

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
COLEGIO DE CIENCIAS Y HUMANIDADES
PLANTEL AZCAPOTZALCO

GUIA PARA EXAMEN EXTRAORDINARIO DE BIOLOGÍA III
(PROGRAMA ACTUALIZADO)

CIENCIAS EXPERIMENTALES



Alcántara Montoya María Dolores
Bautista García Gregorio
Carranco Blanquet Paul Dante
Chaires Espinosa Ramsés
Díaz Velázquez Jannet
Espinosa Meneses Angélica
Guadarrama Pérez Ricardo (coordinador)
Guzmán López Gustavo
Morales Díaz Abigail
Palomino Naranjo Armando (coordinador)
Romero Cortés Alejandro Joaquín
Saldaña García María del Refugio

Diciembre 2018

INDICE

Presentación	3
Introducción	4
U N I D A D I: ¿Cómo los procesos metabólicos energéticos contribuyen a la conservación de los sistemas biológicos?	5
Tema I. Bases moleculares del metabolismo	
Subtema I: Metabolismo: Anabolismo y Catabolismo	6
Subtema II: Carbohidratos, lípidos, proteínas y nucleótidos	18
Subtema III: Enzimas	25
Tema II. Procesos metabólicos de obtención y transformación de materia y energía	
Subtema I: Nutrición heterótrofa y autótrofa	32
Subtema II: Fermentación y respiración celular	37
Subtema III: Fotosíntesis	48
Recursos bibliográficos de la 1ª Unidad	57
U N I D A D II: ¿Por qué se considera a la variación, trasmisión y expresión génica como la base molecular de la biodiversidad?	59
Tema I: Organización del material genético.	
Subtema I: DNA, genes y cromosomas	59
Subtema II: Genoma procarionota y eucariota	67
Tema II: Genética y biodiversidad.	
Subtema I: Replicación del DNA	74
Subtema II: Síntesis de proteínas	82
Subtema III: Transmisión y expresión génicas	96
Tema III: Variación génica y su importancia en la biodiversidad.	
Subtema I: Mutación	111
Subtema II: Recombinación	128
Subtema III: Flujo génico.....	133
Recursos bibliográficos de la 2ª Unidad	129

PRESENTACIÓN

De acuerdo con el artículo 14 del Reglamento General de Exámenes de la Universidad Nacional Autónoma de México, la evaluación extraordinaria tiene por objeto examinar y calificar la capacitación de los sustentantes que no hayan acreditado en evaluación ordinaria las materias correspondientes cuando:

- a) Habiéndose inscrito en la asignatura, no hayan llenado los requisitos para acreditarla, de acuerdo con lo previsto en los incisos a) y b) del artículo 2o., y en el artículo 10.
- b) Siendo alumnos de la Universidad, no hayan estado inscritos en la asignatura correspondiente, o no la hayan cursado.
- c) Habiendo estado inscritos dos veces en una asignatura, no puedan inscribirse nuevamente, según lo establecido en el artículo 20(1) del Reglamento General de Inscripciones.
- d) Hayan llegado al límite de tiempo en que pueden estar inscritos en la Universidad, de acuerdo con el artículo 19(2) del mismo reglamento.

En este marco normativo, es necesario contar con materiales de apoyo para orientar y auxiliar a los estudiantes que opten por acreditar las asignaturas del Plan de Estudios, mediante evaluación extraordinaria, cuyo principal mecanismo es el examen extraordinario.

Adicionalmente, en años recientes el Colegio de Ciencias y Humanidades ha llevado a cabo una actualización de los Programas de Estudio de todas las asignaturas que conforman el Plan de Estudios, cuya aprobación por parte del H. Consejo Técnico, permitió el inicio de la aplicación de los programas actualizados. En dicha actualización se modificaron diversos aspectos de los programas de estudios, desde los aprendizajes, temas o niveles cognitivos, hasta, en algunos casos, la reformulación total de las unidades y contenidos generales.

En el caso de la asignatura de Biología III, cuya implementación del programa actualizado se realizará en agosto de 2018, durante el periodo lectivo 2018 – 2019, se realizaron ajustes que hacen necesaria la construcción colectiva de materiales de apoyo tanto para la evaluación ordinaria, como para la extraordinaria.

La presente Guía de Estudios de Biología III, constituye un esfuerzo colegiado por contar con materiales de apoyo apropiados a las condiciones de la evaluación extraordinaria en el marco de la actualización del programa. Su intención es dotar al alumno de la información y herramientas necesarias para preparar el examen extraordinario, de forma que no sólo le permita incrementar las probabilidades de acreditación por ésta vía, sino que además propicie la adquisición de los aprendizajes y conocimientos necesarios en los estudiantes.

Finalmente, se considera a esta guía, de acuerdo con el protocolo de equivalencias, como el documento auxiliar para la preparación de un reconocimiento extraordinario, impreso o en línea, elaborado colegiadamente, con base en el programa de la asignatura. Debe estar aprobada por la Dirección del plantel y ser utilizada en un periodo de exámenes.

INTRODUCCIÓN

La biología es una ciencia que se encarga del estudio de los sistemas biológicos y en su enseñanza es importante considerar que posee una serie de atributos que la caracterizan y le dan identidad epistemológica frente a otras formas de conocimiento y de expresión. Es así como su historia propia le permite delimitar objetivamente su objeto de estudio, así como los métodos, técnicas y procedimientos que emplea para obtener información que conduzca a una explicación y comprensión de los sistemas biológicos.

En este contexto, la asignatura de Biología III busca que el alumno logre ampliar sus explicaciones de los procesos en los sistemas biológicos, mediante la integración de los conceptos, principios, habilidades, actitudes y valores en la construcción y reconstrucción de conocimientos fundamentales en este campo de estudio.

El estudio de la biología en esta asignatura se inicia con la manera en que los sistemas biológicos mantienen su estatus como sistemas vivos, a través del conocimiento del metabolismo y algunas formas en que intercambian materia y energía con el entorno, lo que corresponde con la primera unidad del programa de Biología III. Para la segunda unidad, se continúa con el análisis de la naturaleza genética y molecular de éstos, así como las fuentes que producen variación en las poblaciones naturales.

Dadas las consideraciones anteriores, la presente Guía de Estudios se estructura a partir de cada aprendizaje y de los temas a que se refiere cada uno de ellos, de acuerdo con el Programa Actualizado. Por cada aprendizaje se describen los conceptos básicos inherentes al tema, con las habilidades básicas a desarrollar, se muestra información elemental y actividades que el alumno debe realizar a fin de preparar adecuadamente el examen extraordinario. Las actividades pueden incluir ejercicios y/o recursos adicionales que brinden mayor profundidad y fortalezcan el dominio de los temas. Por último, al final se encontrarán una serie de reactivos por unidad, que puedan alentar la autoevaluación.

Desde el punto de vista del estudiante, será necesario revisar y estudiar los temas mínimamente con los contenidos de esta Guía, pero se recomienda profundizar utilizando la bibliografía y las fuentes indicadas en este material.

CONTENIDO TEMÁTICO

UNIDAD I:

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

Propósito:

Al finalizar la unidad el alumno describirá la importancia del metabolismo, a través del análisis de diferentes procesos energéticos, para que explique su contribución a la conservación de los sistemas biológicos.

Introducción a la unidad.

En la asignatura de Biología III, se considera que el objeto de estudio, es decir los sistemas biológicos, deben ser analizados desde una visión integral tomando, como eje estructural de los contenidos temáticos y los aprendizajes, a la biodiversidad. Por esta razón, su estudio inicia con el análisis de la forma en que se mantiene el estatus de sistema vivo, fundamentalmente a partir de conocer el metabolismo y los procesos de intercambio de materia y energía con el entorno, en los niveles subcelulares, celulares y de organismos. De esta manera, se podrá explicar los cómo y porqués de la conservación de los sistemas biológicos como entidades autorregulables que mantienen su estatus de vida mediante mecanismos y procesos donde el intercambio de materia y energía es muy importante.

En este contexto, los aprendizajes y temas que incluye el programa de estudios, están enfocados a analizar las bases moleculares del metabolismo, para posteriormente profundizar en los procesos metabólicos básicos que permiten la transformación de la materia y energía en los principales tipos de estrategias nutricionales que se presentan en la diversidad, la autótrofa y la heterótrofa.

Adicionalmente, se busca que los estudiantes complementen su aprendizaje a través del desarrollo de habilidades procedimentales mediante la realización de investigaciones escolares, sean de tipo documental, experimental, de campo o virtual sobre los temas ya mencionados.

La asignatura de Biología III tiene el propósito de profundizar en la cultura biológica y contribuir con una formación propedéutica para realizar estudios profesionales en el Área de Ciencias Químico–Biológicas y de la Salud. También, se busca que el alumno logre ampliar sus explicaciones de los procesos en los sistemas biológicos, mediante la integración de los conceptos, principios, habilidades, actitudes y valores en la construcción y reconstrucción de conocimientos fundamentales en este campo de estudio.

Por tanto, las actividades plasmadas para esta Primera Unidad del Programa de Estudios inician con la manera en que los sistemas biológicos mantienen su estatus como sistemas vivos, a través del conocimiento del metabolismo y algunas formas en que intercambian materia y energía con el entorno. Para ello, se abordan y analizan los principios básicos de la termodinámica, se

relacionan ciertas biomoléculas con procesos metabólicos que se encargan de transformar la energía, así como la importancia de las enzimas en la regulación de las rutas metabólicas.

Hacia el final de la Unidad, se relaciona la nutrición heterótrofa y autótrofa con las formas de obtención y transformación de materia y energía. Se finaliza con el análisis de procesos metabólicos que ejemplifican rutas catabólicas, como la fermentación y la respiración celular, y la fotosíntesis como una ruta anabólica.

UNIDAD I

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

Propósito:

Al finalizar la unidad el alumno describirá la importancia del metabolismo, a través del análisis de diferentes procesos energéticos, para que explique su contribución a la conservación de los sistemas biológicos.

Tema I. Bases moleculares del metabolismo:

Subtema I. Metabolismo: anabolismo y catabolismo.

Aprendizaje: Compara el anabolismo y catabolismo como procesos de síntesis y degradación para la conservación de los sistemas biológicos.

Conceptos básicos: Sistemas biológicos abiertos, Metabolismo, Energía, Rutas metabólicas, Anabolismo, Catabolismo, Reacciones redox, Leyes de la termodinámica, Conservación.

Habilidades básicas:

Búsqueda de información impresa, digital, otros formatos (videos, audios).

Identificación de información válida y útil.

Tratamiento información y datos obtenidos.

Comunicación verbal y escrita del trabajo realizado.

Metabolismo: anabolismo y catabolismo.

¿Cómo obtienen los sistemas biológicos la energía de su entorno?

Para poder explicar cómo interactúan los sistemas biológicos con su entorno se mencionará qué un sistema es: (Figura 1)

- a) Un conjunto de elementos, subsistemas o componentes que tienen relaciones de interacción e interdependencia que le confieren entidad característica o una propiedad emergente propia al formar un todo unificado (Figura 1).
- b) Cualquier objeto, cualquier cantidad de materia, cualquier región del espacio, seleccionado para estudiarlo y aislarlo de todo lo demás. Así todo lo que lo rodea es entonces el entorno, medio externo o alrededores donde se encuentra el sistema. La envoltura imaginaria que encierra un sistema y lo separa de sus inmediaciones (entorno, medio externo o alrededores) se llama frontera del sistema y puede pensarse que tiene propiedades especiales que sirven para aislar el sistema de su entorno o para permitir la interacción de un modo específico entre el sistema y su entorno. El sistema y sus alrededores en conjunto conforman el Universo.

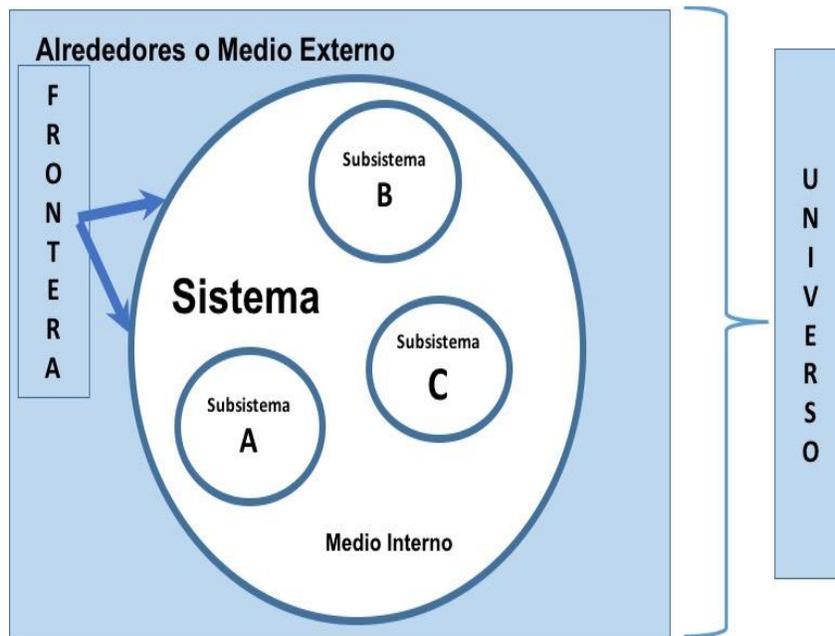


Figura 1. Modelo de un sistema con su entorno conformando un Universo.

Para comprender los intercambios de energía en los sistemas biológicos es necesario tener presentes algunas ideas relacionadas con la termodinámica. Una de ellas es que para esta ciencia hay tres tipos de sistemas:

- a) Abiertos, pueden intercambiar energía y materia con su entorno.
- b) Cerrados, solo puede intercambiar energía con sus alrededores, no materia.
- c) Aislados, no pueden intercambiar ni materia ni energía con su entorno.

Actividad 1.

Complementa la siguiente tabla que contienen diferentes ejemplos de sistema e indica si se trata de un sistema abierto, un sistema cerrado o un sistema aislado, indicando en su caso los componentes del sistema y las razones del porqué de tu elección.

Ejemplo de sistema	Tipo de sistema	Razones
Célula animal		
Una olla con agua hirviendo		
Una fogata		
Un foco encendido		
Una botella con agua fría		
Una pila reloj		
Un traje de neopreno para bucear		
Un termo con agua fría		
Una lata que contiene atún		

Los sistemas biológicos son sistemas abiertos (Figura 2) porque tienen la capacidad de ingresar, transformar y liberar energía, materia e información para que ellos puedan llevar a cabo sus actividades y funciones vitales como por ejemplo: crecimiento, desarrollo, reproducción, movimiento, entre otros; depende de la captación y transformación de energía del entorno que les rodea, la cual se puede transferir 1) a través de la cadena alimentaria donde obtienen nutrimentos y alimentos ya elaborados, o 2) de una fuente luminosa o inorgánica.

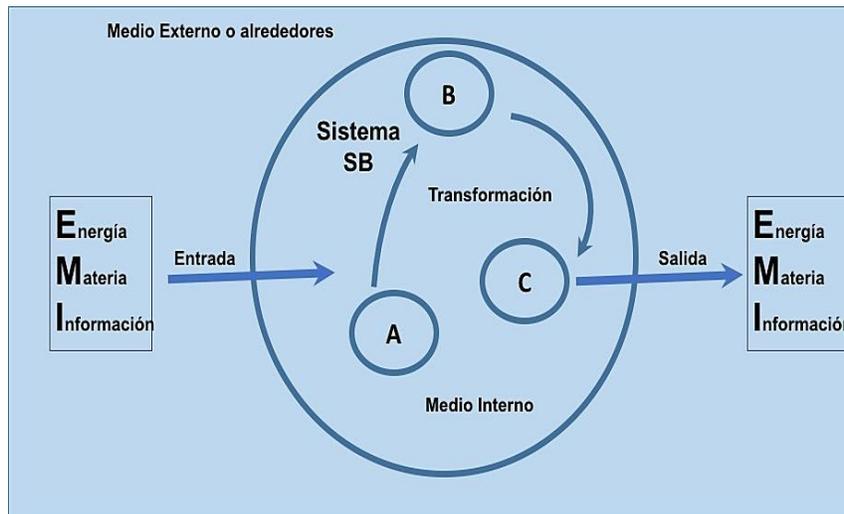


Figura 2. Modelo de un sistema abierto: El Sistema Biológico denominado SB el cual posee los componentes, estructuras o subsistemas denominados A, B y C en el cual ingresa energía, materia e información del medio externo que se transforma, modifica y emplea en el medio interno de SB a través de los subsistemas, en este ejemplo en los subsistemas A, B y C, para después salir del Sistema Biológico SB.

Actividad 2.

Observa la figura 3 y complementa en los recuadros la información que corresponda: Se aisló una célula animal a la cual se le dejó en medio externo con agua azucarada con el propósito de registrar que ocurría y qué productos se obtenían. Para responder revisa la información contenida en la siguiente dirección:

<https://es.khanacademy.org/science/biology/energy-and-enzymes/modal/a/overview-of-metabolism>.

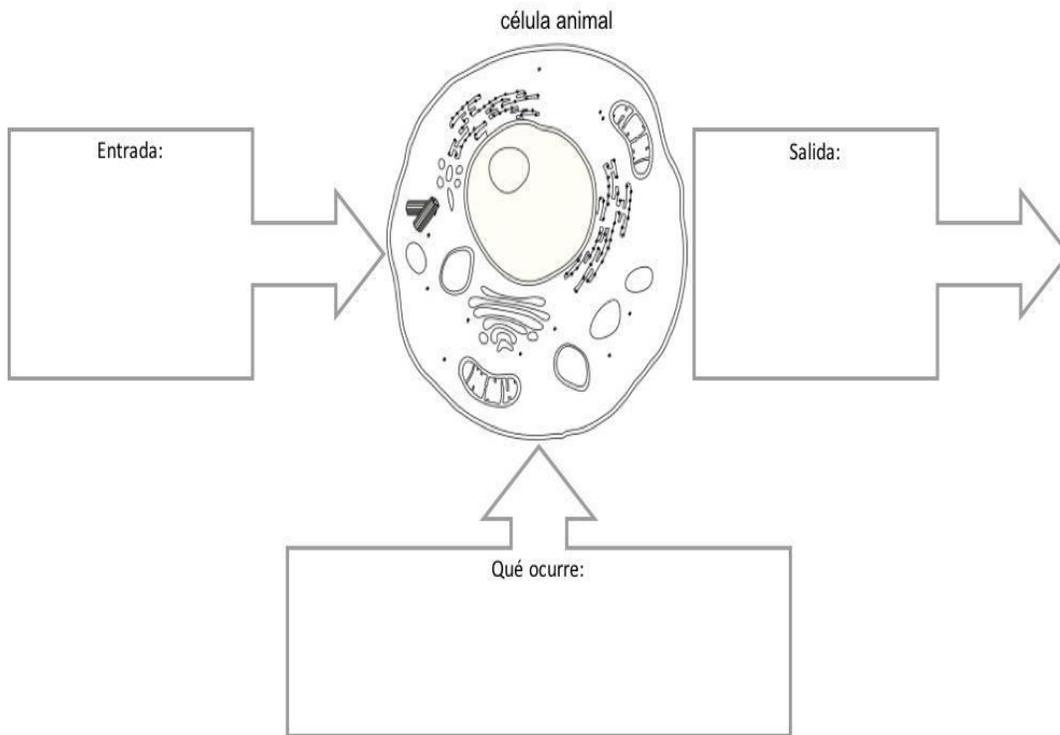


Figura 3.

Los intercambios de energía que se llevan a cabo en los sistemas biológicos se rigen por las leyes de la física, específicamente de la leyes de la termodinámica, partiendo en primer lugar sobre lo que es la energía y su importancia en el trabajo biológico, de acuerdo a Solomon, Berger y Martin en (2013) señalan que la energía es la capacidad para hacer trabajo, que es cualquier cambio de estado o de movimiento de la materia y que esta puede ser la cinética que es la energía que un objeto tiene debido a su movimiento y potencial que es la energía almacenada, y que los sistemas biológicos en la en gran parte de sus procesos implican una serie de transformaciones energéticas que ocurren conforme la energía cinética se convierte en energía potencial o viceversa. Mientras que el trabajo biológico que realizan los sistemas biológicos se puede agrupar en tres tipos:

- a) Trabajo químico, es efectuado por el sistema biológico por medio de los procesos de anabolismo y catabolismo.
- b) Trabajo de concentración, también llamado osmótico, consiste en el transporte que realiza el sistema al introducir o eliminar del citoplasma sustancias en contra del gradiente de concentración.
- c) Trabajo mecánico, es realizado por el sistema al efectuar sus movimientos.

Por medio de estos tres tipos de trabajo se presenta el flujo de energía en las células.

Las transformaciones energéticas se rigen por las leyes de la termodinámica:

- a) La primera ley de la termodinámica, se refiere a la cantidad total de energía en el universo, y en particular declara que esta cantidad total no cambia, es decir, la energía no se puede crear ni destruir, solo puede cambiarse o transferirse de un objeto a otro. Lo importante es que ninguna de estas transferencias es completamente eficiente. En cambio, en cada situación, parte de la energía inicial se libera como energía térmica. Cuando la energía térmica se mueve de un objeto a otro, recibe el nombre de **calor**.
- b) la **segunda ley de la termodinámica**, refiere a que en cada transferencia de energía que se produce aumentará la entropía (el grado de aleatoriedad o desorden en un sistema, en este sentido, cada transferencia de energía resulta en la conversión de una parte de energía en una forma no utilizable como calor y no realiza trabajo se destina a aumentar el desorden del universo) y reducirá la cantidad de energía utilizable disponible para realizar trabajo. En otras palabras, cualquier proceso, como una reacción química o un conjunto de reacciones conectadas, procederá en una dirección que aumente la entropía total del universo.

¿Cómo sintetizan o elaboran las células los compuestos fundamentales que los conforman o que emplean para sí?

Los sistemas biológicos son capaces por si mismos de realizar funciones vitales como la nutrición (la forma por la cual obtienen energía y nutrientes de construcción), relación (la forma por la cual el sistema posee la sensibilidad o la capacidad de captar estímulos del entorno y poseer la irritabilidad o capacidad para responder a estos estímulos) y la reproducción (la capacidad de dejar descendencia y perpetuarse a sí mismo), el metabolismo es el proceso mediante el cual los sistemas biológicos adquieren y utilizan la energía del medio externo que requieren para realizar todas estas funciones vitales para su conservación, en este sentido, se puede decir que el metabolismo es el conjunto de reacciones químicas que tienen lugar en el interior de las células para satisfacer sus necesidades de materia y energía que le permiten realizar todas sus actividades, crecer, moverse, mantenerse y repararse a sí mismo, reproducirse y responder a estímulos.

Al mencionar reacciones químicas estas se entienden como las transformaciones energéticas. La energía que contienen unos enlaces se transfiere a otros nuevos en moléculas diferentes.

Cuando en esas reacciones se produce una transferencia de electrones (e^-) se conocen como reacciones de oxidación-reducción. Una oxidación es la pérdida de algún e^- . Su nombre procede del oxígeno, que es un gran aceptor de e^- . Las sustancias se oxidan: cuando se forman enlaces nuevos con oxígenos o cuando se rompen enlaces con hidrógenos. Una reducción es la ganancia de algún e^- . Las sustancias se reducen: cuando se rompen enlaces nuevos con oxígenos o cuando se forman enlaces con hidrógenos. La oxidación y la reducción son simultáneas, siempre que una sustancia se oxida la otra se reduce.

Las reacciones endergónicas son las reacciones de obtención de energía; retienen energía. Las reacciones exergónicas son las reacciones de extracción de energía de los compuestos; liberan energía.

Instrucciones. Revisa coordinadamente o a la par la figura 4 con el siguiente texto que explica qué es el metabolismo:

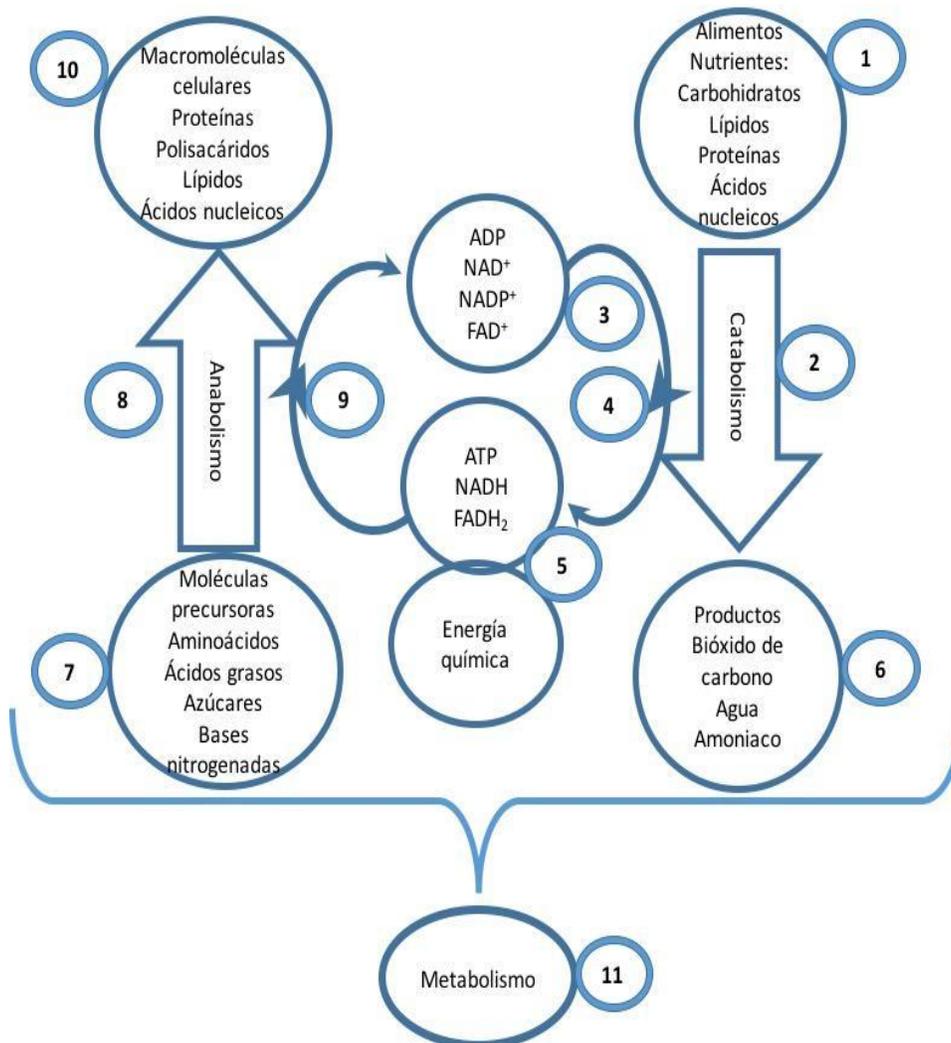


Figura 4 Anabolismo y catabolismo.

De acuerdo con la figura 4, podemos analizar lo que ocurre en el anabolismo y en el catabolismo. En (1), los organismos obtienen energía a partir de materiales captados del medio ya sea la energía solar o degradando los nutrientes en alimentos ricos en energía química almacenada en los enlaces químicos. (2) Se lleva a cabo el desensamble de las macromoléculas (de polímeros a monómeros) obtenidas, es decir, el catabolismo, que consiste en la degradación de moléculas complejas a moléculas simples con liberación de energía química en forma de ATP (reacciones exergónicas). (3), (4) y (5) formando parte del catabolismo las coenzimas como el NAD^+ , $NADP^+$ y FAD, obtienen el poder reductor y en el caso del ADP obtiene *Pi* para portar energía, (6) como resultado de las reacciones catabólicas y de la transformación de los nutrimentos (1) se obtienen productos como el CO_2 , H_2O y el NH_3 .

(7) De las moléculas obtenidas en (2) o bien almacenadas en el interior del sistema biológico, los monómeros precursores de las macromoléculas funcionales y estructurales para el sistema se lleva a cabo el anabolismo (8), es decir, la síntesis de moléculas complejas a partir de moléculas simples (monómeros a polímeros) con consumo de energía química (9) en forma de ATP (reacciones endergónicas). Fabricando así moléculas de recambio (10) para sustituir las gastadas o sintetizar otras moléculas necesarias para el crecimiento o realizar otra función celular.

(11) En resumen, el metabolismo se clasifica en anabolismo y catabolismo y que es un conjunto de reacciones altamente organizadas mediadas por enzimas que actúan como catalizadores biológicos que ocurren en el interior de la célula y que estas transformaciones energéticas involucran reacciones del tipo exergónicas y endergónicas.

ACTIVIDAD 3.

Instrucciones. Obteniendo información del Portal Académico del CCH (<https://portalacademico.cch.unam.mx/alumno/biologia1/unidad2/metabolismo/definicion>) elabora un glosario y complementa la siguiente tabla:

Glosario	
Término	Concepto
Enzima	
Coenzima	
Sustrato	
Monómero	
Polímero	
Energía	

¿Cómo se organizan estas reacciones enzimáticas al interior de la célula?

En la célula todas las transformaciones químicas que se producen se lleva a cabo a través de una serie de reacciones catalizadas enzimáticamente y es lo que constituyen las rutas metabólicas, en bioquímica, una ruta metabólica o vía metabólica es una sucesión de reacciones químicas que conducen de un sustrato inicial a uno o varios productos finales, a través de una serie de metabolitos intermediarios. Las rutas metabólicas pueden representarse gráficamente la serie de pasos o el camino que siguen las reacciones químicas catalizadas por enzimas, por ejemplo, en la figura 5 se representa una ruta metabólica que incluye la secuencia de reacciones.

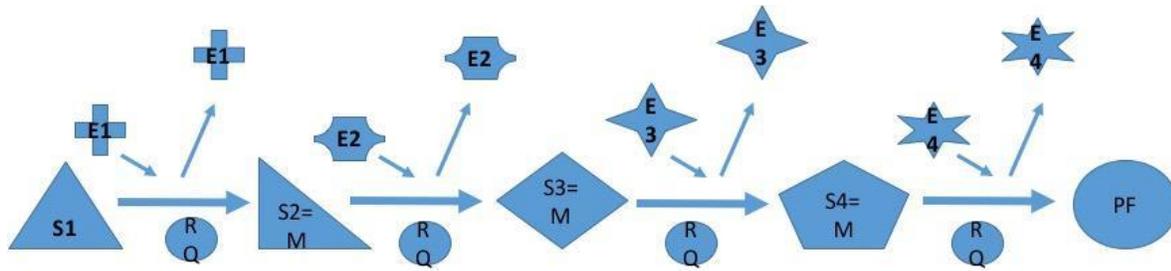


Figura 5. La estructuras del S1 al S4 representan un sustrato diferente: S1 que es el sustrato inicial, y S2, S3 y S4 son sustratos intermedios también denominados metabolitos y PF que es el producto final de esa ruta, note que de E1 a E4 se representan a las enzimas que actúan sobre el sustrato que lo modifican a través de una reacción química (RQ), observe además que la enzima actuó sobre el sustrato pero no fue modificada.

Existen vías o rutas catabólicas que son de tipo degradativo, químicamente son procesos oxidativos y suelen obtener energía y vías o rutas anabólicas que son rutas de biosíntesis, químicamente son procesos reductores y requieren un aporte de energía externo.

Actividad 4.

Consulta la siguiente dirección electrónica:

<http://exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/Metabolismoybioenergetica.pdf>

Lee cuáles son las diferentes tipos de vías o rutas metabólicas e indica el que corresponde a cada una de las siguientes imágenes: lineal, ramificada, cíclica y escalonada y anote el por qué se le considera de este tipo.

Esquema	Tipo de ruta	Descripción

Actividad 5.

Instrucciones. De la siguiente lista indica si es un proceso anabólico o si es catabólico.

Ejemplo	Tipo
Síntesis de triglicéridos	
Glucólisis	
Fermentación	
Síntesis de ATP	
Gluconeogénesis	
Síntesis de proteínas	
Síntesis de aminoácidos	
Quimiosíntesis	
Síntesis de nucleótidos	
Replicación del DNA	

Fotosíntesis	
Glucogenólisis	
Fotofosforilación	
Respiración celular	

Actividad 6.

Instrucciones. En el siguiente mapa conceptual (figura 6) anota la palabra que complementa a la secuencia de conceptos.

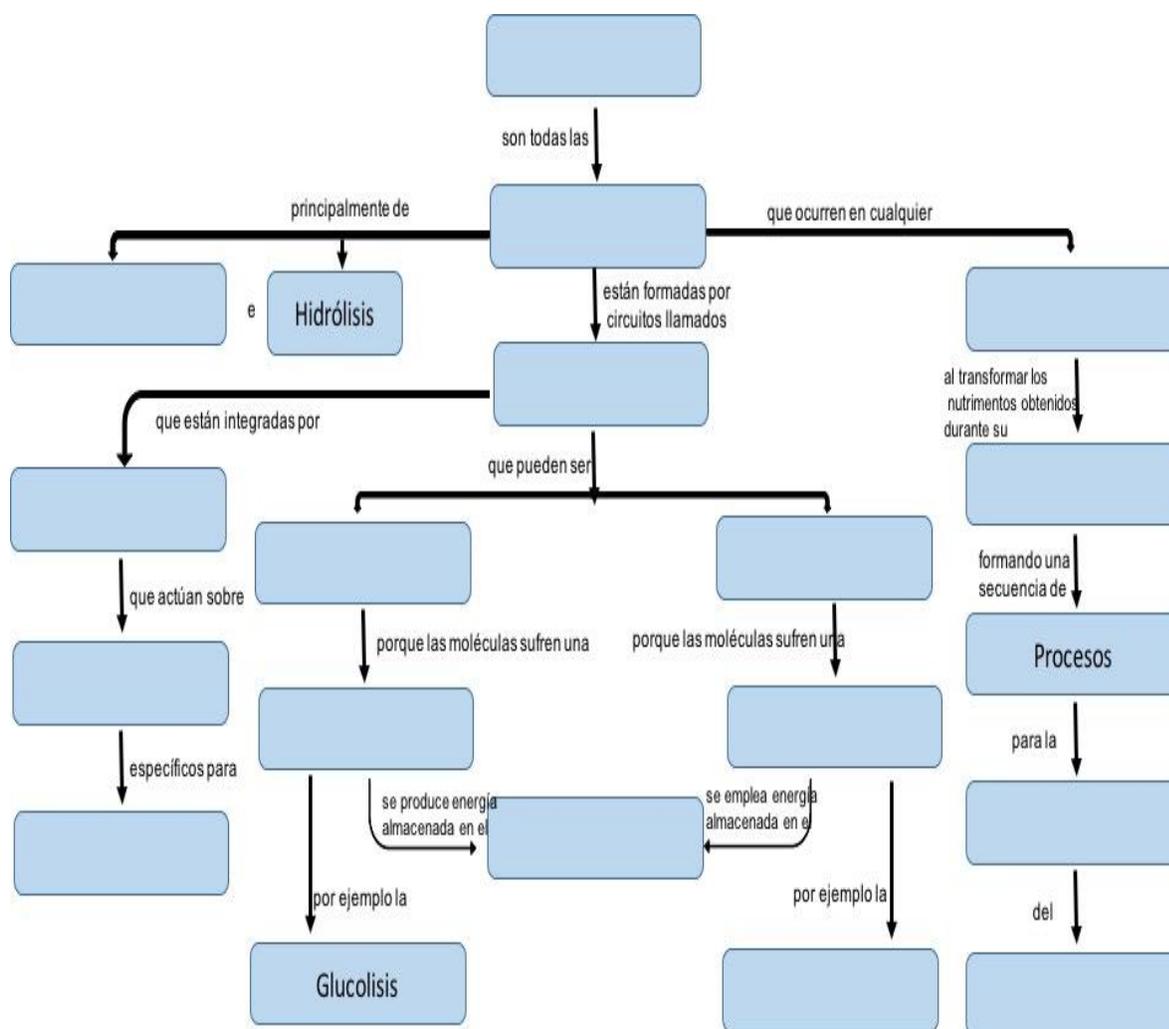


Figura 6. Mapa conceptual

Conceptos: 1) Metabolismo, 2) Fotosíntesis, 3) Sistema biológico, 4) Célula, 5) Óxido-reducción, 6) Enzimas, 7) Vía metabólicas, 8) Sustratos, 9) Degradación, 10) Anabólicas, 12) Síntesis, 13) Conservación, 15) Catabólicas, 16) Transformarlos, 17) ATP y 18) Reacciones químicas

Actividad 7.

A partir de lo estudiado en la actividades anteriores complementa el diagrama de Ben (figura 7) comparando el anabolismo y el catabolismo estableciendo similitudes y diferencias, responde en el tercer círculo qué es el metabolismo y la importancia que tienen estos procesos para los sistemas biológicos.

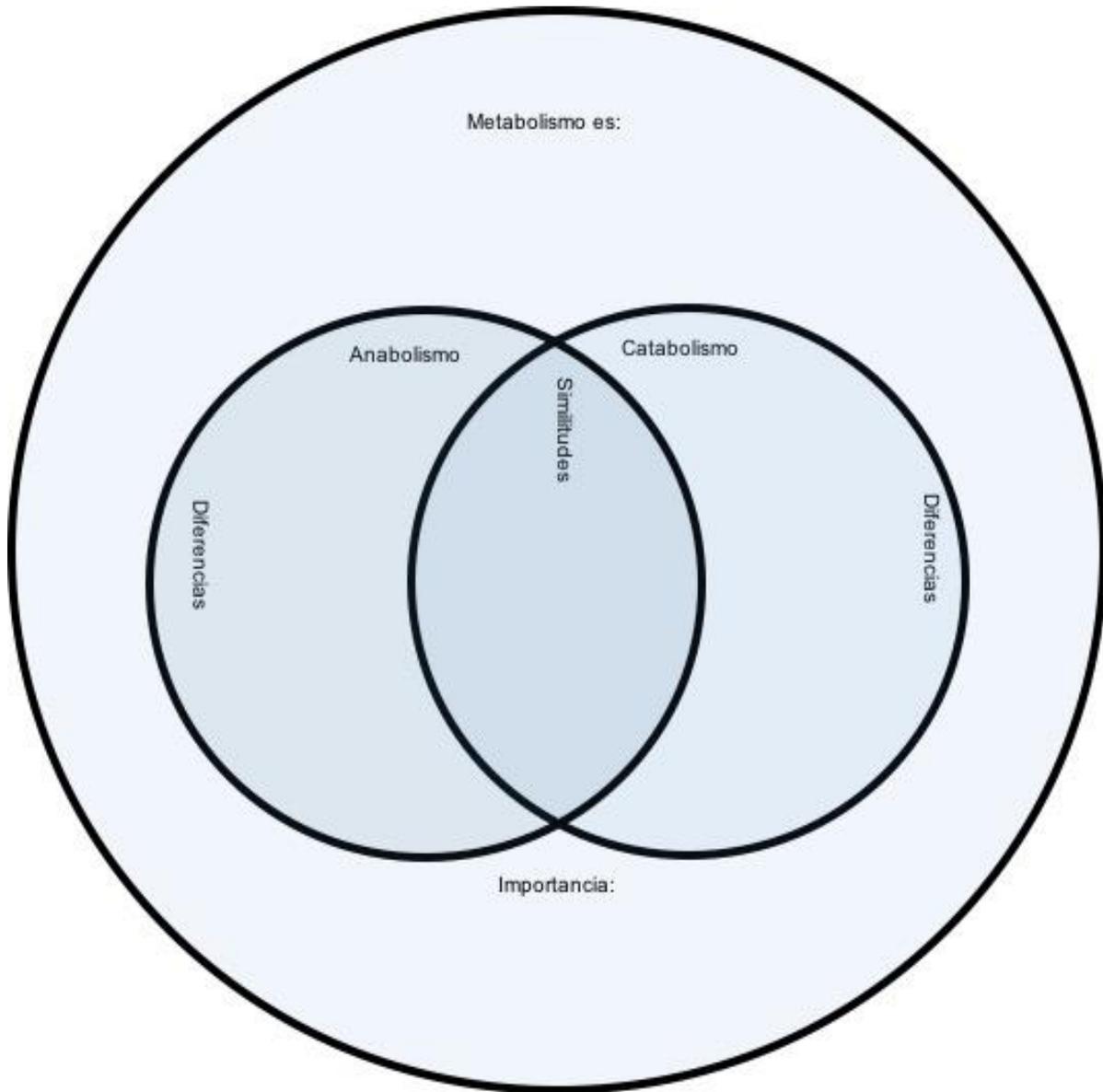


Figura 7. Diagrama de Venn.

Autoevaluación

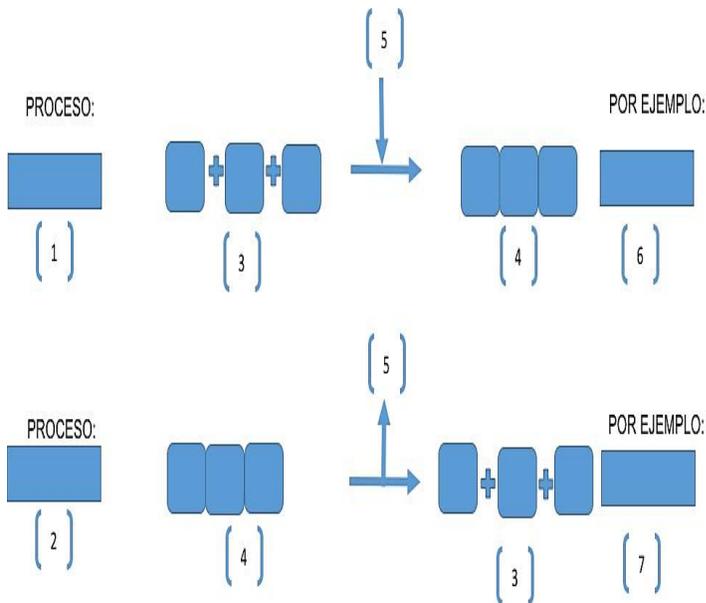
1. Nombre que recibe la serie de reacciones químicas ordenadas o en secuencia que conducen de un sustrato inicial hasta uno o varios productos finales.

- A) Ruta bioquímica.
- B) Ruta fisiológica.
- C) Ruta química.
- D) Ruta metabólica.

2. Las reacciones químicas catalizadas por _____ que permiten la degradación de _____ hasta sus unidades básicas y que pueden llegar a producir energía en forma de ATP, corresponden a una ruta _____.

- A) enzimas – almidón - catabólica
- B) enzimas – proteínas - anfibólica
- C) carbohidratos – proteínas - catabólica
- D) carbohidratos – almidón – anabólica

3. Observa con atención la figura y relaciona con la columna de la derecha anotando el número que responde adecuadamente.



() Fotosíntesis
() Glucólisis
() Anabólico
() Catabólico
() ATP
() Moléculas simples
() Moléculas complejas

4. La ruta metabólica _____ es la que es catalizada por varias enzimas, en donde la última de ellas, da origen al sustrato de inicio.

- A) lineal
- B) cíclica
- C) divergente
- D) convergente

Respuestas.

1. Respuesta: D, 2. Respuesta: A, 3. Respuesta: B, 4. Respuesta: B

Tema I. Bases moleculares del metabolismo:

Subtema II. Carbohidratos, lípidos, proteínas y nucleótidos.

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

Conceptos básicos: Carbohidratos, Lípidos, Proteínas, Nucleótidos, Coenzimas, Monómeros y polímero, Pigmentos fotosintéticos, Grupos funcionales.

Habilidades básicas: las lecturas son útiles para promover habilidades de análisis y síntesis de la información. Asimismo, al llenar el cuadro se favorece el análisis y la asociación de la información.

Actividad 1

Instrucciones. Realiza la lectura del documento “Biomoléculas”, subrayando las ideas y conceptos principales; la lectura cuenta con un cuestionario que deberás contestar.

BIOMOLÉCULAS

Las biomoléculas son moléculas relacionadas con el mantenimiento y los procesos metabólicos de los sistemas vivos. Las biomoléculas incluyen a los carbohidratos, lípidos, proteínas y nucleótidos. Para su formación son indispensables los bioelementos primarios: carbono (C), hidrógeno (H), oxígeno (O), nitrógeno (N), azufre (S) y fósforo (P); se caracterizan por formar enlaces covalentes y dar origen a los grupos funcionales.

Grupos funcionales.

