula suele estar empaquetada en estructuras conocidas como cromosomas.
DNA extracromosómico	Material genético adicional que en los eucariontes se encuentra localizado en las mitocondrias y los cloroplastos. En las bacterias está representado por los llamados plásmidos y episomas.
Dominante	Se refiere a un alelo que enmascara el efecto de un alelo recesivo emparejado con él en individuos heterocigotos.
Entrecruzamiento	Es el proceso de intercambio de material genético entre cromosomas homólogos durante la meiosis.
Espliceosoma	Maquinaria molecular que cataliza el proceso de corte intrones y empalme de exones durante la transcripción.
Euploidia	Son los cambios en el número normal de dotaciones de cromosomas de un organismo.

Exón	Segmento de DNA en un gen eucarionte que codifica los aminoácidos de una proteína.
Flujo génico	Es un proceso microevolutivo que consiste en la diseminación de genes entre individuos de una misma población o entre una población y otro, el cual juega un papel importante en la evolución de las especies. Es cualquier desplazamiento de genes desde una población hasta otra.
Frecuencia genética	Abundancia de un alelo en una población. Esto es, para cada gen dado, es la proporción relativa de cada alelo de ese gen en una población.
Gen	Son segmentos de DNA que contienen la información necesaria para codificar proteínas y otros componentes celulares.
Genética	Es la ciencia que estudia los genes, la herencia y la variación.
Genoma	Es la totalidad de la información contenida en el DNA de un organismo, organizada en genes individuales.
Genómica	El estudio del genoma abarca la exploración de su estructura, función y comparación entre los genomas de diferentes especies.
Haploides	Que tienen un solo juego de cromosomas y se representan como n .
Histona	Proteína que participa en la organización y empaquetamiento estructural de los cromosomas eucariontes.
Inserción	Mutación en la que se insertan uno o más nucleótidos.
Intrón	Segmento de DNA que está entre los exones en el gen eucarionte que no codifica los aminoácidos de una proteína y se elimina durante la modificación post transcripcional.
Meiosis	Proceso de división celular que reduce a la mitad el número de cromosomas. Necesario para la reproducción sexual.
Monoploidía o haploidía	Es la existencia de una sola dotación cromosómica, es decir, un solo ejemplar de cada tipo de cromosomas.
Mutación	La mutación es el cambio permite en la secuencia o en el número de nucleótidos en el DNA de una célula cuando los mecanismos de reparación no actúan.

Mutaciones cromosómicas	Implica la alteración de la estructura de los cromosomas.
Mutaciones espontáneas	Aquellas que surgen debido a cambios naturales en la estructura del DNA, ocurren generalmente por fallas durante la replicación del DNA, por ejemplo, la formación de tautómeros (unión de bases de manera errónea G - A).
Mutaciones génicas	Se produce en un nucleótido dentro de las secuencias del DNA, pueden alterar a un gen.
Mutaciones germinales	Ocurren en las células que producen gametos. Una mutación en la línea germinal puede transmitirse a generaciones futuras y producir organismos individuales que sean portadores de mutaciones en todas sus células somáticas y en las de la línea germinal.
Mutaciones inducidas	Son causadas por agentes físicos, químicos y biológicos.
Mutación silenciosa	Se cambia un codón codificante por otro sinónimo, sin alterar la secuencia de aminoácidos de la proteína, gracias a la redundancia del código genético.
Mutaciones somáticas	Se producen en las células no sexuales, o que forman a los tejidos del organismo, estas mutaciones son numerosas, en el cuerpo humano hay cerca de 10^{14} células.
Mutón	A la unidad de cambio de la información.
Nucleosoma	Unidad de empaquetamiento del DNA y consiste en: 1) un octámero de histonas que forman un núcleo proteico (de cuatro pares de histonas, H2A, H2B, H3 y H4) y 2) un fragmento de 146 pares de bases de DNA; la unión de estos dos elementos es por medio de otro tipo de histonas (H1).
Nucleótido	Unidad de los ácidos nucleicos. Está compuesto por la unión de tres unidades: un azúcar de cinco carbonos (ribosa o desoxirribosa), una base nitrogenada y un grupo fosfato.
Plásmido	DNA circular presente en muchas bacterias y arqueas que se replica independientemente del cromosoma.
Poliploidia	Condición de tener más de dos juegos de cromosomas de una especie.
Polipéptido	Producto intermedio en la síntesis proteica, una cadena lineal de aminoácidos.

