Biología 2

Origen, evolución y herencia en los seres vivos

Evolución:
Origen y Diversidad
de las **estructuras biológicas**

La célula: origen, *estructura*
y **funciones**

Reproducción

Mecanismos de la **herencia**

Serie
{ Llaves }

ES | 2.º año

mandioca

Biología 2

Origen, evolución y herencia en los seres vivos

Evolución:
Origen y Diversidad
de las estructuras biológicas

La célula: origen, estructura
funciones

Reproducción

Mecanismos de la herencia

Serie
{ Llaves }

PBA 2.° (ES)

mandioca

Proyecto y dirección editorial
Raúl A. González

Subdirectora editorial
Cecilia González

Directora de ediciones
Vanina Rojas

Directora de arte
Jessica Erizalde

Biología 2
es una obra de producción colectiva creada y diseñada por el Departamento Editorial y de Arte y Gráfica de Estación Mandioca de ediciones s.a., bajo proyecto y dirección de Raúl A. González.

Edición
Lucía Rivas
Ariadna Eva Serrano

Autoría
Manuel Facundo Fungueiro
Lucía Rivas
Ariadna Eva Serrano

Corrección
Victoria Cabanne

Diagramación
Laura Martín
Helena Maso
Eugenia San Martín Vivares

Edición gráfica
Florencia Cortelletti

Ilustración
Martín Bustamante
Marcela Colace
Federico Combi
Carlos Escudero
Eduardo Karakachoff (Koff)
Laura Leyes
Fernando Sawa
Nestor Taylor
Guillermo Tomati
Trebol Animation
Cora Vignau
Fabián Villarraga
Sergio Ucedo
Zeta positivo
Cartografía: Gonzalo Pires

Tratamiento de imágenes, archivo y preimpresión
Liana Agrasar

Secretaría editorial
Lidia Chico

Producción industrial
Lidia Chico
Leticia Groizard

Fotografía
Banco de Imágenes de Estación Mandioca, imágenes utilizadas conforme a la licencia de Shutterstock.com, Wikimedia Commons: Uveedzign (CC by 3.0 SA), G.U. Tolkiehn (CC by 3.0 SA or CC by 2.5 SA), Jrivell (CC by 3.0 SA)

© Estación Mandioca de ediciones s.a.
José Bonifacio 2524 (C1406GYD)
Buenos Aires – Argentina
Tel./Fax: (+54) 11 4637-9001
ISBN: 978-987-4113-00-9
Queda hecho el depósito que dispone la Ley 11.723.
Impreso en Argentina. Printed in Argentina.
Primera edición: septiembre de 2016.

Este libro no puede ser reproducido total ni parcialmente por ningún medio, tratamiento o procedimiento, ya sea mediante reprografía, fotocopia, microfilmación o mimeografía, o cualquier otro sistema mecánico, electrónico, fotoquímico, magnético, informático o electroóptico. Cualquier reproducción no autorizada por los editores viola derechos reservados, es ilegal y constituye un delito.

Fungueiro, Manuel
Biología 2 / Manuel Fungueiro ; Lucía I. Rivas ; Ariadna Eva Serrano. - 1a edición para el alumno, 1a reimp - Ciudad Autónoma de Buenos Aires : Estación Mandioca, 2017.
160 p. ; 28 x 22 cm. - (Llaves ; 1)

ISBN 978-987-4113-00-9
1. Biología. I. Rivas, Lucía I. II. Serrano, Ariadna Eva III. Título
CDD 570

La presente publicación se ajusta a la cartografía establecida en el Poder Ejecutivo Nacional a través del IGN —Ley 22.963— y fue aprobada por el Expediente GG16 1879/5 en el mes de septiembre de 2016.

Las páginas web han sido consultadas entre enero y julio de 2016.

Serie
Llaves

Biología 2

Origen, evolución y herencia en los seres vivos

Autores de la obra

Lucía Rivas; licenciada en Paleontología (UBA), especializada en microfósiles. Participó en proyectos de investigación vinculados con la explotación de hidrocarburos en Jurásico de la provincia del Neuquén.

Manuel Facundo Fungueiro; licenciado en Ciencias Biológicas (UBA), con orientación en fisiología animal. Fue docente auxiliar en la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, UBA. Participó de diversas actividades de divulgación científica.

Ariadna Eva Serrano; licenciada en Ciencias Biológicas (UBA), especializada en fisiología animal. Realizó investigaciones en neurociencias y biología molecular. Fue docente en nivel secundario y participó en diversos programas de divulgación científica.

Revisión crítica de la obra

Alberto Kornblihtt

Biólogo molecular, profesor titular de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Buenos Aires e investigador superior del CONICET. Investiga el funcionamiento de los genes humanos. Por sus hallazgos sobre cómo se regula el mecanismo que hace que cada gen dé la orden para fabricar muchas proteínas ha recibido numerosos premios nacionales e internacionales.

¿Cómo funciona este libro?