Las biomoléculas se forman a partir de cadenas de carbonos y de grupos funcionales, que son grupos particulares de átomos que determinan las características y la reactividad química de las moléculas. Los más frecuentes en las biomoléculas son:

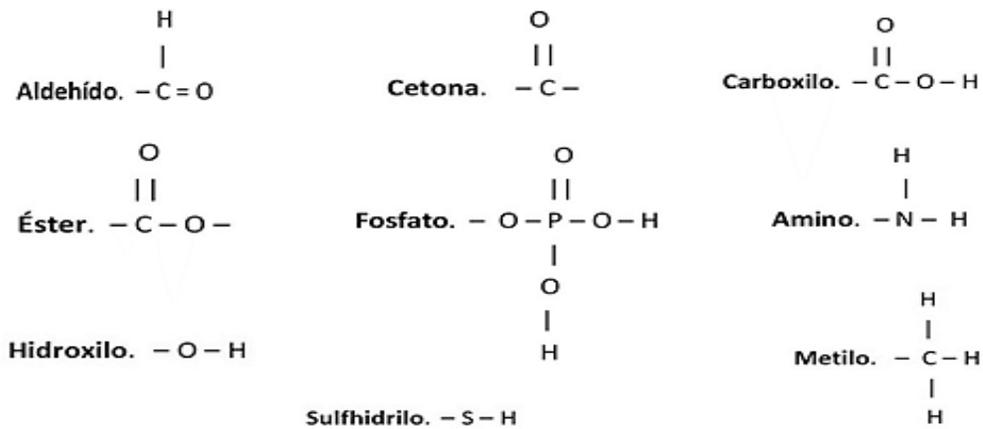


Figura 8. Grupos funcionales presentes en las distintas biomoléculas.

Carbohidratos.

Los carbohidratos son un grupo de compuestos orgánicos con fórmula general de $C_x(H_2O)_x$.

Existen tres clases principales de carbohidratos: monosacáridos, oligosacáridos y polisacáridos. Los monosacáridos o azúcares simples, están constituidos por una sola unidad de polihidroxialdehído o cetona, incluyendo la glucosa, la ribosa y la desoxirribosa.

Los oligosacáridos están constituidos por cadenas cortas de unidades de monosacáridos, unidas mediante enlaces covalentes. Los oligosacáridos más abundantes son los disacáridos, que poseen dos unidades de monosacárido, son ejemplos la sacarosa o azúcar de caña (glucosa y fructosa), la lactosa (galactosa y glucosa) y la maltosa (glucosa y glucosa).

Los polisacáridos están constituidos por largas cadenas de monosacáridos, son carbohidratos de mucho mayor peso molecular y complejidad, de los que son ejemplos, el almidón, el glucógeno y la celulosa.

Los monosacáridos se presentan en dos configuraciones: lineal y cíclica, está última en moléculas de cinco o más carbonos. La estructura lineal, además de tener los hidroxilos característicos del grupo, incluyen un grupo aldehído o grupo cetona, de ahí los nombres de aldosas o cetosas, respectivamente. La presencia de estos dos grupos funcionales es importante porque intervienen en la formación de la estructura cíclica, imprescindible para que los monosacáridos puedan unirse mediante los enlaces glicosídicos.

Los carbohidratos juegan muchos papeles vitales en los sistemas vivos. Los azúcares, especialmente la glucosa y sus derivados (sacarosa, lactosa, maltosa, etc.) intermediarios esenciales en la transformación de los alimentos en energía. El almidón y otros polisacáridos sirven como almacén de energía en las plantas, particularmente en las semillas y los tubérculos, lo que a su vez proporciona una fuente de energía a los animales, incluyendo el hombre. La

celulosa, la lignina y otros carbohidratos forman el soporte de las paredes celulares y el tejido leñoso de las plantas. La quitina es una estructura polisacárida que se encuentra en las cubiertas de muchos invertebrados. Los carbohidratos también se encuentran en las células superficiales de los animales y en la pared bacteriana.

Lípidos.

Los lípidos son un grupo muy heterogéneo de compuestos orgánicos insolubles en agua, pero solubles en solventes orgánicos, como el cloroformo, el benceno, el éter, etc. La clase de lípidos más abundantes son las grasas o triglicéridos (ésteres de ácidos grasos con el alcohol glicerina), que son la forma de almacenar energía química más importante de la mayor parte de los organismos.

Los lípidos se clasifican en dos grupos, atendiendo a que posean en su composición ácidos grasos (Lípidos saponificables: glicéridos, ceras, fosfolípidos y glucolípidos) o no lo posean (Lípidos insaponificables: terpenos, esteroides y prostaglandinas).

Los lípidos tienen gran variedad de funciones en los sistemas vivos. Las grasas y aceites constituyen una forma adecuada y conveniente de almacenar energía, tanto en plantas como en animales (un gramo de grasa produce 9.4 kilocalorías en las reacciones metabólicas de oxidación, mientras que proteínas y glúcidos sólo producen 4.1 kilocaloría/gr). Los fosfolípidos y los esteroides, como el colesterol, son componentes importantes de las membranas celulares. Las ceras proporcionan una capa protectora y resistente al agua para las superficies corporales. Los terpenos incluyen las vitaminas A, E, y K, y pigmentos fotosintéticos (clorofilas, carotenos y xantofilas), y se dan en aceites esenciales como mentol, geraniol, alcanfor y vainillina; los pigmentos fotosintéticos capturan la energía luminosa y la transforman en energía química, impulsando las reacciones fotosintéticas. Los esteroides incluyen a las hormonas sexuales y los ácidos biliares.

Los lípidos se pueden unir a proteínas para formar lipoproteínas, por ejemplo, en las membranas celulares. En las paredes bacterianas los lípidos se pueden asociar a polisacáridos para formar lipopolisacáridos.

Proteínas.

Las proteínas se componen de carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno, así como, muchas de ellas, de azufre. Las moléculas de proteínas consisten en una a varias largas cadenas de aminoácidos (contienen, al menos, un grupo amino y uno carboxilo, enlazados a un mismo carbono), unidos en una secuencia característica y propia para cada proteína (polipéptidos); la degradación oxidativa de los aminoácidos representa entre el 10 y el 15 % de la energía metabólica generada por los animales. Esta secuencia se denomina estructura primaria de la proteína. Estos polipéptidos pueden tener acodamientos (formando una hélice), o plegamientos (formando una lámina), y la naturaleza y extensión de estas disposiciones se denomina estructura secundaria. La forma tridimensional de la proteína, derivada de un repetido acodamiento o plegamiento de los polipéptidos, se denomina estructura terciaria. La interrelación estructural de los diferentes componentes polipeptídicos constituye la estructura cuaternaria. Cuando se calientan por encima de los 50 grados centígrados, o son sometidas a

fuertes ácidos o álcalis, las proteínas pierden su estructura terciaria específica, y pueden formar coagulados insolubles, como, por ejemplo, la clara del huevo cuando se calienta. Habitualmente este proceso inactiva las propiedades biológicas de las proteínas.

Las proteínas pueden clasificarse, de una forma global, como globulares y fibrosas.

Las proteínas globulares son moléculas redondeadas y compactas, generalmente solubles en agua. Son de importancia fundamental las enzimas que son proteínas que catalizan las reacciones bioquímicas. Otras proteínas globulares incluyen los anticuerpos que se combinan con las sustancias extrañas del organismo; las proteínas transportadoras como es la hemoglobina; las proteínas de almacenamiento, como la caseína de la leche y la albúmina de la clara de huevo, y ciertas hormonas, por ejemplo, el glucagón y la insulina. Las hormonas permiten las comunicaciones intracelulares, regulando el metabolismo.

Las proteínas fibrosas son generalmente insolubles en agua, y consisten en grandes cadenas de elementos densamente acodados o en grandes placas planas, las cuales confieren elasticidad a la molécula. Son de esta categoría la queratina y el colágeno. La actina y la miosina son las proteínas principales del músculo, y la interacción entre ellas permite la contracción del músculo (la cual requiere de un gasto de energía química, por lo tanto, depende de la respiración celular). La coagulación de la sangre requiere la actividad de una proteína fibrosa denominada fibrina.

Nucleótidos.

Los nucleótidos son compuestos orgánicos que consisten en una base nitrogenada de purina o pirimidina, unidas a un azúcar (ribosa o desoxirribosa) y a un grupo fosfato; la unión de la base nitrogenada y el azúcar, se denomina nucleósido. El DNA y el RNA están formados por largas cadenas de nucleótidos (es decir, que son polinucleótidos). Otros nucleótidos importantes en el metabolismo son el ATP, el NAD, el NADP y el FAD, todos ellos participan como coenzimas en diferentes procesos metabólicos. Las coenzimas son moléculas orgánicas necesarias para que determinadas enzimas realicen su función.

ATP (Adenosin trifosfato o trifosfato de adenosina).

El ATP es un nucleótido de importancia fundamental como transportador de energía química en los sistemas vivos. Es una adenina unida a una D-ribosa (la adenosina). La D-ribosa lleva tres grupos fosfato, unidos por puentes covalentes. Estos puentes pueden sufrir hidrólisis para formar una molécula de ADP (adenosin difosfato) y un fosfato inorgánico, o una molécula de AMP (adenosin monofosfato) y dos grupos fosfato. Ambas reacciones liberan abundante energía (alrededor de 30.6 KJ mol^{-1}), que se utiliza para realizar procesos metabólicos como la contracción muscular, el transporte activo de iones y moléculas a través de las membranas celulares y la síntesis de biomoléculas.

NAD (Dinucleótido de nicotinamida adenina).

El NAD es un dinucleótido, cuyas bases nitrogenadas son la nicotinamida y la adenina. El NAD, característicamente, está poco unido a las enzimas con las que trabaja. Normalmente tiene una carga positiva y puede aceptar un átomo de hidrógeno y dos electrones, transformándose en la

forma reducida: NADH. El NADH se forma durante la oxidación de los alimentos, especialmente en la reacción del ciclo de Krebs.

NADP (Dinucleótido de nicotinamida adenina fosfato).

Difiere del NAD únicamente en la posesión del grupo fosfato. Funciona de la misma manera que el que el NAD, aunque las reacciones anabólicas utilizan generalmente NADPH (NADP reducido) como donante de hidrógeno, en lugar del NADH.

FAD (Dinucleótido de flavina adenina).

El FAD corresponde a una molécula de vitamina B2 (riboflavina), fosforilada, unida a un monofosfato del nucleótido de adenina (AMP). El FAD suele estar muy estrechamente unido a la enzima, formando una flavoproteína. Funciona como aceptor de hidrógeno en las reacciones de deshidrogenación, quedando reducido a FADH₂. Este a su vez es oxidado a FAD en la cadena transportadora de electrones, generando ATP. Las concentraciones de ATP-ADP, NADH-NAD, NADPH-NADP y FADH₂-FAD, regulan el metabolismo energético.

Cuestionario.

1. ¿Cuáles son las biomoléculas relacionadas con el mantenimiento y los procesos metabólicos de los sistemas biológicos?
2. De las biomoléculas que acabas de mencionar, señala la contribución, de cada una de ellas, en los procesos metabólicos de los sistemas biológicos.
3. Menciona tres carbohidratos que cumplen funciones energéticas en algunos sistemas biológicos.
4. ¿De qué manera participan los nucleótidos NADH, NADPH Y FADH₂, en el proceso energético de los sistemas biológicos?
5. ¿Cómo participan los pigmentos fotosintéticos en la transformación de energía?

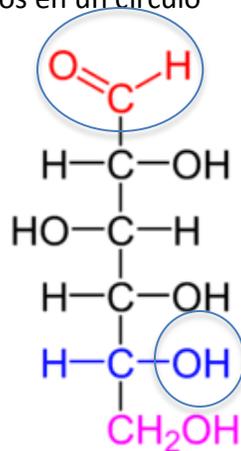
Actividad 2

Instrucciones: Considerando la información del documento “Biomoléculas”, y la consulta en las fuentes sugeridas en la sección de recursos, llena, correctamente, el siguiente cuadro.

	CARBOHIDRATOS	LÍPIDOS	PROTEÍNAS	NUCLEÓTIDOS
ELEMENTOS QUÍMICOS BÁSICOS				
GRUPOS FUNCIONALES				
MONÓMEROS				
PRINCIPALES FUNCIONES METABÓLICAS				
EJEMPLOS IMPORTANTES EN EL METABOLISMO				

Autoevaluación

1. De acuerdo con la siguiente imagen, indica qué tipo de molécula corresponde y cuáles son los grupos funcionales que están encerrados en un círculo



- A) Es un aminoácido y los grupos son carboxilo y amina.
- B) Es un carbohidrato y los grupos son cetona e hidroxilo
- C) Es un carbohidrato y los grupos son aldehído e hidroxilo
- D) Es un aminoácido y los grupos son cetona e hidroxilo

2. Relaciona correctamente la función con la molécula correspondiente.

Función	Molécula
1. Reserva energética	a) Glucosa
2. Combustible celular	b) Quitina
3. Lípido que captura energía cinética	c) Lípidos
4. Transportadores de electrones	d) Nucleótidos
	e) Clorofila

- A) 1c, 2a, 3e, 4d
- B) 1d, 2a, 3e, 4c
- C) 1c, 2b, 3e, 4d
- D) 1b, 2c, 3a, 4e

3. Una de estas funciones no es característica de los lípidos:

- A) Componentes de las membranas celulares
- B) Reserva energética
- C) Algunos son vitaminas u hormonas
- D) Inmunológica

4. En los organismos hay una diversidad funcional de proteínas. ¿Cuál de las siguientes son funciones desempeñadas por ellas?

- 1. Aceleran reacciones químicas
 - 2. Son los principales combustibles celulares
 - 3. Generan movimientos celulares
 - 4. Son receptores celulares
 - 5. Forman parte de las membranas biológicas
 - 6. Almacenan la información genética
- A) 1, 2, 3, 4
 - B) 1, 3, 4, 5
 - C) 1, 3, 5, 6
 - D) 3, 4, 5, 6

5. El FAD se describe mejor como:

- A) Un producto de desecho
- B) Poco unido a las enzimas
- C) Presenta nicotinamida
- D) Aceptor de hidrógeno

Respuestas.

1. Respuesta: C 2. Respuesta: A 3. Respuesta: D 4. Respuesta: B 5. Respuesta: D

Tema I. Bases moleculares del metabolismo.**Subtema III. Enzimas.**

Aprendizaje: Comprende el papel de las enzimas en las reacciones metabólicas.

Conceptos básicos: Enzimas, Holoenzima, Apoenzima, Inhibición enzimática, Clases de enzimas, Cofactores, Energía de activación, Cinética enzimática, Desnaturalización enzimática

Habilidades básicas:

Búsqueda de información impresa, digital, otros formatos (videos, audios).

Identificación de información válida y útil. Criterios de diferenciación.

Comunicación verbal y escrita del trabajo realizado.

Planteamiento de problemas o cuestionamientos.

Planeamiento de hipótesis.

Identificación y manejo de variables.

Tratamiento de la información y datos obtenidos.

Análisis de datos.

Actividad 1: Conociendo las enzimas

Instrucciones. Realiza una investigación bibliográfica sobre el tema de enzimas y responde a las siguientes preguntas. Es necesario que consultes las fuentes: 6 y 23, sugeridas en la sección de recursos bibliográficos.

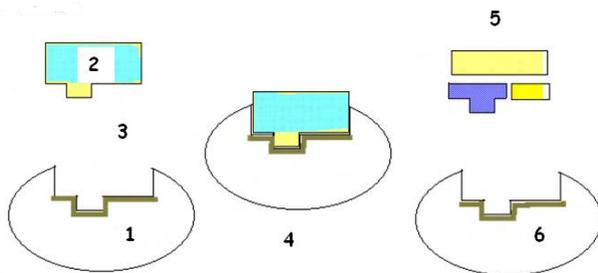
1. ¿Qué son las enzimas?
2. ¿Se puede afirmar en la actualidad que todas las enzimas son proteínas? Explica.
3. ¿Qué es la energía de activación de una reacción química?
4. ¿Cómo ocurre la acción enzimática?
5. ¿Qué es el sitio activo de una enzima?
6. ¿En qué consiste el efecto de saturación de la enzima por el sustrato?
7. ¿Por qué se dice que la hipótesis del complejo enzima-sustrato explica satisfactoriamente el efecto de saturación de la enzima por su sustrato?
8. ¿Cuál es la diferencia entre enzimas simples y holoenzimas?
9. ¿Qué diferencia hay entre cofactores y coenzimas?

10. ¿Cuál es la función de los cofactores?
11. ¿Cuál es la función de las coenzimas?
12. ¿Cómo afecta el pH a las enzimas?
13. ¿A qué se llama pH óptimo de una enzima? ¿Por qué los enzimas pierden su actividad a valores de pH alejados de su pH óptimo?
14. ¿Cómo afecta la temperatura a las enzimas?
15. ¿Cómo actúan los inhibidores competitivos?
16. ¿Cómo actúan los inhibidores no competitivos?
17. ¿Cómo se nombra a las enzimas?
18. ¿Cómo se clasifican las enzimas de acuerdo con su función?

Actividad 2: Comprendiendo las enzimas

Instrucciones. Ahora que tienes algunos conocimientos acerca de las enzimas, avanza en tu comprensión del tema realizando las siguientes tareas.

1. El siguiente esquema representa el mecanismo de acción enzimático. Escribe los nombres de las figuras numeradas.

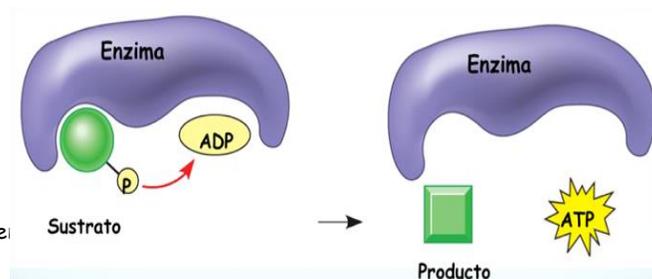


2. La energía de activación que requiere la descomposición de una molécula en tres circunstancias diferentes es igual a 18 000 cal/mol, 11 700 cal/mol y 2 000 cal/mol. Sabiendo que las situaciones son: a) con catalizador inorgánico, b) sin catalizador y c) con una enzima; indica la energía de activación que corresponde a cada caso.

3. El NAD^+ , NADP^+ y FAD son _____ de _____ cuya función es transportar _____ y _____.

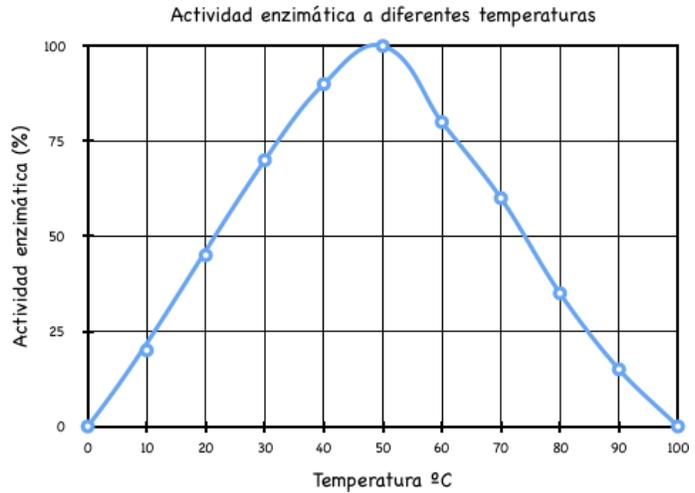
4. El ATP es una _____ de _____, transporta al radical _____.

5. Analiza la siguiente imagen y explica cómo se formó el ATP.



1. Justifica la siguiente frase: “Si una proteína que cumple funciones enzimáticas pierde su estructura terciaria, pierde su actividad catalítica”.

2. La gráfica muestra cómo varía la actividad de la enzima a medida que aumenta la temperatura. Observa la gráfica y responde a las preguntas.



- ¿Cuál es la temperatura óptima para esta enzima?
- ¿A qué temperatura presenta la mitad de la actividad máxima? ¿para qué sirve conocer este dato?
- ¿Podría ser esta enzima una de las tantas que existen en una célula humana? ¿Por qué?

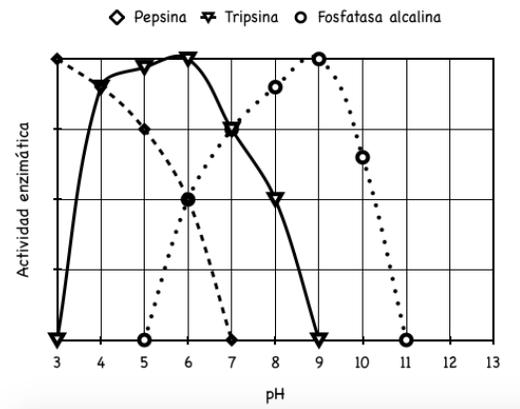
3. En un experimento, una proteína se descompuso en sus aminoácidos (aa). El curso de la reacción fue observado midiendo la acumulación de aminoácidos a distintas temperaturas. Se obtuvieron los siguientes resultados. ¿Por qué es probable que la reacción esté catalizada por una enzima?

Temperatura °C	10	20	30	40	50	60
mg/l de aa después de 2.5 horas	50	110	150	270	240	100

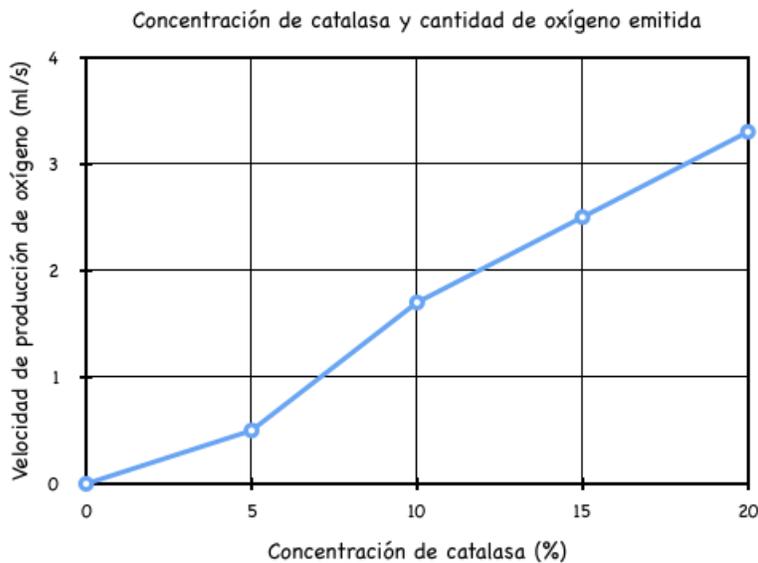
4. ¿Qué conclusiones se pueden obtener a partir de los datos que aparecen en la siguiente tabla?

Enzima	Sustrato	pH óptimo
Pepsina	Ovoalbúmina	1.5
Pepsina	Carboenzoxiglutamiltirosina	4
α-glucosidasa	Maltosa	7
Arginasa	Arginina	9.5

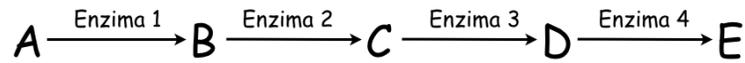
En la figura se representa la relación entre el pH y la actividad catalítica de tres enzimas, la pepsina (P), la tripsina (T) y la fosfatasa alcalina (F).



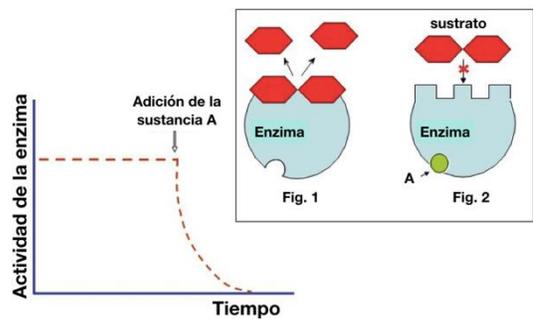
- a. Indica el valor de pH para el cual dos de estas enzimas tienen la misma velocidad de reacción.
 - b. Determina el intervalo del pH para el cual tienen actividad catalítica las tres enzimas, pero con velocidades de reacción distintas.
 - c. Para valores máximos de acidez, ¿cuál es la enzima con mayor actividad catalítica?
 - d. Si el pH de la sangre es 7.3, ¿qué enzimas podrían presentar actividad catalítica en el plasma sanguíneo?
5. La enzima catalasa acelera la reacción química que cambia el peróxido de hidrógeno en oxígeno y agua. La cantidad de oxígeno emitida es un indicio de la velocidad de la reacción.
- a. Elabora una conclusión sobre la relación entre la concentración de la enzima y la velocidad de la reacción.
 - b. De acuerdo con la siguiente gráfica, ¿qué concentración de catalasa produce la velocidad de reacción más rápida?
 - A. 5%
 - B. 10%
 - C. 15%
 - D. 20%



6. Los inhibidores competitivos, a diferencia de los no competitivos, tienen la capacidad de unirse al sitio activo de las enzimas. ¿podrá utilizarse un mismo inhibidor competitivo con enzimas diferentes? Argumenta.
7. En la siguiente serie de reacciones ¿qué enzima es más probable que tenga un sitio alostérico al que se una el producto final E? y su importancia en la reacción

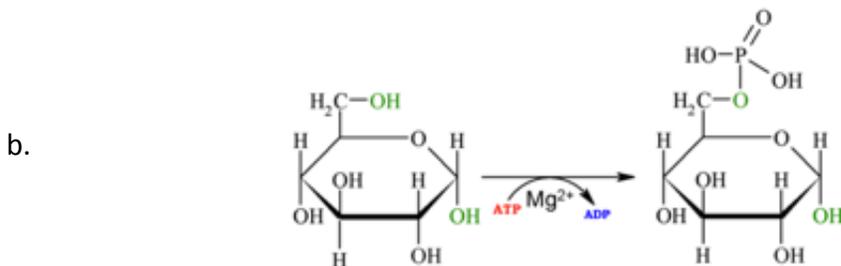


8. La enzima de la figura 1 actúa sobre el sustrato, un disacárido, rompiendo el enlace glicosídico. Si se añade al medio la sustancia A (Fig. 2), la actividad de la enzima varía de una forma similar a la observada en la gráfica. Si se elimina del medio la sustancia A, la actividad de la enzima se restablece. Da una explicación razonada de estos hechos.



Actividad enzimática. Tomada de Sánchez, G. J. (s.f.) Biogeo-ov. Consultada en <http://www.iespando.com/web/departamentos/biogeo/web/departamento/index.htm> el 22 de mayo de 2018

9. Observa qué sucede en las siguientes reacciones y anota, sobre cada flecha, el tipo de enzima que participa para catalizarla.

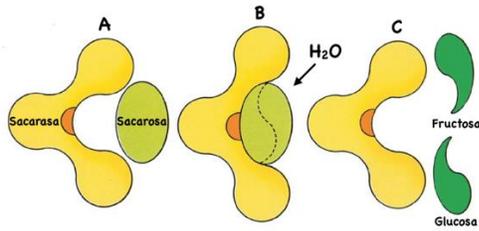


Autoevaluación

1. ¿Cómo se puede aumentar la velocidad de una reacción química?

- A) Incrementando la energía de activación que se necesita.
- B) Enfriando los reactivos.
- C) Disminuyendo la concentración de los reactivos.
- D) Añadiendo un catalizador.

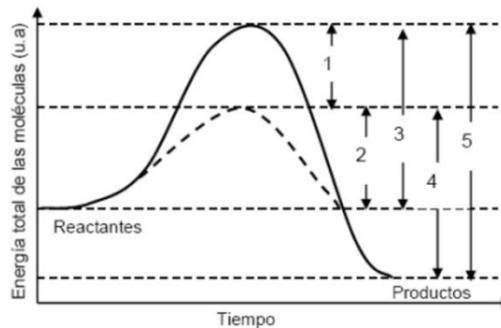
2. A partir del siguiente esquema, se puede afirmar que las enzimas:



- A) No modifican su estructura durante la reacción química.
- B) Favorecen la especificidad de las reacciones químicas.
- C) Disminuyen la energía de activación de las reacciones químicas.
- D) Todas son constituyentes de vías metabólicas.

3. La gráfica muestra el curso de una reacción catalizada por una enzima, y la misma reacción sin el catalizador. ¿Qué número indica correctamente la energía de activación de la reacción no catalizada?

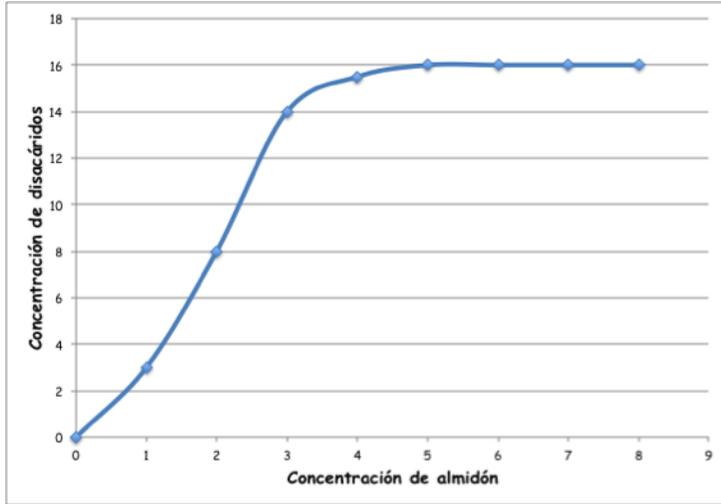
- A) 1
- B) 2
- C) 3
- D) 4



4. Cuando se remueve el cofactor de una enzima activa, se obtiene una proteína catalíticamente inactiva, la cual es llamada:

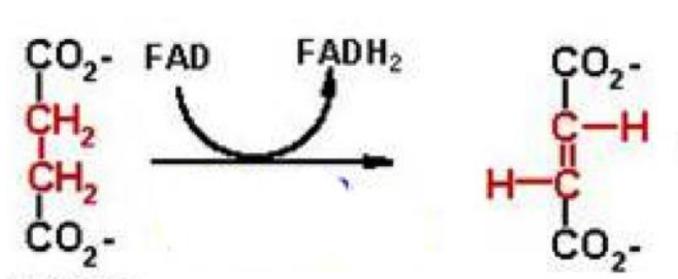
- A) Holoenzima
- B) Apoenzima
- C) Coenzima
- D) Izoenzima

5. La amilasa es la enzima que descompone los almidones en disacáridos. Durante un experimento se mantiene constante la concentración de amilasa y se va aumentando la concentración de almidón, obteniendo la siguiente gráfica. ¿Qué se puede concluir a partir de este experimento?



- A) La actividad de la amilasa no es favorecida por la concentración de almidón.
- B) La concentración de disacáridos depende de la concentración de almidón.
- C) La actividad de la amilasa se favorece por la concentración del almidón hasta cierto punto.
- D) La concentración de disacáridos es independiente de la concentración de almidón.

6. ¿Qué clase de enzima cataliza la siguiente reacción?



- A) Isomerasa
- B) Ligasa
- C) Transferasa
- D) Oxidorreductasa

Respuestas.

1. Respuesta: D 2. Respuesta: A 3. Respuesta: C 4. Respuesta: B 5. Respuesta: C 6. Respuesta: D

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

Subtema I. Nutrición heterótrofa y autótrofa.

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

Conceptos básicos: Nutrición Heterótrofa y Autótrofa, Fotótrofo, Quimiótrofos, Fuentes de energía, Fuentes de carbono

Habilidades básicas:

Desarrolla habilidades para la indagación, selección, organización y presentación de información de diversas fuentes.

Nutrición en los sistemas vivos

Todos los sistemas vivos necesitan materia y energía para poder llevar a cabo sus procesos de mantenimiento y regulación. Tanto materia como energía pueden incorporarse por el mismo proceso o bien por procesos separados, y en su conjunto se le conoce como **nutrición**. La nutrición es relevante porque permite a los organismos incorporar los elementos constituyentes de sus biomoléculas, además de proporcionarles la energía necesaria para las transformaciones su conservación o realización de trabajo celular.

Los procesos nutritivos tienen dos objetivos fundamentales:

- Aporte de energía.
- Aporte de materiales de construcción de síntesis y renovación de las propias estructuras orgánicas.

Los sistemas vivos despliegan una diversidad de mecanismos de incorporación y aprovechamiento de las biomoléculas y de la energía. De forma general, se pueden clasificar en organismos **autótrofos** y **heterótrofos**, dependiendo de la fuente de carbono.

Los organismos **autótrofos**, son capaces de sintetizar las moléculas orgánicas necesarias a partir de sustancias inorgánicas a través de procesos anabólicos como la fotosíntesis, la quimiosíntesis y la fijación biológica del nitrógeno. Estos organismos emplean el dióxido de carbono como base para la construcción de sus biomoléculas orgánicas. Los organismos fotosintéticos emplean la energía lumínica para llevar a cabo las reacciones anabólicas. En cambio los organismos quimiosintéticos obtienen su energía mediante reacciones de oxidación de sustancias inorgánicas reducidas. Tanto en la fotosíntesis como en la quimiosíntesis podemos hablar de dos grandes fases: una primera fase en la cual se forman NADPH y ATP a partir de NAD^+ , ADP y un grupo fosfato libre, es decir, que la energía es transferida transitoriamente a estas biomoléculas; mientras que en la segunda etapa esa energía es empleada para la biosíntesis de biomoléculas a partir de CO_2 .

En el caso de los organismos **heterótrofos**, tenemos a sistemas biológicos cuyos compuestos orgánicos derivan del anabolismo de los autótrofos y que mediante a las fermentaciones, putrefacciones y la respiración extraen la energía de aquellos compuestos sintetizados por los autótrofos y los elementos y compuestos necesarios para su propio anabolismo. La nutrición heterótrofa puede ser:

- **Nutrición holozóica**, es la que exhiben los animales, consiste en la ingestión de alimentos, formados por moléculas complejas, que deben de atravesar por una serie de etapas para poder ser finalmente aprovechadas en el metabolismo celular. Estas etapas son la ingestión (incorporación de los alimentos), digestión (degradación de moléculas complejas a sustancias simples), absorción (incorporación de los nutrientes al sistema digestivo) y transporte al interior de la célula. También suele incluirse la excreción, que es la eliminación de los subproductos del metabolismo celular.
- **Nutrición saprotrófica**, característica de los hongos y numerosos protistas, es aquella en la que los organismos se alimentan de restos orgánicos de otros organismos. En este caso, los saprófitos secretan enzimas digestivas sobre los restos orgánicos para degradarlos y absorber los nutrientes en formas más simples.

Otra forma de clasificar a los tipos de nutrición es mediante la fuente de energía, se distinguen dos tipos de organismos:

- Organismos **fotótrofos**, que emplean la energía lumínica, que es aprovechada a través de la fotosíntesis.
- Organismos **quimiótrofos**, que emplean la energía química de sustancias reducidas, que poseen enlaces de alta energía, la cual es extraída por diversas reacciones de óxido-reducción. A través de las oxidaciones se genera un gradiente de electrones que es utilizado para la síntesis de ATP y otras moléculas energéticas. Entre estos organismos podemos hablar de **quimiolitótrofos**, que son aquellos cuya fuente de electrones es un compuesto inorgánico, y de **quimioorganótrofos**, que reducen oxidan compuestos orgánicos para la producción de ATP.

Estas dos categorías de clasificación nos permite realizar combinaciones entre la forma en la que se obtiene la energía y el tipo de carbono que se incorpora al organismo, por lo tanto tenemos:

Fuentes de carbono/fuentes de energía	Luz	Reacciones químicas
Inorgánico	Fotoautótrofo <ul style="list-style-type: none"> ● Bacterias fotosintéticas ● Algas ● Cianobacterias ● Microalgas 	Quimioautótrofo <ul style="list-style-type: none"> ● Arqueas ● Bacterias quimiosintéticas

<p>Quimiolitótrofo</p>	<p>Fotoheterótrofo</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Bacterias ● Microalgas 	<p>Quimioheterótrofo</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Bacterias heterótrofas ● Protozoos ● Hongos ● Plantas (parásitas, insectívoras, células no fotosintéticas) ● Animales
------------------------	--	--

Los organismos procariontes presentan todas las formas de nutrición, y se pueden encontrar en condiciones aerobias o anaerobias. Además de su importancia en la transformación de la materia orgánica e inorgánica dentro del ecosistema, estos organismos pueden ser aprovechados para sistemas de biorremediación de suelos y cuerpos de agua contaminados. Algunos organismos procariontes quimiosintéticos (quimioautótrofos) son esenciales para ciertos ecosistemas, como las ventilas hidrotermales oceánicas, en estos ecosistemas la luz solar está ausente debido a la gran profundidad a la que se encuentran, por lo que la productividad primaria la llevan a cabo estos procariontes a partir de compuestos inorgánicos que son expulsados por los volcanes submarinos. La energía obtenida es empleada para la fijación de carbono y otros bioelementos, y con ello los incorporan a las cadenas tróficas de una gran diversidad de organismos que integran estas comunidades bióticas.

Actividad 1

Instrucciones. A partir de la lectura proporcionada, elabora un listado de 10 conceptos que consideres relevantes, y elabora un mapa conceptual del tema, empleando palabras clave, conectores y mencionando ejemplos.

Actividad 2

Instrucciones. Realiza una investigación sobre el ciclo del Nitrógeno, identifica a los organismos que participan en él y el tipo de nutrición que presentan. Elaborar con esta información una tabla (figura 9) y realiza un esquema del ciclo donde ubiques a dichos organismos. Se sugieren las siguientes fuentes de información:

- Baca, B. E., Soto Urzúa, L., & Pardo Ruiz, M. P. 2000. Fijación biológica de nitrógeno. *Elementos* 38 (7): 43. En línea <http://www.elementos.buap.mx/num38/htm/43.htm>. Consultado el 25 de abril de 2018.
- Páez-Osuna, F.; J.I. Osuna-López. 1988. *Ventilas hidrotermales en la Cuenca de Guaymas y la Región Dorsal-Este del Pacífico Oriental. Aspectos Geoquímicos*. Ciencias del Mar; 4(10):27-32.
- Un Profesor (PRODUCTOR). 2015. El nitrógeno en el ciclo biogeoquímico. En línea <https://www.youtube.com/watch?v=JXVovib1IDo>. Consultado en 28 de abril de 2018.
- San Millán, R. 2016. Metabolismo microbiano 01. Introducción: Tipos tróficos. En línea <https://youtu.be/ptMSiDRLw>. Consultado en 28 de abril de 2018.

- Souza, V., Escalante, A., Espinoza, L., & Valera, A. (2004). Cuatro Ciénegas un laboratorio natural de astrobiología. *Ciencias*, 75, 4-12.

Figura 9. Procesos y especies que participan en el ciclo del nitrógeno.

Proceso	Tipo de nutrición	Organismos que participan (ejemplos)
Fijación		
Nitrificación		
Amonificación		
Desnitrificación		
Asimilación		

Actividad 3

Instrucciones. Lee atentamente las siguientes preguntas y responde con base en la lectura y la información que investigaste.

1. ¿Qué distingue a la fotosíntesis de la quimiosíntesis? ¿En qué son semejantes?
2. ¿Qué diferencias existen entre la forma de obtener energía de un hongo y de una planta?
3. Las bacterias nitrificantes son organismos consiguen su energía por la oxidación de los compuestos inorgánicos del nitrógeno ¿Qué tipo de nutrición presentan estas bacterias?
4. Los corales son animales sésiles que viven en asociación simbiótica con una microalga nombrada zooxantela que habita en el interior de estos organismos. La zooxantela es un organismos fotosintético, por lo que su nutrición es _____, mientras que los corales, al ser animales tienen una nutrición _____.
5. Las putrefacciones son descomposiciones de materia orgánica compuesta principalmente por proteínas. Uno de los géneros de bacterias que llevan a cabo este proceso son las del género *Clostridium*, que al degradar a los aminoácidos constituyentes de las proteínas liberan CO₂ y los grupos amino, ¿Qué tipo de nutrición tienen estas bacterias?
6. Las fumarolas hidrotermales submarinas son ambientes muy importantes en el desplazamiento de los continentes y por la liberación de diversos materiales. En estos ambientes habitan grandes comunidades biológicas que se desarrollan en ausencia de luz. La base de la cadena trófica y la fuente primaria de energía son los compuestos de azufre que provienen de las emanaciones. ¿Qué tipo de organismo puede aprovechar estos compuestos? ¿Qué tipo de nutrición presentan?

Autoevaluación

1. Se refiere al conjunto de procesos implicados en la obtención de nutrientes y energía de los sistemas biológicos

- A) Nutrición
- B) Metabolismo
- C) Regulación
- D) Reproducción

2. Las bacterias púrpuras son organismos procariotas capaces de realizar fotosíntesis, pero que a diferencia de las plantas no emplean el agua como donador de electrones y por lo tanto no producen oxígeno, y además emplean como fuente de carbono sustancias orgánicas. ¿Qué tipo de nutrición tienen estos organismos?

- A) Fotolitótrofa
- B) Fotoorganótrofa
- C) Quimiolitótrofa
- D) Quimioorganótrofa

3. Las llamadas plantas carnívoras son aquellas que si bien realizan la fotosíntesis, obtienen parte de sus nutrientes (pero no de energía o de carbono) mediante la atracción, captura y consumo de animales artrópodos y protistas principalmente. Estas especies evolucionaron en suelos generalmente pobres en nutrientes, y evolucionaron desarrollando la capacidad de producir enzimas digestivas que les permiten aprovechar los nutrientes de sus presas. ¿Podríamos considerar a estas especies como quimioorganótrofas?

- A) Sí, porque están obteniendo su energía de los compuestos orgánicos de sus presas.
- B) No, porque su fuente de energía sigue siendo la luz de la fotosíntesis.
- C) Sí, porque emplean a sus presas como fuente de carbono.
- D) No, porque su fuente de carbono son los compuestos orgánicos de sus presas.

4. Los derrames de petróleo son uno de los problemas ambientales más graves que se viven en la zona del Golfo de México, que cuenta con numerosos pozos petroleros. Una de las tecnologías más eficientes en la eliminación de residuos de petróleo es la biorremediación, empleando bacterias que degradan sus componentes. Las bacterias implicadas pueden ser aerobias o anaerobias, y emplean los compuestos orgánicos en sus procesos catabólicos para la producción de ATP y otras moléculas energéticas ¿Qué tipo de nutrición consideras que tienen estas bacterias?

- A) Quimiolitótrofos, puesto que el petróleo está compuesto de compuestos orgánicos, que son la fuente de energía de estas bacterias.
- B) Fotolitótrofas, puesto que emplean al carbono del petróleo como fuente de energía pero no de carbono.

C) Quimolitótrofas, puesto que el petróleo no contiene compuestos orgánicos.

D) Quimioorganótrofas, puesto que el petróleo está compuesto de compuestos orgánicos, que son la fuente de energía de estas bacterias.

Respuestas.

1. Respuesta: A 2. Respuesta: B 3. Respuesta: B 4. Respuesta: D

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

Subtema II. Fermentación y respiración celular.

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

Conceptos básicos: Fermentación alcohólica y láctica, respiración celular, glucólisis, descarboxilación del piruvato, ciclo de Krebs, fosforilación oxidativa.

Habilidades básicas: Búsqueda de información impresa, digital, identificación de información válida y útil. Criterios de diferenciación. Comunicación verbal y escrita del trabajo realizado. Planeamiento de hipótesis. Análisis de datos.

Actividad 1.

Instrucción. Lee el siguiente texto y completa el organizador gráfico (figura 10). Para completarlo ayúdate de las palabras que se encuentran en negritas en el texto, los óvalos representan moléculas y las flechas representan procesos, anota al interior de cada uno el nombre de la molécula o proceso que representa.

RESPIRACIÓN Y FERMENTACIÓN CELULAR

Los procesos catabólicos implican degradación, en estos, las moléculas grandes, que proceden de los alimentos o de las propias reservas del organismo, se transforman en otras más pequeñas, produciendo también energía (ATP).

Las vías catabólicas pueden partir de distintos sustratos orgánicos (proteínas, lípidos y carbohidratos), sin embargo, la vía de los carbohidratos se considera fundamental y partiendo de la idea de que la glucosa es el monosacárido más abundante en el planeta estudiaremos el catabolismo de la glucosa para poder comprender estos procesos.

La **glucosa** se degrada a través de una ruta catabólica denominada **glucólisis**, en esta, la molécula de glucosa sufre una serie de transformaciones hasta convertirse en **ATP** y **piruvato**. Las moléculas de piruvato también se metabolizan y las posibles rutas catabólicas que pueden tomar son la fermentación y la respiración celular.

La **respiración celular** es una oxidación completa de la glucosa, en esta el piruvato formado en la glucólisis se transforma en Acetil CoA, para después continuar oxidándose a través del Ciclo de Krebs y finalmente termina su oxidación en el proceso denominado fosforilación oxidativa donde se da la mayor formación del **ATP**. Por otro lado la fermentación se considera una oxidación incompleta de la molécula de glucosa y podemos distinguir dos tipos dependiendo del producto final que se genere, cuando se producen **etanol** y **CO₂** se denomina **fermentación alcohólica** y cuando se forma **ácido láctico** se le llama **fermentación láctica**, en estas dos el ATP se formó en la glucólisis.