Proteínas	Son moléculas que se forman por la unión de un número variable de aminoácidos.
Promotor	Secuencia de ADN que indica al ARN polimerasa el inicio del gen que debe transcribir.
Recesivo	Se refiere a un carácter que no se manifiesta en el fenotipo del individuo que lo posee ya que se enmascara por el carácter dominante en el cromosoma homólogo.
Replicación	Proceso mediante el cual una molécula de DNA se duplica; se considera fundamental en la vida de la célula y es necesario que ocurra antes de la división celular para poder transmitir su información genética a las nuevas células hijas.
Ribosoma	Orgánulo encargado de la síntesis proteica.
RNA mensajero (mRNA)	Molécula que es una copia o transcrito de una de las cadenas de DNA y que se utilizará para sintetizar la proteína.
RNA polimerasa	Enzima encargada de sintetizar el RNA a partir de la información contenida en el DNA.
RNA de transferencia (tRNA)	Molécula que transporta los aminoácidos y al mensajero al ribosoma para ser incorporados en la proteína, en síntesis.
Recombinación genética	Es el proceso mediante el cual se intercambia material genético entre dos o más individuos, creando una combinación única de genes en la descendencia.
Semiconservativa	Proceso en el que cada cadena del DNA actúa de molde para la síntesis de una nueva cadena, teniendo como resultado dos moléculas de DNA nuevas, cada una con una cadena nueva y otra vieja.
Sintenia	Es la conservación del orden de los genes entre segmentos cromosómicos de uno o más organismos.
Síntesis proteica	Proceso mediante el cual se ensamblan los aminoácidos en la secuencia correcta para formar una proteína.
Solenoides	Cuarto nivel de compactación del DNA, para formar uno de estos se enrollan 6 nucleosomas por vuelta y sus respectivas 6 histonas H1.

Sustitución de bases	Cambio de una base por otra, afectando a la base complementaria, tiene dos variantes dependiendo de los nucleótidos involucrados.
Telómeros	Estructuras especializadas que cubren los extremos de los cromosomas eucariotas que se encargan de conservar la integridad estructural de estos.
Traducción	El ARNm es decodificado por los ribosomas para sintetizar proteínas.
Transcripción	Proceso para formar una copia de una secuencia de nucleótidos (llamados genes) de una hebra de la molécula del ADN a un transcrito de ácido ribonucleico mensajero ARNm.
Transcripción primaria	Producto inicial de la transcripción, un ARNm monocatenario.
Transición	Es el cambio de purina por otra purina (AG) → (GA) o bien de pirimidina por otra pirimidina (UC) → (CU).
Transversión	una purina se cambia por una pirimidina o de una pirimidina por una purina (AG) ↔ (TC).
Valor C	Es la cantidad de DNA presente en un genoma haploide.

AUTOEVALUACIÓN

1. ¿Cuál de las siguientes opciones define mejor el metabolismo?

- a) El conjunto de reacciones químicas que ocurren en un organismo.
- b) El proceso de obtención de nutrientes a través de la alimentación.
- c) La capacidad de un organismo para realizar actividad física.
- d) La función de transporte de sustancias en el organismo.

Respuesta correcta: a) El conjunto de reacciones químicas que ocurren en un organismo.

2. ¿Cuál de las siguientes opciones describe mejor el anabolismo?