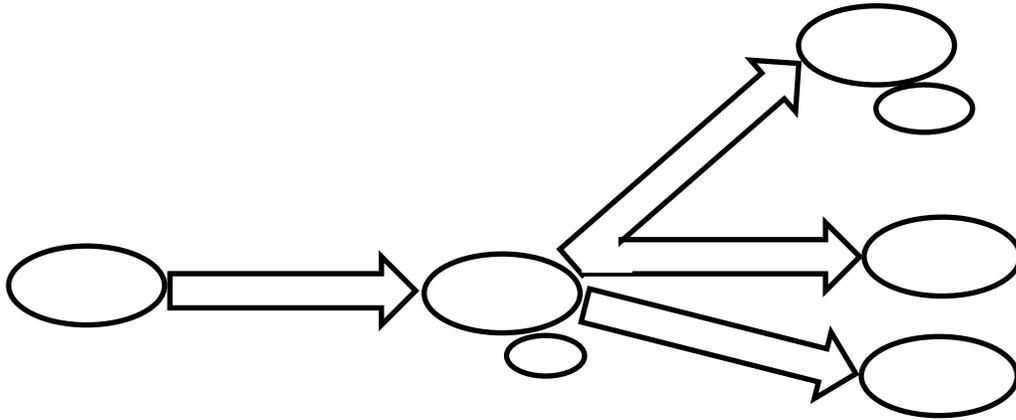


Figura 10. Organizador gráfico

Actividad 2.

GLUCÓLISIS

La glucólisis es un proceso en el que a partir de una serie de reacciones se extrae energía de la glucosa al romperla en dos moléculas de tres carbonos llamadas piruvato o ácido pirúvico.

Ocurre en el citoplasma de la célula, en una serie de 10 reacciones las cuales pueden dividirse en dos fases: la fase en la que se requiere energía (2 ATP) y la fase en la que se libera energía (4 ATP). El producto neto de este proceso son dos moléculas de ATP (4 ATP producidos y 2 ATP utilizados) y dos moléculas de NADH.

Instrucción: En el esquema de la glucólisis (figura 11) realiza lo que se te indica a continuación:

- Numera cada una de las 10 reacciones de la glucólisis.
- Identifica y marca de un color diferente la fase en la que se requiere energía y la fase en la que se libera.
- Encierra en un círculo los productos de la glucólisis.

Instrucción: Tomando en cuenta lo aprendido con respecto al tema enzimas contesta las siguientes preguntas:

- ¿Qué tipo de enzima cataliza la reacción 1 y 3?
- ¿Qué tipo de enzima cataliza la reacción 4?

3. ¿Qué tipo de enzima cataliza la reacción 6?
4. ¿Qué tipo de enzima cataliza la reacción 7 y 10?
5. ¿Qué tipo de enzima cataliza la reacción 9?

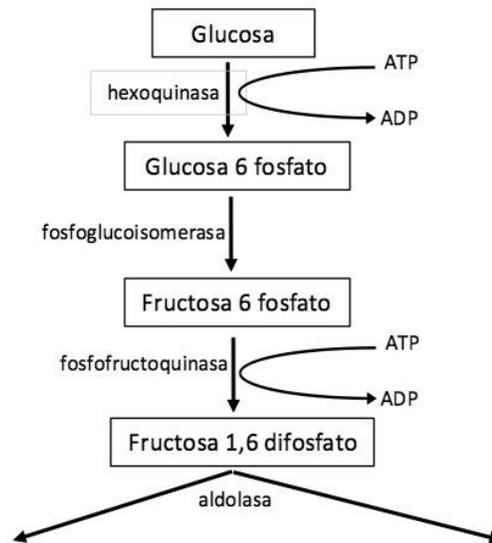
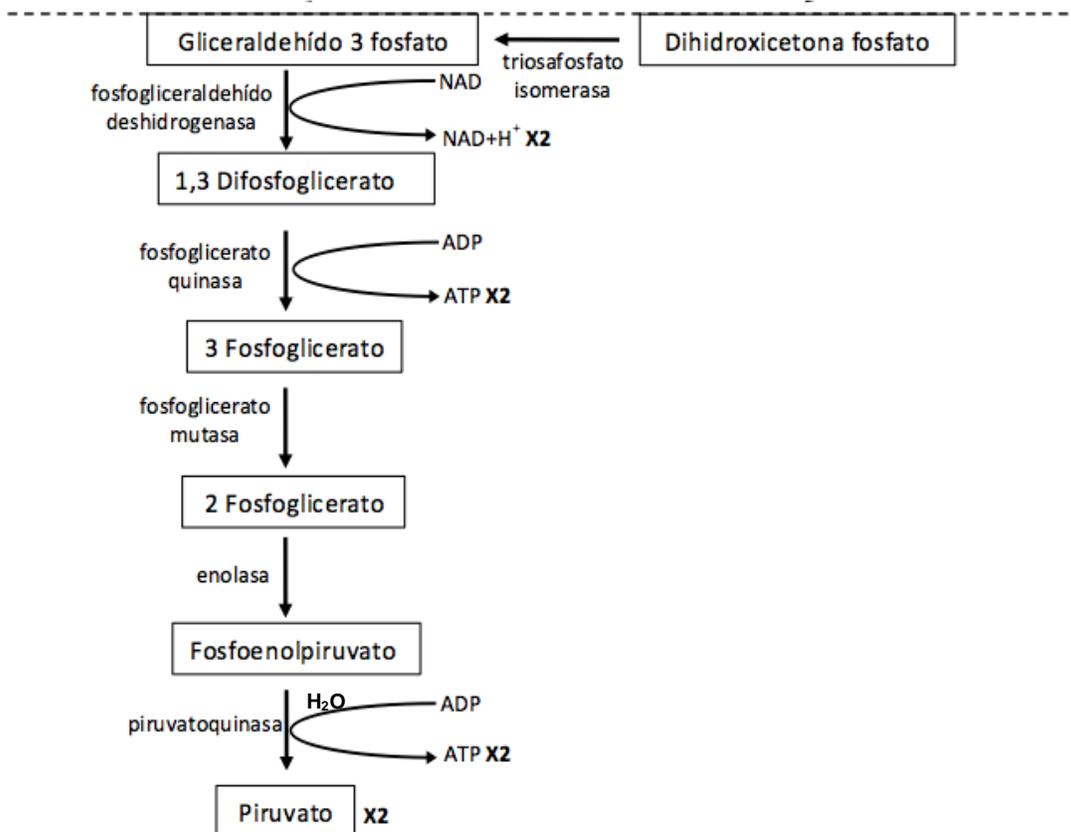


Figura 11.
Reacciones que conforman el proceso de glucólisis



Actividad 3.

RESPIRACIÓN CELULAR

En la mayoría de los organismos, si hay oxígeno presente, la glucólisis es seguida por una segunda fase de degradación de la glucosa: la respiración celular. En esta ocurre una serie de reacciones en donde el piruvato producido por la glucólisis se degrada, se extrae mucha más energía (ATP) y se liberan dióxido de carbono y agua.

La respiración de las células eucariontes se realiza en la mitocondria en tres etapas:

1. Formación de Acetil CoA
2. Ciclo de Krebs
3. Fosforilación oxidativa

Instrucción: Realiza un esquema de la mitocondria donde señales cada una de sus partes, también identifica en donde ocurre cada una de las tres etapas de la respiración.

Una mitocondria tiene dos membranas que producen compartimentos, la membrana interna engloba un compartimento central que contiene la matriz fluida y la otra rodea a la membrana interna de modo que se produce un espacio intermembranoso entre las membranas interna y externa.

Actividad 4.

RESPIRACIÓN CELULAR

El piruvato, producto final de la glucólisis, se sintetiza en el citoplasma. Para que ocurra la respiración celular, el piruvato debe ser transportado del citoplasma a la matriz de la mitocondria, donde se encuentran las enzimas necesarias para su metabolización.

Las reacciones que ocurren en la matriz de la mitocondria, suceden en dos etapas: formación de acetil CoA y ciclo de Krebs.

Instrucción: Completa el esquema de la formación de acetil CoA y ciclo de Krebs (figura 12), con ayuda del siguiente texto:

Primera etapa: Formación de Acetil CoA

El piruvato se descarboxila para formar CO_2 y un grupo acetilo. El grupo acetilo se une al CoA para formar acetil CoA. Simultáneamente, NAD^+ recibe dos electrones energizados y un ion hidrógeno para formar NADH. Después el acetil CoA entra en el ciclo de Krebs.

Segunda etapa: El ciclo de Krebs

1. El acetil CoA dona su grupo acetilo a una molécula de oxaloacetato (molécula de 4 carbonos), para formar una molécula de citrato (molécula de 6 carbonos). Se libera la CoA.
2. El citrato se reorganiza para formar isocitrato.
3. El isocitrato libera CO₂ y forma α-cetoglutarato, molécula de 5 carbonos. El NAD⁺ capta dos electrones energéticos y un H⁺ para formar NADH.
4. EL a-cetoglutarato desprende CO₂ y forma succinato, molécula de 4 carbonos. El NAD⁺ capta dos electrones energéticos y un H⁺ para forma NADH y se forma una molécula de ATP a partir de un ADP. En este punto los tres carbonos del piruvato original ya se liberaron como CO₂.
5. El succinato se convierte en fumarato, molécula de 4 carbonos. Una molécula de FAD capta dos electrones energizados y dos H⁺ para formar FADH₂
6. El fumarato se convierte en malato, molécula de 4 carbonos que contiene otros dos hidrógenos y un oxígeno adicional tomado del agua.
7. El malato se convierte en oxaloacetato. El NAD⁺ capta dos electrones energizados y un H⁺ para formar NADH.

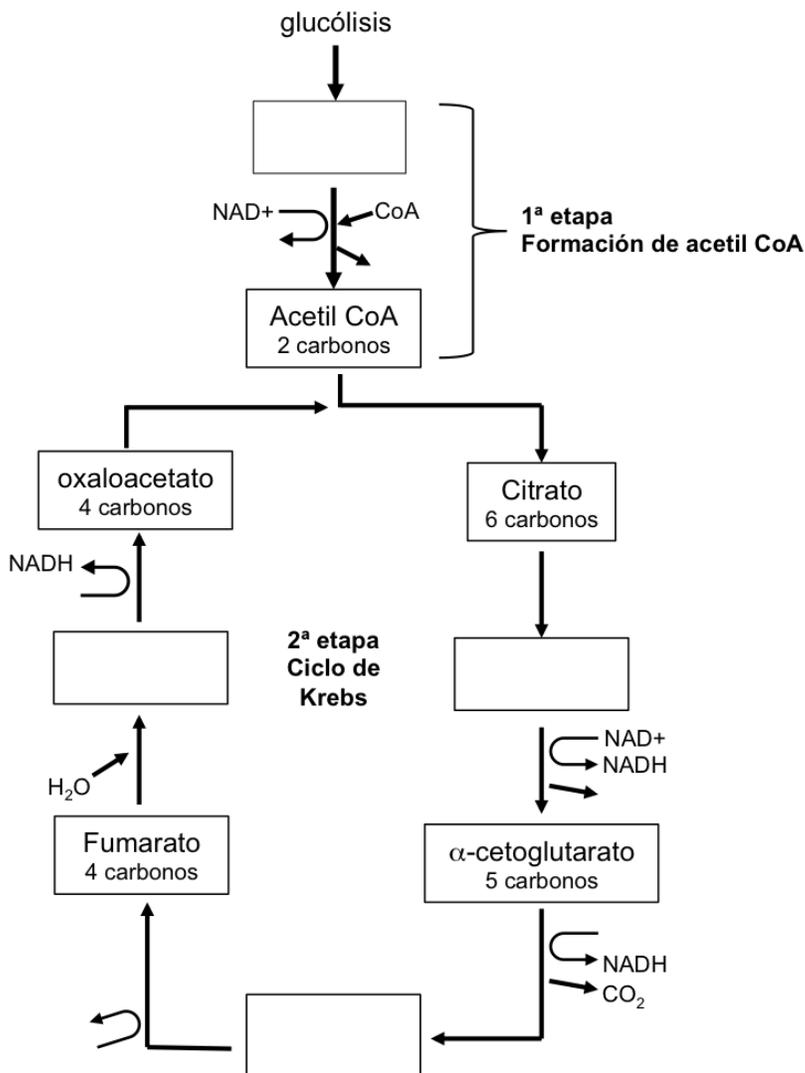


Figura 12. Formación de acetil CoA y Ciclo de Krebs

Instrucción: Completa el siguiente párrafo, el cual hace referencia a los productos finales de la formación de acetato y ciclo de Krebs.

Por cada molécula de acetyl CoA, el ciclo de Krebs produce _____ CO_2 , _____ ATP, _____ NADH y _____ FADH_2 .

La formación de cada acetyl CoA antes del ciclo de Krebs produce también ___ CO_2 y ___ NADH.

De esta forma, por cada molécula de _____ producida en la glucólisis las reacciones en la matriz de la mitocondria producen _____ CO_2 , _____ ATP, _____ NADH y un FADH.

Como cada molécula de _____ produce _____ piruvatos, la cantidad de productos energéticos y CO_2 por molécula de glucosa será el _____ de lo producido por un solo piruvato.

Actividad 5.

RESPIRACIÓN CELULAR

Las coenzimas NADH y FADH_2 producidas durante la glucólisis, formación de Acetyl CoA y ciclo de Krebs, con su carga de electrones e hidrógeno resultan muy prometedoras para la célula ya que todos los electrones están provistos de energía potencial, que las coenzimas pueden llevar a los sitios finales de reacción.

Es así, como comienza la **tercera etapa** (fosforilación oxidativa) de la respiración celular, cuando las coenzimas ceden electrones a la cadena de transporte de electrones que se encuentra en la membrana interna de la mitocondria. Al fluir los electrones por la cadena, poco a poco transfieren energía y al mismo tiempo las coenzima ceden hidrógeno que es bombeado hacia el espacio intermembranal, allí se acumulan muchos iones H^+ , lo cual crea un gradiente electroquímico que fluye hasta las ATP sintasas, generando la unión de fosfatos y ADP para la formación de ATP, la energía del gradiente electroquímico alcanza para sintetizar de 32 a 34 moléculas de ATP por molécula de glucosa.

En esta cadena los transportadores finales de electrones promueven la unión de oxígeno e hidrógeno para formar moléculas de agua, siendo así el oxígeno el aceptor final de los electrones provenientes de la molécula de glucosa.

En la célula sin oxígeno disponible los electrones no tienen a donde ir, la cadena retrocede con los electrones a NADH, así que no se forman gradientes de H^+ y tampoco ATP. Sin oxígeno las células de organismos complejos no sobreviven mucho tiempo ya que no pueden producir suficiente ATP para sostener sus procesos metabólicos.

Instrucción: Elabora un modelo esquemático de la cadena de transporte de electrones en este deberás señalar:

- a) La membrana interna y la membrana externa de la mitocondria, así como el espacio intermembranal.

- b) El nombre de cada una de las moléculas que conforma a la cadena de transporte de electrones.
- c) El lugar donde los electrones son aceptados por el oxígeno para la formación de agua.
- d) El bombeo de protones desde la matriz de la mitocondria hacia el espacio intermembranal.
- e) El movimiento de electrones desde el primer aceptor hasta el último.
- f) El sitio en el que se forma el ATP.

Actividad 6.

RESPIRACIÓN CELULAR

Instrucción: Tomando en cuenta lo aprendido respecto a la respiración celular, genera una respuesta lógica y fundamentada para la pregunta que se hace respecto al siguiente caso:

Quando los deportistas alteran su conteo sanguíneo: ¿los tramposos se salen con la suya?

Una hora antes de que iniciara la duodécima etapa del Tour de France, el equipo Saunier Duval tenía el mejor ánimo. Su ciclista estrella, Riccardo Riccò, había encabezado el grupo durante dos etapas, una de ellas la terrible novena etapa, en la que se ascienden dos montañas en un trayecto de 224 kilómetros.

Su optimismo se transformó en consternación cuando observaron que la policía se llevaba a su primer ciclista. Minutos después, el equipo se retiró de la competencia. ¿Cuál fue el delito de Riccò? Dopaje sanguíneo.

Este tipo de dopaje introduce al torrente sanguíneo más glóbulos rojos que transportan oxígeno con la finalidad de mejorar el rendimiento de un deportista. Lo que hizo Riccò fue inyectarse un fármaco, activador continuo del receptor de la eritropoyetina (CERA, por sus siglas en inglés), una versión sintética de la eritropoyetina. La hormona eritropoyetina natural (EPO) estimula la producción de glóbulos rojos en la médula. Un organismo sano produce suficiente eritropoyetina para reponer los glóbulos rojos que envejecen y mueren. Si una persona acude a una región más elevada, donde cada bocanada de aire proporciona menos oxígeno, el cuerpo lo compensa aumentando la EPO para producir más glóbulos rojos.

Una inyección de EPO sintética estimula la producción de una gran cantidad de glóbulos rojos adicionales, lo que aumenta la capacidad de carga de oxígeno de la sangre más de lo normal y favorece el rendimiento en los deportes de resistencia como el ciclismo.

Pregunta: ¿Por qué aumenta la resistencia cuando se tienen moléculas adicionales de oxígeno en el torrente sanguíneo?

Actividad 7.

FERMENTACIÓN

A partir del siguiente texto diseña un mapa mental en el que al menos deberás incluir lo siguiente: ¿qué es la fermentación y cuál es su importancia?, ¿en qué condiciones las células realizan la fermentación?, ¿cuáles son los dos principales tipos de fermentaciones y sus productos finales?, ¿qué organismos realizan cada uno de los principales tipos de fermentación?

La fermentación

En condiciones anaeróbicas, después de la glucólisis ocurre la fermentación. Esta no produce más ATP, pero convierte el NADH producido durante la glucólisis en NAD⁺, que debe reciclarse constantemente para que la glucólisis continúe. El rendimiento neto de la fermentación son dos ATP, mismos que se forman durante la glucólisis.

Principalmente se conocen dos tipos de fermentación para regenerar el NAD⁺: la fermentación láctica que produce ácido láctico a partir de piruvato y la fermentación alcohólica que produce alcohol y CO₂ a partir del piruvato.

Como la fermentación no degrada completamente a la glucosa ni toma energía del NADH para producir más ATP, los organismos que dependen de la fermentación deben consumir más glucosa para generar la misma cantidad de ATP que los organismos que realizan la respiración celular.

Fermentación láctica. En ella el NADH cede electrones e hidrógeno al ácido pirúvico, la transferencia convierte el piruvato en ácido láctico un compuesto de tres carbonos. Este tipo de fermentación la llevan a cabo principalmente bacterias del género *Lactobacillus*, *Streptococcus* y *Leuconostoc*, muchas especies tienen aplicaciones comerciales por ejemplo enormes poblaciones de *Lactobacillus* nos proporcionan quesos, yogurt, suero de leche y otros productos lácteos, también sirve para dar sabor a carnes y algunas frutas y verduras ya que el ácido láctico da a los alimentos un sabor agrio.

La fermentación láctica también la llevan a cabo los músculos cuando les falta oxígeno, por ejemplo en algunos animales es necesaria cuando luchan, huyen o persiguen a su presa, en los humanos se realiza principalmente cuando se practican deportes de resistencia. Cuando los músculos tienen muy poco oxígeno, la glucólisis suministra sus escasas dos moléculas de ATP por molécula de glucosa lo cual le permite aportar la energía necesaria para una aceleración breve y final.

Fermentación alcohólica. En ella ocurre una primera reacción donde se divide la molécula de ácido pirúvico dando origen a una molécula de acetaldehído y una de dióxido de carbono, después en una segunda reacción el acetaldehído acepta electrones e hidrógeno provenientes del NADH para producir etanol y NAD⁺.

Las levaduras efectúan la fermentación alcohólica y sus productos posee gran importancia económica, por ejemplo, los panaderos utilizan a la especie *Saccharomyces cerevisiae* en la

elaboración del pan ya que el dióxido de carbono generado por estos organismos esponja la masa. Algunas otras cepas de *Saccharomyces* sirven para producir el alcohol en el vino y la cerveza.

Actividad 8.

FERMENTACIÓN

Instrucción: Utiliza los elementos que se encuentran en la caja para construir los modelos de las rutas catabólicas de la fermentación láctica y alcohólica. No olvides colocar en el lugar adecuado a las enzimas que catalizan cada reacción.

Actividad 9.

Instrucción. Con ayuda de la bibliografía sugerida al final de la unidad, realiza una investigación, con respecto a la ganancia de ATP en cada una de las rutas catabólicas estudiadas, posteriormente completa la siguiente tabla, así como las oraciones que te ayudarán a hacer una síntesis de lo estudiado.

			Respiración celular		
Ruta catabólica	Glucólisis	Fermentación	Formación de Acetil CoA	Ciclo de Krebs	Fosforilación oxidativa
Lugar donde se realiza					
Sustrato					

Productos (s)					
Ganancia de ATP					

1. El catabolismo de la glucosa comienza con la _____ que es la ruptura de la molécula de glucosa y sin ella no podría ocurrir la _____ ni la _____.
2. La _____ es realizada por algunas bacterias, _____, y en ocasiones las células musculares, esta tiene por objetivo _____ el NAD⁺ para que la glucólisis siga ocurriendo y producir _____ en forma de ATP. Su rendimiento neto es de _____ ATP, producidos en la glucólisis.
3. Por otro lado, la _____ es un proceso que ocurre en las _____ de las células y que a través de varios procesos genera ATP, _____ y H₂O, para que se lleve a cabo es necesaria la presencia de O₂, su rendimiento neto de ATP es de _____.
4. Finalmente podemos decir que tanto la fermentación como la respiración celular son procesos _____ que se encargan de la síntesis de _____.

Autoevaluación

1. Es el sitio en el que se realiza la glucólisis:

- A) Núcleo
- B) Mitocondria
- C) Membrana plasmática
- D) Citoplasma

2. Son productos finales de la glucólisis

- A) Una molécula de ATP, una de FADH y una de piruvato
- B) Dos moléculas de ATP, dos de NADH y dos de piruvato
- C) Una molécula de ATP, una de CO₂ y una de piruvato
- D) Dos moléculas de ATP, una de H₂O y dos de piruvato

3. Es la etapa de la respiración celular que da inicio cuando la molécula de acetil-CoA transfiere su grupo acetilo de dos carbonos a una molécula de oxaloacetato de cuatro carbonos para producir una molécula de citrato.

- A) Fosforilación oxidativa
- B) Glucólisis
- C) Formación de Acetil CoA
- D) Ciclo de Krebs

4. ¿Cuál es la razón por la que algunos deportistas se mudan a lugares más altos cuando entrenan para carreras en lugares de poca altitud?

A) El oxígeno escaso de las alturas estimula la producción de glóbulos rojos, así se lleva más oxígeno a los músculos, para que la respiración celular genere la cantidad máxima de ATP a partir de la glucosa.

B) Los lugares con poca altitud generan que el cuerpo necesite más glóbulos rojos que transporte oxígeno hacia las células, por esta razón al mudarse a lugares más altos se provoca la reducción de glóbulos rojos.

C) La respiración celular se realiza cuando las mitocondrias de los músculos reciben suficiente oxígeno, sin embargo, cuando hay déficit de este, se produce la fermentación para ganar energía extra.

D) La fermentación alcohólica ayuda a que los músculos generen una cantidad extra de ATP y en los lugares altos los deportistas obligan a las mitocondrias de sus músculos a generar la fermentación para obtener ATP.

5. En la fermentación se elabora solo el poco rendimiento de ATP procedente de la glucólisis, por lo tanto, las otras reacciones son para regenerar:

- A) FAD
- B) NAD
- C) FADH₂
- D) NADH

6. Elige la respuesta que correlaciona el proceso con la descripción apropiada.

Proceso	Descripción
1. Glucólisis	a. Se forman ATP, NADH, FADH ₂ , CO ₂ y agua.
2. Fermentación	b. transformación de una molécula de glucosa en dos de piruvato
3. Ciclo de Krebs	c. regeneración del NAD ⁺ y ganancia de 2 ATP
4. Fosforilación oxidativa	d. H ⁺ fluye por la ATP sintasa

- A) 1a, 2c, 3d, 4b
- B) 1b, 2c, 3a, 4d
- C) 1c, 2d, 3b, 4a
- D) 1d, 2a, 3b, 4c

Respuestas

1. Respuesta: D 2. Respuesta: B 3. Respuesta: D 4. Respuesta: A 5. Respuesta: B 6. Respuesta: B

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

Subtema III. Fotosíntesis

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

Conceptos básicos: Fotosíntesis, Reacciones dependientes de la luz y Ciclo de Calvin.

Habilidades básicas:

Búsqueda de información impresa.

Identificación de información válida y útil. Criterios de diferenciación.

Comunicación verbal y escrita del trabajo realizado.

Planeamiento de hipótesis.

Identificación y manejo de variables.

Análisis de datos.

VISIÓN GENERAL DE LA FOTOSÍNTESIS ¹

La mayoría de los autótrofos, plantas, algas y cianobacterias construyen compuestos orgánicos como azúcares, mediante un proceso llamado fotosíntesis. La fotosíntesis es el proceso que transforma la energía lumínica en energía química. La ecuación química global de la fotosíntesis se muestra a continuación:



La fotosíntesis ocurre en dos fases. Para el caso de las plantas vasculares, los sitios donde estas etapas se llevan se muestran en la figura 13. Las bacterias fotosintéticas no cuentan con cloroplastos, sin embargo son capaces de realizar dicho proceso.

¹ Texto tomado y modificado de Biggs, A. 2012. *Biología*. México. Mc Graw Hill.

Hace unos 200 años se demostró que se requiere luz para este proceso. La evidencia de que la fotosíntesis puede ser influenciada por distintos factores llevó a distinguir una etapa dependiente de la luz -o de las reacciones "lumínicas"- y una etapa enzimática, independiente de la luz, las reacciones "oscuras".

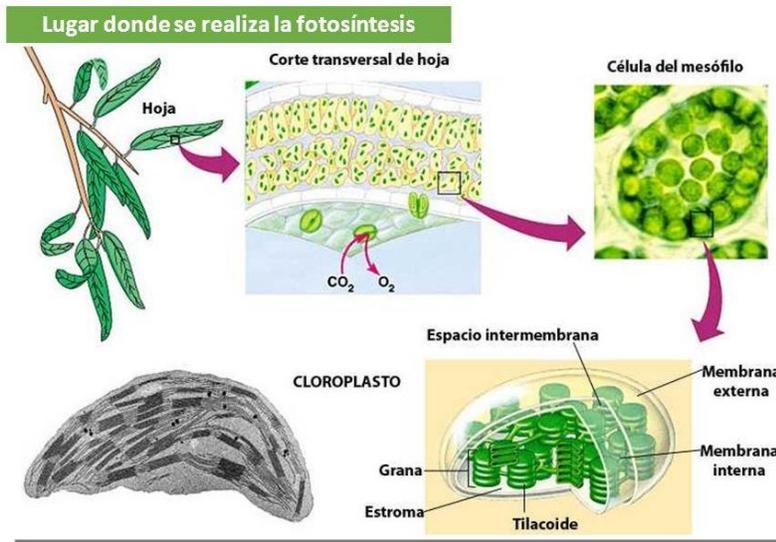


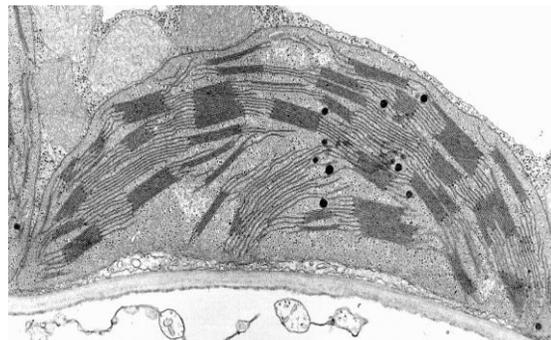
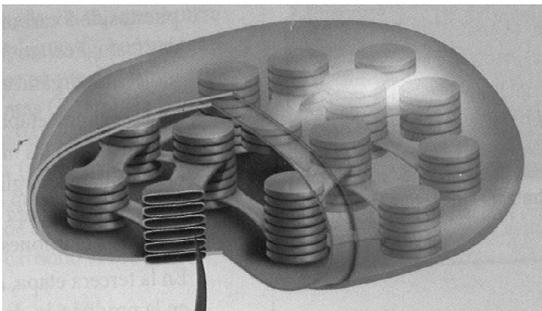
Figura 13. Se muestra el corte transversal de una hoja, seguida de un zoom a células del mesófilo, en las cuales se encuentran los cloroplastos; organelo en el que ocurren ambas fases de la fotosíntesis: fase dependiente y fase independiente de la luz (Tomada de Biggs, A. 2012).

En la fase uno, las reacciones es

dependientes de la luz, la energía lumínica es absorbida y luego se convierte en energía química en forma de ATP y NADPH. En la fase dos, las reacciones independientes de la luz, emplean el ATP y el NADPH, formados en la fase uno, para la elaboración de glucosa. Una vez producida, la glucosa se puede unir a otros azúcares simples para formar moléculas más grandes conocidas como polisacáridos. Estas moléculas más grandes son carbohidratos complejos como el almidón, el cual es un polisacárido. Recuerda que los carbohidratos se componen de unidades repetidas de monosacáridos. Los productos finales de la fotosíntesis también se pueden utilizar en la elaboración de otras moléculas orgánicas como proteínas, lípidos y ácidos nucleicos.

Actividad 1

Ejercicio 1. A continuación se te muestra un esquema de un cloroplasto junto con una fotografía del mismo organelo visto al microscopio. Señala, en ambas imágenes, las partes del cloroplasto utilizando las siguientes palabras: membrana externa, membrana interna, tilacoide, grana, estroma.



Investiga la función de cada una de las partes. Consulta los recursos bibliográficos que aparecen al final de la unidad.

Actividad 2

Reacciones dependientes de la luz

La absorción de la luz es el primer paso de la fotosíntesis. Las plantas, protistas y algunas bacterias, poseen complejos moleculares especiales que capturan la energía lumínica. Una vez capturada la energía, se producen dos moléculas almacenadoras de energía, NADPH y ATP, para ser utilizadas en las reacciones independientes de la luz.

Para resolver los siguientes ejercicios es necesario que realices una investigación bibliográfica en torno a las reacciones dependientes de la luz de la fotosíntesis, para ello puedes consultar los recursos bibliográficos que aparecen al final de la Unidad.

Ejercicio 1. Contesta lo que se te pide a partir del análisis de la siguiente gráfica.

a) ¿Cuál es la variable independiente?

b) ¿Cuál es la variable dependiente?

c) Formula una hipótesis sobre qué efecto tendría en la absorción de luz, si una planta no tuviera clorofila b.

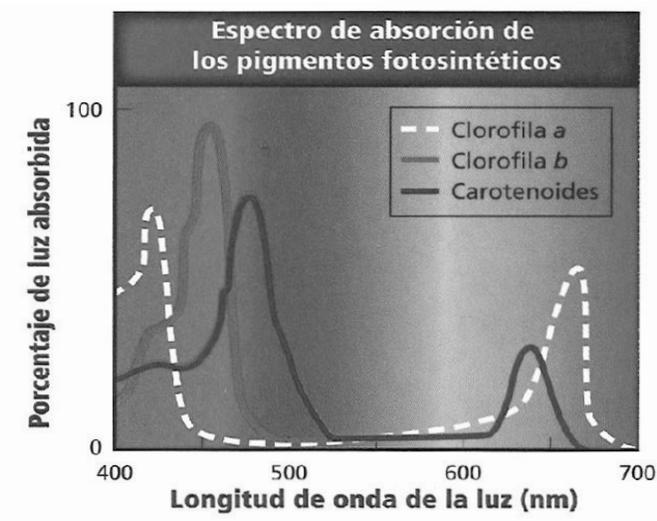
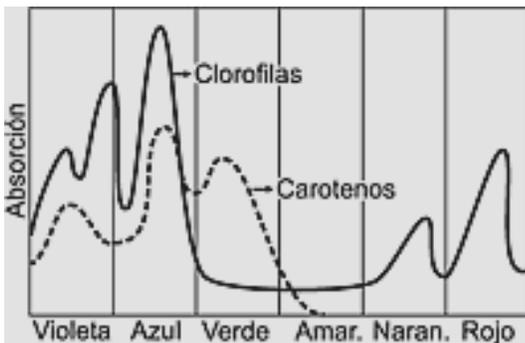


Figura 14. Los coloridos pigmentos que se encuentran en las hojas de los árboles difieren en su capacidad de absorber determinadas longitudes de onda de la luz (Tomada de Biggs, A. 2012).

Ejercicio 2. Tres células vegetales que tienen distintos pigmentos fotosintéticos fueron iluminadas, cada una, con una luz de distinto color como se muestra en la tabla

Célula	Pigmentos	Luz que recibe
1	Carotenos Clorofilas	Verde
2	Clorofilas	Azul – violeta
3	carotenos	Rojo - naranja

Teniendo en cuenta la gráfica que se presenta a continuación contesta lo siguiente:



a) ¿En cuál de las células esperamos la mayor producción de O₂? Argumenta tu respuesta.

b) ¿En qué célula esperamos la menor producción de O₂? ¿Por qué?

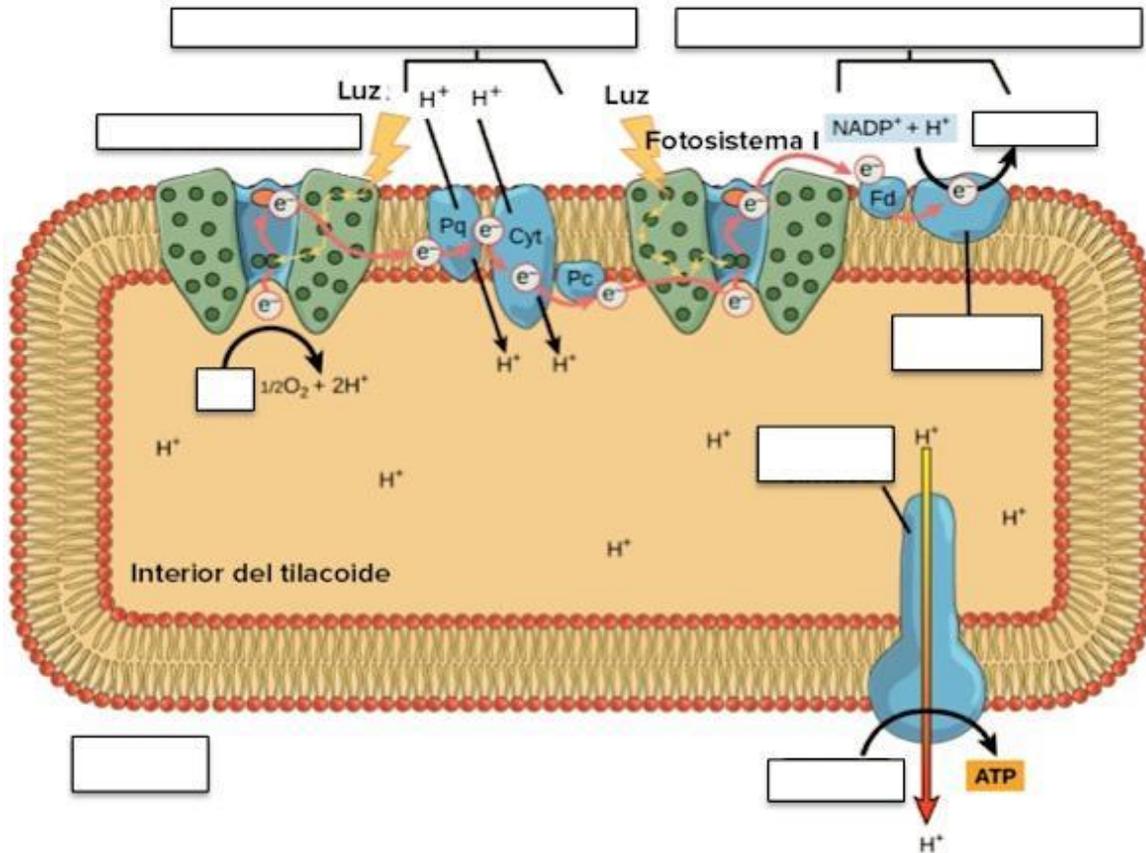
Actividad 3

Durante las reacciones dependientes de la luz ocurre un proceso fisicoquímico conocido como fotólisis del agua. Consulta los recursos bibliográficos y contesta lo siguiente:

1. ¿En qué consiste la fotólisis del agua durante la fotosíntesis?
2. ¿Cuál es papel de los fotosistemas durante las reacciones dependientes de la luz?
3. ¿Cuáles son los productos de la fase dependiente de la luz? ¿Qué ocurre con dichos productos?
4. La energía lumínica ¿en qué tipo de energía ha sido transformada durante esta fase?
5. Investiga el papel de la ATP sintasa durante la fase dependiente de la luz.

6. En la figura 15 se representa un segmento de la membrana interna de un tilacoide, completa los espacios en blanco colocando correctamente los siguientes conceptos: cadena de transporte de electrones, ATP sintasa, NADPH, Fotosistema II, Estroma, ADP + Pi, NADP reductasa, H₂O.

Figura 15. Membrana interna del tilacoide



Actividad 4

Fase dos: El ciclo de Calvin

Aunque el NADPH y el ATP proporcionan grandes cantidades de energía a las células, no son moléculas suficientemente estables como para almacenar energía química por largos periodos de tiempo. Por lo tanto, existe una segunda fase de la fotosíntesis llamada el ciclo de Calvin o fase independiente de la luz, donde se almacena energía química en moléculas orgánicas como la glucosa.

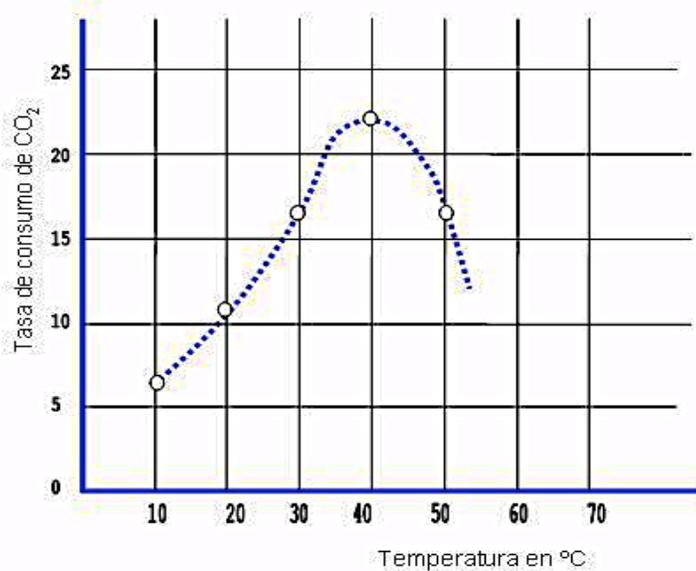
Empleando los recursos bibliográficos investiga lo siguiente

- ¿Cómo se fija el CO₂ durante la fotosíntesis?
- ¿En cuántas etapas se divide el ciclo de Calvin? ¿Qué sucede en cada una de ellas?
- ¿Cuál es el papel de NADPH durante el ciclo de Calvin?
- ¿Cuál es el papel del ATP durante el ciclo de Calvin?
- ¿Qué es la rubisco?
- ¿Qué función cumple la rubisco?

- ¿Cuáles son los productos del ciclo de Calvin?
- ¿Por qué el ciclo de Calvin es un proceso anabólico?

Actividad 5

Ejercicio 1. En el siguiente experimento se midió la variación en la cantidad de CO₂ consumido en función de la temperatura:



a) ¿Cuál es la relación temperatura-tasa de consumo de CO₂?

b) ¿Por qué a partir de los 40° C la cantidad de CO₂ absorbido por las hojas disminuye?

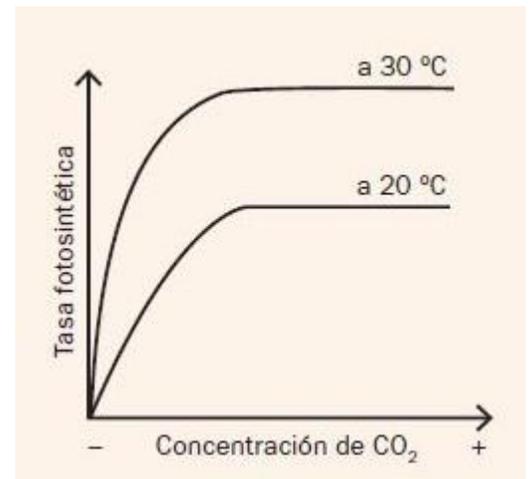
c) Si quisieras modificar el experimento ¿qué variable cambiarías: dependiente o independiente? ¿Por qué?

Ejercicio 2. Completa los espacios en blanco con los conceptos correctos.

Si colocamos un grupo de plantas verdes dentro de un ambiente rico en CO₂ con el carbono marcado radiactivamente, esperamos encontrar la marca radiactiva en el _____ del cloroplasto, dado que en ese sitio se encuentra la enzima _____ cuya función es fijar el CO₂ hasta generar _____.

El _____ aporta los electrones necesarios para la reducción del _____ incorporado a las moléculas orgánicas como la glucosa. El _____ aportará la energía necesaria para las reacciones energéticamente desfavorables.

Ejercicio 3. La gráfica muestra la variación de la tasa de la fotosíntesis en función de la concentración de CO₂ y de la temperatura



a) ¿En qué se parecen ambas curvas?

b) ¿A qué se debe la similitud de las curvas?

c) ¿Qué se puede concluir en relación a la tasa de la fotosíntesis y la concentración de CO₂?

Actividad 6²

Ejercicio 1. En la figura 16 se observa una de las fases de la fotosíntesis. Complétala indicando cuáles son las sustancias señaladas con las letras A - G.

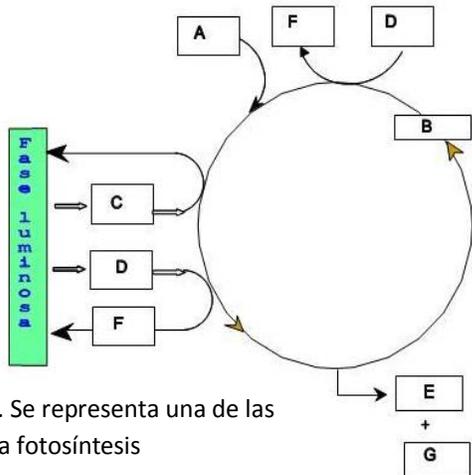


Figura 16. Se representa una de las fases de la fotosíntesis

A:

B:

C:

D:

E:

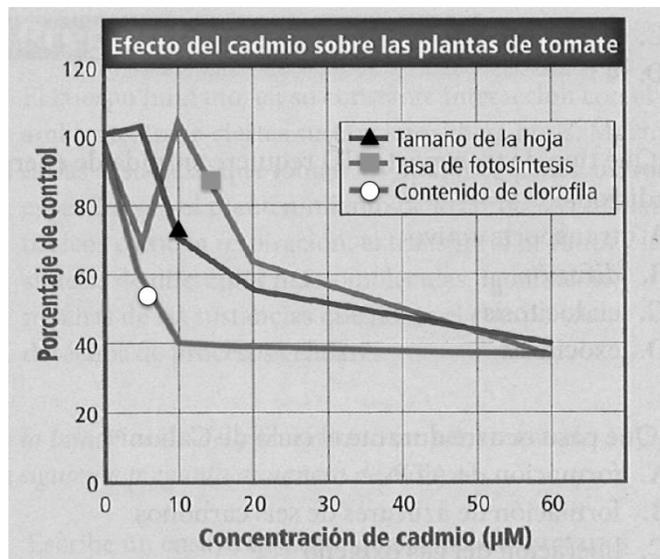
F:

G:

Actividad 7
El

cadmio es un metal pesado que resulta tóxico para los humanos, plantas y animales. Frecuentemente se encuentra en el suelo en forma de contaminante. Utiliza los siguientes datos para responder las preguntas sobre el efecto del cadmio en la fotosíntesis de las plantas del tomate.

a) ¿Cuál fue el efecto del cadmio sobre el tamaño de la hoja, el contenido de clorofila y la tasa de la fotosíntesis?



b) ¿A qué concentración de cadmio se observó el mayor efecto sobre el tamaño de la hoja, el contenido de clorofila y la tasa de fotosíntesis?

² Actividad tomada y modificada de <http://www.iespando.com/web/departamentos/biogeol/>

Autoevaluación

1. En la siguiente imagen se presenta la formula general de la fotosíntesis. Determina cuáles características de la siguiente lista corresponden de manera precisa con esta ruta metabólica



- | | | | |
|-----------------------|-------------------------|--|--------------------|
| 1. Anabólico | 2. Catabólico | 3. Genera ATP | 4. Utiliza fotones |
| 5. Catalítico | 6. Se realiza en el día | 7. Proceso aerobio | |
| 8. Proceso alostérico | 9. Ruta cíclica | 10. La realizan células eucariotas y procariotas | |

- A) 2, 3, 6, 8, 9
- B) 1, 4, 5, 6, 10
- C) 2, 3, 6, 7, 9
- D) 1, 3, 4, 9, 10

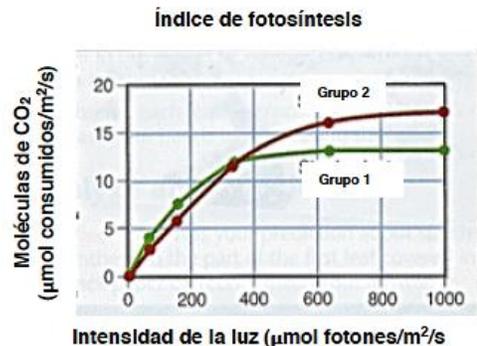
2. El origen de la energía específica para la reacción $\text{ADP} + \text{fosfato} \rightarrow \text{ATP}$ por la enzima ATP sintasa en las membranas internas de los tilacoides es debido a:

- A) el movimiento de electrones entre el fotosistema II y el fotosistema I.
- B) el rompimiento de las moléculas de agua con ayuda de los fotones
- C) la mayor concentración de H^+ en el interior que en el exterior de las membranas de los tilacoides
- D) la absorción de fotones por los pigmentos de los cloroplastos

3. ¿Qué asociación es incorrecta?

- A) reacciones dependientes de la luz- estroma
- B) pigmentos fotosintéticos – fotosistemas
- C) fotolisis- tilacoide
- D) ciclo de Calvin – estroma

4. Se realizó un estudio de fotosíntesis en dos grupos de plantas en determinados metros cuadrados (m^2). En esta investigación consideraron el flujo de fotones para la fotosíntesis (FFF) por segundo. Como indicativo del índice de fotosíntesis consideraron las moléculas de CO_2 utilizadas por segundo. Los resultados se muestran en la siguiente gráfica.



¿Cómo justificarías que la elección de medir el índice de fotones y de las moléculas de CO₂ fueron adecuados para el estudio?

A) La energía luminosa es necesaria para las plantas debido a que la transforman en biomoléculas como la glucosa. Así el proceso de la fotosíntesis aporta moléculas de carbono para su crecimiento.

B) Las plantas que realizan fotosíntesis construyen moléculas de carbono cuando están en un ambiente adecuado; y la energía química la transforman en energía luminosa, necesaria para construir glucosa.

C) La fotosíntesis requiere de moléculas de CO₂ para construir, con energía luminosa, biomoléculas (glucosa); y la energía luminosa necesaria fue obtenida por la transformación de la energía química.

D) La fotosíntesis requiere de moléculas de CO₂ para construir, con energía química, biomoléculas como la glucosa; y la energía química necesaria fue obtenida por la transformación de la energía luminosa.

5. La variable dependiente del experimento anterior es:

A) las moléculas de CO₂ consumidas

B) la intensidad de luz

C) el índice de la fotosíntesis

D) el grupo 2

Respuestas.

1. Respuesta: D 2. Respuesta: C 3. Respuesta: A 4. Respuesta: D 5. Respuesta: A

Recursos bibliográficos de la 1ª Unidad.

Alberts, B., Bray, D., Lewis, J., Raff, M., Roberts, K. y Watson, J. (2004). *Biología molecular de la célula*. Barcelona: Ediciones Omega.

Audesirk, T., Audesirk, G., y Byers, B. E. (2008). *Biología: La vida en la Tierra*. México: Pearson Educación.

Baca, B. E., Soto Urzúa, L., & Pardo Ruiz, M. P. (2000). *Fijación biológica de nitrógeno. Elementos* 38 (7): 43. En línea <http://www.elementos.buap.mx/num38/htm/43.htm>. Consultado el 25 de abril de 2018.

Biggs, A. (2007). *Biología*. México: Glencoe–Mc Graw–Hill.

Class Neyoy S. (2017). Apuntes de Biotecnología: Biorreactores. Recuperado de: <http://apuntesbiotecnologiageneral.blogspot.com/2014/05/?view=classic>. (Mayo 2018)

Campbell, N. A., Reece, J. B., *et al.* (2007). *Biología*, 7a. Ed. España: Editorial Médica Panamericana.

Curtis, H., Barnes, N. S., Schneck, A., y Flores, G. (2000). *Biología*. Buenos Aires: Editorial Médica Panamericana.

Enciclopedia de Ejemplos (2017). Sistema Abierto, Cerrado y Aislado. Recuperado de: <http://www.ejemplos.co/30-ejemplos-de-sistema-abierto-cerrado-y-aislado/> (Mayo de 2018).

Energía y enzimas (2018). Recuperado de: <https://es.khanacademy.org/science/biology/energy-and-enzymes/modal/a/overview-of-metabolism>. (Junio, 2018)

Herndl, G. J., Velimirov, B. & Krauss, R. E. (1985). Heterotrophic nutrition and control of bacterial density in the coelenteron of the giant sea anemone *Stoichactis giganteum*. *Marine Ecology - Progress Series*, 22: 101-105.

Hiru.eus. (s. f.) Evolución de los procesos metabólicos. Consultado el 24 de mayo de 2018. En línea: <https://www.hiru.eus/es/biologia/evolucion-de-los-procesos-metabolicos>

<https://portalacademico.cch.unam.mx/estrategias/experimentales/biologia3>

Jaramillo, O. (2017) Notas del curso de termodinámica. Recuperado de: <http://www.cie.unam.mx/~ojs/pub/Termodinamica/node18.html>. (Junio, 2018)

Lehninger, A. L., Nelson, D. L., y Cox, M. M. (2009). *Lehninger. Principios de bioquímica*. España: Omega.

Lwoff, A., C.B. van Niel, P.J. Ryan, and E.L. Tatum (1946). Nomenclature of nutritional types of microorganisms. *Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology* (5th edn.), Vol. XI, The Biological Laboratory, Cold Spring Harbor, NY, pp. 302–303. <http://symposium.cshlp.org/content/11/local/back-matter.pdf>

Mauseth, J. D. (2008). *Botany: an introduction to plant biology* (4th Ed.). Jones & Bartlett Publishers.

Metabolismo (2016). Recuperado de: https://www.hiru.eus/es/biologia/metabolismo-catabolismo-autotrofo-y-heterotrofo?p_p_id=3&p_p_lifecycle=0&p_p_state=maximized&p_p_mode=view&_3_struts_action=%2Fsearch%2Fsearch&_3_redirect=%2Fes%2Fbiologia%2Fmetabolismo-catabolismo-autotrofo-y-heterotrofo%2F-%2Fjournal_content%2F56%2F21564%2F4429618&_3_keywords=energia+cinetica&_3_groupId=21564 (Junio de 2018).

Metabolismo y rutas (2015). Recuperado de: <http://exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/Metabolismoybioenergetica.pdf> (Abril, 2018).

Páez-Osuna, F.; J.I. Osuna-López. (1988). *Ventilas hidrotermales en la Cuenca de Guaymas y la Región Dorsal-Este del Pacífico Oriental. Aspectos Geoquímicos*. Ciencias del Mar; 4(10):27-32.

Porto, A.A. (S/F). *Tema 14 Enzimas en Curso de Biología*. Consultado el 13 de abril de 2018 <http://www.bionova.org.es/biocast/tema14.htm>

Raisman, J., y González A. (2013). *Hipertextos del área de Biología, Mecanismo de acción de las enzimas* <http://www.biologia.edu.ar/metabolismo/enzimas.htm> Consultado el 13 de abril de 2018.

Sanmillán, R. (2016). *Metabolismo microbiano 01. Introducción: Tipos tróficos*. En línea <https://youtu.be/ptMSiiDtRLw>. Consultado en 28 de abril de 2018.

Sadava, D. et al (2008). *Vida, la ciencia de la Biología*. Buenos Aires: Editorial Médica Panamericana.

Solomon, E. P., Berg, L. R., & Martin, D. W. (2010). *Biología*. México: Cengage learning.

Souza, V., Escalante, A., Espinoza, L., & Valera, A. (2004). *Cuatro Ciénegas un laboratorio natural de astrobiología*. Ciencias. 75, 4-12.

Starr, C., Taggart, R., Evers, C. y Starr, L. (2009). *Biología, la unidad y diversidad de la vida*. (12a ed.). México: Cengage Learning Editores.

UnProfesor (PRODUCTOR). (2015). *El nitrógeno en el ciclo biogeoquímico*. En línea <https://www.youtube.com/watch?v=JXVovib1IDo>. Consultado en 28 de abril de 2018.

Voet, D., y Voet, J. G. (2006). *Bioquímica*. Buenos Aires: Editorial Médica Panamericana.

UNIDAD II.

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

Propósito:

Al finalizar la unidad el alumno reconocerá las fuentes de variación, transmisión y expresión génica, a través del análisis de estos procesos, para que explique su importancia en la reconfiguración de la biodiversidad.

Introducción a la unidad.

En la segunda unidad del programa de Biología III, se pretende que los estudiantes reconozcan que los sistemas biológicos tienen una base molecular dada por moléculas informáticas, las cuales participan en procesos de transmisión y expresión que, aunados a la variación y modificación que ocurre en ellas, permiten explicar la continuidad de biodiversidad y su reconfiguración a través del tiempo.

Por ello, es necesario que se estudien y analicen las fuentes de variación de éstas moléculas, los mecanismos y procesos de transmisión a través de las generaciones, la interacción entre las variantes informáticas que dan lugar a diferentes expresiones fenotípicas, los procesos moleculares mediante los cuales la información genética se expresa y las alternativas existentes que propician una gran diversidad entre las poblaciones y las comunidades bióticas.

Ante las consideraciones previamente descritas, la unidad incluye aprendizajes conceptuales cuya secuencia lleva a estudiar la organización del material genético desde lo molecular (DNA, genes, cromosomas, genomas), hasta los procesos de replicación, expresión (transcripción, traducción y procesamiento) y transmisión (modelos de herencia e interacción génica) de la información en los sistemas biológicos. Con todo ello, se arriba a analizar las fuentes, formas y modelos de cambio en la información genética.

Temas, aprendizajes y actividades de la Unidad.

Tema I: Organización del material genético.

Subtema I: DNA, genes y cromosomas.

Aprendizaje 1:

El alumno describe las características estructurales del DNA y su organización en genes y cromosomas.

Conceptos básicos.

- Desoxirribonucleótidos
- Desoxirribopolinucleótidos
- Doble hélice
- DNA
- Gen
- Cromosoma

Habilidades básicas.

- Identificar las ideas clave en un texto e inferir conclusiones a partir de ellas.
- Expresar ideas y conceptos mediante una representación gráfica.
- Ordenar información de acuerdo a categorías, jerarquías y relaciones.
- Expresar ideas de forma escrita.
- Relacionar los niveles de organización de los sistemas vivos.

Actividad 1

Instrucciones. Realiza la lectura del siguiente texto. Subraya las ideas que consideres relevantes.

DNA, genes y cromosomas.

Los ácidos nucleicos son polímeros constituidos por unidades monoméricas llamadas nucleótidos. Se conocen dos tipos de ácidos nucleicos: el ácido ribonucleico y el ácido desoxirribonucleico (RNA y DNA respectivamente, por sus siglas en inglés). El DNA contiene desoxirribonucleótidos. Cada desoxirribonucleótido incluye un ácido fosfórico, la pentosa desoxirribosa y una de las siguientes bases nitrogenadas (figura 1): adenina (A), guanina (G), que derivan de la purina, o citosina (C), timina (T), que derivan de la pirimidina.

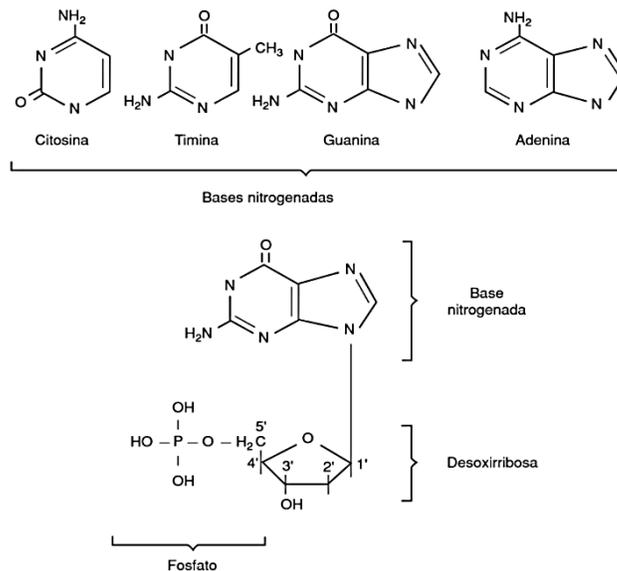


Figura 1. Desoxirribonucleótido y bases nitrogenadas del DNA.

Imagen tomada de: Santos y Gómez, 2003.

Figura 3. Estructura básica del DNA

Imágenes tomadas de: Santos y Gómez, 2003.

La proporción relativa de cada una de las bases del DNA, así como el orden o secuencia en que se encuentran, varía de organismo a organismo. Actualmente, existe la tecnología que permite conocer la secuencia de bases de todo el DNA de un organismo.

En cuanto a sus funciones, la principal del DNA es ser el portador de los genes en todas las células, así como en muchos virus, denominados virus de DNA. En el DNA se encuentra toda la información que define a un organismo.

Un gen, es una unidad (un segmento de DNA) que contiene la información para la síntesis de una molécula de RNA. EL DNA codifica para todos los tipos de RNA. En el caso del RNA mensajero, éste contiene información para la síntesis de un polipéptido.

El DNA determina el fenotipo del organismo a través del proceso denominado expresión genética. La expresión genética es una serie de sucesos durante los cuales la información del DNA se decodifica para especificar la constitución de las proteínas en las células.

Desde un punto de vista estructural, cada molécula de DNA se empaqueta en un cromosoma. Además de DNA, los cromosomas también contienen proteínas básicas (con carga positiva) asociadas al DNA (figura 5).

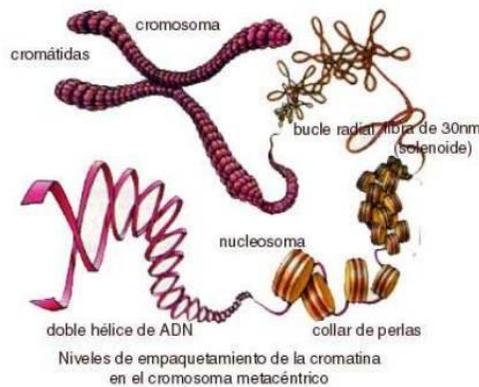


Figura 5. Organización del DNA en el cromosoma eucarionte

Imagen tomada de: <http://www.botanica.cnba.uba.ar/Pakete/3er/LaCelula/Nucleo.htm>

Por lo tanto, los cromosomas son portadores de los genes. Cada gen se ubica en una posición específica (locus) en el cromosoma (figura 6). El DNA total de los cromosomas de un organismo constituye su genoma.

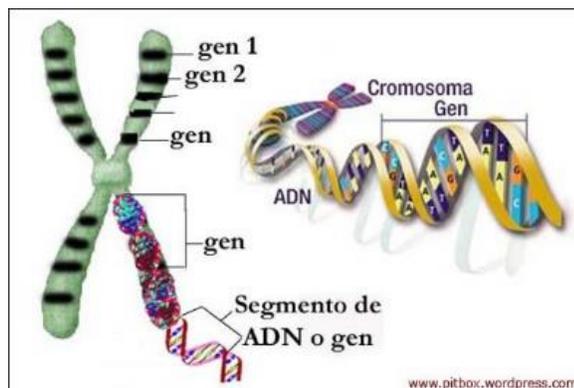


Figura 6. Los cromosomas contienen a los genes. Imagen tomada de:
<http://cienciasjme.blogspot.mx/>

Después de realizar la lectura, contesta las siguientes preguntas:

¿Cuál es la unidad estructural básica que constituye a los ácidos nucleicos?

Menciona cuáles son los componentes de los nucleótidos de DNA.

Describe las características estructurales de la molécula del DNA.

¿Qué es un gen?

¿Qué es un cromosoma?

¿Qué relación existe entre el DNA, los genes y los cromosomas?

¿Qué aplicaciones consideras que puede tener el conocimiento de las características del material genético?

Actividad 2.

Instrucciones:

En la siguiente imagen:

a) Señala la posición del azúcar, del grupo fosfato y de la base nitrogenada.

b) Completa la doble hélice.

c) Señala el sentido (polaridad) de la cadena complementaria.

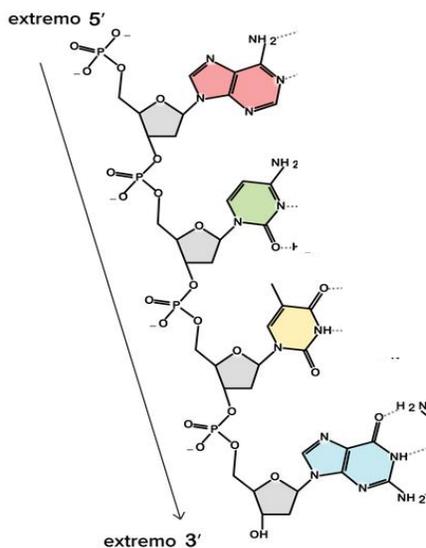
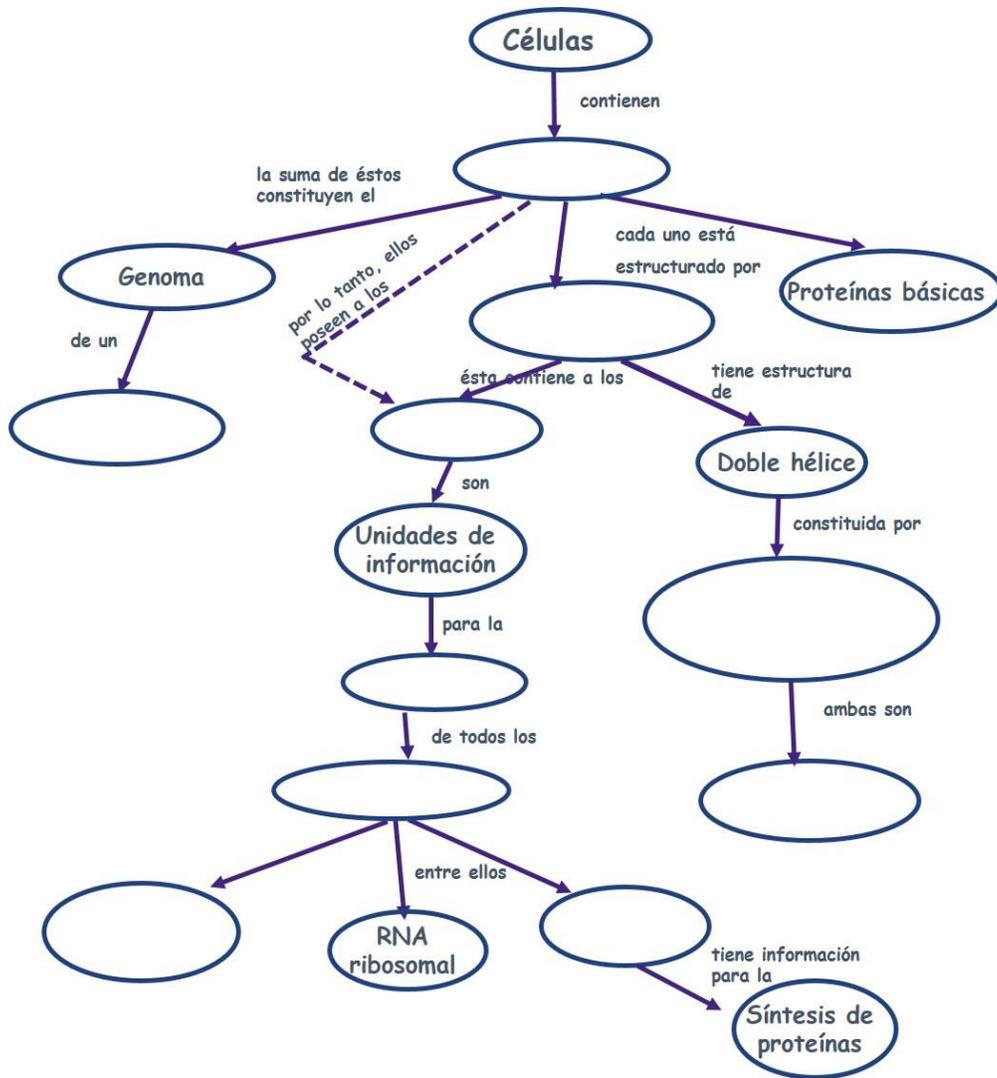


Imagen tomada de: <https://es.khanacademy.org/science/biology/dna>

Actividad 3.

Instrucciones:

Completa el mapa conceptual con las siguientes palabras: **Síntesis, Organismo, Cromosomas, Genes, Una molécula de DNA, Tipos de RNA, Antiparalelas, RNA de transferencia, RNA mensajero, Dos cadenas de polidesoxirribonucleótidos.**



Actividad 4.

Accede a las siguientes ligas, las cuales contienen animaciones sobre la estructura del DNA, y la relación DNA, gen y cromosoma. Observa los videos para complementar lo estudiado:

https://www.youtube.com/watch?v=o_-6JXLYS-k

<https://www.youtube.com/watch?v=itUMPOwtN5c>

<https://www.youtube.com/watch?v=XwR8FCgvwhc>

Reactivos para Autoevaluación

1. Es la secuencia de nucleótidos de DNA que contiene la información para elaborar una molécula de RNA o de proteína: ()

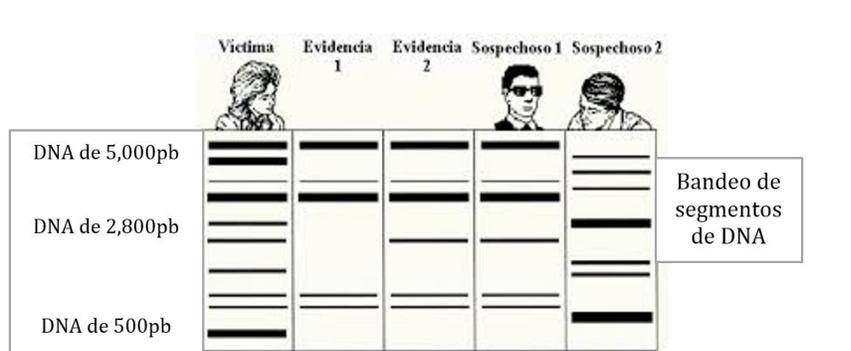
- A) Cromosoma B) Gen C) Genoma D) Genotipo

2. El DNA está constituido por cuatro nucleótidos (A, T, G, C). En cada individuo, dichos nucleótidos están ordenados en un orden preciso. Si el DNA de todas las personas está constituido por los mismos nucleótidos, entonces ¿por qué existen diferencias entre los humanos? ()

- A) La longitud del DNA es diferente B) El número de cadenas de nucleótidos es diferente.
 C) La estructura de cada nucleótido es diferente. D) La secuencia de los nucleótidos es diferente.

3. Lee con detenimiento y selecciona la respuesta correcta.

Las investigaciones periciales de la agresión sexual de una joven de 25 años llevaron a la determinación de dos sospechosos con el tipo sanguíneo A⁺. Posteriormente se mandaron realizar pruebas de DNA con las siguientes evidencias: células en las uñas de la víctima (evidencia 1) y semen (evidencia 2). Los resultados se presentan en la siguiente imagen.



¿Cómo demostrarías que la prueba de DNA fue el método más adecuado para determinar cuál de los dos sospechosos es el culpable? ()

- A) Al analizar el DNA se pueden identificar las diferencias de la secuencia de ácidos nucleicos entre los individuos y las versiones enormemente parecidas en la mayoría de los genes.
 B) El análisis de DNA se basa en las diferencias de la secuencia de nucleótidos que hay de un individuo a otro, todos con versiones ligeramente distintas de la mayoría de los genes.
 C) Con las pruebas de DNA se determina la culpabilidad o paternidad de alguien debido a las similitudes que se tienen entre los individuos, por ejemplo la presencia de DNA y RNA.
 D) Ambos sospechosos presentan DNA con una determinada secuencia de nucleótidos como similitud, pero al ser individuos de padres distintos presentan diferencias en ciertos genes.

4. Elige la opción que consideras que responde correctamente. ()

Los principales componentes que se obtienen cuando se aísla la cromatina de los núcleos interfásicos son el DNA, las proteínas no histónicas, el RNA y _____

- A) Las proteínas
 B) Las histonas
 C) Los ribosomas
 D) Los genes

5. Lee la siguiente información y contesta la pregunta.

Las siguientes, son las secuencias del gen de la hormona concentradora de melanina de dos personas diferentes:

Persona 1

3'ATGGCAAAGATGAATCTCTCTCCTAT^ATATTAATACTAACTTTTTCTTTGTTTTCTCAAGGTATTTTACTT
 TCAGCATCCAAGTCCATAAGAAATTTAGATGATGACATGGTATTTAATACATTCAGGTTGGGGAAAGGCTT
 TCAGAAGGAAGACACTGCAGAAAAATCAGTTATTGCTCCTCCCTGGAACAATATAAAAATGATGAGAGC
 AGTTTCATGAACGAAGAGGAAAATAAAGTTTCAAAGAACACAGGCTCCAAACATAATTTCTTAAATCATG
 GTCTGCCACTCAATCTGGCTATAAAAGGATATCAAGCACTAAAAGGATCTGTAGATTTCCAGCTGAGAAT
 GGAGTTCAGAATACTGAATCAACACAAGAAAAGAGAGAAATTGGGGATGAAGAAAACACTCAGCTAAATTT
 CCTATAGGAAGGAGAGATTTTGACATGCTCAGATGTATGCTCGGAAGAGTCTACCGACCCTGTTGGCAAG
 TCTGA5'

Persona 2

3'ATGGCAAAGATGAATCTCTCTCCTAT^GTATTAATACTAACTTTTTCTTTGTTTTCTCAAGGTATTTTACTT
 TCAGCATCCAAGTCCATAAGAAATTTAGATGATGACATGGTATTTAATACATTCAGGTTGGGGAAAGGCTT
 TCAGAAGGAAGACACTGCAGAAAAATCAGTTATTGCTCCTCCCTGGAACAATATAAAAATGATGAGAGC
 AGTTTCATGAACGAAGAGGAAAATAAAGTTTCAAAGAACACAGGCTCCAAACATAATTTCTTAAATCATG
 GTCTGCCACTCAATCTGGCTATAAAAGGATATCAAGCACTAAAAGGATCTGTAGATTTCCAGCTGAGAAT
 GGAGTTCAGAATACTGAATCAACACAAGAAAAGAGAGAAATTGGGGATGAAGAAAACACTCAGCTAAATTT
 CCTATAGGAAGGAGAGATTTTGACATGCTCAGATGTATGCTCGGAAGAGTCTACCGACCCTGTTGGCAAG
 TCTGA5'

¿Cuál es la conclusión más apropiada para la información anterior? ()

- A) La proporción de Adenina-Timina es mayor que la de Guanina-Citosina en los genes humanos.
 B) La proporción de Guanina-Citosina es mayor que la de Adenina-Timina en los genes humanos.
 C) La secuencia de nucleótidos de los mismos genes puede presentar ligeras variaciones entre individuos de la misma especie.
 D) La secuencia de nucleótidos del DNA en los genes, es idéntica entre individuos de la misma especie.

Respuestas. 1. Respuesta: B/2. Respuesta: D/3. Respuesta: D/4. Respuesta: B/5. Respuesta: C

Tema I: Organización del material genético.**Subtema II:** Genoma procariota y eucariota.**Aprendizaje 2:**

El alumno compara las características generales del genoma procariota y eucariota.

Conceptos básicos

Genoma,
 Nucleoide bacteriano
 Plásmido
 Cromosoma eucarionte (cromatina, nucleosoma, cromátide, telómero, centrómero).

Habilidades básicas

Identifica las ideas clave en un texto e infiere conclusiones a partir de ellas.
 Expresa ideas y conceptos mediante una representación gráfica.
 Ordena información de acuerdo a categorías, jerarquías y relaciones.
 Expresa ideas de forma escrita.
 Relaciona los niveles de organización de los sistemas vivos.

Actividad 1

Instrucciones. Realiza la lectura del siguiente texto. Subraya las ideas que consideres relevantes del texto.

Lectura: “Organización de las moléculas de DNA en las células”³.

Normalmente, las moléculas de DNA se encuentran en las células organizadas en estructuras compactas, en las que la doble hélice se encuentra bajo una fuerte tensión estructural. Esta tensión determina que las moléculas adopten una configuración superenrollada. El superenrollamiento puede ser de dos tipos: plectonómico y toroidal. Si se toma un eje imaginario que pasa por el centro, a lo largo de la hélice del DNA, el superenrollamiento plectonómico es aquel en el que este eje forma a su vez una hélice en el espacio (figura 10a). En el superenrollamiento toroidal, el eje se enrolla alrededor de proteínas (figura 10b).

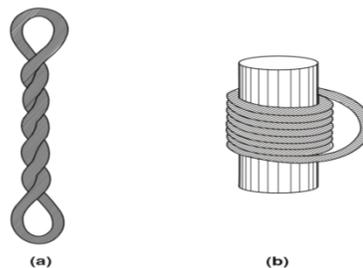


Figura 10. Superenrollamiento plectonómico y toroidal del DNA

³ Tomado y modificado de Santos y Gómez, 2003.

El grado de enrollamiento plectonómico del DNA está determinado principalmente por la acción de enzimas llamadas topoisomerasas. Por su parte, el superenrollamiento toroidal se genera principalmente por la interacción de proteínas con carga positiva (básicas) con el DNA y la acción de las topoisomerasas.

El genoma de las bacterias frecuentemente se encuentra en una sola molécula circular de DNA (genoma haploide). Este DNA, como el de todas las células, tiene un tamaño muy grande en relación con el volumen que ocupa la célula. Esto hace que el DNA bacteriano se encuentre en las células en una estructura muy compacta denominada nucleoide (figura 11). El nucleoide contiene, además de la molécula de DNA condensada aproximadamente 1000 veces, moléculas de RNA, enzimas como la RNA polimerasa, las topoisomerasas y proteínas básicas.

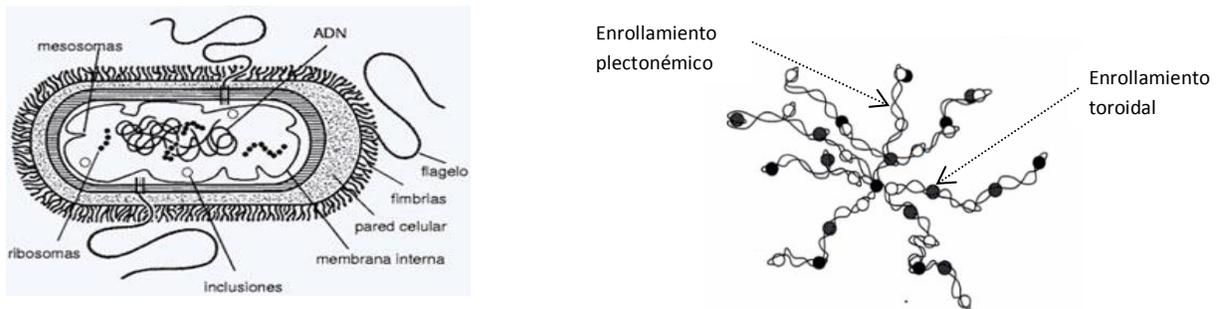


Figura 11. Izquierda, Estructura esquematizada de una bacteria. Derecha, Estructura del nucleoide bacteriano. Las moléculas de DNA de la bacteria *Escherichia coli* se organiza en asas independientes con superenrollamiento plectonómico. La unión de proteínas tipo histona a esta estructura base genera, además, regiones de superenrollamiento toroidal.

En muchas bacterias, además de la o las moléculas de DNA que contienen la información genética esencial y que se localizan en el nucleoide, pueden encontrarse moléculas de DNA adicionales más pequeñas llamadas plásmidos (figura 12).

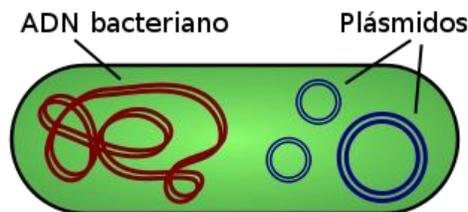


Figura 12. Plásmidos bacterianos. El tamaño pequeño de algunas de estas moléculas y la posibilidad de purificarlas, de adicionarles o quitarles fragmentos de DNA y de introducirlas nuevamente a las bacterias, permitió el nacimiento de la ingeniería genética. Imagen tomada de: [https://es.wikipedia.org/wiki/Pl%C3%A1smido#/media/File:Plasmid_\(spanish\).svg](https://es.wikipedia.org/wiki/Pl%C3%A1smido#/media/File:Plasmid_(spanish).svg)

El genoma de los eucariontes se localiza en un complejo molecular de DNA, RNA y proteínas, conocido como cromatina (figura 15). El DNA de la cromatina, que en las células humanas se encuentra en 23 pares de moléculas lineales o cromosomas diferentes (genoma diploide), tiene una longitud total de más de 1 metro. En las células de humano, como en las células de todos los eucariontes, además del DNA del núcleo, hay moléculas adicionales de DNA en organelos como son las mitocondrias (y los cloroplastos en los eucariontes fotosintéticos).

Cada cromosoma tiene un centrómero, dos telómeros y varias regiones de inicio para la replicación. Los centrómeros son regiones generalmente compuestas de secuencias pequeñas repetidas, que unen a las cromátidas hermanas al huso acromático durante la mitosis. Los telómeros son secuencias que se localizan en los extremos de cada cromosoma (figura 13). Estas secuencias son muy importantes para la replicación de moléculas lineales de DNA.

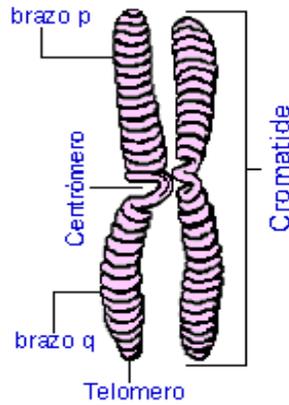


Figura 13. Estructura del cromosoma eucarionte. Imagen tomada de <http://porquebiotecnologia.com.ar/index.php?action=cuaderno&opt=5&tipo=1¬e=3>

Los cromosomas son unidades dinámicas cuya apariencia varía con la etapa del ciclo celular. Durante la interfase, cuando el DNA se transcribe y se replica, los cromosomas de la mayoría de las células forman una malla dispersa donde no es posible identificar a cada cromosoma. En la fase de la mitosis, los cromosomas forman estructuras más compactas, como el de la figura 13, que se unen al huso cromático, donde es posible identificar a cada par de cromosomas.

Estas moléculas de DNA tan largas se encuentran organizadas dentro de las células en estructuras más compactas, de manera que ocupan el volumen comparativamente pequeño del núcleo. A continuación, se describen brevemente los diferentes niveles de organización molecular del DNA en la cromatina.

El primer nivel de condensación del DNA se da por la interacción del DNA con unas proteínas básicas llamadas histonas. En general, las proteínas de la cromatina se dividen en tres clases principales: a) histonas nucleosomales: H2A, H2B, H3 Y H4; b) histonas internucleosomales o H1, y c) proteínas no histonas. Las histonas tienen una gran proporción de aminoácidos con carga positiva como la arginina y lisina, lo que permite su enlace electrostático con el DNA cargado negativamente. Las no histonas comprenden un número grande de clases diferentes de proteínas; sin embargo, en la cromatina se encuentran en menor proporción que las histonas. Estas proteínas son importantes para regular la expresión genética y para organizar a la cromatina.

Las histonas nucleosomales se organizan en una estructura que contiene dos copias de cada histona, formando un octámero. Este octámero forma un centro alrededor del cual el DNA se enrolla de manera toroidal (dos vueltas), para formar unidades discretas conocidas como **nucleosomas** (figura 14).

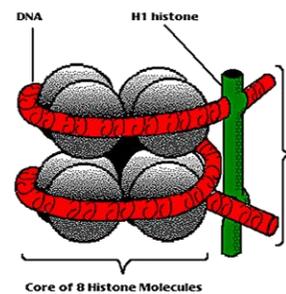


Figura 14. Estructura básica del nucleosoma

Los nucleosomas están unidos entre sí, para formar lo que se conoce como “collar de perlas” o fibra de 11 nm (figura 15). En un segundo nivel de condensación, la histona H1 (y otras proteínas de tipo no histona) se enlaza al DNA que une a cada nucleosoma, generando una estructura helicoidal de 30 nm de diámetro o solenoide. Cada vuelta de un solenoide contiene seis nucleosomas con una molécula de H1 asociada a cada unidad nucleosomal (figura 15). Posteriormente, esta fibra se enrolla sobre sí misma para formar una fibra más gruesa de cromatina (fibra de 300 nm), la que, a su vez, se organiza en asas (figura 15). Actualmente, aunque aún se desconoce mucho de la organización de la cromatina, se empieza a entender la organización de las fibras de solenoides y de las asas, durante la interfase y la mitosis. También se ha descubierto que la cromatina se halla asociada a un esqueleto proteico, lo que contribuye a mantener su estructura.

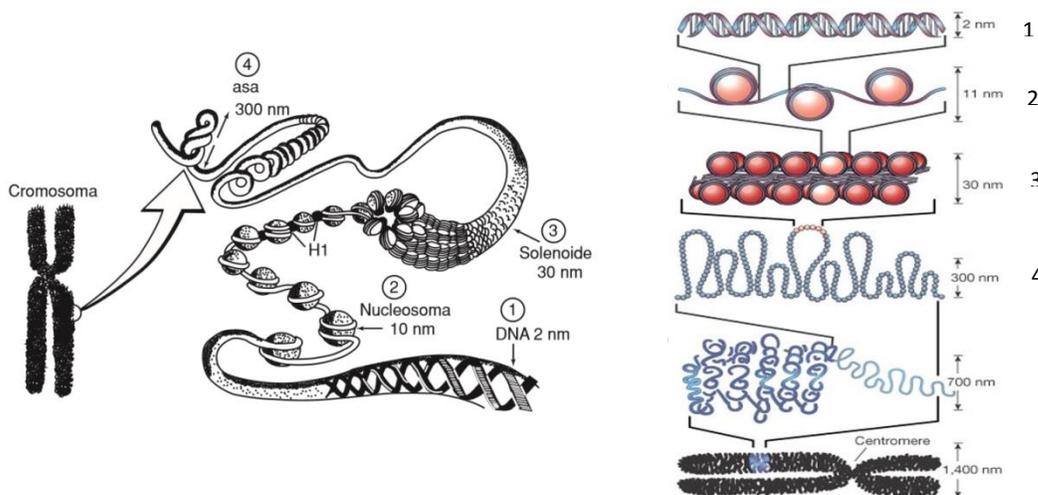


Figura 15. Estructura de la cromatina en los cromosomas durante la metafase. Niveles de organización de la molécula de DNA: 1) molécula de DNA de 2 nm de diámetro; 2) el DNA se enreda alrededor de un octámero de histonas para formar estructuras discretas de 10 nm de diámetro o nucleosomas; 3) la histona H1 compacta a los nucleosomas y éstos forman una hélice o solenoide de 30 nm de diámetro; 4) el solenoide se organiza en asas muy compactas de 300 nm de diámetro.

Si comparamos la organización del DNA en procariontes y eucariontes, el nucleóide bacteriano es el equivalente de la cromatina de células eucarióticas. Sin embargo, esta estructura difiere de la cromatina en dos características principales: 1) las proteínas básicas (tipo histona) presentes en el nucleóide no forman estructuras regulares y compactas como las histonas en los nucleosomas de la cromatina, sino que presentan una organización menos compleja y se disocian más fácilmente del DNA; 2) la tensión helicoidal que compacta al DNA del nucleóide es tanto plectonémico como toroidal (figura 11), mientras que en la cromatina, la tensión se produce principalmente por la interacción DNA-histonas (superenrollamiento toroidal) (figuras 14 y 15).

El nucleóide y la cromatina contienen, por tanto, el genoma del organismo; es decir, el DNA que contiene la información genética que lo define. El término cromosoma generalmente se refiere a una molécula del DNA del genoma. Las bacterias, en general, tienen su genoma en una sola molécula, o cromosoma; mientras que en los eucariontes, el genoma se encuentra distribuido en varias moléculas de DNA o cromosomas.

En resumen, en oposición al concepto previo de un DNA prácticamente “desnudo” en las bacterias y a un DNA recubriendo a las proteínas en los eucariontes, actualmente se considera que el DNA en todas las células se organiza como una estructura compacta y dinámica formada

de moléculas de DNA, proteínas y RNA. Esta estructura compacta tiene, sin embargo, la plasticidad suficiente para que se lleven a cabo las funciones esenciales del DNA: replicación, reparación y recombinación del genoma, así como para permitir la expresión regulada de la información genética.

Después de realizar la lectura, contesta lo que se te pide.

¿Qué función tiene el superenrollamiento en la molécula del DNA tanto en procariontes como en eucariontes?

Explica cuál es la principal función estructural que cumplen las proteínas que se asocian al DNA, tanto en procariontes como en eucariontes.

En eucariontes, se ha descubierto que aparte de la función estructural de las proteínas básicas (histonas) que se unen al DNA, éstas tienen otras importantes funciones, ¿cuáles crees que pudieran ser algunas de ellas, dada la gran cantidad de genes que posee el DNA y la complejidad de la mayoría de los eucariontes?

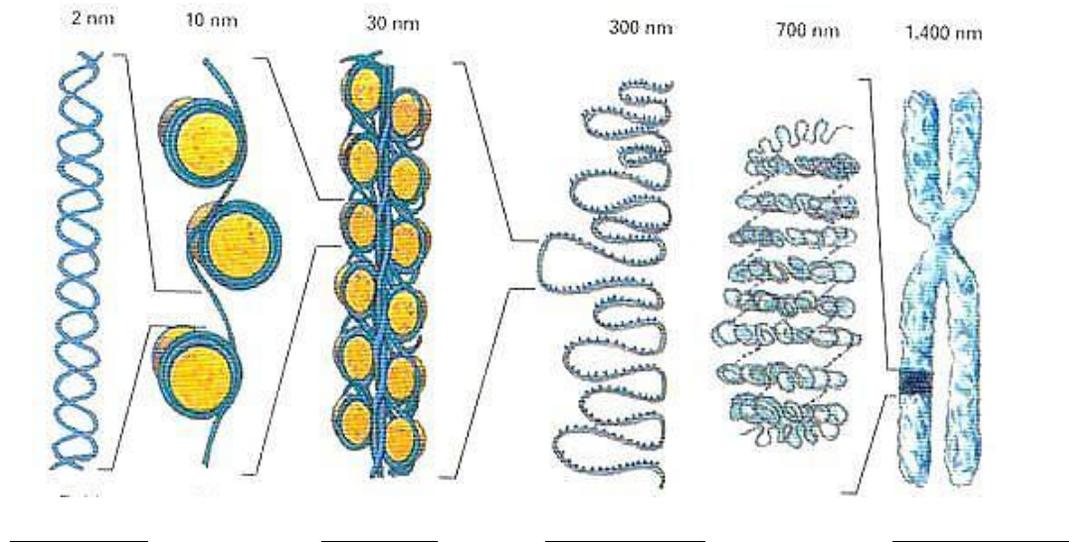
Completa el siguiente cuadro comparativo:

Característica	Genoma procarionte	Genoma eucarionte
Número de moléculas de DNA principales		
Molécula(s) de DNA: lineal o circular.		
Tipo(s) de enrollamiento principal del DNA		
Estructura en la que se organiza el DNA		
Tipo de proteínas asociadas al DNA		
Distintos niveles de condensación del DNA (presente/ausente)		
Moléculas de DNA extra presentes en:		

Actividad 2

Instrucciones:

Señala cuál de los esquemas corresponde a los siguientes niveles de organización del DNA en las células eucariontes: **cromosoma completamente condensado, collar de perlas, DNA desnudo, solenoide.**



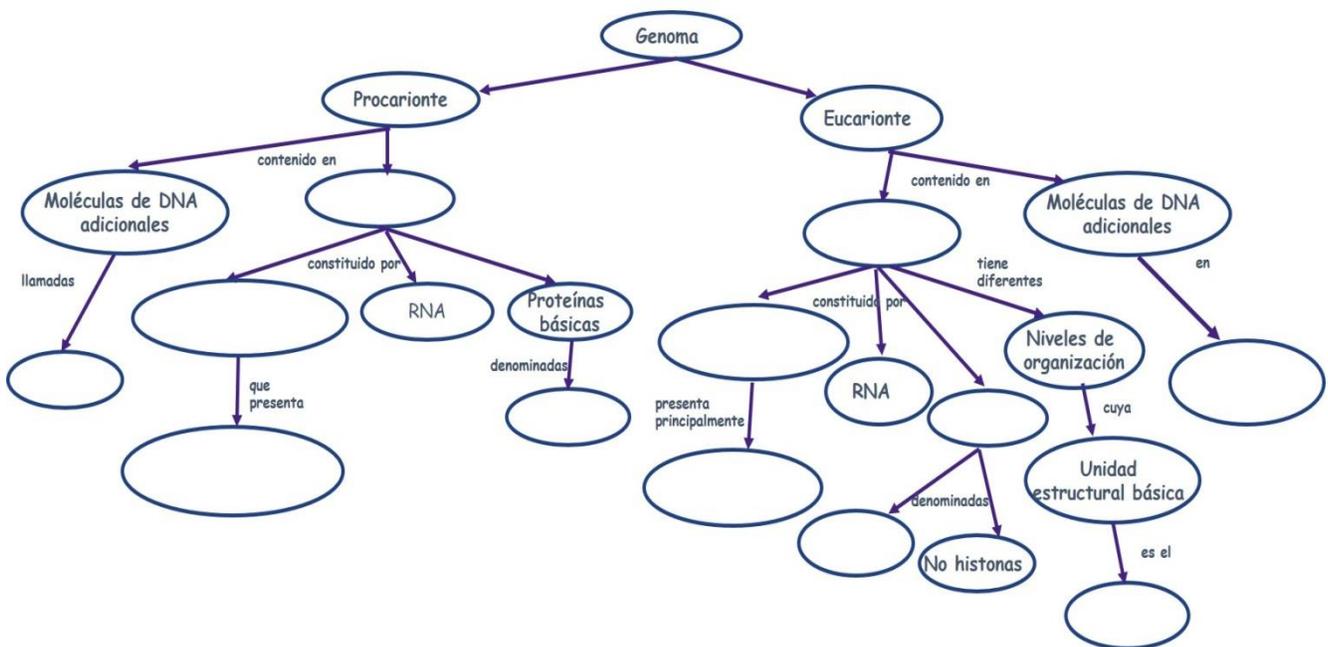
Actividad 3

Instrucciones:

Completa el mapa conceptual con las palabras enlistadas abajo. (Los conceptos están separados por comas).