- a) La degradación de moléculas complejas para obtener energía.
- b) La síntesis de moléculas complejas a partir de moléculas simples.
- c) La obtención de energía a través de la respiración celular.
- d) El proceso de absorción de nutrientes en el intestino.

Respuesta correcta: b) La síntesis de moléculas complejas a partir de moléculas simples.

3. Los carbohidratos son moléculas compuestas por:

- a) Aminoácidos.
- b) Ácidos grasos y glicerol.
- c) Monosacáridos.
- d) Nucleótidos.

Respuesta correcta: c) Monosacáridos.

4. ¿Cuál de los siguientes compuestos pertenece a los lípidos?

- a) Glucosa.
- b) Adenina.
- c) Colesterol.
- d) Hemoglobina.

Respuesta correcta: c) Colesterol.

5. Las proteínas están formadas por:

- a) Monosacáridos.
- b) Aminoácidos.
- c) Ácidos grasos y glicerol.
- d) Nucleótidos.

Respuesta correcta: b) Aminoácidos.

6. ¿Cuál de las siguientes opciones describe mejor la función de las enzimas?

- a) Transportar sustancias a través de la membrana celular.
- b) Regular el flujo sanguíneo en el organismo.
- c) Sintetizar hormonas en las glándulas endocrinas.

d) Catalizar reacciones químicas en el organismo.

Respuesta correcta: d) Catalizar reacciones químicas en el organismo.

7. ¿Cuál de las siguientes opciones describe mejor la nutrición heterótrofa?

- a) Obtención de energía a partir de la fotosíntesis.
- b) Obtención de nutrientes a través de la alimentación.
- c) Producción de glucosa a partir de moléculas sencillas.
- d) Síntesis de aminoácidos a partir de proteínas.

Respuesta correcta: b) Obtención de nutrientes a través de la alimentación.

8. ¿En qué proceso metabólico se produce alcohol y dióxido de carbono como productos finales?

- a) Respiración celular.
- b) Fermentación.
- c) Fotosíntesis.
- d) Anabolismo.

Respuesta correcta: b) Fermentación.

9. ¿Cuál de las siguientes opciones describe mejor la respiración celular?

- a) Proceso de obtención de energía en ausencia de oxígeno.
- b) Proceso de obtención de energía en presencia de oxígeno.
- c) Proceso de producción de glucosa a partir de moléculas sencillas.
- d) Proceso de síntesis de proteínas a partir de aminoácidos.

Respuesta correcta: b) Proceso de obtención de energía en presencia de oxígeno.

10. La fotosíntesis es el proceso en el cual las plantas:

- a) Obtienen energía a través de la fermentación.
- b) Obtienen nutrientes a partir de la alimentación.
- c) Obtienen glucosa a partir de la síntesis de proteínas.
- d) Obtienen energía a partir de la luz solar.

Respuesta correcta: d) Obtienen energía a partir de la luz solar.

11. ¿Cuál de las siguientes opciones describe correctamente el anabolismo?

- a) Es el proceso de degradación de moléculas grandes en moléculas más pequeñas.
- b) Es el proceso de construcción de moléculas grandes a partir de moléculas más pequeñas.
- c) Es el proceso de obtención de energía a través de la respiración celular.
- d) Es el proceso de obtención de energía a través de la fermentación.

Respuesta: b) Es el proceso de construcción de moléculas grandes a partir de moléculas más pequeñas.

12. Los carbohidratos son:

- a) Moléculas formadas por aminoácidos.

- b) Moléculas formadas por ácidos grasos y glicerol.
- c) Moléculas formadas por monosacáridos.
- d) Moléculas formadas por nucleótidos.

Respuesta: c) Moléculas formadas por monosacáridos.

13. Los lípidos se caracterizan por:

- a) Ser la principal fuente de energía para el organismo.
- b) Ser moléculas como el ADN y el ARN que están involucradas en la síntesis proteica.
- c) Ser moléculas de almacenamiento de energía y componentes estructurales de las células.
- d) Ser moléculas que funcionan como enzimas y regulan las reacciones químicas.