Histonas, Cromatina, Plásmidos, Mitocondrias y cloroplastos, Nucleoide, 1 Molécula circular de DNA, Nucleosoma, 1 Molécula lineal de DNA, Proteínas básicas, Enrollamiento plectonómico y toroidal, Enrollamiento toroidal, Tipo histonas.

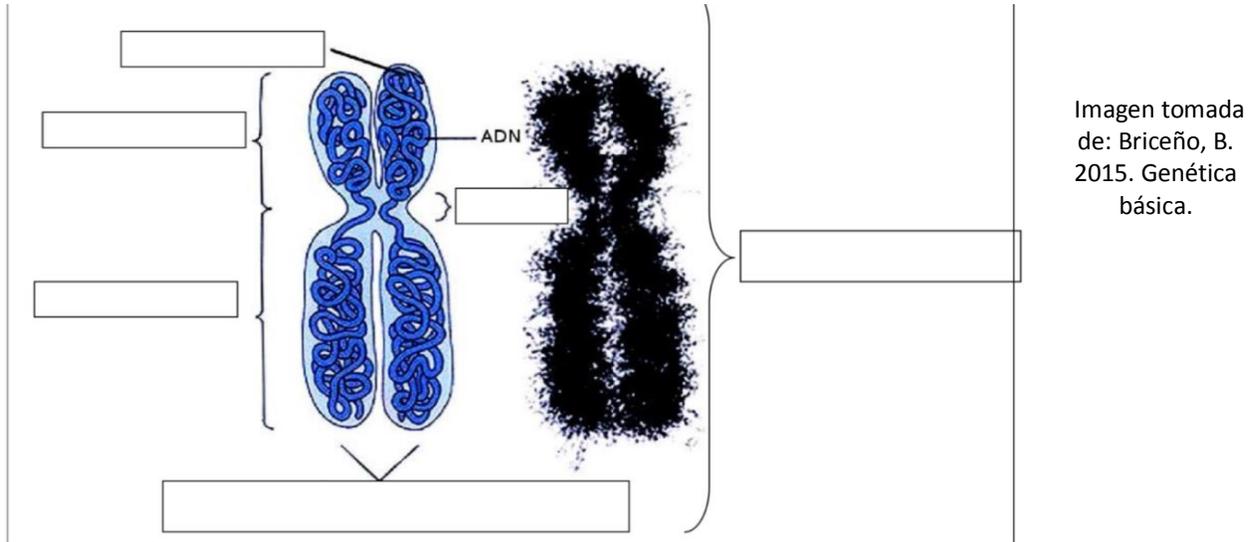
Organización del material genético



Actividad 4

Instrucciones:

Escribe el nombre de la estructura correspondiente en la imagen del cromosoma metafásico.



Actividad 5.

Accede a las siguientes ligas, las cuales contienen animaciones sobre la organización del DNA en los genomas eucariontes. Observa los videos para complementar lo estudiado:

http://biomodel.uah.es/biomodel-misc/anim/cine/inicio.htm?Chromosome_Coil

<https://www.youtube.com/watch?v=1Y0zQoJve8M>

Autoevaluación:

1. Elige las opciones que sean correctas para los genomas eucariontes: ()

- a. Haploide
- b. Diploide
- c. Una molécula de DNA circular
- d. Varias moléculas de DNA lineales
- e. Proteínas histonas y no histonas asociadas al DNA
- f. Proteínas semejantes a histonas asociadas al DNA

A) a, c, e B) b, d, f C) b, d, e D) a, d, f

2. Elige las opciones que sean correctas para los genomas procariontes. ()

- a. Haploide
- b. Diploide

c. Una molécula de DNA circular

d. Varias moléculas de DNA lineales

e. Proteínas histonas y no histonas asociadas al DNA

f. Proteínas semejantes a histonas asociadas al DNA

A) a, c, e

B) b, d, f

C) a, d, f

D) a, c, f

3. Establece los niveles de organización que corresponden al cromosoma eucarionte, de menor a mayor complejidad. ()

a. Solenoide

b. Fibra de 300 nm

c. Collar de nucleosomas (fibra de 10 nm)

d. Cromosoma condensado

e. Nucleosoma

A) a, b, c, d, e

B) e, d, c, a, b

C) e, c, a, b, d

D) c, e, a, b, d

4. Es la unidad estructural básica de la cromatina. ()

A) Nucleosoma

B) Nucleoide

C) Nucléolo

D) Plásmido

5. Es la estructura compacta que forma el DNA de las bacterias. ()

A) Nucléolo

B) Nucleosoma

C) Núcleo

D) Nucleoide

Respuestas. 1. Respuesta: C/2. Respuesta: D/3. Respuesta: C/4. Respuesta: A/5. Respuesta: D

Tema II: Genética y biodiversidad.

Subtema I: Replicación del DNA.

Aprendizaje 1:

El alumno

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

Conceptos básicos.

Replicación del DNA
Replicación bacteriana,
Replicación eucarionte
Replicación semiconservativa
Complementariedad de las bases

Habilidades básicas.

Observación
Comparación
Reconocimiento

Actividad 1

Lectura

Instrucciones:

Lee el texto, de acuerdo con los puntos importantes a resaltar, localiza la información correspondiente. Señálala con un marca-textos o subrayando.

Mecanismos moleculares de la replicación del DNA.

El papel de las DNA polimerasas y otras enzimas de la replicación. Cadena líder y rezagada, y fragmentos de Okazaki.

Puntos más importantes a considerar:

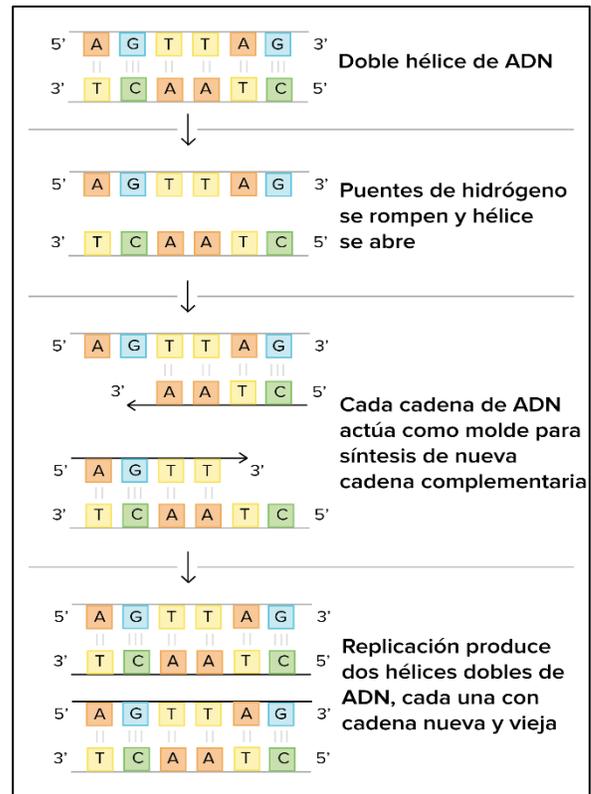
- ❖ La replicación del DNA es **semiconservativa**. Cada cadena de la doble hélice funciona como molde para la síntesis de una nueva cadena complementaria.
- ❖ Enzimas llamadas **DNA polimerasas** producen el DNA nuevo, estas requieren de un molde y de un **cebador** (iniciador), y sintetizan DNA en dirección 5' a 3'.
- ❖ Durante la replicación del DNA, una de las cadenas nuevas (la **cadena líder**) se produce como un fragmento continuo. La otra (la **cadena rezagada**) se hace en pequeños fragmentos.
- ❖ La replicación requiere de otras enzimas además de DNA polimerasa, como la **DNA primasa**, la **DNA helicasa**, la **DNA ligasa** y la **topoisomerasa**.

Replicación⁴

¡La **replicación del DNA**, o copiado del DNA de la célula, no es una tarea sencilla! Hay alrededor de 6.5 miles de millones de pares de bases en el DNA de tu genoma, todos los cuales deben ser copiados con exactitud cuándo cualquiera de tus billones de células se divide.

Los mecanismos básicos de la replicación del DNA son similares entre los organismos. En este artículo, nos centraremos en cómo ocurre la replicación del DNA en la bacteria *E. coli*, pero los mecanismos de replicación son similares en los seres humanos y otros eucariontes.

Revisemos las proteínas y enzimas que realizan la replicación y veamos cómo trabajan en conjunto para asegurar la replicación correcta y completa del DNA.



⁴ Artículo modificado de "Replicación del DNA en procariontes" por OpenStax College, Biology, [CC BY 4.0](https://cnx.org/contents/GFy_h8cu@10.53:NEk9ll-3@8/DNA-Replication-in-Prokaryotes). https://cnx.org/contents/GFy_h8cu@10.53:NEk9ll-3@8/DNA-Replication-in-Prokaryotes (consulta: 01-05-2018)

La idea básica

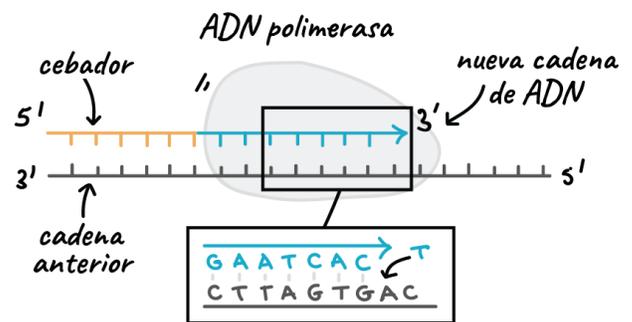
La replicación del DNA es **semiconservativa**, lo que significa que cada cadena de la doble hélice del DNA funciona como molde para la síntesis de una nueva cadena complementaria.

Este proceso nos lleva de una molécula de inicio a dos moléculas "hijas", en las que cada nueva doble hélice contiene una cadena nueva y una vieja.

En parte, ¡eso es todo lo que sucede en la replicación de DNA! Pero en realidad, lo más interesante de este proceso es cómo lo realiza una célula.

Las células necesitan copiar su DNA muy rápidamente y con muy pocos errores (o se arriesgan a problemas como el cáncer). Para ello, utilizan una variedad de enzimas y proteínas que trabajan en conjunto para asegurar que la replicación del DNA se lleva a cabo sin incidentes y con precisión.

Figura 16. Resumen general de la replicación.



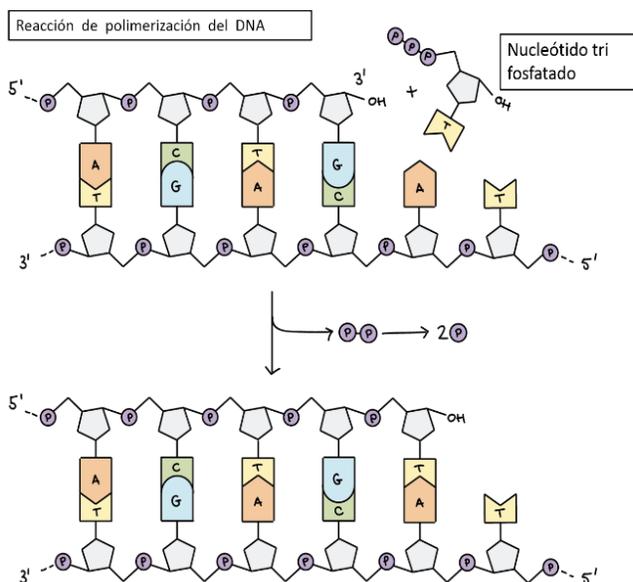
La DNA polimerasa

Una de las moléculas claves en la replicación del DNA es la enzima **DNA polimerasa**. Las DNA polimerasas son responsables de la síntesis de DNA: añaden nucleótidos uno por uno a la cadena creciente de DNA, incorporando solo aquellos que sean complementarios al molde.

Fig. 17. DNA polimerasa.

Estas son algunas características clave de las DNA polimerasas:

- ❖ Siempre necesitan un molde.
- ❖ Solo pueden agregar nucleótidos al extremo 3' de la cadena de DNA.
- ❖ No pueden comenzar una cadena de DNA desde cero, sino que requieren de una cadena preexistente o segmento corto de nucleótidos llamado **cebador**.
- ❖ Pueden **corregir**, o revisar su trabajo, eliminando la gran mayoría de nucleótidos "equivocados" que se agregan accidentalmente a la cadena.



La adición de nucleótidos requiere energía. Esta energía proviene de los nucleótidos mismos, que tienen tres fosfatos unidos a ellos (muy similares a la molécula portadora de energía ATP). Cuando se rompe el enlace entre los fosfatos, la energía liberada se utiliza para formar un enlace entre el nucleótido entrante y la cadena creciente.

(Se recomienda complementar la lectura con el video en las siguientes ligas:

<https://www.youtube.com/watch?v=WtRA-NsERKY&feature=youtu.be>

<https://www.youtube.com/watch?v=TNKWgcFPHqw>)

Fig. 18. Reacción de polimerización

En procariontes como *E. coli*, participan principalmente dos DNA polimerasas en la replicación del DNA: DNA pol III (la principal fabricante de DNA) y DNA pol I, que desempeña un crucial papel auxiliar que analizaremos más adelante.

El comienzo de la replicación de DNA

¿Cómo saben las DNA polimerasas y otros factores dónde comenzar la replicación? La replicación siempre comienza en lugares específicos del DNA, que se llaman **orígenes de replicación** y se reconocen por su secuencia.

E. coli, como la mayoría de las bacterias, tiene solo un origen de replicación en su cromosoma. El origen es de aproximadamente 245 pares de bases de largo y tiene en su mayoría pares A/T (que se mantienen unidos por menos puentes de hidrógeno que los pares de bases G/C), por lo que es más fácil separar las cadenas de DNA.

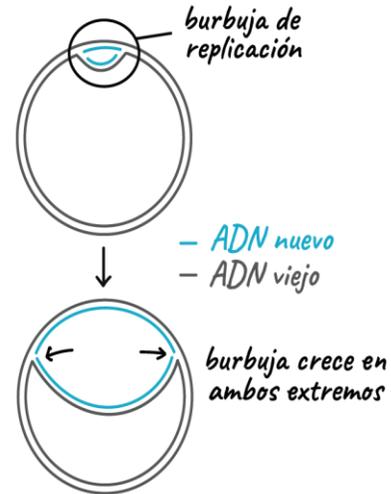


Fig. 19. Burbuja de replicación en procariontes.

Proteínas especializadas reconocen el origen, se unen a este sitio y abren el DNA. Conforme se abre el DNA, se forman dos estructuras en forma de Y llamadas **horquillas de replicación**, en conjunto conforman lo que se llama **burbuja de replicación**. Las horquillas de replicación se mueven en direcciones opuestas a medida que avanza la replicación.

¿Cómo es que avanza realmente la replicación en las horquillas? La **helicasa** es la primera enzima de la replicación que se carga en el origen de replicación. El trabajo de la helicasa es permitir el avance de las horquillas de replicación "desenrollando" el DNA (rompiendo los puentes de hidrógeno entre los pares de bases nitrogenadas).

Proteínas llamadas **proteínas de unión a cadenas sencillas** cubren las cadenas de DNA separadas cerca de la horquilla de replicación, impidiéndoles volver a unirse en una doble hélice.

Los cebadores y la primasa

Las DNA polimerasas solo pueden agregar nucleótidos en el extremo 3' de una cadena de DNA existente, ya que utilizan el grupo -OH libre en el extremo 3' como un "gancho" y añaden un nucleótido a este grupo en la reacción de polimerización. Entonces, ¿cómo es que la DNA polimerasa añade el primer nucleótido en una horquilla de replicación nueva?

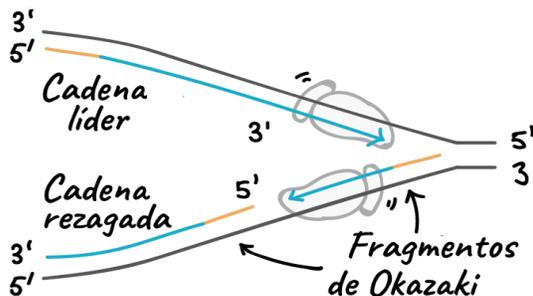
Por sí sola, ¡no puede! El problema se soluciona con la ayuda de una enzima llamada **primasa**. La primasa hace un **cebador** de RNA, un corto segmento de ácido nucleico complementario al molde, que proporciona un extremo 3' con el que la DNA polimerasa puede trabajar. Un cebador típico es de cinco a diez nucleótidos de largo. El cebador *ceba* la DNA polimerasa, es decir, le proporciona lo que necesita para funcionar.

Una vez que el cebador de RNA está en su sitio, la DNA polimerasa lo "extiende", añadiendo nucleótidos uno a uno para hacer una cadena nueva de DNA complementaria a la cadena molde.

Cadena líder y cadena rezagada

En *E. coli*, la DNA polimerasa que se encarga de la mayor parte de la síntesis es la DNA polimerasa III. Hay dos moléculas de DNA polimerasa III en una horquilla de replicación, cada una de las cuales trabaja duro en una de las dos nuevas cadenas de DNA.

Las DNA polimerasas solo pueden hacer DNA en dirección 5' a 3', esto plantea un problema durante la replicación. Una doble hélice de DNA siempre es **antiparalela**; en otras palabras, una cadena corre en dirección 5' a 3', mientras que la otra corre de 3' a 5'. Esto hace necesario que las dos cadenas nuevas, que también son antiparalelas a sus moldes, se produzcan de formas ligeramente diferentes.



Una cadena nueva, que corre de 5' a 3' hacia la horquilla de replicación, es fácil. Esta cadena se produce continuamente porque la DNA polimerasa se mueve en la misma dirección que la horquilla de replicación. Esta cadena sintetizada continuamente se llama **cadena líder**.

Fig. 20. Cadena líder y cadena rezagada con fragmentos de Okasaki.

La otra cadena nueva, que corre de 5' a 3' alejándose de la horquilla, es más difícil. Esta cadena se produce en fragmentos porque, conforme avanza la horquilla, la DNA polimerasa (que se aleja de la horquilla) debe separarse y volver a unirse al DNA recién expuesto. Esta cadena más difícil, que se produce en fragmentos, se llama **cadena rezagada**.

Los pequeños fragmentos se llaman **fragmentos de Okasaki**, en honor al científico japonés que los descubrió. La cadena líder puede extenderse a partir de un solo cebador, mientras que la cadena rezagada necesita un cebador nuevo para cada uno de los fragmentos cortos de Okasaki.

El equipo de mantenimiento

Además de las principales proteínas mencionadas anteriormente, se necesitan algunas otras proteínas y enzimas para mantener la replicación del DNA funcionando sin problemas. Una es la proteína llamada **pinza deslizante**, que mantiene a las moléculas de DNA polimerasa III en su lugar al sintetizar DNA. La pinza deslizante es una proteína en forma de anillo e impide que la DNA polimerasa de la cadena rezagada se vaya flotando cuando vuelve a comenzar en un nuevo fragmento Okasaki.

La **topoisomerasa** también juega un papel importante de mantenimiento durante la replicación del DNA. Esta enzima impide que la doble hélice de DNA que está por delante de la horquilla de replicación se enrolle demasiado cuando se abre el DNA. Actúa haciendo mellas temporales en la hélice para liberar la tensión, las cuales vuelve a sellar para evitar daños permanentes.

Por último, se debe hacer un poco de trabajo de limpieza si queremos que el DNA no contenga RNA ni brechas. La **DNA polimerasa I**, la otra polimerasa que participa en la replicación, elimina

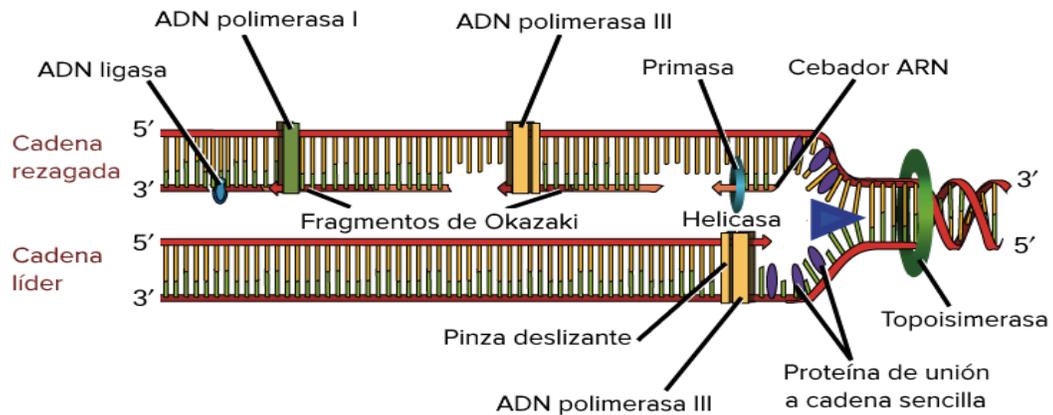
los cebadores de RNA y los sustituye por DNA. La enzima **DNA ligasa** sella las brechas que permanecen después de reemplazar los cebadores.

Resumen de la replicación del DNA en *E. coli*

Veamos el panorama para conocer cómo las enzimas y proteínas que participan en la replicación trabajan juntas para sintetizar DNA nuevo.

- ❖ La **helicasa** abre el DNA en la horquilla de replicación.
- ❖ Las **proteínas de unión a cadenas sencillas** cubren el DNA alrededor de la horquilla de replicación para evitar que el DNA se vuelva a enrollar.
- ❖ La **topoisomerasa** trabaja por delante de la horquilla de replicación para evitar el superenrollamiento.
- ❖ La **primasa** sintetiza cebadores de RNA complementarios a la cadena de DNA.
- ❖ La **DNA polimerasa III** extiende los cebadores, agregando sobre el extremo 3', para hacer la mayor parte del DNA nuevo.
- ❖ Los cebadores de RNA se eliminan y la **DNA polimerasa I** los sustituyen por DNA.
- ❖ La **DNA ligasa** sella las brechas entre fragmentos de DNA.

Fig. 21.



Esquema general del proceso de replicación.

La replicación del DNA en eucariontes

Los fundamentos de la replicación del DNA son similares entre bacterias y eucariontes, como los seres humanos, pero también hay algunas diferencias:

- Los eucariontes tienen varios cromosomas lineales, cada uno con múltiples orígenes de replicación. ¡Los seres humanos pueden tener hasta 100 000 orígenes de replicación.
- La mayoría de las enzimas de *E. coli* tienen contrapartes en la replicación eucarionte del DNA, pero una única enzima de *E. coli* puede ser representada por varias enzimas en eucariontes. Por ejemplo, hay cinco DNA polimerasas humanas con papeles importantes en la replicación.

- La mayoría de los cromosomas eucariontes son lineales. Debido a la forma en que se hace la cadena rezagada, en cada ronda de replicación se pierde un poco de DNA en los extremos de los cromosomas lineales (los telómeros).

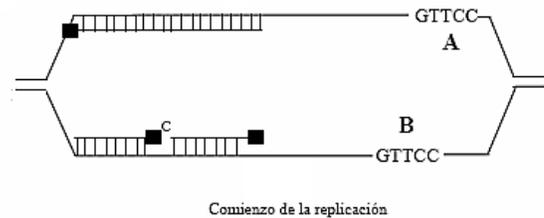
Importancia de la Duplicación del ADN

El proceso de replicación tiene su importancia en producir copias de sí mismo por medio de enzimas, ya que esto va a originar moléculas de ADN. Es un proceso semiconservativo porque cada uno de los dos ADN hijos tiene una cadena del ADN anterior y otra nueva que contienen toda la información biológica del organismo. Gracias a la complementación entre las bases que forman la secuencia de cada una de las cadenas, el ADN tiene la importante propiedad de reproducirse idénticamente, lo que permite que la información genética se transmita de una célula madre a las células hijas y es la base de la herencia del material genético.

Actividad 1

Instrucciones:

Supón que se ha inventado un programa generador de imágenes (“imager”) de tamaño nanoscópico que permite examinar un comienzo de replicación del DNA. El equipo de cómputo del sistema proporciona el siguiente dibujo.



Vemos como la replicación está teniendo lugar en ambas hebras y como las dos bifurcaciones se están separando cada vez más.

Con base en el análisis de la imagen, contesta las siguientes preguntas.

- 1 Marca en el esquema, los extremos 3' y 5' de las 5 hebras de DNA.
- 2 Indica qué hebras son fragmentos de Okazaki.
- 3 ¿Qué representa el cuadro oscuro marcado con C?
- 4 ¿Qué enzima se requiere para sintetizar C en el diagrama?
- 5 ¿A qué sitio (A o B o ambos) puede unirse el cebador 5'-CAAGG-3' para iniciar la replicación?
- 6 De acuerdo al sitio escogido en el punto 3, ¿la síntesis de DNA se lleva a cabo de un modo **continuo** o **discontinuo**?

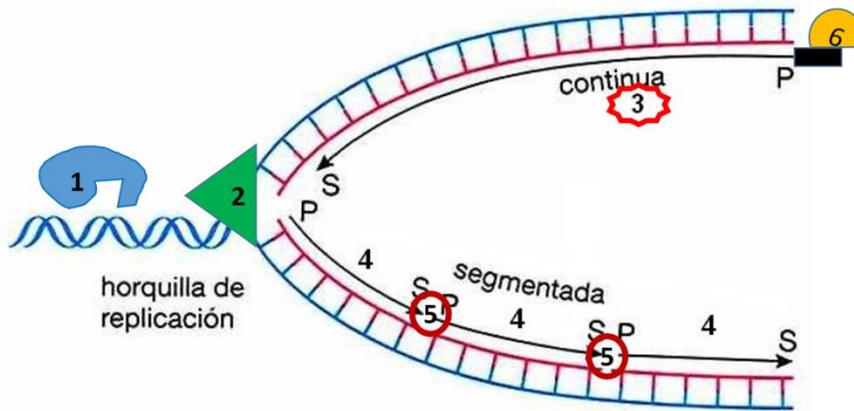
Actividad 2

Instrucciones:

Describe el siguiente esquema indicando:

- 1.- Las enzimas que intervienen, señaladas con números 1, 2, 3, 5 y 6.
- 2.- Todos los extremos 5' y 3'.

3. - ¿Qué representa el número 4?



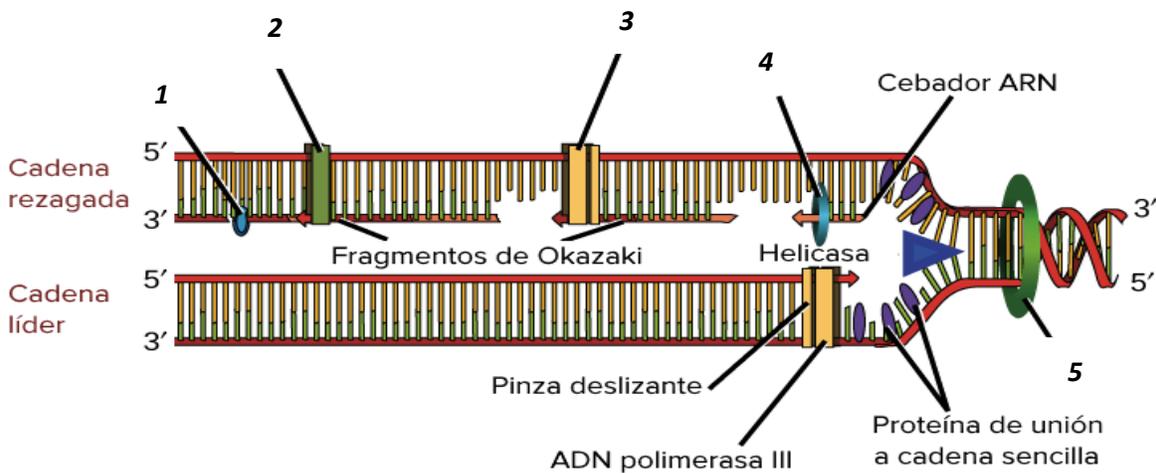
Contesta las siguientes preguntas

1. ¿De qué proceso metabólico se trata?
2. ¿Qué tipo de ruta es? (anabólica/catabólica)
3. ¿En qué sitio celular ocurre?
4. ¿Cuál es la importancia de éste proceso metabólico? _

Autoevaluación:

1. En la replicación del DNA se cumple lo siguiente, EXCEPTO: ()
 - A) Es un proceso semiconservativo.
 - B) Avanza siempre bidireccionalmente.
 - C) El punto de iniciación de la replicación es único.
 - D) La replicación de la cadena nueva avanza en la dirección 5'a 3'.

2. En el siguiente esquema los nombres de las enzimas son: ()



- A) 1 DNA ligasa, 2 Primasa, 3 Topoisomerasa, 4 DNA polimerasa I, 5 DNA polimerasa III
- B) 1 DNA ligasa, 2 DNA polimerasa I, 3 DNA polimerasa III, 4 Primasa, 5 Topoisomerasa
- C) 1 DNA ligasa, 2 DNA polimerasa I, 3 Primasa Topoisomerasa, 4, 5 DNA polimerasa III
- D) 1 DNA ligasa, 2 DNA polimerasa III, 3 DNA polimerasa I, 4 Topoisomerasa, 5 Primasa

3. La replicación del DNA se produce: ()

- A) Por adición de nucleótidos en la cadena nueva va en sentido 5' → 3'.
- B) Por adición de nucleótidos en el sentido 3' → 5'.
- C) En una cadena en sentido 5' → 3' y en su hermana en el sentido 3' → 5'.
- D) La adición de nucleótidos se produce en los dos sentidos indistintamente.

4. La naturaleza del cebador y su función es: ()

- A) Es un fragmento de RNA que proporciona un extremo 3' para la DNA polimerasa
- B) Es una proteína que se une a la DNA polimerasa
- C) Es un fragmento de DNA que propicia la unión de nuevos nucleótidos a la cadena nueva
- D) Es una enzima que cataliza la adición de desoxirribonucleótidos

5. La cadena rezagada se sintetiza a partir de fragmentos de Okasaki porque... ()

- A) La síntesis de la nueva cadena solo puede ir en sentido 3' – 5'
- B) La síntesis de la nueva cadena solo puede ir en cualquier sentido
- C) La síntesis de la nueva cadena solo puede ir en sentido 5' – 3'
- D) Las polimerasas dependen de los fragmentos para su funcionamiento

Respuestas. 1. Respuesta: D/2. Respuesta: B/3. Respuesta: A/4. Respuesta: A/5. Respuesta: D

Tema II: Genética y biodiversidad.

Subtema II: Síntesis de Proteínas

Aprendizaje 2:

El alumno

Identifica los procesos de transcripción, procesamiento y traducción genética como base de la expresión génica en la síntesis de proteínas.

Conceptos básicos.

DNA

Transcripción

RNA_m
RNA_t
RNA_r,
Procesamiento
Splicing
Traducción
Código genético

Habilidades básicas.

Reconocimiento
Análisis
Formulación de preguntas de investigación
Formulación de hipótesis
Relación de variables
Resolución de problemas

Actividad 1

Instrucciones:

Antes de abordar el tema recordaremos la importancia que tienen las proteínas en los sistemas vivos mediante el siguiente párrafo, el cual nos muestra algunos tipos de proteínas y sus funciones.

Observa con cuidado tu brazo y mano, los vellos y uñas que hay en ella están formadas por queratina, una proteína estructural; la piel que la envuelve contiene colágeno, una proteína que le da forma; por debajo de la piel están los músculos, formados por actina y miosina, proteínas contráctiles; si llegamos a los vasos sanguíneos, la sangre contiene varias proteínas, entre ellas la hemoglobina, que transporta el oxígeno que respiras y varias hormonas que regulan las funciones del organismo por ejemplo la insulina, que controla el nivel de azúcar en la sangre. Si sufrieras una herida, rápidamente se presentarían los anticuerpos, proteínas de defensa, además en todo momento dentro de cada célula están en acción cientos de enzimas para llevar a cabo las reacciones químicas que mantienen la vida ¡y solo hemos analizado tu brazo y mano! (Velázquez, 2009).

Impresionante ¿verdad? la cantidad de funciones diferentes que realizan las proteínas es enorme y algunas de ellas se aprecian en el texto anterior. Son parte de la estructura celular, regulan, transportan, defienden, aceleran reacciones, entre otras muchas funciones.

Sin embargo, ¿Cómo se descubrió la estructura de las proteínas? Corría la década de 1940 y genetistas de la época revelaban los primeros indicios de que los genes determinaban la estructura de proteínas individuales. Sin embargo, no fue sino hasta principio de los años '50 que el bioquímico británico Frederick Sanger descubrió, estudiando la insulina, cómo se formaban las proteínas a partir de la unión de moléculas más pequeñas. Así como el descubrimiento de la estructura del DNA ejerció una gran influencia sobre el conocimiento de la base molecular de la herencia y de la genética, la determinación de la secuencia de la insulina constituyó la clave para comprender la estructura y la función de las proteínas, por lo que, consideró que si la insulina tenía una secuencia definida y genéticamente determinada, también las demás proteínas.

Con la información precedente como contexto general, lee con atención el texto y luego realiza las actividades que se solicitan.

Todo empieza en el DNA

El ácido desoxirribonucleico, abreviado como ADN, contiene la información necesaria para la síntesis de proteínas. Está formado por millones de nucleótidos, y cada nucleótido está formado por una desoxirribosa, una base púrica que puede ser adenina (A) o guanina (G) y una base pirimídica que puede ser citosina (C) o timina (T), y un grupo fosfato (ver figura 23). La secuencia de nucleótidos del ADN corresponde con una secuencia específica de aminoácidos, **actuando así el ADN como guía de instrucciones para la síntesis proteica**. Sin ADN, los ribosomas celulares no sabrían en qué secuencia colocar los aminoácidos para formar las distintas proteínas que necesita el organismo; por ejemplo enzimas, anticuerpos o fibras musculares, entre otros.

Esta función del ADN se da tanto en células eucariotas como células procariontas aunque existen diferencias en el proceso global de biosíntesis proteica entre ambos tipos celulares. Además, a partir del ADN se forma el rARN (ARN ribosómico), un tipo de ARN presente en los ribosomas que se encarga de la síntesis proteica. Por tanto, el papel del ADN en la síntesis de proteínas es fundamental: sin ADN, no hay proteínas.

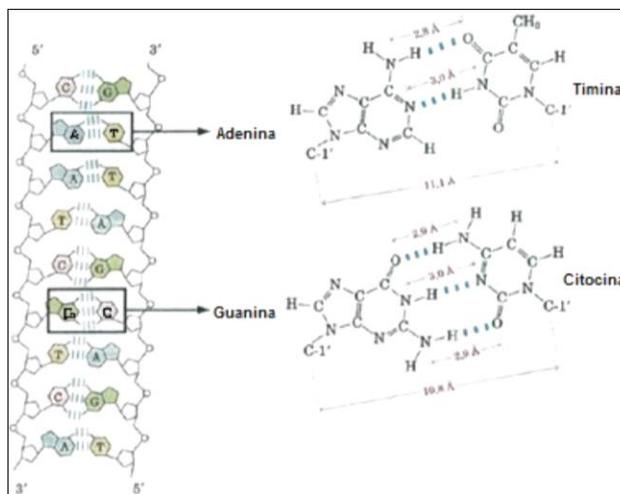


Fig. 23 Modelo de Watson y Crick de la estructura del DNA.

La síntesis de proteínas.

La síntesis de proteínas, es un proceso anabólico donde se “construyen” proteínas esenciales para el funcionamiento de los sistemas vivos. Este tema comprende flujo de información dentro de la célula, la transcripción de la información contenida en el DNA en forma de RNA y la traducción de esta información del RNA a la proteína. Quedando establecido el Dogma Central de la Biología Molecular por Francis Crick en 1957 quien realizó una síntesis conceptual expuesta ante la sociedad Británica de Biología experimental en la que estableció el llamado dogma central de la Biología. Su idea era explicar el sentido del flujo de información genética, donde el DNA posee la capacidad de replicarse, por lo que la información del DNA fluye hacia el mismo

DNA; pero también la información del DNA fluye hacia el RNA, y de éste hacia las proteínas, siendo el flujo de DNA a RNA y a proteína estrictamente unidireccional.

Para 1970, Temin y Baltimore de manera independiente descubrieron la transcriptasa inversa, enzima capaz de sintetizar DNA a partir de RNA en retrovirus, por lo que el flujo de información entre DNA y el RNA puede ser bidireccional, pero jamás entre el RNA y las proteínas, cuya estructura y función están determinadas por la información contenida en el material hereditario (Ledesma, 2000). Por tanto, Crick reconoció que hubiera sido adecuado llamarla hipótesis central y no Dogma (Curtis *et al.*, 2006). Como se muestra en la figura 24.

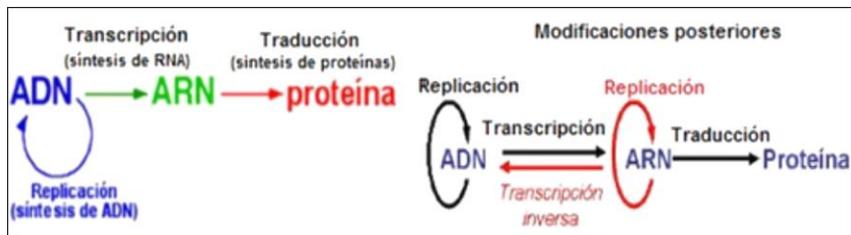


Fig. 24. A la izq. el dogma central de la biología molecular, a la derecha con modificaciones posteriores si se tienen en cuenta los retrovirus.

Síntesis de proteínas

Denominamos, entonces, síntesis de proteínas al mecanismo por el cual la información contenida en el DNA se traduce en proteínas. Es un proceso complejo, que se realiza en distintas estructuras celulares, en el que intervienen variadas moléculas y que se produce básicamente en dos pasos: transcripción y traducción.

Transcripción.

La expresión de la información genética requiere la síntesis de la molécula de RNA, transcrita a partir de un molde de DNA. Durante la transcripción, un sistema enzimático convierte la información genética de un segmento de DNA de doble cadena en una cadena de RNA con una secuencia de bases complementaria de una de las cadenas del DNA. El RNA constituido por nucleótidos de ribosa, con las bases de adenina, guanina, citosina y uracilo (no tiene timina).

Estos ribonucleótidos se unen entre ellos mediante enlaces fosfodiéster en sentido 5'-----3' (ver figura 25) al igual que pasa con el DNA. A diferencia de éste, el RNA es casi siempre monocatenario, excepto en los *reovirus* que es bicatenario (Jimeno y Uguedo, 2008). El RNA es de vital importancia porque actúa en el proceso de expresión genética, como intermediario del DNA y la maquinaria de síntesis de proteínas.

Existen tres clases principales de RNA que participan en la síntesis de proteínas: El RNA de transferencia (tRNA), el RNA mensajero (mRNA), y el RNArribosómico (rRNr) constituyen el 60% del peso de los ribosomas, los cuales son responsables de la síntesis de proteínas. Como se muestra en la figura 25.

Para la síntesis de los distintos tipos de RNA, en las células eucariontes participan diferentes enzimas llamadas RNA polimerasas I, II, III. La RNA polimerasa I (transcribe rRNA), RNA polimerasa II (transcribe mRNA) y la RNA polimerasa III (transcribe tRNA). A diferencia de las células procariotas que solo participa una sola enzima de RNA polimerasa.

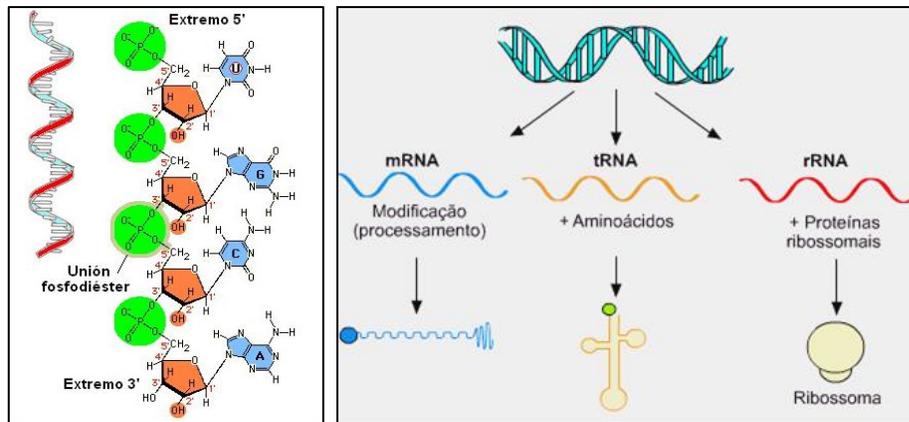


Fig. 25. Ala izq. Estructura del RNA y a la derecha tipos de RNA que participan en la síntesis de proteínas

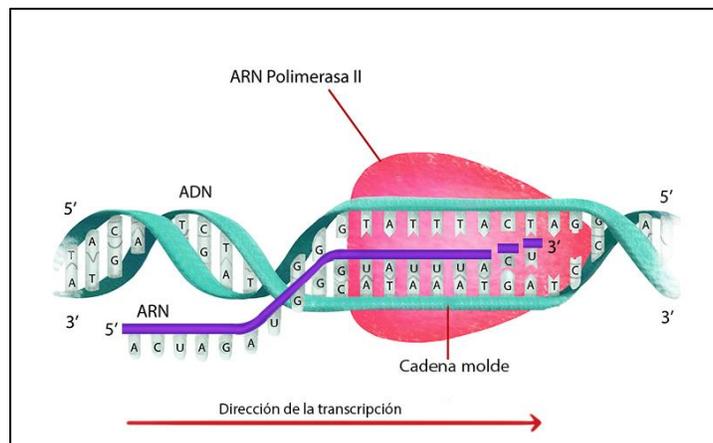
La transcripción en las células eucariotas se lleva a cabo en el núcleo y consta de cuatro etapas: Iniciación, elongación, finalización y procesamiento.

1. **Iniciación:** comienza con la enzima RNA Polimerasa II y los factores generales de la transcripción (conjunto de proteínas adicionales TFIIA, TFIIIB, TFIIIE, TFIIIF, TFIIH, entre otras), se unen en un sitio específico de la molécula denominado **promotor**, este consiste en una secuencia pequeña de bases nitrogenadas que no se transcriben y que son: TATAAA, también conocida como caja TATA, ésta sirve como señal a la enzima para identificar el sitio donde se inicia la transcripción. La unión de la RNA polimerasa II a esta región promotora permite el desenrollamiento del DNA y la separación de las dos cadenas, para formar una burbuja de transcripción.