Respuesta: c) Ser moléculas de almacenamiento de energía y componentes estructurales de las células.

14. Las proteínas están formadas por:

- a) Monosacáridos.
- b) Ácidos grasos y glicerol.
- c) Aminoácidos.
- d) Nucleótidos.

Respuesta: c) Aminoácidos.

15. ¿Cuál de las siguientes opciones describe correctamente las enzimas?

- a) Son moléculas que se encargan del transporte de sustancias dentro de la célula.
- b) Son moléculas que almacenan y transmiten información genética.
- c) Son moléculas que aceleran las reacciones químicas en los organismos vivos.
- d) Son moléculas que participan en la síntesis de proteínas.

Respuesta: c) Son moléculas que aceleran las reacciones químicas en los organismos vivos.

16. La nutrición heterótrofa se refiere a:

- a) La capacidad de los organismos para producir su propia energía a través de la fotosíntesis.
- b) La capacidad de los organismos para obtener la energía de moléculas orgánicas producidas por otros organismos.
- c) La capacidad de los organismos para obtener la energía del sol.
- d) La capacidad de los organismos para descomponer moléculas orgánicas.

Respuesta: b) La capacidad de los organismos para obtener la energía de moléculas orgánicas producidas por otros organismos.

17. La fermentación es:

- a) Un proceso en el que las células producen energía en presencia de oxígeno.

- b) Un proceso en el que las células producen energía en ausencia de oxígeno.
- c) Un proceso en el que las células transforman la energía luminosa en energía química.
- d) Un proceso en el que las células producen glucosa a partir de dióxido de carbono y agua.

Respuesta: b) Un proceso en el que las células producen energía en ausencia de oxígeno.

18. Durante la respiración celular, la glucosa se descompone en:

- a) Dióxido de carbono y agua.
- b) Aminoácidos y nucleótidos.
- c) Monosacáridos y lípidos.
- d) ATP y CO₂.

Respuesta: a) Dióxido de carbono y agua.

19. ¿Cuál es la principal función de la fotosíntesis?

- a) Obtener energía a partir de moléculas orgánicas.
- b) Obtener energía a partir de la respiración celular.
- c) Obtener energía de la luz solar y convertirla en energía química.
- d) Obtener energía a través de la fermentación.

Respuesta: c) Obtener energía de la luz solar y convertirla en energía química.

20. ¿Cuál es la estructura primaria del material genético?

- a) Proteínas
- b) Ácidos nucleicos
- c) Lípidos
- d) Carbohidratos

Respuesta: b) Ácidos nucleicos

21. ¿Cuál es la molécula clave en la organización del material genético?

- a) DNA
- b) RNA
- c) Proteínas
- d) Carbohidratos

Respuesta: a) DNA

22. ¿Cuál es la unidad básica de organización del DNA?

- a) Gen
- b) Cromosoma
- c) Organelo
- d) Proteína

Respuesta: a) Gen

23. ¿Cuántos cromosomas encontramos en las células procariotas?

- a) Uno
- b) Dos
- c) Varios
- d) Depende del organismo

Respuesta: a) Uno

24. ¿Cuántos cromosomas se encuentran en las células humanas?

- a) 23
- b) 46
- c) 92
- d) Depende del tejido

Respuesta: b) 46

25. ¿Qué proceso permite la duplicación del DNA?

- a) Transcripción
- b) Traducción
- c) Replicación
- d) Mutación

Respuesta: c) Replicación

26. ¿En qué parte de la célula ocurre la síntesis de proteínas?

- a) Núcleo
- b) Mitocondria
- c) Ribosomas
- d) Lisosomas

Respuesta: c) Ribosomas

27. ¿Cuál de los siguientes términos se refiere al conjunto total de genes en un organismo?

- a) ADN
- b) Cromosomas
- c) Genotipo
- d) Genoma

Respuesta: d) Genoma

28. ¿Qué proceso permite la transferencia de información genética entre diferentes organismos?

- a) Mutación
- b) Recombinación génica
- c) Transcripción
- d) Traducción

Respuesta: b) Recombinación génica

29. ¿Cuál de las siguientes opciones no es una fuente de variación genética?

- a) Mutación
- b) Recombinación génica

- c) Flujo génico
- d) Replicación

Respuesta: d) Replicación

30. ¿Qué es una mutación?

- a) Un cambio permanente en la secuencia de ADN
- b) El proceso de formación de proteínas
- c) Un organismo con características favorables para su supervivencia y reproducción
- d) El flujo de genes entre poblaciones

Respuesta: a) Un cambio permanente en la secuencia de ADN

31. ¿Qué es el flujo génico?

- a) El intercambio de genes entre diferentes poblaciones
- b) La duplicación del ADN
- c) La síntesis de proteínas
- d) El empaquetamiento del ADN en cromosomas

Respuesta: a) El intercambio de genes entre diferentes poblaciones

32. ¿Cuál de las siguientes opciones NO es un tipo de material genético?

- a) ADN
- b) ARN
- c) Proteínas
- d) Carbohidratos

Respuesta: d) Carbohidratos

33. ¿Qué molécula contiene la información genética en las células?

- a) ADN
- b) ARN
- c) Proteínas
- d) Ácidos grasos

Respuesta: a) ADN

34. ¿En dónde se localizan los genes en las células eucariotas?

- a) En el núcleo
- b) En el citoplasma
- c) En las mitocondrias
- d) En el retículo endoplasmático

Respuesta: a) En el núcleo

35. ¿Cuál es el componente principal del genoma de las células procariotas?

- a) ADN
- b) ARN
- c) Proteínas
- d) Glucosa

Respuesta: a) ADN

36. ¿Cuál es el proceso por el cual se duplica el ADN antes de la división celular?

- a) Mitosis
- b) Meiosis
- c) Transcripción
- d) Replicación

Respuesta: d) Replicación

37. ¿Cuál es el producto final de la síntesis de proteínas?

- a) DNA
- b) ARN
- c) Carbohidratos
- d) Proteínas

Respuesta: d) Proteínas

38. ¿Cómo se transmite la información genética de una generación a otra?

- a) A través de la replicación del ADN
- b) A través de la mitosis
- c) A través de la recombinación génica
- d) A través de la síntesis de proteínas

Respuesta: a) A través de la replicación del ADN

39. ¿Cuál de las siguientes opciones NO es una forma de mutación?

- a) Mutación puntual
- b) Delección
- c) Inserción
- d) Síntesis de proteínas

Respuesta: d) Síntesis de proteínas

40. ¿Qué proceso genético es responsable de la generación de variabilidad genética en una población?

- a) Mutación
- b) Replicación
- c) Transcripción
- d) Traducción

Respuesta: a) Mutación

41. ¿Qué fenómeno genético resulta en la recombinación de genes entre dos cromosomas homólogos?

- a) Mutación
- b) Flujo génico
- c) Traslación
- d) Transfusión

Respuesta: b) Flujo génico

**DIRECTORIO
UNAM****Rector**

Dr. Enrique Graue Wiechers

CCH**Director General**

Dr. Benjamín Barajas Sánchez

PLANTEL ORIENTE**Directora**

Mtra. María Patricia García Pavón

Secretaría General

QFB. Reyes Flores Hernández

Secretaría Académica

Mtra. Martha Maya Téllez

Secretaría Administrativa

Mtra. Alejandra Barrios Rivera

Secretaría Docente

Mtra. Cecilia Espinosa Muñoz

Secretaría de Administración Escolar

Mtra. Claudia Verónica Morales Montaña

Jefatura del Área de Ciencias Experimentales

Evelyn Paola Castillo Godínez

Ángel Emmanuel García García