2. **Elongación:** al inicio de la transcripción se produce la fosforilación de una porción de la RNA polimerasa II por la proteína (TFIIH) la cual, permite que la RNA polimerasa deje de unirse fuertemente al promotor y continúe la transcripción del gen. Entonces, la enzima RNA polimerasa II avanza a lo largo de la cadena de DNA que se está transcribiendo en el sentido 3' --> 5' y se le conoce como cadena molde, por lo que el mRNA en formación o pre-RNA_m siempre tendrá el sentido 5' --> 3' (ver figura 26). La elongación se lleva a cabo cuando se acomodan las bases complementarias del RNA a las del DNA, que en este caso son A-U, T-A, G-C y C-G, cuando la cadena del pre-RNA_m en formación tiene 10 nucleótidos se despega de la cadena molde, pero continúa en crecimiento ya que la RNA polimerasa II sigue uniendo nucleótidos hasta llegar al sitio de terminación.

Fig. 26. Elongación de la cadena transcrita.

3. **Fase de terminación:** Este proceso es poco preciso en los organismos eucariotas, ya que no hay señales de terminación exactas como ocurre en procariontes. Sin embargo, en el momento en que la maquinaria de transcripción reconoce el sitio de término en el DNA, eso le indica a la RNAP II que toda la



información del gen ha sido copiada en forma de mRNA, dándole la señal de liberarse del DNA. En esta etapa, el mRNA no se encuentra en su forma activa todavía, sino que ha de sufrir ciertas modificaciones que le permitirán ejercer su función en el citoplasma y evitar su degradación.

4. Procesamiento del mRNA en el núcleo.

De acuerdo a Marchat y Castañón (s/f). Desde el momento en que inicia su síntesis, el transcrito nascente está expuesto a la presencia de nucleasas especializadas en degradar mRNA. La protección del extremo del joven mRNA se realiza a través de la adición de una estructura denominada casquete (CAP en inglés o caperuzita) en el extremo 5' que impide el reconocimiento y ataque del transcrito por las nucleasas y la cadena de Poli (A), en el extremo 3', este proceso denominado CAP ocurre cuando el transcrito cuenta con una longitud de 20-25 ribonucleótidos. Por otra parte, en la mayoría de los casos, el pre -mRNA, están formados por dos tipos de regiones: los exones, que corresponden a la secuencia única y necesaria para la elaboración de la proteína, y los intrones conocidos como secuencias no codificantes. Durante el procesamiento se eliminan los intrones del transcrito primario y se unen los exones para formar una secuencia de mRNA maduro, el cual continúa en la formación del polipéptido.

Para ello, la célula cuenta con una maquinaria especializada de ajuste (o corte y empalme) conocido también como **splicing** en inglés, que como ya se mencionó, realiza el corte de los intrones y cataliza la unión de los exones que anteriormente se encontraban separados, para reconstituir un mensaje sin interrupciones. El corte y empalme está catalizado por un complejo denominado espliceosoma, compuesto por ribonucleoproteínas nucleares pequeñas, asociados a proteínas. Esta estructura reconoce unas secuencias en los extremos de los intrones y se fija a ellas, produciendo su unión por curvatura del intrón. Luego cortan el intrón y ligan los exones.

Finalmente, es necesario proteger el extremo de la molécula de mRNA que se libera del DNA al terminar la transcripción frente al ataque de las nucleasas. Esto se realiza mediante el corte del extremo 3' del mRNA por la enzima Poli (A) la cual, adiciona aproximadamente 200 ribonucleótidos de adenina conocida como "cola de poli(A)". Al igual que el CAP, la cola de poli(A) protege a un extremo del mRNA frente a la degradación por las nucleasas, no sólo en el núcleo sino también en el citoplasma una vez que el transcrito maduro haya sido exportado del núcleo (ver figura 27).

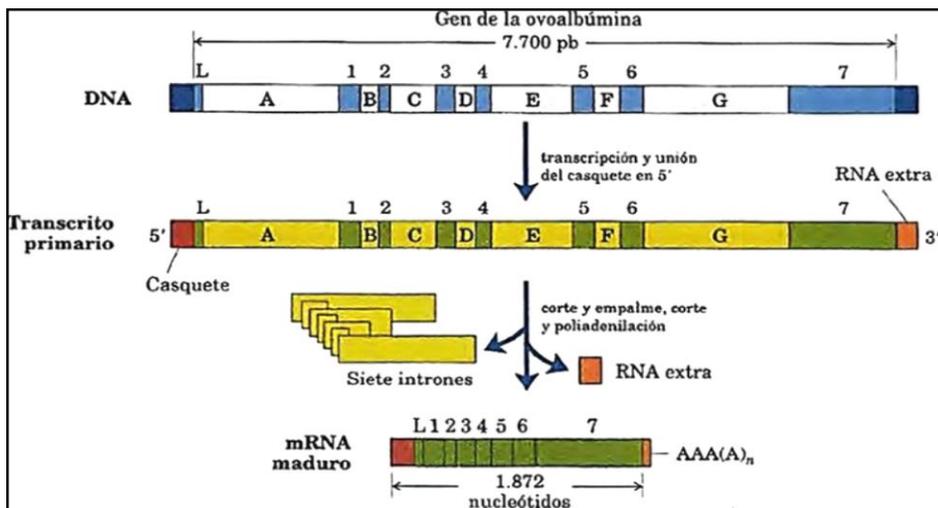


Fig. 27. Visión general del procesamiento del mRNA eucariótico.

Cabe señalar, que el proceso de transcripción es similar en los organismos con células procariotas, sin embargo existen ciertas diferencias como se indica en la siguiente tabla 1.

Tabla 1. Diferencias entre la transcripción de procariotas y eucariotas	
PROCARIOTAS	EUCARIOTAS
DNA menos condensado, sin histonas	DNA unido a histonas
Los RNA-m no son procesados	Los RNA-m sufren un proceso de maduración
Hay acoplamiento transcripción-traducción(ocurren simultáneamente en citoplasma)	La traducción ocurre en el citoplasma con el RNA-m maduro que sale del núcleo
Un solo tipo de RNA-polimerasa transcribe todos los tipos de RNA	Participan 3 RNA-polimerasas

(Se sugiere consultar el siguiente link, donde se aprecia las diferencias existentes entre la transcripción de eucariotas y procariotas

http://contenidosbio.pbworks.com/w/file/fetch/115826563/Tema%2014.%20Gene%CC%81tica%20molecular_desarrollado.pdf).

La traducción o biosíntesis de las proteínas en eucariotas.

Una vez que el transcrito haya pasado por todas las etapas necesarias para su maduración en el núcleo, ahora el mensaje está listo para ser decodificado y traducido a proteínas. El proceso de traducción se lleva a cabo en el citoplasma celular. Al igual que todos los procesos antes descritos, el transporte del mRNA del núcleo al citoplasma es un evento regulado por moléculas especializadas, las Ribonucleoproteínas. Estas proteínas reconocen secuencias en el transcrito maduro y se asocian con proteínas del Complejo de Poro Nuclear (NPC por sus siglas en inglés) involucradas en el transporte selectivo de moléculas desde el núcleo hacia el citoplasma y viceversa. La traducción puede ser dividida en tres principales etapas: iniciación, elongación y terminación.

A) Iniciación.

Este proceso inicia cuando el RNAm maduro sale del poro nuclear y viaja al citoplasma, en su extremo 5' lleva una caperuza de metil-guanosín-trisfosfato, que permite su identificación con los ribosomas. Los ribosomas consisten de dos subunidades (una pequeña y otra más grande, ésta última presenta el sitio A, P y E) formados aproximadamente por 2/3 de rRNA y 1/3 de proteínas.

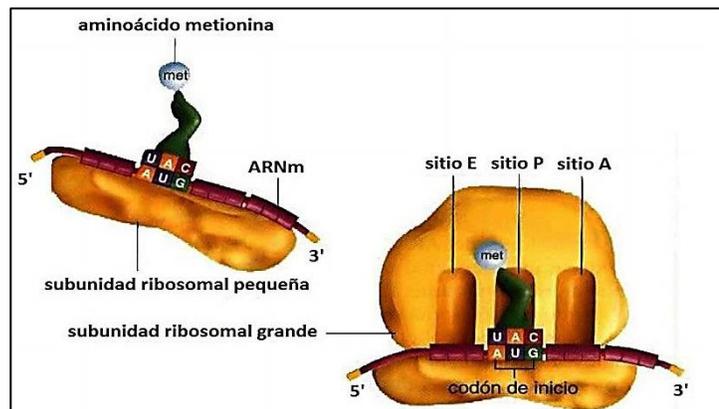


Fig. 28. Ensamble de ribosoma y acoplamiento de mRNA en la iniciación.

La subunidad ribosomal pequeña se ubica en el extremo del transcrito y con ayuda del Factor de Iniciación (F4F), se desplaza sobre el mRNA hasta localizar el codón AUG. Posteriormente, la subunidad ribosomal grande se une a la subunidad pequeña manteniendo al mRNA entre ambas subunidades. El codón AUG es reconocido por una molécula de RNA de transferencia (tRNA), la cual posee una secuencia complementaria al triplete del mRNA llamada anticodón y está unida al aminoácido correspondiente, en este caso la metionina, que por consecuencia es el primer aminoácido en todas las proteínas como se muestra en la figura 28.

Los RNAt, tienen dos sitios de unión importantes, uno de ellos se conoce como anticodón, que se acopla al codón de la molécula de mRNA. Dicho acoplamiento es complementario y antiparalelo. El otro sitio, en el extremo 3' del tRNA, mediante el cual, se acopla a un aminoácido en particular. El aminoácido correcto es unido a su tRNA por una enzima específica llamada aminoacil-RNAt sintetasa, con gasto de una molécula de ATP por cada aminoácido que se une a la enzima. Al haber 20 aminoácidos, también hay 20 aminoacil-RNAt sintetasa.

B) Elongación de la cadena polipeptídica. Se inicia cuando un segundo codón del mRNA se coloca en la posición del sitio A (aminoacil) de la subunidad mayor. En ese momento, un segundo tRNA (con su aminoacil-RNAt) acopla su anticodón al codón del mRNA, quedando tanto el sitio A como el P ocupado. Entonces, una enzima presente en la subunidad mayor la peptidil transferasa forja un enlace peptídico entre el aminoácido metionina y el segundo aminoácido que está en el sitio A. Una vez formado el enlace, el tRNA con sus aminoacil-RNAt presentes en el sitio P, se libera por el sitio E, recorriéndose el tercer codón del mRNA al sitio A y dando lugar al mismo proceso (figura 29). Este proceso se repite a medida que el ribosoma se desplaza de codón a codón a lo largo del mensajero hacia el extremo 3' y hasta alcanzar el codón de finalización (alto o stop).

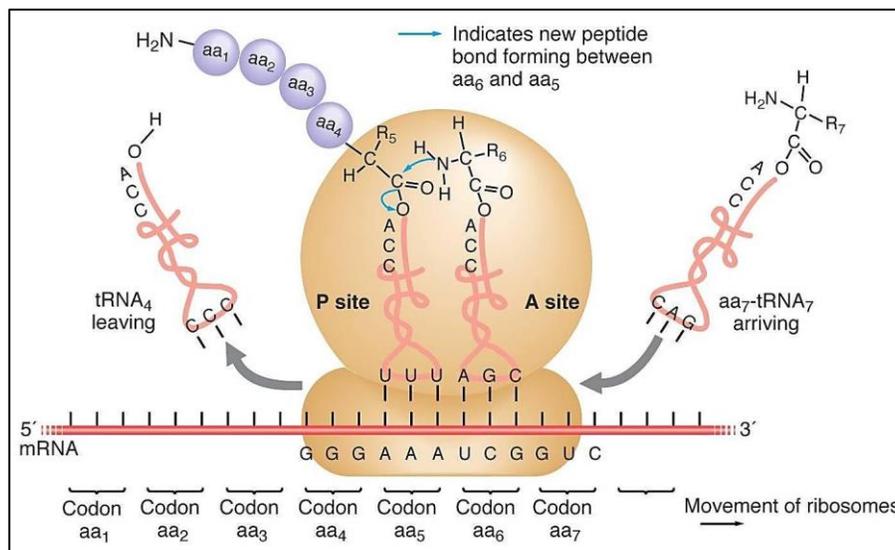


Fig. 29. Fase de elongación.

C) Terminación. El codón de finalización puede ser de tres tipos UAG, UAA y UGA; estos tres codones que no son reconocidos por ningún RNAt (es decir, que no codifican para ningún aminoácido) funcionan como señales de terminación. De esta manera, cuando aparece uno de

estos tripletes UAA, UAG, UGA; la proteína recién formada se libera del ribosoma, gracias a que un factor de liberamiento lee el triplete y la síntesis del polipéptido termina. De esta manera, la cadena polipeptídica se desprende y las dos subunidades ribosomales se separan como se muestra en la figura 30 (Facultad de ciencias agrarias, 2014).

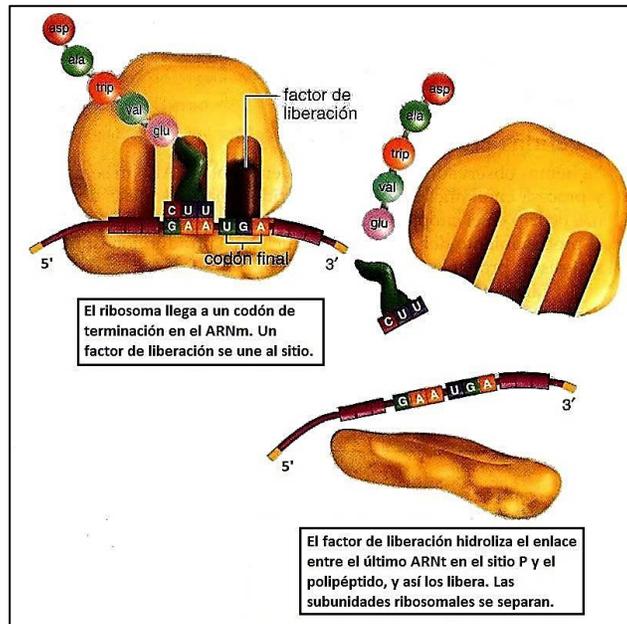


Figura 30. Fase de terminación.

Pero ¿Qué pasa con el mRNA? Durante su vida activa, el RNAm es leído numerosas veces por los ribosomas para producir varias moléculas de la proteína que llevara a cabo funciones esenciales para la célula. Después de cierto tiempo, una molécula de RNAm recién sintetizada ingresa a la maquinaria traduccional para reemplazar el RNAm envejeciente, permitiéndole de esta manera acceder a la última de las etapas que marcan su existencia: su muerte. El proceso de degradación del transcrito inicia por la eliminación de la cola de poli(A) mediante la acción de enzimas específicas conocidas como desadenilasas. Posteriormente, otras proteínas se encargan de eliminar el casquete del transcrito, dejándolo totalmente desprotegido frente al ataque de las nucleasas que degradan rápidamente el cuerpo del RNAm en sus nucleótidos componentes (Marchat y Castañón (s/f)).

¿Qué papel juega el Código genético en la síntesis de proteínas? Gracias al código genético se puede descifrar el aminoácido correspondiente de la proteína en formación. El código genético está escrito generalmente en el lenguaje del código del mRNA, cada tres bases nitrogenadas en dirección 5' a 3' determinan el codón para uno de los 20 aminoácidos. Cada codón codifica para un solo aminoácido, sin embargo, algunos aminoácidos están codificados por más de un codón. A esta característica se le conoce como degeneración del código genético. Los aminoácidos que están codificados por un solo codón son la metionina (AUG) y el triptófano (UGG). El codón de iniciación es AUG (metionina) y los codones de terminación son UAA, UAG y UGA. Ver figura 31.

		Segunda base					
		U	C	A	G		
Primera base	U	UUU } Fenilalanina (Fen) UUC } UUA } Leucina (Leu) UUG }	UCU } UCC } Serina (Ser) UCA } UCG }	UAU } Tirosina (Tir) UAC } UAA } Codón de terminación UAG }	UGU } Cisteína (Cis) UGC } UGA } Codón de terminación UGG } Triptófano (Tri)	U C A G	Tercera base
	C	CUU } CUC } Leucina (Leu) CUA } CUG }	CCU } CCC } Prolina (Pro) CCA } CCG }	CAU } Histidina (His) CAC } CAA } Glutamina (Gln) CAG }	CGU } CGC } Arginina (Arg) CGA } CGG }	U C A G	
	A	AUU } AUC } Isoleucina (Ileu) AUA } AUG } Metionina (Met) Inicio	ACU } ACC } ACA } ACG } Treonina (Tre)	AAU } Asparagina (Asn) AAC } AAA } Lisina (Lis) AAG }	AGU } Serina (Ser) AGC } AGA } Arginina (Arg) AGG }	U C A G	
	G	GUU } GUC } Valina (Val) GUA } GUG }	GCU } GCC } GCA } GCG } Alanina (Ala)	GAU } Ácido aspártico (Asp) GAC } GAA } Ácido glutámico (Glu) GAG }	GGU } GGC } Glicina (Gli) GGA } GGG }	U C A G	

Figura 31. Código genético.

El código genético es universal para genoma nuclear y fue descifrado en 1966 cuando se analizaba como los tripletes transmitían la información de los genes hacia las proteínas (Passarge, 2010). Sin embargo hay excepciones en genoma mitocondrial, la primera se observó en 1979, cuando se descifró el código genético mitocondrial de vertebrados, donde AGA y AGG son codones de terminación, en vez de codificar arginina, mientras que UGA codifica triptófano en vez de ser un codón de terminación, e incluso varía el genoma mitocondrial entre distintos organismos como es el caso de estos vertebrados con las levaduras (Franco, 2008).

Actividad 1.

Instrucciones: completa el texto con las siguientes palabras.

Postranscripcional, anticodón, codón, mRNA, aminoácidos, DNA, proteica, intrones, peptidil transferasa, splicing, RNAt, macromoléculas, unidireccional, RNA polimerasa II, exones, proteínas, transcripción, RNA, codones, aminoacil-RNAt sintetasa, traducción, peptídica.

1. Las proteínas son _____ formadas por polímeros de _____. 2. Para que la síntesis de proteínas pueda ocurrir, en una primera etapa se debe traspasar la información del gen a un _____. Este proceso es catalizado por la enzima _____ y se denomina _____. El mRNA sintetizado atraviesa los poros de la membrana nuclear y se dirige hacia los ribosomas donde se lee el mensaje del mRNA para comenzar la _____. 3. La unión de un grupo amino de un aminoácido con un grupo carboxilo de otro, es lo que se denomina unión _____ (unión química muy fuerte) y es la manera en que se forma la cadena polipeptídica o collar de aminoácidos. Esta reacción es catalizada por la _____. 4. El dogma central de la biología postula que la información genética se transmite mediante un flujo _____, que va del

_____ hacia el _____ y de este a las _____. 5. La información del RNAm se divide en tripletes de bases nitrogenadas llamadas _____ que tienen información para un aminoácido de los que formarán a la proteína. Para sintetizar la proteína en los ribosomas es necesario que tengan los aminoácidos especificados por el RNAm. La molécula encargada de llevar un aminoácido es el _____ y la enzima que cataliza la unión del aminoácido con el de transferencia se llama _____. Al llegar al ribosoma es reconocido por su triplete llamado _____ que es complementario con el del RNAm. 6. El código genético es universal porque los mismos _____ en diferentes especies codifican para los mismos aminoácidos. Es degenerado puesto que hay más codones que aminoácidos, de forma que un determinado aminoácido puede estar codificado, por más de un _____. 7. Mediante un proceso de modificación _____ denominado _____, se obtienen más de una proteína a partir de una sola región codificante. Es un mecanismo de modificación del RNAm que genera diversidad _____ a partir de un número limitado de genes, en el cual múltiples zonas del RNAm denominadas _____ son eliminadas del mensajero maduro, mientras que otras regiones, llamadas _____, son cortadas y re-empalmadas de distintas formas.

Actividad 2.

Instrucciones: Lee con atención los siguientes enunciados y contesta lo que se te pide.

1. Indica que inciso es correcto de acuerdo a los procesos que están relacionados con la síntesis de proteínas

- a) ADN ---- transcripción-----ARN m ----- traducción ----- proteína
- b) ADN ---- traducción ----- proteína ----- transcripción ----- ARN
- c) ADN ----- traducción -----ARN m-----transcripción ----- proteína

2. La siguiente secuencia de bases corresponde a un fragmento de una hebra de ADN:

Escribe el ARN resultante de su transcripción (no olvides marcar la direccionalidad de la cadena)

3' T A C C A A T A G C G C A A G C T T A T T 5'

3. El siguiente esquema representa la estructura del RNA, obtenidos a partir de un organismo eucarionte.



A partir de la información que te entrega el esquema responde las siguientes preguntas:

- a) ¿Qué cambios se producen en el RNA resultante de la transcripción en celular eucariotas?

b) ¿En qué sitio celular ocurren estos cambios?

c) ¿Que es un exón y que es un intrón?

4. Consultando la tabla del código genético señala el polipéptido que se obtendría de este trozo de ADN.

3' T A C C T G C G A T A A A C A T T G C T C G A G A T 5'

Actividad 3.

Instrucciones:

Lee con detenimiento el siguiente caso y realiza lo que se te pide.

Vengador toxico en el ribosoma

En 1978 Georgi Markov, un periodista búlgaro que había criticado al gobierno comunista de Bulgaria de aquel entonces, vivía en un exilio en Londres. Una tarde mientras esperaba en una parada de autobús cerca de la estación de Waterloo, un hombre posiblemente un agente secreto búlgaro lo rozó, y simulando un accidente, lo pinchó con la punta de un paraguas. Markov sintió un dolor agudo. A las pocas horas comenzó a sentirse débil. Pronto experimentó temperatura elevada, vómitos y otros síntomas más severos. Dos días después estaba muerto. Los investigadores policiales hallaron una pequeña píldora incrustada en la pierna de Markov, dentro de la cual había una mínima cantidad de ricina, una molécula altamente tóxica aislada de las semillas de la planta de *Ricinus comunis*. La toxina del ricino, es una de las sustancias más venenosas fabricadas por un organismo. Cerca de un miligramo (una cantidad del tamaño de la cabeza de un alfiler) puede matar a un ser humano.



Los investigadores policiales saben que tú eres un excelente biólogo (a) especializado en botánica y en biología molecular por lo que deciden darte el caso de Markov para que continúes con la investigación y se conozca a detalle lo que ocurrió en su organismo.

Pones en marcha todos tus conocimientos pero consideras que es necesario tener una buena pregunta (as) como punta de partida para tu investigación ¿Cuáles serían posibles preguntas?

A) Escribe tus preguntas de investigación en tu cuaderno. Máximo 3.

B) Para dirigir tu (s) respuesta (s) plantea una hipótesis de lo que consideres que le ocurrió a Markov, toma en cuenta todos los elementos vistos en el tema.

C) Para contestar tu o tus preguntas por lo menos considera 7 aspectos que necesitas saber y que te ayudara a dar respuesta a tu problema plantado en tu investigación, considera la información brindada del caso de Markov y de lo que has aprendido del tema. Por ejemplo:

1. ¿Cuál ruta metabólica fue afectada?, 2. ¿Es un proceso anabólico o catabólico?.....

D) Con base en los aspectos considerados en el inciso anterior, ofrece una respuesta coherente a tu pregunta o preguntas de investigación.

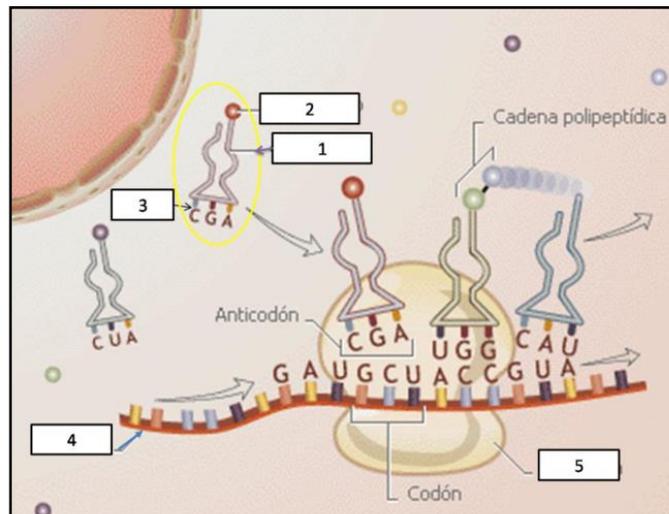
E). Revisa información acerca del efecto de la ricina. Tu hipótesis fue acertada sí, no ¿por qué? Explica.

Autoevaluación:

1. La síntesis de RNA tomando como molde la cadena de DNA 3'-5: CGCATTCGCTTT dará lugar a un RNA de secuencia: ()

- A) GCGTAAGCGAAA
- B) GCGUAAGCGAAA
- C) CGCAUUCGCUUU
- D) CGCUTTCGCTTT

2. Observa la siguiente imagen representativa del proceso de síntesis de proteínas y determina el nombre de las moléculas u organelos señaladas con los números, indica qué proceso acaba de llevarse a cabo: ()



A) El proceso que se está llevando a cabo, es la traducción y las moléculas u organelos señalados con los números son: 1. RNAt, 2. Aminoácido, 3. anticodón, 4. RNAm, 5. Ribosoma.

B) El proceso que se está llevando a cabo, es la replicación y las moléculas u organelos señalados con los números son: 1. RNAm, 2. Aminoácido, 3. anticodón, 4. RNAt, 5. Ribosoma.

C) El proceso que se está llevando a cabo, es la síntesis de proteínas y las moléculas u organelos señalados con los números son: 1. RNAm, 2. Aminoácido, 3. codón, 4. RNAt, 5. Ribosoma.

D) El proceso que se está llevando a cabo, es la transcripción y las moléculas u organelos señalados con los números son: 1. RNAm, 2. Aminoácido, 3. anticodón, 4. RNAr, 5. Ribosoma.

3. ¿Por qué se llaman tripletes sin sentido o codones stop, a los codones **UGA, UAG y UAA** presentes en la fase de término de la síntesis de proteínas? ()

A) Porque los tripletes sin sentido o codones stop no sirven para nada.

B) Porque los tripletes sin sentido o codones stop pueden codificar para distintos aminoácidos.

C) Porque no codifican para ningún aminoácido, pero indican el punto final de la síntesis de proteínas.

D) Porque indican el punto de inicio de una nueva proteína.

4. Para el siguiente segmento de gen, establece la secuencia correcta de nucleótidos del RNA mensajero (RNAm) y de los aminoácidos de la proteína que codifican dichas secuencias. ()

DNA 3' TTTCCAGATCGGATGGCC 5'

A) RNAm 5' AAAGGUCUAGCCUACCGG 3'

Proteína: lisina-glicina-leucina-alanina-tirosina-arginina.

B) RNAm 5' AAAGCUCUAGCCUACCGG 3'

Proteína: lisina-glicina-treonina-alanina-tirosina-arginina.

C) RNAm 5' AAGGGUCUAGCCUACCGG 3'

Proteína: lisina-glicina-leucina-alanina-tirosina-arginina.

D) RNAm 5' AAAGGUCUAGCCUACGGG 3'

Proteína: lisina-glicina-leucina-alanina-tirosina-glicina.

5. Etapa de la síntesis de las proteínas donde hay gran actividad enzimática de las dos subunidades que forman el ribosoma y continuamente se están uniendo los diversos aminoácidos, que han sido transportados por los diferentes RNA de transferencia. ()

A) Elongación de la cadena polipeptídica.

B) Iniciación de la cadena polipeptídica.

C) Terminación de la cadena polipeptídica.

D) Activación de aminoácidos en la cadena.

Respuestas. 1. Respuesta: B/2. Respuesta: A/3. Respuesta: C/4. Respuesta: A/5. Respuesta: A

Tema II: Genética y biodiversidad.**Subtema III:** Transmisión y expresión génica**Aprendizaje 3:**

El alumno comprende que la transmisión y la expresión génica se explican a través de diferentes modelos de herencia y su relación con el ambiente.

Conceptos básicos.

Herencia
Ambiente – Epigenética
Alelos
Homocigoto
Heterocigoto
Dominancia
Recesividad
Locus - loci
Poligenia
Herencia ligada al sexo
Epistasia.

Habilidades básicas.

Resolución de problemas
Relación de variables

Actividad 1

Instrucciones:

Realiza la lectura del siguiente texto. Transcribe los conceptos en negritas y elabora con ellos un glosario de términos.

Transmisión y expresión génica, los modelos de herencia, expresión fenotípica y su relación con el ambiente

La genética de la transmisión abarca el proceso general por el que una serie de caracteres controlados por determinados factores (**genes**) se transmiten de generación en generación a través de los **gametos**, lo que comúnmente se denomina **herencia biológica**. Sus principios fundamentales fueron planteados por primera vez por Gregor Mendel a mediados del siglo XIX. Los trabajos posteriores, efectuados por numerosos investigadores en todo el mundo, demostraron que los genes se encuentran en los **cromosomas** y presentan secuencias alternativas que dan lugar a variantes alélicas, cuyas interacciones, ya sea entre **alelos** que ocupan el mismo **locus** o locus diferentes, así como la influencia del ambiente, dan como resultado la expresión fenotípica que propicia la diversidad en las poblaciones.

Muchos de los descubrimientos se realizaron utilizando modelos biológicos, como la mosca de la fruta, *Drosophila melanogaster*, donde se descubrió una mosca de ojos blancos en una botella que tenía normalmente moscas con ojos rojos. Esta variación se había producido por una **mutación** en uno de los genes que controlan el color de los ojos. El gen variante del color de ojos descubierto en las moscas de la fruta, posee dos variantes de **alelos**, que controlan el color del ojo. Los distintos alelos pueden producir diferencias en los rasgos observables o **fenotipo** de un organismo. El conjunto de alelos que tiene un organismo para un carácter dado se denomina **genotipo**.

Existen dos procesos implicados en la continuidad genética en las células eucariotas, la **mitosis** y la **meiosis**. La mitosis conduce a la producción de dos células, cada una con un número de cromosomas idéntico al de la célula que le dio origen. Por el contrario, la meiosis reduce la cantidad de material genético, por lo que el número de cromosomas es exactamente la mitad que el de la célula original. Esta reducción es esencial a fin de que la reproducción sexual se lleve a cabo sin duplicar la cantidad de material genético en cada nueva generación. La meiosis forma parte de un tipo especial de división celular que da lugar a la producción de células sexuales, **gametos** o **esporas haploides**.

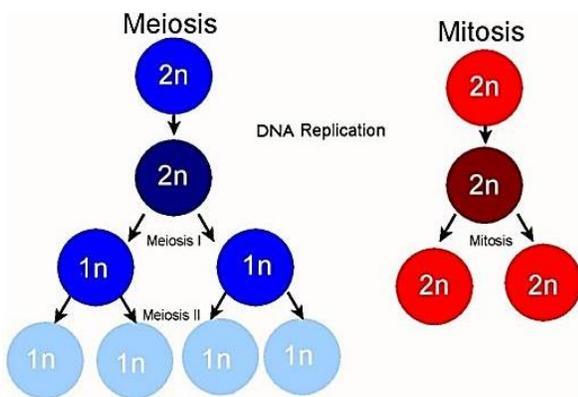


Fig. 32. Mitosis y meiosis.

Las células **diploides** poseen un doble juego de cromosomas de cada tipo. En tanto que las células haploides, solo tienen un cromosoma de cada tipo. La condición diploide se restablece con la unión de células sexuales durante la reproducción sexual, de modo que los gametos haploides, se unen y forman una célula diploide. De esta forma, cada célula diploide de un organismo, presenta un cromosoma proveniente del padre y otro proveniente de la madre.

Un par de **cromosomas homólogos**, tienen una semejanza genética importante, sus genes son iguales o al menos muy parecidos, codifican para características o funciones específicas y ocupan el mismo **locus** (en plural se denominan **loci**). En tanto que los genes son polímeros de nucleótidos en cadenas dobles, son susceptibles de cambiar a través de mutaciones, produciendo diferencias entre los alelos que conforman el gen. Un gen, siempre estará constituido por un par de alelos, uno del cromosoma paterno y el otro del materno. Ya sea que existan diferencias entre los alelos, e incluso un número mayor de dos alternativas alélicas, ocurrirán las interacciones entre ellos, dando como resultado diferentes patrones o modelos de expresión de acuerdo con las diferentes interacciones que ocurran entre los alelos. Entonces, pueden existir interacciones entre alelos que ocupan el mismo locus y también entre alelos que se sitúan en locus distintos.

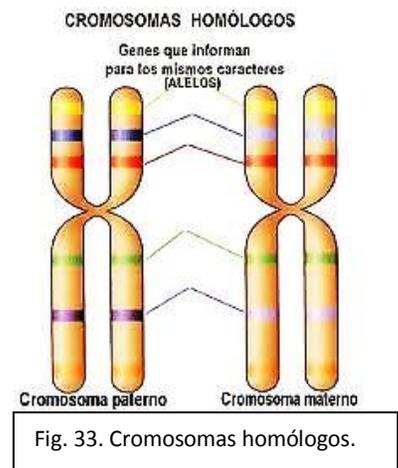


Fig. 33. Cromosomas homólogos.

En este contexto, si los alelos de un gen son idénticos (no hay variantes alélicas), entonces decimos que este organismo es **homocigoto** para el gen correspondiente. Por otro lado, cuando los alelos de un gen son diferentes (presentan alternativas o variantes alélicas), lo denominamos **heterocigoto**.

Ejemplo:

Glosario.

Alelo: cada una de las dos o más versiones de un gen.

Continúa tu propio glosario en tu cuaderno o en hojas anexas, si tienes problemas con algún término y la definición no se encuentra o no se puede deducir del texto, investiga otras fuentes, consulta la bibliografía al final de esta Guía.

Actividad 2.

Instrucciones:

Revisa el texto siguiente con mayor detalle. Subraya, realiza anotaciones al margen, elabora un mapa o cuadro-resumen. Analiza cada tipo de interacción y posteriormente resuelve los problemas que se plantean.

Interacciones alélicas con genes que ocupan el mismo locus.

Los mecanismos de interacción génica pueden clasificarse en los que ocurren entre alelos de un mismo gen (intraalélicos, alelos que ocupan el mismo locus en un cromosoma) y los que se producen entre diferentes genes (interalélicos, alelos que corresponden a genes diferentes localizados en diferentes locus, e incluso en diferentes cromosomas)

Los intraalélicos o entre alelos de un mismo gen son varios, aquí encontramos los típicos casos de la herencia descrita por Mendel y otros casos entre los que encontramos los siguientes:

1. Dominancia completa
2. Dominancia incompleta
3. Codominancia
4. Sobredominancia

Dominancia completa

Es el caso más descrito dónde un alelo domina o enmascara completamente la expresión de otro. Sin embargo es difícil explicar los fenómenos bioquímicos o moleculares que definen o generan este mecanismo; por lo tanto trataremos de explicarlo mediante ejemplos concretos.

El caso del alelo del albinismo (recesivo), tanto en humanos como en animales, es un ejemplo clásico de Dominancia Completa. Se piensa que el alelo recesivo surgió como mutación del alelo dominante que codifica o permite el fenotipo con pigmentación normal. Esto se da para la mayoría de las características, dónde el alelo normal o salvaje es dominante completo sobre el alelo mutante, en este caso recesivo.

Parece ser que el alelo normal (dominante) codifica alguna proteína quizás de función enzimática que interviene en la ruta biosintética para la formación de melanina.

Tanto los homocigotos dominantes como los heterocigotos tienen pigmentación normal. En el caso de los heterocigotos, producen melanina porque la existencia de un solo alelo normal o sea una sola copia funcional del gen, es suficiente para producir la enzima o proteína necesaria en esa ruta biosintética. En cambio los homocigotos recesivos, al no tener ningún alelo funcional, no producen producto y como consecuencia la síntesis de melanina es bloqueada con lo que los individuos carecen de la misma. A este tipo de alelo se lo denomina amorfo ya que es inactivo, no produciendo producto proteico alguno, ya sea producto de una mutación en la secuencia de DNA original o por la delección (pérdida) del gen o parte del mismo [ver sección de mutaciones].

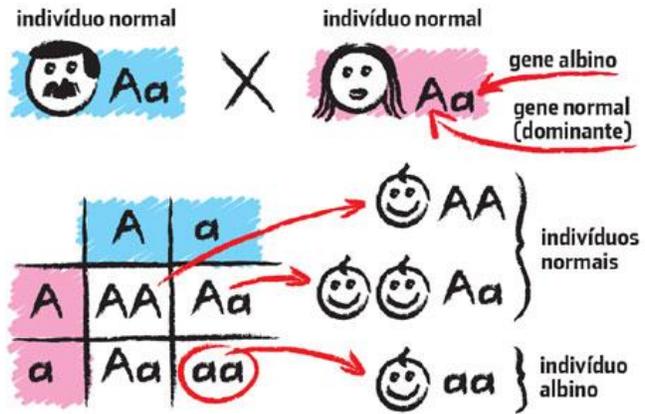


Fig. 32. Genética del albinismo

Existen muchas características cuyo mecanismo de acción entre alelos es la dominancia completa, sin embargo bioquímicamente son complicados de explicar. Por ejemplo la característica o enfermedad “Pie de Mula” en el Bovino, producida por un alelo recesivo, da como resultado individuos que poseen un solo dedo como el equino. Esquemáticamente si denominamos “P” al alelo normal y “p” al afectado:

PARENTALES	HEMBRA	MACHO
GENOTIPOS	PP (normal)	pp (pie de mula)
GENERACION F1	Pp	Pp
GENERACIÓN F2	¼ PP ½ Pp ¼ pp	¼ PP ½ Pp ¼ pp

Los parentales son obviamente los individuos que dan origen a las generaciones, se especifica macho y hembra puesto que se reproducen sexualmente y se requiere de gametos masculinos y femeninos. La generación F1 se refiere a los genotipos de los individuos que se producen con la cruce, en tanto F2 corresponde a los genotipos de los individuos que se producen en la cruce de dos individuos de la F1.

Como vemos siempre que exista Dominancia completa, las proporciones genotípicas y fenotípicas de la F2, serán las descritas por Mendel. Sin embargo sabiendo que un gen codifica una proteína, el pie de mula difícilmente se produce por la falta o la alteración de una proteína. Es posible que sean varias las proteínas que intervienen en el desarrollo normal del pie Bovino, o quizás sea una sola proteína que interviene en las primeras divisiones o segmentaciones del embrión, dando como resultado una alteración con un fenotipo anormal.

Dominancia Incompleta

Carl Correns, uno de los redescubridores de Mendel cruzó experimentalmente flores rojas con blancas, observando en la F1 la aparición de un nuevo fenotipo intermedio entre los parentales, es decir color rosa, lo que no coincidía con lo descrito por Mendel, ya que la F1 era uniforme pero no igual a uno de los progenitores.

A su vez al aparear a la F1 entre sí obtuvo una proporción fenotípica de 1/4 de flores rojas: 1/2 de flores rosas: 1/4 de flores blancas. Si denominamos "R" al alelo del color rojo y "r" al blanco, el siguiente cuadro puede explicar lo que ocurre:

Al no existir dominancia entre un alelo y el otro, se prefiere usar como notación para los alelos, las letras mayúsculas pero con diferentes subíndices (R^1 y R^2). De esta forma no se indica si uno domina sobre el otro, como cuando se usan mayúsculas y minúsculas. $R^1 R^1$ es el genotipo que expresa fenotipo rojo, $R^1 R^2$ rosa y el $R^2 R^2$ de fenotipo blanco.

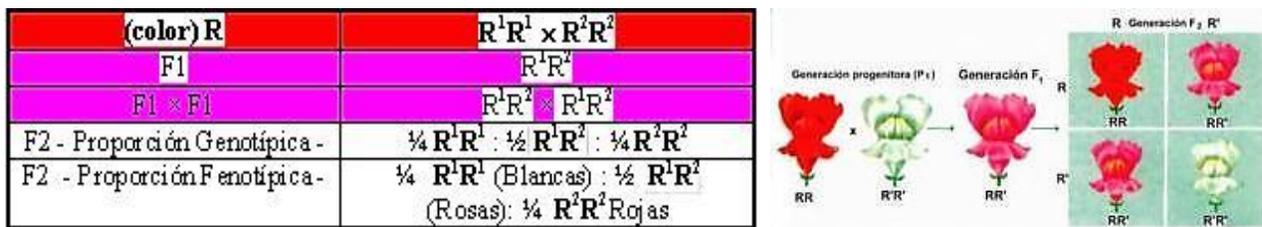


Fig. 33. Dominancia incompleta.

En la actualidad si analizamos microscópicamente los cromoplastos de esas flores, observamos la existencia de cromoplastos rojos y blancos juntos, es decir que en forma macroscópica la flor se ve rosa pero microscópicamente tiene ambos colores, mecanismo llamado codominancia la que detallaremos a continuación.

Codominancia

Es un mecanismo de acción entre alelos que se da cuando el heterocigoto (F1) expresa fenotípicamente a ambos alelos de la característica en cuestión.

La codominancia es un modelo hereditario no mendeliano en donde en el estado heterocigoto no hay gen recesivo sino que ambos se comportan como dominantes, tal como en la herencia intermedia, pero a diferencia de esta última, ambas características se manifiestan sin mezclarse.

En la representación de las características en la herencia codominante se utilizan dos letras mayúsculas iguales con una letra en superíndice también en mayúscula, indicando la característica que manifiesta, por ejemplo: en los pollos que tienen plumas blancas ($C^B C^B$) y negras ($C^N C^N$), son homocigotos para los alelos C^B y C^N respectivamente. Se esperaría que los pollos heterocigotos $C^B C^N$ fueran negros si el patrón hereditario siguiera la ley de la dominancia de Mendel, o que fueran grises si se tratara de una característica dominante incompleta.

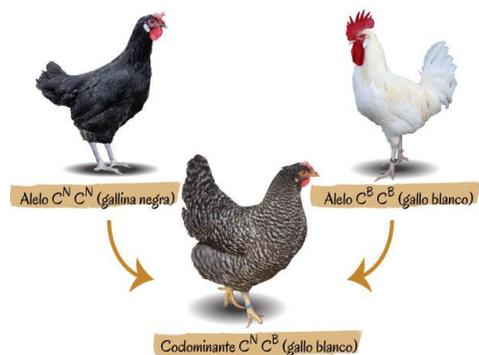


Fig. 34. Ejemplo de codominancia.

Otros ejemplos en animales son el del pelaje rosillo en los equinos y bovinos, el que antes se explicaba como Dominancia Incompleta ya que en apariencia el rosillo era intermedio entre el colorado y el blanco, pero se sabe que es codominante ya que presenta pelos blancos y pelos colorados. Lo mismo ocurre en los gatos híbridos de siamés y burmese, que al ser heterocigotos presentan un fenotipo intermedio (tonquín), pero en realidad se cree que expresan ambos fenotipos, las manchas del siamés oscuras y el pelaje pardo del burmese. Cabe aclarar que las manchas oscuras del siamés están influenciadas por la temperatura, ya que se presentan en zonas de piel fría, o sea que es un genotipo influenciado por el ambiente.

Alelos múltiples

Se definen así a los genes que tienen más de dos alelos en toda la población. Es decir en vez del típico caso de dos alelos para una característica existen más de dos. Sin embargo cada individuo puede portar solo dos alelos ya que posee solo dos cromosomas homólogos.

El ejemplo clásico es el del sistema de grupos sanguíneos ABO en los humanos. Los homocigotos para el alelo I^A ($I^A I^A$) presentan o expresan fenotípicamente el grupo sanguíneo A, es decir antígenos en la superficie de los glóbulos rojos de tipo A. Los homocigotas para el alelo I^B ($I^B I^B$), expresan fenotipo de grupo B, el heterocigoto en cambio $I^A I^B$ tiene grupo AB es decir tiene ambos tipos de antígenos A y B. Este último es un ejemplo de codominancia y además de alelos múltiples, ya que hay más de dos variantes alélicas en la expresión del gen. Similares ejemplos en grupos sanguíneos se dan en casi todos los animales.

Además del alelo I^A y el I^B descritos anteriormente, existe un alelo más en la población, el “i”, el que cuando se presenta en estado homocigota produce como fenotipo el grupo sanguíneo O. Cabe aclarar que en organismos diploides, un individuo sólo puede llevar dos alelos, nunca más ya que posee sólo 2 cromosomas homólogos (cada homólogo lleva un alelo).

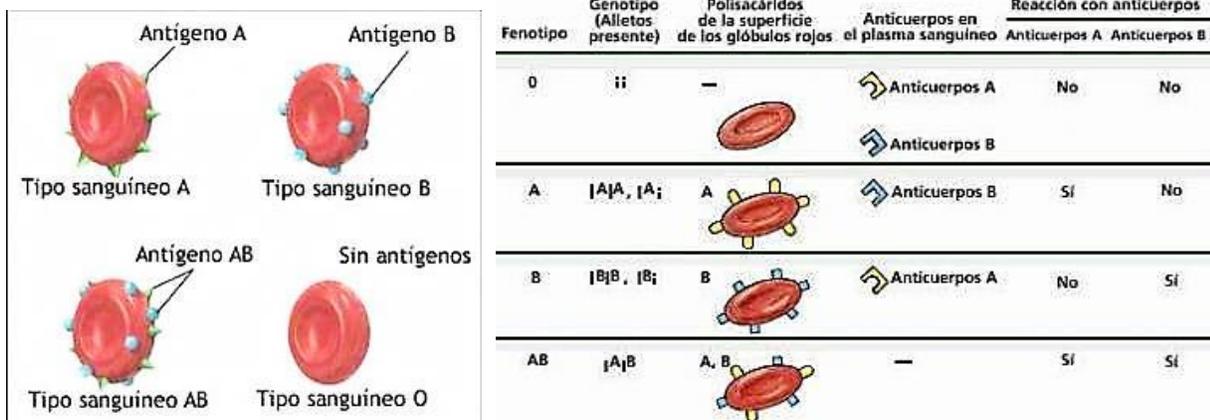


Fig. 35. Alelos múltiples con interacciones de dominancia y codominancia entre ellos en los tipos de sangre en humanos.

Si tenemos en cuenta todas las combinaciones posibles que pueden portar los individuos de la población, vemos que se pueden dar seis genotipos distintos, algunos de los cuales presentan

igual fenotipo ya que el alelo I^A y el I^B son codominantes, pero el I^A tanto como el I^B son dominantes completos sobre el alelo recesivo i :

$I^A I^A$	Grupo A
$I^A i$	Grupo A
$I^B I^B$	Grupo B
$I^B i$	Grupo B
$I^A I^B$	Grupo AB
$i i$	Grupo O

El alelo i no produce ningún tipo de antígenos de superficie en los glóbulos rojos, por esto es dador universal ya que si se administra sangre de grupo O a una persona de cualquier grupo, no produce reacción contra los eritrocitos del dador ya que no los reconoce como extraños, en cambio si tuvieran antígenos serían atacados por el sistema inmune del receptor al ser reconocidos como extraños.

Como habíamos mencionado anteriormente los alelos de un gen deben haberse originado por mutaciones un alelo original o salvaje, en el caso de los alelos múltiples evidentemente a lo largo de la evolución se han originado una gran cantidad de mutaciones que han originado un gran número de alelos y que se han conservado debido a la ventaja adaptativa que le brindan a la especie.

En ocasiones existen alelos múltiples en la población para algunas características que a su vez tienen un orden de dominancia entre ellos. En estos casos se habla de serie alélica. Un ejemplo es la serie alélica para el color del pelaje en los gatos, donde el alelo "C" es dominante sobre el "C^s", el que a su vez domina sobre el "C^b", éste sobre "c^a" y éste a su vez sobre "c".

El alelo C codifica para distribución de color uniforme, el C^s codifica la distribución de color siamés, el C^b color burmese, el c^a color semialbino y el c albino. A su vez entre el siamés y el burmese existe dominancia incompleta o codominancia el que produce un fenotipo que ha sido seleccionado como raza llamada "tonquinés".

Quiere decir que existen varios genotipos distintos dependiendo del orden de dominancia:

- C_ Distribución de Color uniforme (CC, C C^s, C C^b, C c^a y C c)
- C^s_ Distribución de color siamés (C^s C^s, C^s c^a y C^s c)
- C^b_ Distribución de color burmese (C^b C^b, C^b c^a y C^b c)
- c^a_ Semialbino (c^a c^a y c^a c).
- c c Albino (cc).
- C^s C^b Tonquinés (Codominantes).



Fig. 36. Serie alélica para el pelaje en gatos.

Como vemos existen 15 genotipos y 6 fenotipos distintos en los gatos. Existen otros ejemplos de series alélicas en el color del pelaje de otros animales, como en los conejos.

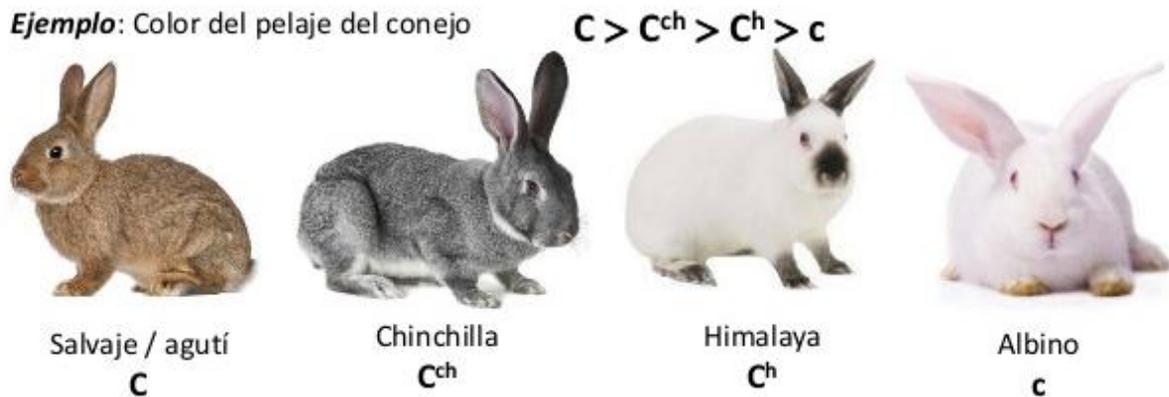


Fig. 37. Serie alélica en el pelaje de los conejos.

Interacciones alélicas con genes que ocupan locus distintos.

Hasta ahora hemos visto mecanismos de acción entre alelos de un mismo gen que ocupan el mismo locus, ahora analizaremos cómo un gen puede influir la expresión de otro u otros genes. Varios genes pueden actuar juntos para producir una determinada característica. A esto se lo denomina interacción entre genes cuyos alelos no se sitúan en el mismo locus o interalélica.

Un primer caso es el de la herencia ligada a los cromosomas sexuales X e Y. Otros tipos de interacciones entre los genes y sus correspondientes alelos que no se ubican en el mismo locus son la epítasis la poligenia y los efectos pleiotrópicos.

Herencia ligada a los cromosomas sexuales.

En la especie humana los cromosomas sexuales son el X, Y; el sexo masculino contienen un par XY y el sexo femenino un par XX. En la especie humana en cada célula somática contiene 22 pares de autosomas más un par XX para el sexo femenino y un par XY para el sexo masculino.

Las mujeres sólo producen un solo tipo de óvulo con 22 autosomas y un único cromosoma sexual X, mientras que los varones formarán dos tipos de espermatozoides, el 50 por ciento serán portadores de un cromosoma X y el 50 por ciento serán portadores de un cromosoma Y.

El sexo se define al momento de la fecundación y está determinado por el tipo de cromosoma sexual que lleva el espermatozoide (X o Y) al momento de fecundar al óvulo (X).

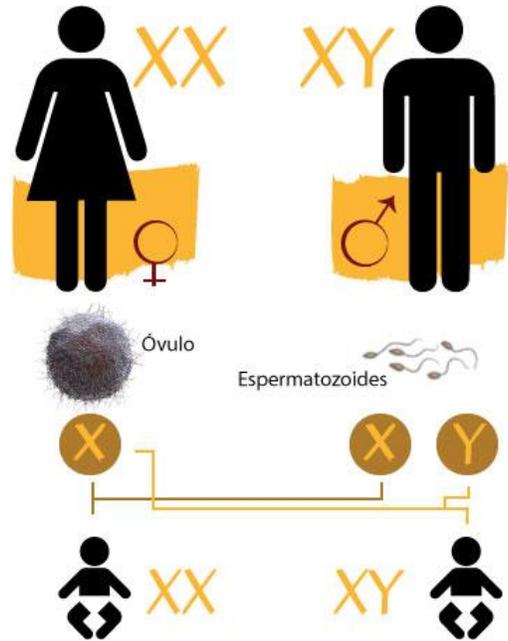


Fig. 38. Cromosomas sexuales en humanos.

Como la fecundación es producto del azar, un óvulo puede unirse a cualquiera de los tipos de espermatozoides, por lo que en la mitad de los casos se formarán mujeres y el otro 50 por ciento se formarán varones. Si el gameto que fecunda al óvulo lleva el cromosoma Y determina el sexo masculino del nuevo ser. Este cromosoma está casi vacío de genes, pero lleva suficiente información genética para el desarrollo sexual masculino.

Si el gameto que fecunda al óvulo lleva el cromosoma X, determina el sexo femenino. Además de portar genes que determinan el sexo femenino es portador de una serie de genes que determinan otras características, por lo cual se dice que están ligadas al sexo.

Epistasis.

Son interacciones entre dos pares de genes distintos, donde uno inhibe o permite la expresión de otro gen. Al gen que inhibe, se le llama epistático y al que es inhibido se lo denomina hipostático. Las epistasis pueden ser dominantes o recesivas, dependiendo de si el gen epistático ejerce su acción en estado dominante o recesivo.

En los casos de epistasis simple dominante o recesiva, es decir donde un alelo de un gen (dominante o recesivo) inhibe la expresión de otro gen, la explicación molecular o bioquímica más probable es que el gen epistático tal vez codifique una proteína reguladora negativa que inhiba la transcripción del gen hipostático.

En el caso de la epístasis recesiva un ejemplo es el del color del pelaje en los labradores donde el homocigoto recesivo para el alelo "e" diluye la expresión de B (negro) o b (chocolate), entonces los animales de color Negro son: E_BB y E_Bb, los de color chocolate son E_bb y los de color Amarillo ee__, (ee B_ son amarillos pigmentados y los eebb son amarillos despigmentados).

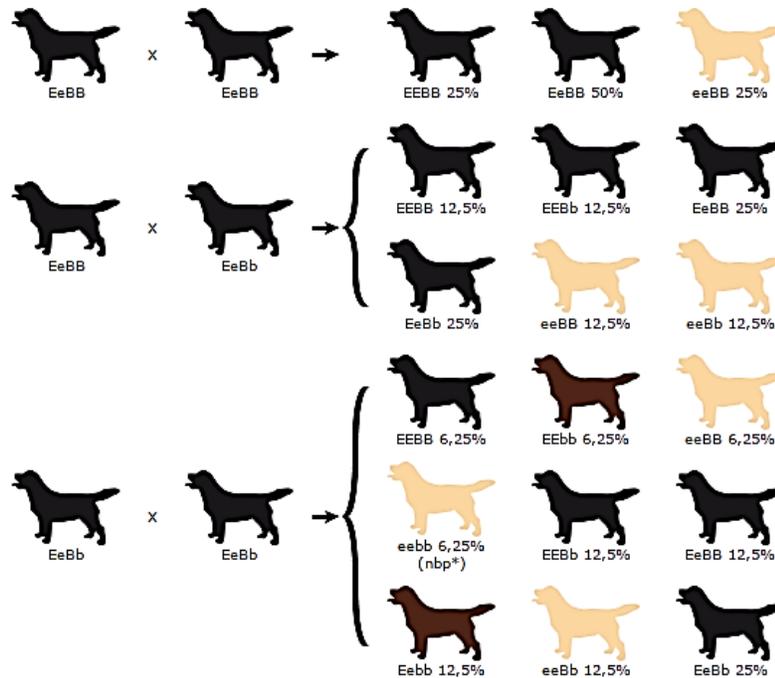


Fig. 39. Genes epistáticos en el pelaje de los perros labradores.

Poligenia

La herencia poligénica se da cuando algún carácter se debe a la acción de más de un gen que pueden tener además más de dos alelos, lo cual origina numerosas combinaciones que son la causa de que exista una gradación en los fenotipos. Se debe a este tipo de herencia el color de la piel en nuestra especie, por eso existen tantas posibilidades y tanta variación del color de la piel entre blancos y negros.

La herencia poligénica se distingue por:

- Cuantificarse midiendo más que contando
- Dos o más pares de genes contribuyen al fenotipo
- La expresión fenotípica abarca un gran rango

En humanos se observa en:

- Altura
- Peso
- Color de ojos
- Inteligencia
- Color de la piel
- Formas de comportamiento

Ejemplo: Color de piel

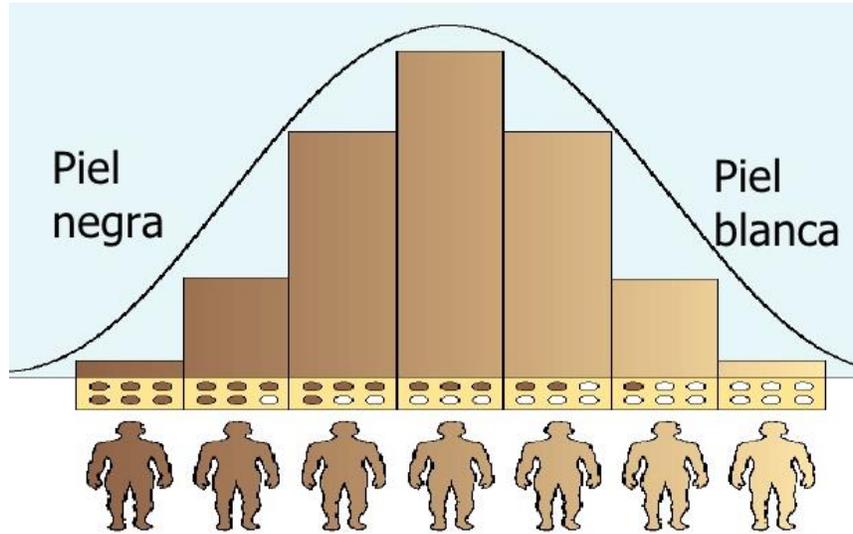


Fig. 40. El color de la piel en humanos es un rasgo poligénico, muchos genes participan y generan un amplio abanico de opciones fenotípicas.

Pleiotropía.

Por pleiotropía se conoce al efecto de un solo gen en más de una característica. En muchas ocasiones un gen determina una característica (como el color de una flor), pero en ocasiones un gen puede producir efectos relacionados o secundarios. El fenómeno en el que un gen afecta a dos o más características se denomina pleiotropía o efecto pleiotrópico.

Un ejemplo conocido en animales es el del gen “mirlo” de los caninos, que produce manto casi blanco, ojos azules, microftalmia (ojos pequeños), hipoacusia variable (bajo nivel de audición) y a veces esterilidad como efecto fenotípico, frecuente en la raza Collie.



Fig 41. Peiotropía del gen “mirlo” en perros de raza collie.

Otro caso similar es el del gen W del gato que produce pelaje todo blanco asociado a ojos azules y sordera, el que a su vez es epistático sobre los genes que codifican para el color de la capa, por eso son blancos independientemente de que genes de otro color posean en su genotipo. Esto ocurre porque los animales que posee este gen dominante producen melanocitos anormales. Ciertos melanocitos ubicados en la base de la cóclea del oído interno son disfuncionales también por lo tanto el animal resulta ser sordo.



Fig. 42. Efecto pleiotrópico del gen W en gatos.

Resolución de Problemas.

- 1) Clara padece una rara anomalía de los párpados denominada *ptosis*, que le impide abrir sus ojos por completo. Se ha encontrado que la condición depende de un gen dominante (**P**). El padre de Clara tenía *ptosis* pero su madre tenía párpados normales. La abuela paterna tenía párpados normales. ¿Cuáles son los genotipos probables de Clara, su padre y su madre?

- 2) La enfermedad de Huntington consiste en una serie de trastornos que afectan en diversos grados al sistema nervioso, llegando a producir en varios casos demencia grave y finalmente la muerte. La manifestación de la enfermedad depende de un gen autosómico dominante (**B**), y se expresa durante la edad adulta. Un hombre padece esta enfermedad y su padre también la padecía, pero su madre era sana. ¿Qué proporción de sus hijos es de esperar que padezcan la enfermedad de Huntington si él se casa con una mujer sana?

- 3) Gregorio y Cecilia son recién casados, ellos piensan comenzar una familia, pero están preocupados sobre los riesgos de transmitir enfermedades genéticas a sus hijos. Ellos saben de varios de sus parientes sufren un tipo de distrofia muscular una enfermedad que debilita los músculos. Por ejemplo, el padre de Gregorio padecía de la enfermedad, su madre no padece. Gregorio tiene dos hermanos; una hermana que no padece de la enfermedad y sus dos hijos tampoco. Sin embargo, el otro hermano de Gregorio si la presenta. Él está casado con una mujer que no padece de distrofia y tiene dos hijos, un niño, que está sano y una niña quien padece de distrofia muscular. El padre de Cecilia padece de la enfermedad, su madre no. Cecilia tiene dos hermanos y dos hermanas y solo una de las hermanas tiene una hija que está enferma. ¿Qué tipo de herencia explica la expresión de la distrofia muscular?

- 4) En una granja que se dedica a la crianza y venta de gallinas y gallos, se crían tres tipos de estas aves con diferente plumaje: plumaje blanco moteado, plumaje negro y plumaje andaluz (gris). Cuando gallinas con plumaje blanco moteado se cruzan con gallos de plumaje negro, toda su descendencia es andaluz. Pero cuando dos aves con plumaje andaluz se cruzan entre sí, producen descendencia con los tres tipos de plumaje: blanco moteado, negro y andaluz. ¿Qué tipo de patrón hereditario explica la herencia de estos rasgos del plumaje?

- 5) El color de la concha de un molusco está controlado por una serie alélica, es decir, por la existencia de cuatro alelos distintos para el mismo gen (alelos múltiples). Estos alelos determinan los siguientes cuatro fenotipos: color marrón, color rosa, color amarillo intenso y color amarillo pálido. Se hicieron cruzamientos entre varias líneas puras, obteniendo las siguientes descendencias:

Parentales	Descendencia
rosa ($c^r c^r$) x amarillo intenso ($c^{a+} c^{a+}$)	Amarillo intenso
rosa ($c^r c^r$) x amarillo pálido ($c^{a-} c^{a-}$)	Amarillo pálido

amarillo intenso ($c^{a+}c^{a+}$) x amarillo pálido ($c^{a-}c^{a-}$)	Amarillo intenso
marrón ($c^m c^m$) x rosa ($c^r c^r$)	Marrón
marrón ($c^m c^m$) x amarillo pálido ($c^{a-}c^{a-}$)	Amarillo pálido

De acuerdo a los resultados que se muestran en la tabla ¿cuál sería el orden de dominancia de los alelos?

- 6) En los pollos, la cresta está determinada por dos genes, cada uno con dos alelos. Cuando está presente el alelo para la cresta en forma de “rosa” (**R**) y el alelo para la cresta en forma de “chícharo” (**P**), se produce un fenotipo nuevo, la cresta en nuez. Los alelos alternativos de ambos en la condición homocigota (**rrpp**) producen una cresta sencilla. Determinar las proporciones de los genotipos y los fenotipos de la descendencia de un gallo y una gallina con cresta en nuez, que tienen los siguientes genotipos: **RrPp** X **RrPp**.
- 7) Sofía está a punto de casarse con Alonso, ella presenta el grupo sanguíneo A y él grupo sanguíneo O, el padre de Sofía tiene el grupo AB y su madre B. Alonso perdió a sus padres cuando él era niño y desconoce los grupos sanguíneos de sus padres. Indica cuáles podrían ser los posibles genotipos de los hijos de Sofía y Alonso.

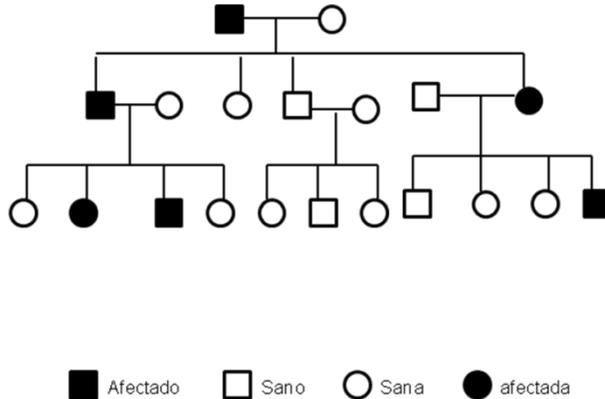
Autoevaluación:

- El fenotipo hace referencia a: ()
 - A) Las características físicas, fisiológicas y conductuales
 - B) Los gametos masculinos y femeninos
 - C) La reproducción entre individuos con dimorfismo sexual
 - D) El ambiente que influye en la expresión de los genes
- Las formas alternas de un gen se llaman: ()
 - A) Homólogos
 - B) Alelos
 - C) Homocigotos
 - D) Cromosomas
- Para que un humano manifieste una enfermedad cuya herencia sea autosómica recesiva, debe ocurrir lo siguiente: ()
 - A) No padecerá la enfermedad si ninguno de los padres la padece
 - B) Recibir de la madre el alelo que determina la enfermedad
 - C) Recibir de cada padre el alelo que determina la enfermedad
 - D) Recibir del padre uno de los alelos que determina dicha enfermedad

4. Un granjero cruzó una vaca de pelaje rojo con un toro blanco, obteniéndose un becerro ruano (con una mezcla de pelos rojos y blancos). ¿Qué patrón hereditario explica este hecho? ()

- A) Dominancia y recesividad
- B) Dominancia incompleta
- C) Codominancia
- D) Herencia mezclada

5. El siguiente árbol genealógico corresponde a un caso de debilidad visual familiar. Determina a qué patrón hereditario corresponde este caso. ()



- A) Herencia poligenética
- B) Herencia ligada al cromosoma X
- C) Herencia autosómica dominante
- D) Herencia autosómica recesiva

6. La epistasis es un ejemplo de: ()

- A) Interacción entre un par de alelos con el mismo locus
- B) Interacción entre alelos de genes con locus diferentes
- C) Herencia ligada al cromosoma X
- D) Alelos múltiples

7. La fibrosis quística es una enfermedad autosómica recesiva, causada por una mutación en un único gen que codifica una proteína que interviene en el paso del cloro a través de las membranas celulares. Su deficiencia altera la producción de sudor, jugos gástricos y moco. Los órganos principalmente afectados son los pulmones, páncreas, hígado e intestinos. Esta enfermedad compromete al organismo en su totalidad y muestra su impacto sobre el crecimiento, la función respiratoria y la digestión. El anterior es un ejemplo de: ()

- A) Epistasis
- B) Penetrancia
- C) Pleiotropía
- D) Interacción génica

8. Al realizar un cruzamiento entre una mariposa de alas grises con otra de alas negras se obtuvo una descendencia formada por 63 mariposas de alas negras y 63 mariposas de alas grises. Posteriormente se cruzaron dos mariposas de alas grises, obteniéndose una descendencia formada por 30 mariposas blancas, 30 mariposas negras y 60 mariposas grises. Determina el patrón hereditario en este caso. ()

- A) Dominancia y recesividad
- B) Dominancia incompleta
- C) Codominancia
- D) Poligenia

9. Característica(s) determinada(s) por varios pares de alelos en los humanos, es decir es poligénica. ()

- A) El tipo de sangre
- B) El mentón partido
- C) El albinismo
- D) La estatura

10. Las siguientes características corresponden a los alelos de un mismo gen. ()

- a. Poseen exactamente la misma secuencia de nucleótidos
- b. Poseen pequeñas diferencias en su secuencia de nucleótidos
- c. Están ubicados en el mismo cromosoma
- d. Están ubicados en un par de cromosomas homólogos
- e. Ocupan el mismo locus
- f. Ocupan diferentes loci

- A) a, d, e
- B) b, d, e
- C) a, c, f
- D) b, c, e

Respuestas. 1. Respuesta: A/2. Respuesta: B/3. Respuesta: C/ 4. Respuesta: C/5. Respuesta: B/
6. Respuesta: B/ 7.Respuesta:C/8.Respuesta B/9.Respuesta: D/10.Respuesta:D.

Tema III: Variación genética y su importancia para la biodiversidad.**Subtema I: Mutación****Aprendizaje 1:**

El alumno

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

Conceptos básicos.

- Mutación
- Mutaciones génicas.
- Mutaciones cromosómicas.
- Mutaciones genómicas
- Variación génica

Habilidades básicas.**Actividad 1**

Instrucciones:

Realiza la lectura del texto y posteriormente resuelve los ejercicios. Es recomendable que busques información y amplíes tu conocimiento del tema en otras fuentes como libros o sitios especializados de internet.

MUTACIONES

Los procesos celulares que copian el material genético y lo transfieren de una generación a la siguiente son generalmente muy precisos. La precisión es importante para asegurar la continuidad genética de las células nuevas y de la descendencia. El DNA es una moléculas estable que tiene la facultad de mantener la información genética. Las alteraciones que se producen generalmente son corregidas a través de diferentes mecanismos de reparación; sin embargo, algunas veces ocurren errores en el material genético. En concreto, una mutación es cualquier cambio en la secuencia del DNA, sin importar sus resultados en el plano morfológico o fisiológico, y puede ser heredable.

El término heredable se refiere a que se transmite a las células hijas de aquella en que se ha producido la mutación, pero no necesariamente a los hijos del individuo afectado. Si la mutación ocurre en las células somáticas (autosomas) sólo afecta al individuo en que ha ocurrido; para que una mutación sea hereditaria debe afectar a las células germinales (reproductora o sexual) del individuo: sus hijos tendrán la anomalía en todas sus células si reciben del progenitor el DNA mutado.

Desde el punto de vista evolutivo, médico y genético es relevante establecer la importancia de las mutaciones. Desde el ángulo de la evolución, las mutaciones son la materia prima de los cambios que sufren los organismos. Además, se considera la fuente primaria de la variabilidad genética en las poblaciones, en tanto que la recombinación, al formar nuevas combinaciones a partir de las generadas por la mutación, es la fuente secundaria de variabilidad genética. Esto

quiere decir que si no hubiera mutaciones no habría adaptación de las especies ni variabilidad entre los individuos.

Las mutaciones son por lo general eventos que ocurren al azar o aleatoriamente, no es por definición algo negativo; al contrario, las mutaciones son imprescindibles para que se produzca la variabilidad genética que permite la acción de la selección natural y, por tanto, la evolución de los seres vivos.

Se sabe que muchos agentes ambientales también causan mutaciones (mutágenos), por ejemplo, la exposición a rayos X, la luz ultravioleta, sustancias radiactivas o ciertos químicos, pueden causar daños al DNA. Con frecuencia las mutaciones resultan en la esterilidad o en la carencia de desarrollo normal de un organismo.

TIPOS DE MUTACIONES

Las mutaciones pueden clasificarse de muchas formas distintas:

1. Por el **tipo de célula**

Depende del tipo de célula en la que ocurre la mutación:

- a) En **células somáticas** el cambio se presenta en cualquier tipo de célula y tejido del cuerpo, como hígado, estómago, páncreas, bazo. Estas mutaciones no se heredan.
- b) En **células de la línea germinal** ocurre cuando los gametos sufren la mutación, es decir, afecta a los óvulos y espermatozoides. Estas mutaciones sí pueden pasar a la descendencia. El nuevo organismo portará mutaciones en todas sus células somáticas y en las de la línea germinal.

2. Por el **nivel en que se realiza el cambio**

El cambio ocurre en el nivel de bases nitrogenadas (A, C, T, G), de genes o de cromosomas.

- a) **Puntuales o génicas** cuando el cambio se presenta en un solo par de bases en un gen, el resultado podría ser simplemente el cambio de un aminoácido de una proteína o la muerte prematura del individuo. Sin embargo, en la gran mayoría de los casos, las mutaciones puntuales no ocasionan ningún cambio significativo en el organismo, pues más de 60 % de la información no codifica ningún rasgo.

Según cambien las bases de posición pueden recibir distintos nombres:

- I. **Sustitución de bases** si el reemplazo ocurre entre bases del mismo tipo, es decir, si se intercambia, por ejemplo, una purina por otra purina (A - G) o una pirimidina por otra pirimidina (T - C), se denomina mutación de **transición**, pero si el intercambio se presenta de una purina a una pirimidina o viceversa, la mutación recibe el nombre de **transversión**.(cuadro 1)
- II. La **inserción** se presenta cuando se añade una base, cualquiera que ésta sea, entre dos bases originales.(cuadro1)
- III. La **delección** ocurre cuando hay pérdida de una base cualquiera.(cuadro 1)

TIPO DE MUTACIÓN	CONSECUENCIAS							
Sin mutación	DNA RNAm Proteína Símil lingüístico	GAT CUA Leu dos	GGT CCA Pro por	CGT GCA Ala dos	CAG GUC Val son	ACG UGC Cys más	TCT AGA Arg que	TGT ACA Thr uno
Transición	DNA RNAm Proteína Símil lingüístico	GAT CUA Leu dos	GGT CCA Pro por	CGT GCA Ala dos	CGG GUC Ala sen	ACG UGC Cys más	TCT AGA Arg que	TGT ACA Thr uno
Transversión	DNA RNAm Proteína Símil lingüístico	GAT CUA Leu dos	GGT CCA Pro por	CGT GCA Ala dos	CCG GUC Gly son	ACG UGC Cys más	TCT AGA Arg que	TGT ACA Thr uno
Inserción	DNA RNAm Proteína Símil lingüístico	GAT CUA Leu dos	GGT CCA Pro por	CGT GCA Ala dos	TAG AGU Ser ss	GAC UGC Leu nmá	GCT CAG Gln squ	TTG T AAC A Asn eun o
Delección	DNA RNAm Proteína Símil lingüístico	GAT CUA Leu dos	GGT CCA Pro por	CGT GCA Ala dos	CAG GUC Val son	ACT UGA Stop	CTT GAA	GT CA

Fig. 43. Tipos de mutaciones puntuales.

- b) **Cromosómicas** cuando el daño se manifiesta en algún segmento cromosómico, por tanto, hay cambios verificables en los genes dentro de un cromosoma, que pueden ser de los tipos siguientes:
- I. **Delección** cuando se pierde un fragmento de un cromosoma que forma parte de una pareja de cromosomas homólogos, y este fragmento es adquirido por el otro.
 - II. **Inversión** Una parte del cromosoma se puede separar, invertir y después unirse de nuevo al cromosoma en el mismo lugar.
 - III. **Duplicación** se duplica un fragmento de un cromosoma.

IV. Traslocación si un fragmento separado se une a un cromosoma distinto, o a un fragmento diferente del cromosoma original.

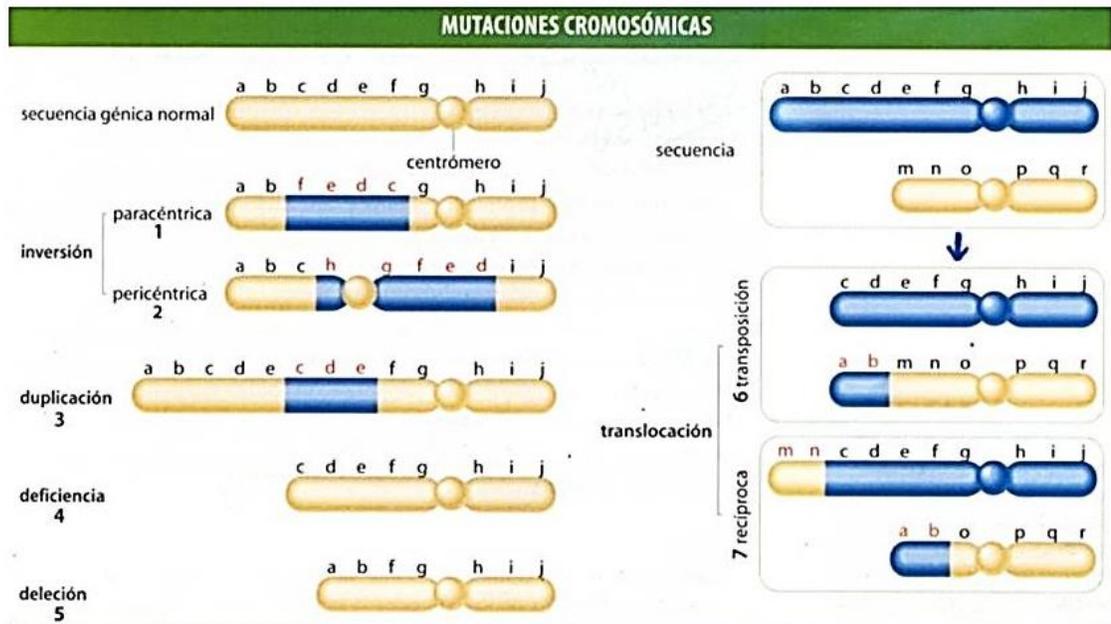


Fig. 44. Tipos de mutaciones cromosómicas

- c) **Genómicas** son cambios en la ploidía (número de cromosomas por célula). Los cambios genómicos pueden ser de dos tipos:
- I. **Euploidía**, si el genoma altera la dotación cromosómica completa pasando a contener un múltiplo del número haploide (n) de cromosomas ($3n$, $4n$, triploide y tetraploide respectivamente).
 - II. **Aneuploidía**, cuando las variaciones numéricas (aumento o disminución) afectan a uno o a algunos de los cromosomas de la dotación.

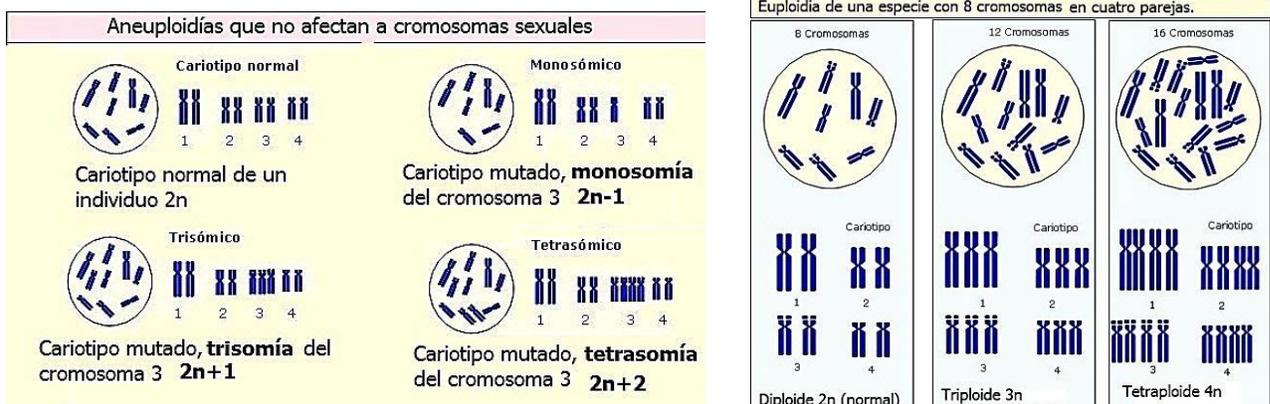


Fig. 45. Tipos de mutaciones cromosómicas.

3. Por su origen

Esta clasificación parte del criterio de si la mutación tuvo una causa física, química o se dio de manera natural.

- a) **Espontaneas** Son los cambios que se presentan en el material genético de modo natural, sin alguna razón aparente o justificada, es decir, sin que haya habido una causa clara.
- b) **Inducidas** Son originadas por factores externos, ya sean físicos o químicos, los cuales se conocen como agentes mutagénicos.

4. Por su efecto

Aquí se mide el daño ocasionado directamente en la proteína por dicho cambio. Incluye las siguientes mutaciones:

- a) **Con sentido** altera un codón y produce una proteína modificada que puede no funcionar o lo hace parcialmente. El efecto en el fenotipo puede observarse, como cambios en el color de los ojos, la pigmentación de la piel, el número de dedos o la falta de coagulación de la sangre.
- b) **Sin sentido** el cambio ocasiona un codón de paro, por lo que la transcripción se detiene antes de tiempo. Mientras la proteína sintetizada sea más pequeña respecto a la original, menos funcional será.
- c) **Silenciosa** ocurre cuando cambia una base, pero no se modifica el producto final, es decir, la proteína codificada originalmente al final será la misma. Esto sucede debido a que un mismo aminoácido puede ser codificado por distintos tripletes (código degenerado o redundante). Se llaman silenciosas porque no hay cambios tangibles al final de la síntesis de proteínas. Este tipo de mutaciones solo se probaría si se secuenciara el gen mutado.

Actividad 1.

Instrucciones:

Elabora un cuadro sinóptico en donde abordes la definición, origen, tipos, efectos y ejemplos de mutaciones.

Actividad 2.

Instrucciones:

Resuelve la siguiente sopa de letras encontrando los **12** conceptos relacionados con el tema de mutaciones. Luego haz un glosario colocando la definición de cada término.

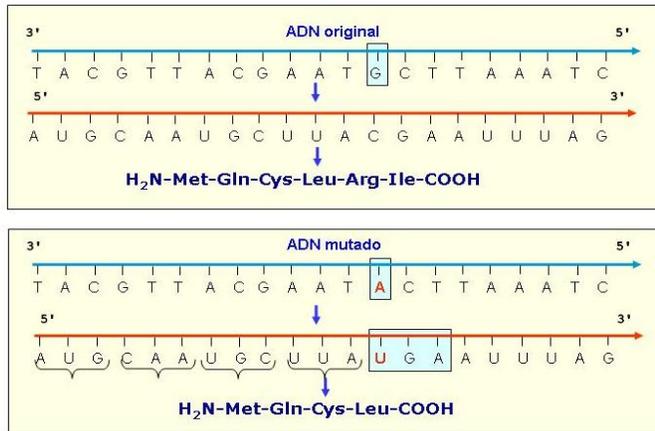
O	M	I	R	O	O	I	O	U	O	E	O	I	C	C	C	D	A	U
R	G	A	N	M	B	E	H	E	M	O	F	I	L	I	A	U	O	S
R	E	T	L	E	F	E	N	I	L	K	E	M	O	R	D	N	I	S
A	N	R	R	A	I	O	A	A	N	I	I	T	Z	B	O	M	S	O
C	O	M	S	E	C	I	D	M	N	N	A	E	O	A	M	U	C	R
I	M	A	C	O	N	M	I	H	B	G	E	R	D	A	A	I	I	S
M	I	G	N	R	O	R	D	H	E	G	I	C	I	T	N	U	W	I
O	C	N	E	I	C	N	U	D	I	D	D	C	A	E	D	E	A	N
S	A	C	T	N	I	A	O	T	R	A	S	P	G	E	E	O	L	D
O	L	L	U	A	I	D	B	A	E	E	E	A	E	A	I	A	B	R
M	K	M	O	T	I	C	E	I	I	M	T	E	U	O	R	O	I	O
O	A	M	D	L	A	O	A	N	O	U	O	M	D	A	C	M	N	M
R	N	N	L	E	O	E	A	R	M	T	N	R	A	R	I	G	I	E
C	D	U	O	O	M	O	D	E	C	G	I	A	D	B	S	I	S	D
U	A	D	D	E	A	N	E	R	N	I	A	C	E	N	T	J	M	O
M	I	D	M	M	I	I	M	W	O	J	E	M	O	P	I	C	O	W
E	R	O	E	S	I	C	I	A	A	N	O	I	L	S	E	S	I	N
D	S	C	O	E	O	L	O	D	A	L	T	O	N	I	S	M	O	L
O	A	U	A	B	I	O	T	I	C	O	S	N	L	S	E	I	O	E

Autoevaluación:

1. Este tipo de mutaciones implican cambios en el número de cromosomas: ()

- A) Puntuales
- B) Cromosómicas
- C) Genómicas
- D) Génicas

2. Identifica el tipo de mutación que se presenta en la figura siguiente: ()



- A) Por corrimiento en el marco de lectura
- B) Sin sentido
- C) De sentido erróneo
- D) Silenciosa

3. El síndrome de Down es un ejemplo de mutación: ()

- A) Puntual
- B) Genómica
- C) Silenciosa
- D) Cromosómica

4. Tipo de mutación en las que se produce un cambio en un par de nucleótidos provocando alteraciones en la secuencia de bases nitrogenadas en el DNA ()

- A) Mutación génica
- B) Mutación genómica
- C) Mutación cromosómica
- D) Mutación inducidas

5. Cuando se producen cambios mayores en el material genético donde las moléculas de DNA se ven dañadas por ruptura y/o unión provocando que más de un gen se vea afectado se conocen como: ()

- A) Mutación génica
- B) Mutación genómica
- C) Mutación cromosómica
- D) Mutación inducidas

Respuestas. 1. Respuesta: C/2. Respuesta: B/3. Respuesta: B/ 4. Respuesta: A/5. Respuesta: C.

Tema III: Variación genética y su importancia para la biodiversidad.**Subtema II: Recombinación génica****Aprendizaje 2:**

El alumno

Comprende que la recombinación en procariotas y eucariotas genera distintas alternativas que aumentan la variación génica.

Conceptos básicos.

- Recombinación génica
- Transducción
- Transformación
- Conjugación
- Cromosomas homólogos
- Quiasma o entrecruzamiento
- Meiosis

Habilidades básicas.

- Búsqueda de información impresa, digital, otros formatos (videos, audios).
- Planteamiento de problemas o cuestionamientos.
- Planeamiento de hipótesis.
- Identificación y manejo de variables.
- Tratamiento información y datos obtenidos.
- Comunicación verbal y escrita del trabajo realizado.

Actividad 1

Instrucciones: Revisa el texto y realiza las actividades que se te solicitan.

¿Promiscuidad, sustitución o sólo intercambio de información?

Habitualmente los genomas son contemplados como algo estático, que sólo cambia con el lento ritmo de la evolución. Los genomas evolucionan tanto adquiriendo nuevas secuencias como reorganizando las secuencias preexistentes. La importancia evolutiva de la recombinación genética se nota en que al observar a los individuos de una población cualquiera, de los dos millones de especies que existen en la tierra aproximadamente, no hay dos individuos exactamente iguales, sino que cada uno es diferente a los demás de su misma especie, cada individuo es un ejemplar único. Por lo tanto la recombinación genética es una de las causas de la gran variabilidad de los seres vivos.

La recombinación genética se produce con el intercambio físico de regiones entre moléculas de DNA que son correspondientes entre sí. Sin la recombinación genética, cada cromosoma mantendría de forma invariable su conjunto particular de alelos, que sólo podría cambiar por mutación. Además de que las mutaciones deletéreas se acumularían y acabarían por eliminar al cromosoma y con él a cualquier mutación favorable que pudiera haberse producido. La recombinación "*baraja los genes*" y permite que las mutaciones favorables y desfavorables puedan separarse y ensayarse individualmente en nuevas combinaciones alélicas. Desde una

perspectiva evolutiva, a largo plazo, un cromosoma genéticamente tiene un estado pasajero, es decir, una asociación temporal de alelos determinados.

La recombinación es el proceso por el cual se forman nuevos genotipos a través intercambio del material genético entre dos cromosomas homólogos. Este tipo de **cromosomas homólogos** tienen genes similares en sitios correspondientes. Sin embargo los genes, aunque son similares no son necesariamente idénticos. La recombinación tiene lugar entre secuencias que se corresponden, de modo que el proceso no añade ni elimina ningún par de bases en los cromosomas recombinantes. La recombinación genética tiene el efecto de incrementar la diversidad de las combinaciones genéticas de los cromosomas de la población, produciendo así su diversidad y aumentando de esta forma las probabilidades de supervivencia en una ambiente cambiante.

Recombinación génica en células eucariontes: un proceso de intercambio de información

La recombinación en células eucariontes implica un intercambio entre secuencias homólogas de DNA, durante el proceso de la meiosis. Durante el cual se observa una estructura llamada **quiasma**, como resultado de un proceso de ruptura y reunión en el que dos cromátidas hermanas (cada una formada por una cadena doble de DNA) son cortadas. La ruptura permite que los extremos libres generados puedan moverse libremente y cada cadena abandona a su compañera y se empareja con su complementaria en su cadena correspondiente.

El proceso general de recombinación génica a nivel de meiosis es el siguiente:

1. En la meiosis, en la **profase I** para ser más específico, es el momento de reacomodos genéticos importantes. Como ejemplo se muestran dos cromosomas homólogos uno paterno y otro materno con los alelos "a" y "b" en un cromosoma y con los alelos "A" y "B" en otro, aunque se muestran solo un par de cromosomas debe tenerse en cuenta que esto puede ocurrir en todos los cromosomas. Mediante interacciones moleculares, los cromosomas homólogos se juntan en todos sus puntos de longitud (figura 1a), dejando poco espacio entre ellos.
2. Este arreglo paralelo y cercano favorece el **entrecruzamiento o "cross-over"**, entre **cromátidas no hermanas**, es decir, la interacción molecular ocurre entre una cromátida del cromosomas homólogo paterno con el materno (Figura 1b).
3. Posteriormente los cromosomas comienzan a separarse excepto en los sitios donde físicamente se entrecruzan. Estos sitios se llaman **quiasmas** (Figura 46c).
4. ¿Cuál es la función del entrecruzamiento? Las regiones de las cromátidas de los cromosomas se rompen en los mismos sitios de unión y en esos mismos puntos de ruptura se intercambian segmentos correspondientes, es decir, genes. El entrecruzamiento rompe las viejas combinaciones de alelos y coloca otras nuevas combinaciones en los pares de cromosomas homólogos que serán heredados (Figura 47d) el resultado es la recombinación genética (observa las secuencia de alelos en cada cromátida).

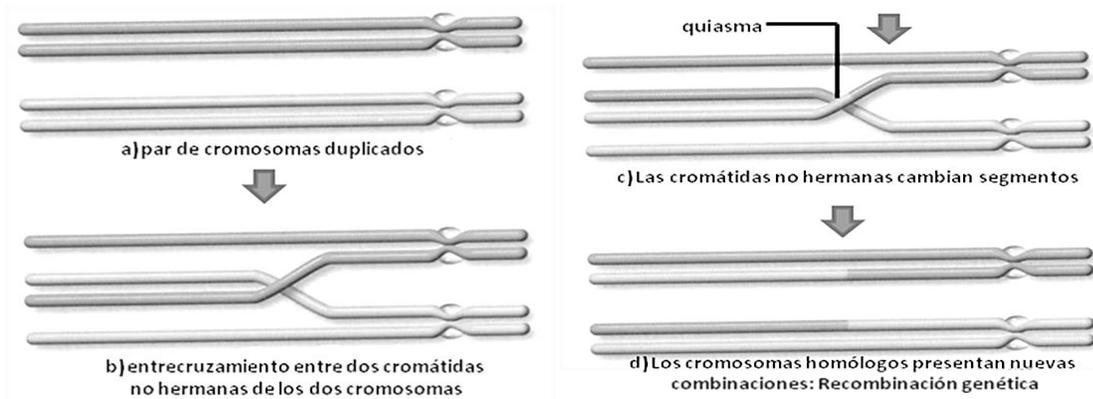


Fig. 46. Esquema que representa cómo ocurre el proceso de entrecruzamiento durante la recombinación genética en células eucariotas

Aunque la meiosis está limitada a los eucariotas, la ventaja de este tipo de intercambio de genes es tan grande que el apareamiento y reordenación de los genes mediante la recombinación genética, que también se ha identificado en los organismos procariontes.

Recombinación genética en células procariontes: procesos de sustitución

En 1946 Joshua Lederberg y Edward Tatum iniciaron estudios sobre la disposición de los genes en bacterias, demostraron que en la bacterias ocurre la **conjugación**, proceso mediante el cual la información genética de una bacteria se transfiere y recombina con la información de otra bacteria (Klug, 2013). El término *recombinación*, cuando se aplica a bacterias y bacteriófagos (virus de bacterias), da lugar a la sustitución de uno o más genes presentes en una cepa A por los de una cepa B, por tanto son genéticamente distintas. Aunque difiere del concepto de recombinación genética en eucariotes, el efecto global es el mismo: la información genética de un cromosoma se transfiere a otro, modificando el genotipo original.

¿Cómo sabemos si la recombinación genética en bacterias implica un contacto célula a célula?

A los descubrimientos de Lederberg y Tatum le siguieron numerosos experimentos relacionados a clarificar las bases genéticas de cómo las bacterias intercambiaban material genético. Se encontró que las cepas bacterianas estaban implicadas en una transferencia unidireccional de material genético. Cuando las células servían de donantes de cierto segmento de su cromosoma se denominaron como células F^+ (F de "fertilidad"); y las bacterias que recibían el material cromosómico que recombinan con parte de su propio cromosoma, se denominaron células F^- .

Para demostrarlo Bernard Davis diseñó un tubo en U (Figura 47), en la base del tubo había un filtro de porcelana con un tamaño del poro que permitía el

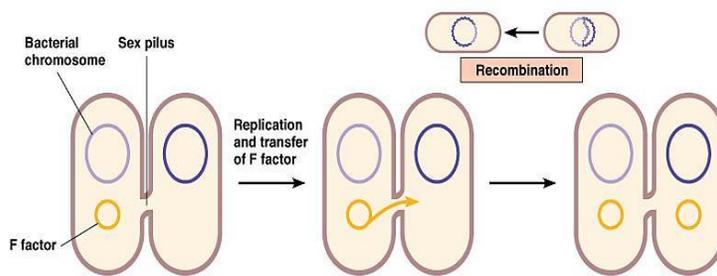


Fig. 47. Esquema que representa cuando un factor "F" (plásmido) es transferido de un donador (F) a un receptor (F), la célula F⁻ es convertido en una célula F⁺.

paso del medio líquido, pero era demasiado pequeño para permitir el paso de las bacterias. En el tubo Davis incubó cepas auxótrofas (mutantes nutricionales) que crecen sólo con metionina (met^-) denominándolas como cepa A y; por otro lado cepas auxótrofas B que crecen sólo con treonina (thr^+).

A las células de la cepa A se le denominó como células F^+ que se situaron a un lado del filtro y a las células de la cepa B se les denominó F^- que fueron sembradas en el lado opuesto. En una segunda parte del experimento, ambas cepas fueron colocadas en un mismo tubo de incubación por breves minutos, para posteriormente ser sembradas en medios de cultivo con requerimientos opuestos, es decir, las bacterias de la cepa A en medio $met^- thr^+$ y las cepas B en un medio $met^+ thr^-$; crecieron en ambos casos. Ahora se sabe que la interacción física es esencial para el proceso de la conjugación y se realiza mediante un tubo de conjugación denominado pilus F (pilus sexual) a través del cual es transmitido el factor F, conocido como plásmido (DNA circular) (Klug, 2013).

Los ratones de Griffith y la sustitución de información génica por adquisición

Procesos como la transformación y la traducción, también dan lugar a la transferencia de información genética de una bacteria a otra. Los cuales se describen en los siguientes párrafos.

La conclusión de los trabajos de Griffith y los que seguirían después por Avery, MacLeod y McCarty fue el fenómeno que se determinó como **transformación**. La transformación, ocurre cuando “trozos” pequeños de DNA extracelular se incorpora a una bacteria, dando lugar a un cambio genético estable en la célula receptora (Figura 48).

Serotipo	Morfología colonial	Cápsula	Virulencia
IIR	Rugosa	Ausente	Avirulenta
IIIS	Lisa	Presente	Virulenta

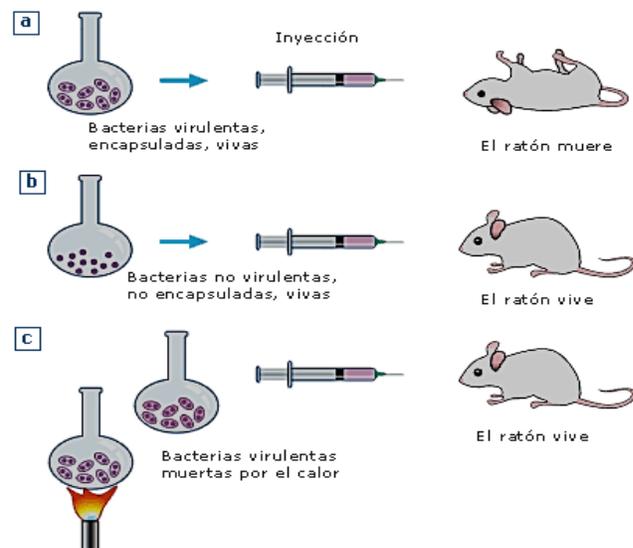


Figura 48. Esquema que representa los experimentos y resultados de Griffith, que seguirían después por Avery, MacLeod y McCarty.

Los dos resultados básicos de la transformación son: a) la entrada de DNA foráneo en la célula receptora y, b) sustitución de DNA homólogo de la célula receptora por el DNA foráneo (DNA de otra cepa bacteriana por ejemplo cepa *B*). Mientras que el cumplimiento de ambos resultados da lugar a la recombinación, el primer paso de la transformación no se puede dar sin el segundo paso.

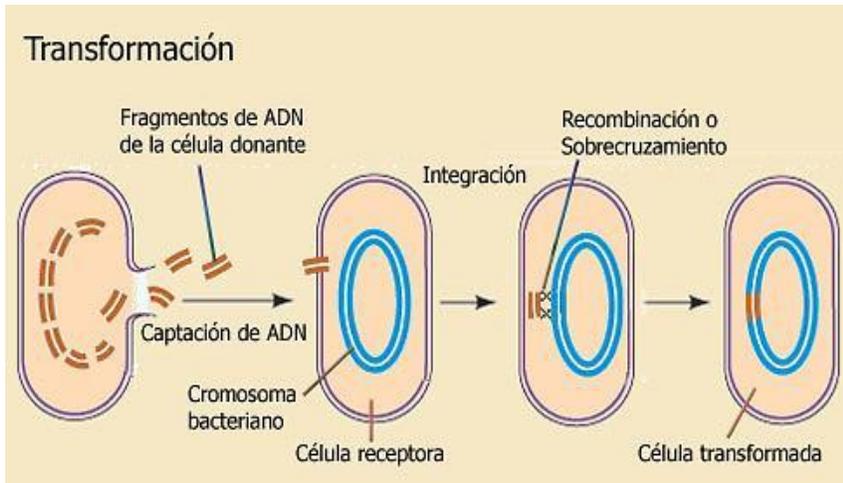


Figura 49. Esquema que representa la adquisición de material genético exógeno o foráneo por una célula donante (bacteria A), que es captado e integrado al DNA circular de una célula receptora (bacteria B), que será recombinante cuya consecuencia es la transformación de la célula.

La entrada de este DNA exógeno, se cree es a través de pocos receptores de la célula bacteriana, proceso que requiere de energía y moléculas transportadoras. Después de la entrada del DNA a la célula competente (cepa A), la enzima nucleasa corta una de las dos cadenas del DNA, dejando que sólo una participe en la transformación. La cadena de DNA que no fue cortada (DNA transformante de la cepa B), se alinea a una región complementaria que reconozca en el cromosoma bacteriano de la célula huésped (cepa A). Ese DNA transformante se combina con el cromosoma del huésped, reemplazando su región complementaria u homóloga; formándose así DNA de doble cadena. Después de la división celular, se tiene una célula transformada (DNA bacteriano cepa A + DNA foráneo o transformante cepa B) y otra no transformada (DNA bacteriano cepa A) (Figura 49).

¿Cómo los virus bacterianos se transforman en vectores?

En 1952, Norton Zinder y Joshua Lederberg estaban investigando la posible recombinación en la bacteria *Salmonella typhimurium* y sus resultados revelaron que la recombinación no era por la presencia de un factor F; descubriendo que la recombinación bacteriana es a través de un bacteriófago (fago), proceso que se le denominó como **transducción**.

El proceso que se esquematiza en la figura 50, indica que una vez que el DNA de un fago es inyectado al interior de una bacteria, este produce la destrucción del DNA de la bacteria que está infectando pero se promueve la síntesis de replicación de DNA viral. Con información genética viral, se comienza a realizar la transcripción y traducción para la formación de nuevos componentes proteicos del fago; una vez ensamblados (DNA viral + complejos proteicos) provocan la lisis (ruptura) de la bacteria y son liberados.

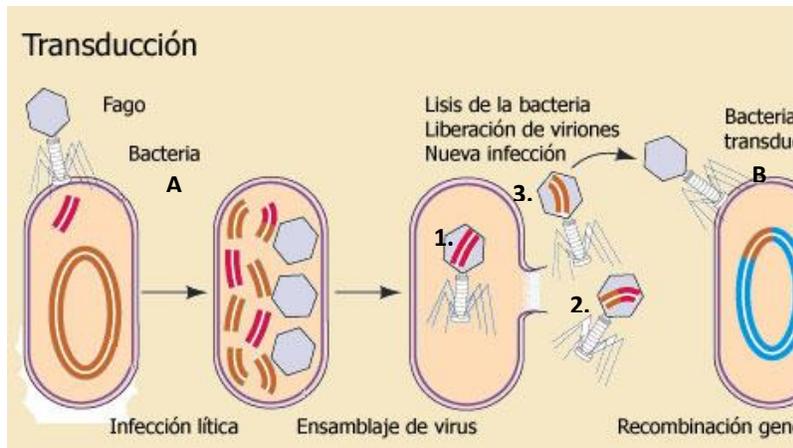


Figura 50. Esquema que representa la formación de nuevos virus con “tres” opciones de material genético: 1. Fago con DNA viral. 2. Fago con DNA viral + DNA de la bacteria A. 3. Fago con DNA de la bacteria A. Según la imagen, este último, infecta a la bacteria B y el DNA se recombina con el material genético de la segunda bacteria (B).

Pero durante en ocasiones hay una pequeña pieza del DNA bacteriano que se empaqueta junto con el cromosoma vírico a la hora de la formación de más bacteriófagos, a lo que se le denomina la transducción especializada, esto es, el DNA del fago se excluye en la formación de nuevos virus y sólo se empaqueta DNA bacteriano.

En esta transducción generalizada, cuando un fago infecta a otra bacteria inyectado DNA bacteriano en lugar de su DNA vírico, éste DNA puede quedar en el citoplasma o recombinar en la región homóloga de un cromosoma bacteriano. Si el DNA bacteriano permanece en el citoplasma, no se replicará pero será transmitido a una de las células de la descendencia después de cada división que realicen. En el otro caso, si el DNA recién ingresado reconoce una región homóloga del cromosoma huésped y se recombina, podrá integrar al cromosoma y replicarse, transmitiendo la información a todas las células hijas (Klug, 2013).

Actividad 1

Recombinación en células eucariontes

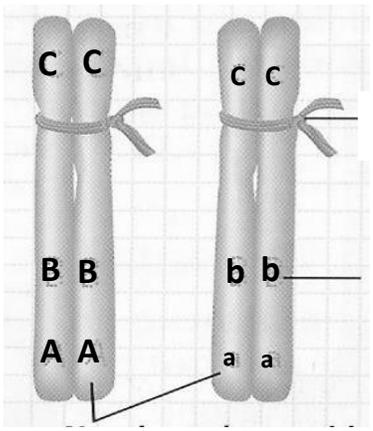
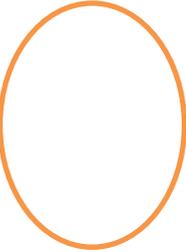
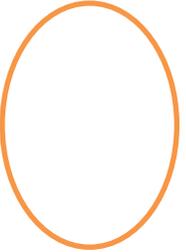
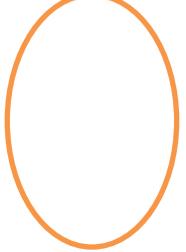
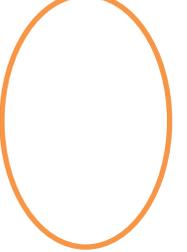
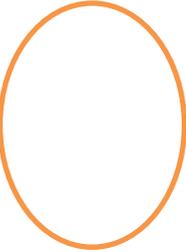
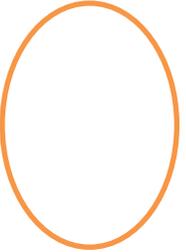
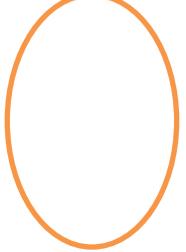
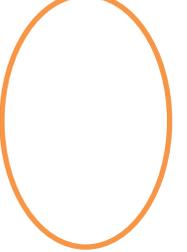
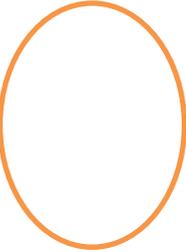
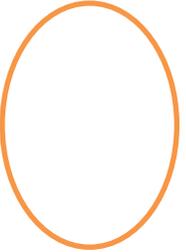
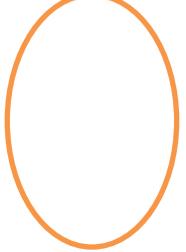
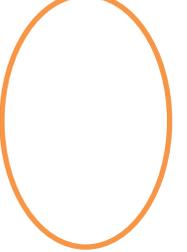
Instrucción. Con apoyo de la información del texto anterior, esquematiza el entrecruzamiento que ocurre durante la recombinación génica en células eucariontes. Para ello, lee los siguientes puntos.

Situación

Un científico estudiando con células, justo en el proceso de meiosis en la profase I, identifica tres alelos que determina con la simbología: A, B y C. Según sus resultados, el alelo A determinaba una semilla alargada y el alelo B, la característica rugosa de dicha semilla. En el conocimiento de dichos alelos, identifica regiones homólogas en el alelo A. ¿Cómo representarías la recombinación génica en estas regiones homólogas?

1. Desarrollo para realizar dicha representación:

- En el recuadro **A** resalta con color rojo el contorno del cromosoma metafásico que presenta los alelos dominantes. Y con color azul, el contorno del cromosoma metafásico que presenta alelos recesivos.
- En el recuadro **B** esquematiza un entrecruzamiento entre las regiones homólogas.
- Con color amarillo encierra el sitio dónde se formó el quiasma.
- En el recuadro **C** esquematiza cómo quedarían los cromosomas después de la meiosis, cromosomas ubicados en las cuatro posibles tipos de gametos. Para ello utiliza la misma clave de color señalado en el primer punto.

<p>A)</p> <p style="text-align: center;">2 cromosomas con cromátidas</p>  <p style="text-align: center;">cromátidas no hermanas</p>	<p>B)</p>												
<p>C)</p> <table style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td style="width: 25%;">Gameto 1</td> <td style="width: 25%;">Gameto 2</td> <td style="width: 25%;">Gameto 3</td> <td style="width: 25%;">Gameto 4</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Cromosoma resultante 1</td> <td>Cromosoma resultante 2</td> <td>Cromosoma resultante 3</td> <td>Cromosoma resultante 4</td> </tr> </table>		Gameto 1	Gameto 2	Gameto 3	Gameto 4					Cromosoma resultante 1	Cromosoma resultante 2	Cromosoma resultante 3	Cromosoma resultante 4
Gameto 1	Gameto 2	Gameto 3	Gameto 4										
													
Cromosoma resultante 1	Cromosoma resultante 2	Cromosoma resultante 3	Cromosoma resultante 4										

Con los datos anteriores ¿qué resultados obtendrías en la semilla si existiera la posibilidad de que los cuatro gametos fecundaran?

Actividad 2

Recombinación en células procariontes

Instrucción. Con apoyo de la información del texto anterior, lee las siguientes preguntas y responde lo que se te indica.

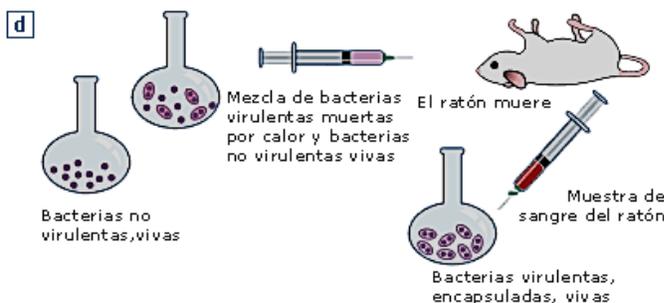
Sobre el experimento realizado por Davis con bacterias auxotróficas señalado en el texto, explica, por qué se obtuvieron los siguientes resultados.

Características del medio	Crecimiento
<i>met⁻ thr⁺</i>	Bacterias de la cepa A
<i>met⁺ thr⁻</i>	Bacterias cepas B

Explicación de los resultados:

¿Qué conclusiones obtendrías de dicho experimento?

La imagen siguiente ejemplifica los resultados del experimento de Griffith, explica ¿por qué la “mezcla” de bacterias virulentas y no virulentas ocasionó la muerte del ratón?



6. ¿Qué conclusiones obtendrías del experimento de Griffith?

7. Bajo el caso hipotético donde el resultado de un experimento fuera una generación de bacteriófagos con ciertas características (ver imagen lateral). ¿Cuál sería tu conclusión sobre la participación de dichos bacteriófagos en la transducción y en el ciclo viral?

Virus con DNA bacteriano



Resumen sobre recombinación génica

Instrucción. Con la finalidad de recapitular la información completa el siguiente cuadro comparativo, donde destaques cinco diferencias y semejanzas entre la recombinación génica de células eucariontes y procariontes.

Diferencias	Semejanzas
1.	1.
2.	2.
3.	3.

4.	4.
5.	5.

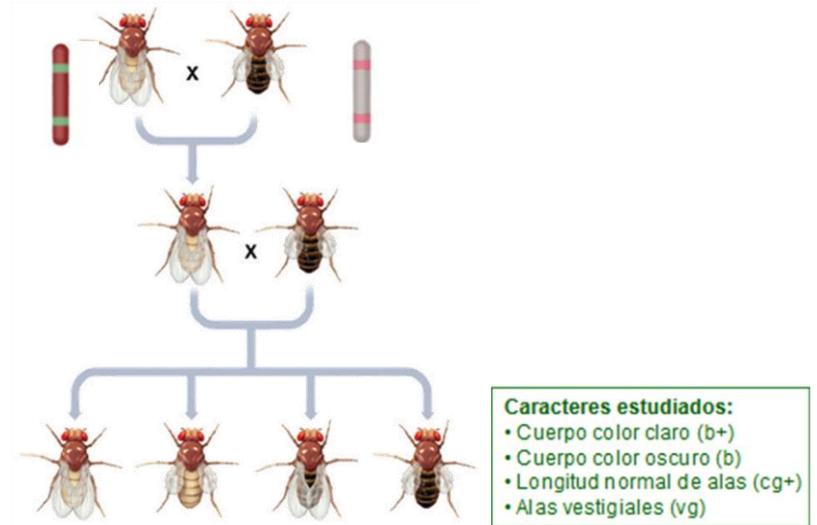
Actividad 3

Los experimentos

Instrucción. A continuación se presentan dos experimentos relacionados al tema de recombinación genética, lee la información y responde lo que se te indica.

Experimento 1

En un laboratorio de genética se realizaron algunas cruces entre individuos de la especie *Drosophila melanogaster*. En la imagen de la derecha se encuentra esquematizadas las cruces y los resultados de las mismas.

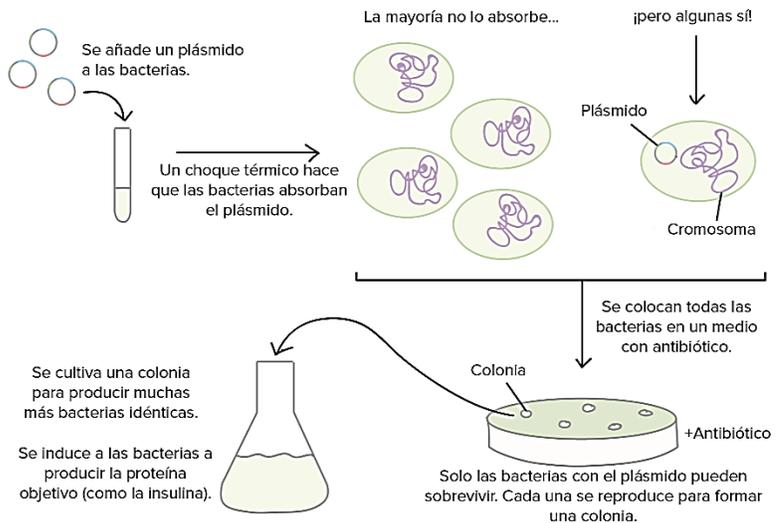


Para análisis de la información:

1. ¿Cuáles serían los hechos del experimento?
2. ¿Qué pregunta que establecerías sobre los resultados de la segunda generación?
3. ¿Cómo explicarías los resultados de la segunda generación: a) moscas de alas vestigiales y cuerpos claros. b) moscas de longitud normal de alas y el cuerpo oscuro?
4. ¿Qué conclusiones obtendrías sobre el experimento 1?

Experimentación 2

Como parte de un trabajo de investigación experimental cuya finalidad era la producción de una proteína, insulina, se cultivó una colonia de bacterias. De lado izquierdo está la representación del método empleado.



Sobre los datos de la imagen:

5. De los dos grupos de bacterias, aquellas que logran absorber el plásmido (minoría) y aquellas que no logran absorber (mayoría), ¿cuál es el grupo de bacterias que sobrevive en el medio con antibiótico?
6. ¿Cómo fundamentarías que haya un número importante de bacterias que logran sobrevivir en el medio de cultivo con antibiótico?
7. ¿Cómo demostrarías que en la población de bacterias está sucediendo recombinación genética?
8. ¿Qué conclusiones obtendrías sobre el experimento 2?

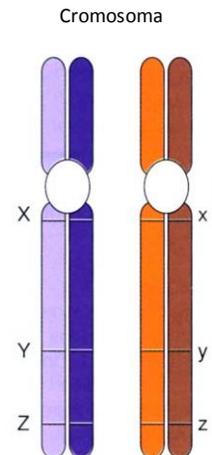
Autoevaluación.

1. Las conclusiones de un experimento señalan: *“existen secuencias de DNA que se corresponden, pero no necesariamente de forma idéntica, de modo que no se añade ni elimina ningún par de bases en los cromosomas resultantes, obteniéndose nuevo material genético, ya sea de forma recíproca o por sustitución de genes de dos organismos distintos”*. ¿A qué proceso de variación genética se está refiriendo? ()

- A) Sexo
- B) Mutación
- C) Flujo génico
- D) Recombinación génica

2. Sobre los datos de la imagen de la derecha ¿cuál sería el resultado de la recombinación genética en cromosomas eucariontes con homología en los alelos cuya simbología es X y Z? ()

- A) Cromosoma 1: x, Y, Z; Cromosoma 2: X, y, z
- B) Cromosoma 1: X, y, z; Cromosoma 2: x, Y, Z
- C) Cromosoma 1: x, Y, z; Cromosoma 2: X, y, Z
- D) Cromosoma 1: X, y, z; Cromosoma 2: x, Y, Z



3. Dentro de las poblaciones de organismos procariontes se distinguen algunos hechos. Las bacterias pueden tener contacto entre sí, independientemente si pertenecen o no a la misma especie. Incluso se ha documentado que la interacción de las bacterias puede ser con elementos genéticos externos, que sin duda pueden contribuir en su sobrevivencia. Finalmente, las bacterias también establecen relaciones con los virus que las infectan, que en ocasiones provocan la lisis o ruptura de la misma célula. En el orden en el que aparecen los hechos descritos ¿qué procesos de recombinación genética se han originado? ()

- A) Transformación, conjugación, transducción
- B) Conjugación, transducción, transformación
- C) Transducción, transformación, conjugación

D) Conjugación, transformación, transducción

4. En un experimento se utilizaron tres cepas bacterianas, los resultados aparecen en la siguiente tabla. Si el DNA donante fuera $c^- d^+$ ¿Cuáles serían los resultados, es decir, el receptor y la célula transformada? ()

Donante de DNA	Receptor	Transformantes
$a^- b^+$	$a^+ b^-$	$a^+ b^+$
$b^- d^+$	$b^+ d^-$	$b^+ d^+$
$c^- d^+$	---	---

- A) $c^+ d^-; c^+ d^+$
- B) $c^- d^+; c^+ d^+$
- C) $c^+ d^+; c^- d^+$
- D) $c^- d^-; c^+ d^-$

Respuestas. 1. Respuesta: D/2. Respuesta: C/3. Respuesta: D/ 4. Respuesta: A/.

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

Subtema III: Flujo génico

Aprendizaje 3:

El alumno

Analiza el papel del flujo génico como factor de cambio en la frecuencia de alelos de las poblaciones.

Conceptos básicos.

- Flujo génico
- Población
- Migración
- Transferencia genética
- Frecuencia alélica
- Acervo o poza génica

Habilidades básicas.

- Capacidad de síntesis de la información.
- Identificación de información válida y útil.
- Procedimientos para el análisis y resolución de problemas.

Actividad 1

Instrucciones:

Lee la siguiente información. Subraya las ideas que consideres más relevantes del tema. De acuerdo con las ideas principales que hayas investigado, elabora un resumen estilo Twitter clásico, es decir, un resumen con más de 5 y menos de 10 frases, cada una con menos de 140 caracteres.

Flujo Génico⁵

El flujo génico es cualquier desplazamiento de genes desde una población hasta otra. El flujo génico incluye multitud de sucesos diferentes, como por ejemplo el polen que es transportado por el aire hasta un nuevo destino y fertiliza los óvulos de plantas distantes, o las personas que se trasladan a otra ciudad o país, residen un tiempo y se reproducen en ese lugar. Entonces para que ocurra el flujo génico es necesario que algunos genes sean transportados hasta una población donde no existían previamente. En este contexto, el flujo génico puede ser una fuente muy importante de variabilidad genética.

En la actualidad, el objetivo que persigue la genética, desde la perspectiva evolutiva, es comprender el papel que las diferentes fuerzas tienen en la evolución de caracteres fenotípicos. Las principales fuerzas reconocidas como parte de los procesos que explican la evolución de los organismos vivos son la selección natural, la deriva génica, la mutación, la recombinación y el flujo génico.

Siempre que hay movimiento de genes de una parte del área de distribución de una especie a otra, hay flujo génico y los genes se ven sujetos a las fuerzas evolutivas existentes. Un tipo de flujo génico opera cuando individuos de una población se mueven a otra, por eso desde la perspectiva de la genética de poblaciones se ha identificado al flujo génico como similar, semejante o correspondiente a la migración. En tanto movimiento de genes de una localidad a otra, hay diferentes tipos de flujo, ya que puede ser la movilidad de organismos de un lugar a otro que llevan sus genes a otras áreas de distribución, con relativa frecuencia (especies migratorias estacionales, como ballenas, antílopes, mariposas monarcas); otra forma de flujo génico ocurre cuando existen poblaciones estables que persisten durante largos periodos de tiempo relativamente aisladas y en algún momento ocurren episodios de intercambio con otras poblaciones que presentan movilidad (pero que no es una constante estacional por ejemplo nuevas colonizaciones de islas empleando un transporte físico –viento, troncos a la deriva– o biológico –plumaje de aves, moluscos adheridos a ballenas–). Existen otros tipos de flujo génico, por ejemplo los que ocurren cuando se establecen poblaciones nuevas a partir de poblaciones que se redistribuyen en una región (por ejemplo parásitos que se transmiten entre hospederos – ácaros, nematodos, etc.).

En muchas especies, incluyendo malezas y especies parásitas, las poblaciones no persisten durante largos periodos de tiempo; por el contrario, hay una extinción constante de poblaciones y una colonización por nuevas poblaciones. El flujo génico puede ocurrir durante la colonización

⁵ Piñero, D., et al. 2008. La variabilidad genética de las especies: aspectos conceptuales y sus aplicaciones y perspectivas en México, en Capital natural de México, vol. I: Conocimiento actual de la biodiversidad. Conabio, México, pp. 415-435

por nuevas poblaciones, por ejemplo durante las migraciones de poblaciones específicas, porque los genes de una población que ha colonizado recientemente un área pueden ser una mezcla de los genes de otras dos poblaciones o más. Durante la expansión geográfica de una especie también hay flujo génico.

El flujo génico tiende a reducir las diferencias genéticas entre poblaciones locales, consecuentemente incrementa la variación de la poza génica de una población (se entiende por poza génica al acervo genético de las poblaciones de una especie). De esta manera, si existe flujo génico, habrá mayores probabilidades de contar con diferentes alelos en diferentes localidades, lo cual incrementa la variación intrapoblacional (entre los individuos, al interior de las poblaciones), pero disminuye la variación interpoblacional (entre las distintas poblaciones de la especie).

La dificultad teórica de decidir la importancia relativa del flujo génico en cada especie, no ha impedido que los biólogos evolucionistas argumenten acerca de la importancia global del flujo génico. Como en la mayoría de las áreas de la biología evolutiva, también en este tema existen dos opiniones extremas. La primera de ellas es que el flujo génico es una fuerza importante en casi todas las especies. Ernest Mayr, en su libro *Especies animales y Evolución* (1963), sostiene que el flujo génico entre las poblaciones de una misma especie, provoca que éstas estén generalmente ligadas entre sí y conformen una sola unidad evolutiva. Mayr argumentaba que la interrupción del flujo génico es el primer paso hacia la formación de especies distintas, lo que constituye la teoría de “especiación alopátrica”. En este sentido, Mayr continuaba la tradición de Darwin, quien enfatiza la importancia del aislamiento para la formación de nuevas variedades y de nuevas especies. En libros posteriores, Mayr ha cambiado de opinión, pero aún se pronuncia a favor del flujo génico.

La visión contraria sostiene que el flujo génico no es importante para determinar las frecuencias génicas de la mayoría de las poblaciones, en casi todas de las especies. En 1969 Paul Ehrlich y Peter Raven⁶ publicaron un artículo trascendente en *Science*, en el que se manifestaban en contra de lo que en aquel tiempo era la visión ortodoxa de Mayr. Ehrlich y Raven afirmaban que la mayoría de los trabajos de campo demostraban que era poco frecuente que los individuos se dispersaran distancias largas, demasiado raro como para que el flujo génico causado por la dispersión fuera importante.

El ejemplo de la mariposa *Euphydryas editha*, que Ehrlich ha estudiado extensivamente, fue uno de los que utilizaron en su artículo. Ehrlich estudió varias poblaciones de esta mariposa y encontró que, aun cuando las mariposas tenían la capacidad de volar a grandes distancias, raramente se movían de una población a otra que se encontraba a solamente 100 m de distancia. Además, encontró que las épocas reproductivas eran distintas entre las poblaciones y esto impedía que las mariposas que lograban llegar a otras poblaciones se reprodujeran. Con base en estas observaciones Ehrlich concluyó que en esta especie, que se encuentra en gran parte del Suroeste de los Estados Unidos, el flujo génico no podría ser importante en lo absoluto.

La pregunta de qué tan importante es el flujo génico en las poblaciones naturales es interesante en sí misma e importante en el estudio de la genética y la evolución. Aunque las respuestas aun

⁶ Ehrlich, P., & Raven, P. (1964). Butterflies and Plants: A Study in Coevolution. *Evolution*, 18(4), 586-608. doi:10.2307/2406212

no son contundentes para una u otra visión. Lo que sí es evidente, es que el flujo génico, es una fuente de variación indiscutible en las poblaciones naturales.

Actividad 1.

Resumen con 10 frases de menos de 140 caracteres.

Actividad 2.

Instrucciones.

Responde las siguientes preguntas. Puedes guiarte con la información del texto, pero se te sugiere buscar información complementaria y seleccionar aquella que sea útil para responder al aprendizaje, es decir, la referente a analizar al flujo génico como factor de cambio en las poblaciones:

1. ¿En qué consiste el flujo génico?
2. ¿De qué manera afecta el flujo génico a la variación inter e intrapoblacional?
3. ¿Por qué se considera que el flujo génico es más la regla que la excepción en las poblaciones naturales?
4. ¿A qué se refiere la poza génica y qué efecto tiene el flujo génico en ésta?

Actividad 3.

Instrucciones.

Revisa los casos siguientes y responde.

A) Sobre un mapa de la Península Ibérica se simbolizan todos aquellos casos de flujo génico entre taxones del género *Armeria* que se han podido detectar por medio de datos morfológicos, ecológicos y biogeográficos. De acuerdo con la información disponible, la hibridación, entendida en el sentido de Stebbins, da lugar a diferentes situaciones dependiendo, entre otros factores, de la persistencia del flujo y del valor adaptativo de los genotipos originados. Dichas situaciones van desde los casos en que el flujo es puramente esporádico hasta aquéllas en que tiene un claro significado adaptativo y ha conducido a la formación de razas hibridógenas.

1. Cuando se indica que se simbolizan los casos de flujo génico entre taxones del género *Armeria*, ¿se refiere a?
a) Poblaciones b) Especies c) Familias
2. ¿La persistencia del flujo puede entenderse como?
a) Flujo constante de información genética entre las especies
b) Flujo ocasional de información genética debido a factores diversos
c) Flujo genético inexistente entre individuos de las distintas poblaciones

3. ¿Si se forman razas híbridógenas se considera que?

- a) El flujo génico es casi nulo y produce variedades adaptadas
- b) El flujo génico es muy frecuente y produce variedades adaptadas
- c) El flujo génico es poco frecuente y causa variedades inadaptadas

B) En una investigación antropológica, se estudió la diferenciación temporal y la divergencia genética entre los períodos Formativo (300 a. C–400 d. C), Tiwanaku (400 d. C–1000 d.C.) y Desarrollo Regional (1000 d. C–1470 d.C.) del grupo inhumado en el ayllu de Quito de San Pedro de Atacama (Norte de Chile), con el fin de conocer la existencia de cambios biológicos asociados con los períodos o fases del desarrollo cultural de la región. La muestra estuvo representada por 326 individuos provenientes de diferentes sitios o sectores del yacimiento. Para evaluar las diferencias fenotípicas entre períodos se emplearon 37 caracteres métricos del cráneo y un conjunto de procedimientos de análisis estadístico uni y multivariado. En el marco de la teoría genética de los caracteres cuantitativos se espera que el parentesco de cada período junto con la varianza fenotípica, fluctúen de acuerdo con el tamaño efectivo y el aporte migratorio desde regiones próximas y más o menos distantes. En efecto, el parentesco promedio estimado para este ayllu (FST) fue de .03, siendo mayor en mujeres que en hombres. En general, de acuerdo con este valor es posible inferir que los habitantes de Quito vivieron en una condición de mayor aislamiento que los grupos agroalfareros asentados en el Valle de Azapa (FST = .013). Además en el período Medio (Tiwanaku) se produjo un incremento moderado de la varianza fenotípica producida probablemente por un exceso de flujo génico proveniente de regiones próximas.

1. El estudio se centró en analizar caracteres métricos puramente fenotípicos, pero se asegura que se pudo valorar la divergencia genética. ¿Es esto posible?

- a) SI
- b) NO

¿Por qué?:

- a) porque la divergencia fenotípica no necesariamente implica divergencia genotípica
- b) porque la divergencia fenotípica es correspondiente con la divergencia genotípica
- c) porque el parentesco en cada periodo y la varianza fenotípica fluctúan con el tamaño efectivo y el aporte migratorio.

Entonces, si se asegura que en el periodo Tiwanaku hubo exceso de flujo génico, esto se debe a que:

- a) se encontraron mayores índices de variación en los fenotipos.
- b) se encontraron índices muy bajos de variación en los fenotipos.
- c) los índices de variación en los fenotipos se mantuvieron constantes.

Autoevaluación.

1. Es la transferencia de alelos de una población a otra: ()

- A) Flujo génico
- B) Deriva génica
- C) Selección natural
- D) Mutación

1. Organismos que poseen una tasa más alta de flujo genético: ()

- A) Animales
- B) Protozoos
- C) Plantas
- D) Hongos

1. Entre poblaciones, si el flujo genético es grande hace que dichas poblaciones: ()

- A) Sean homogéneas
- B) Presenten mayor variabilidad
- C) Presenten especiación
- D) Aumente su frecuencia de mutación

Respuestas. 1. Respuesta: A/2. Respuesta: C/3. Respuesta: B.

Recursos bibliográficos 2ª Unidad.

Audersirk, T. y Audersirk, G. (2008). *Biología*. (8ª Ed.). México: Pearson Educación.

Biggs, A. (2007). *Biología*. México: Glencoe–Mc Graw–Hill.

Calixto, F. R., Herrera, R. L. & V D Hernández, G. V. D. (2012). *Ecología y medioambiente*. México: Cengage LeRNAing Editores.

Campbell, N. A. y Reece, J. B. (2007). *Biología*. (7ª ed.). México: Editorial Médica Panamericana.

Campbell, N. A. y Reece, J. B. (2007). *Biología*. México: Editorial Médica Panamericana.

Curtis, H. (2007). *Biología*. (7ª ed.). México: Editorial Médica Panamericana.

Gardner, E. J., Simmons, M. J. y Snustad, D. P. (2002). *Principios de genética*. México: Limusa-Wiley.

Jiménez, L. F. y Merchant, H. (2003). *Biología celular y molecular*. México: Pearson Educación

Purves, W. K., et al. (2003). *Vida. La ciencia de la biología*. (6ª Ed.). España: Editorial Médica Panamericana.

Sadava, D., Heller, H. C., Orians, G. H. y Purves, W. K. (2009). *Vida. La ciencia de la biología*. (8ª ed.). México: Editorial Médica Panamericana.

Sadava, D., et al. (2009). *Vida. La ciencia de la biología*. México: Médica Panamericana.

Solomon, E. P., et al. (2008). *Biología*. (8ª ed.). México: Mc Graw Hill/Interamericana.

Solomon, E. P., et al. (2008). *Biología*. México: Mc Graw Hill/Interamericana.

Starr, C. R., Taggart, E. C. y Starr, L. (2009). *Biología, la unidad y la diversidad de la vida*. México: Cengage LeRNAing Editores.

Starr, C., Taggart, R., Evers, C. y Starr, L. (2009). *Biología, la unidad y diversidad de la vida*. (12ª ed.). México: Cengage LeRNAing Editores.

Valverde, V. T., Meave del Castillo, J. A., Carabias, L. J. y Cano, S.Z. (2005). *Ecología y medio ambiente*. México: Pearson Educación.

Bibliografía de consulta para ampliar la información de los temas:

Alberts, B. (2002). *Biología molecular de la célula*. España: Omega.

Becker, W. M., Lewis J. K. y Hardin, J. (2007). *El mundo de la célula*. España: Pearson Educación.

Berg, J. M., Tymoczko, J. L. y Stryer, L. (2002). Las DNA polimerasas requieren de un molde y de un cebador. En *Bioquímica* (5ta ed., sección 27.2). Nueva York, NY: W. H. Freeman. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK22374/>. (Consulta 01-05-2018).

Curtis, H. N., BRNAes, S., Schneck, A., y Flores. G. (2006). *Investigación a la Biología*. 6ª ed. Buenos Aires. Medica Panamericana. 640 p.

De Necochea, C. R. y Canult, T. J.C. (2004). Métodos fisicoquímicos en biotecnología: Secuenciación de los ácidos nucleicos. Instituto de Biotecnología UNAM. 48 p.

Ehrlich, P., & Raven, P. (1964). Butterflies and Plants: A Study in Coevolution. *Evolution*, 18(4), 586-608. doi:10.2307/2406212

Franco, V. L. (2008) El código genético cumple 40 años. *Rev. Real Acad. Cienc. Exact. Fis. Nat. (Esp)* Vol. 102, 201–213.

Garland Science. (2009, April 16). Replicación del DNA. [Video documental]. En *YouTube*. <https://www.youtube.com/watch?v=-mtLXpgjHLO>. (Consulta 01-05-2018).

Griffiths, A., S. Wessler, R. Lewontin y S. B. Carroll. (2008). *Genética*. México: McGraw-Hill.

Jimeno, A., Ballesteros, M., y Uguedo, L. (2008). *Biología*. 1ª Ed. México. Ed. Santillana. 412 p.
Ledesma, M. I. (2000). *Historia de la Biología*. 1ª Ed. México. AGT. Editor, S.A. pp 300-326.

Lewin, B. (2008). *Genes ix. usa*: Jones and Bartlett Publishers.

Lodish, *et al.* (2005). *Biología celular y molecular*. Argentina: Editorial Médica Panamericana.

Lodish, H., Berk, A., Zipursky, S. L., Matsudaira, P., Baltimore, D. y DRNAell, J. (2000). La maquinaria de replicación del DNA. En *Molecular cell biology* (4ta ed., sección 12.2). Nueva York, NY: W. H. Freeman. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK21751/>. (Consulta 01-05-2018).

Madigan, M. T., Martinko, J. M., Dunlap, P.V. y Clark, D. P. (2009). *Brock. Biología de los microorganismos*. México: Pearson Educación.

Marchat y Castañón (s/f). El mensajero de la célula. Recuperado de:
http://www.uam.mx/difusion/casadeltiempo/05_iv_mar_2008/casa_del_tiempo_eIV_num05-06_73_75.pdf

Médecis de Vélez, A. Rodríguez, A. R., et al., (2007), *Conceptos básicos de genética*, México, UNAM. Klug, W., *et al.*, (2013), *Conceptos de genética*, Pearson, Madrid.

Passarge, E. (2010). *Genética. Texto y atlas*. 3ª edición. Editorial médica panamericana.

Pierce, B. A. (2010). *Genética. Un enfoque conceptual*. España: Editorial Médica Panamericana.

Piñero, D., et al. 2008. La variabilidad genética de las especies: aspectos conceptuales y sus aplicaciones y perspectivas en México, en *Capital natural de México*, vol. I: Conocimiento actual de la biodiversidad. Conabio, México, pp. 415-435.

Velázquez, A. A. (coordinador). (2004). *Lo que somos y el genoma humano. Des-velando nuestra identidad*. México: unam-fce.

Velázquez, O. M.P. (2009). *Biología 2*. 3 era Edición. México. Editorial ST. 283 p.