Bloque

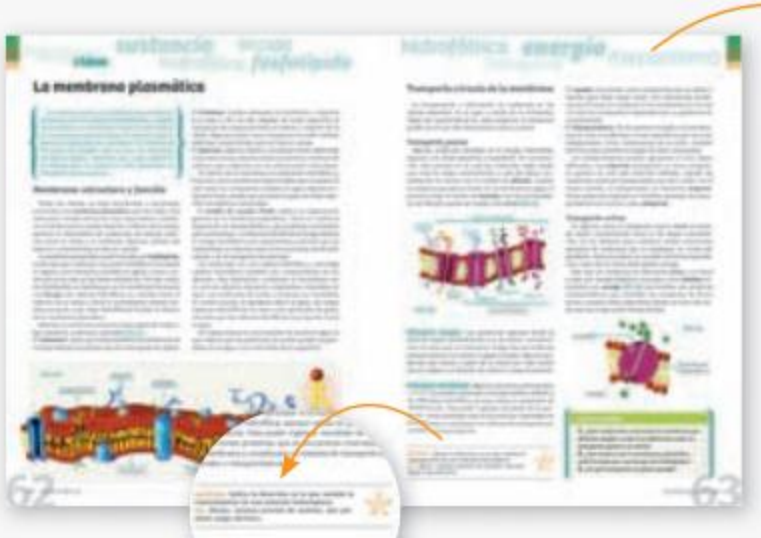
Presenta los contenidos de los capítulos y la secuencia de los mismos. Muestra los **ejes temáticos** que organizan el libro según el diseño curricular. A partir de una **imagen** y **texto** se plantean preguntas que **indagan** sobre los **conocimientos previos**.

Apertura

Texto integrador de los contenidos del capítulo e **imagen** disparadora acompañada de **interrogantes** que recuperan los **saberes previos**.

Páginas de desarrollo

Textos claros y **precisos** que reproducen los temas específicos del nivel. La presencia de **imágenes**, **ilustraciones** y **esquemas** facilita la comprensión de la lectura.



Palabras clave

Términos esenciales que se desprenden de las páginas de desarrollo.

Copete

Acercamiento a los **contenidos profundizados** en las páginas.

Glosario

Definiciones específicas y sintéticas respecto de conceptos de la disciplina mencionados en el texto.

Código QR

Links de recursos didácticos que permiten profundizar los temas abarcados.

Guía de estudio

Al finalizar cada doble página se proponen **variadas actividades** para afianzar los conocimientos aprendidos.

Ciencia actual

Sección que relaciona las **aplicaciones científicas novedosas** con los temas abordados.

Experiencia en acción

Actividad práctica realizable en el aula o **laboratorio**, que permite aplicar los contenidos teóricos.

Revisión final

A partir de una **situación cotidiana** se plantean **actividades de integración** para resolver en el libro que refuerzan el aprendizaje.

Índice alfabético

Las **palabras** y **expresiones clave** se organizan por **orden alfabético** y **número de página** para ser encontradas de manera rápida.

{ Índice }

BLOQUE I
La evolución: origen y diversidad de las estructuras biológicas 8

CAPÍTULO 01
El origen de la biodiversidad ... 10

- **La biodiversidad** ... 11
  Definición de diversidad biológica
- **La teoría del ancestro común: evidencias** ... 12
  Definición de ancestro común. Evidencias provenientes de la observación directa. Evidencias provenientes de la homología. Evidencias provenientes de la imperfección de la adaptación
- **El registro fósil como evidencia** ... 14
  Registro fósil. Proceso de fosilización. Tipos de fosilización
- **La biogeografía como evidencia** ... 16
  Definición de biogeografía. Paleobiogeografía. Deriva continental
- **La clasificación de los seres vivos** ... 18
  Historia y definición de la clasificación. Clasificación actual
- **Los árboles filogenéticos** ... 20
  Sistemática filogenética. Realización del árbol filogenético
- **Experiencia en acción**
  El armado de su propio fósil ... 22
- **Revisión final** ... 23

CAPÍTULO 02
La evolución y la selección natural ... 24

- **Las teorías evolutivas** ... 25
  Primera concepciones sobre la evolución
- **Del creacionismo al transformismo** ... 26
  Concepciones sobre la variabilidad de las especies. Teoría transformista de Lamarck
- **Darwin y la selección natural** ... 28
  Mecanismo planteado por Darwin. Selección natural. Cuestionamientos a la selección natural
- **Los estudios de Darwin** ... 30
  Viaje en el *Beagle*. Estudio de los pinzones
- **Las variantes de la selección natural** ... 32
  Tipos de selección natural
- **Las consecuencias de la evolución** ... 34
  Definición de adaptación. Origen de las especies. Coevolución de plantas e insectos
- **Las extinciones: pérdida de especies** ... 36
  Extinciones y diversidad. Variación en la biodiversidad
- **Experiencia en acción**
  Como predadores y presas ... 38
- **Revisión final** ... 39

CAPÍTULO 03
El origen de la vida ... 40

- **Las teorías sobre el origen de la vida** ... 41
  Inicio de la vida: diversas hipótesis
- **La Tierra primitiva y la evolución prebiótica** ... 42
  Orígenes de la Tierra. Atmósfera primitiva. Hipótesis de Oparin y Haldane. Experimento de Miller y Urey
- **Los primeros seres vivos** ... 44
  De los coacervados a los seres vivos. Protocélula. Primeras células
- **La evolución de la nutrición** ... 46
  Cambios en la obtención de la energía. Primeros organismos autótrofos. Respiración aeróbica
- **Experiencia en acción**
  La generación espontánea ... 48
- **Revisión final** ... 49

BLOQUE II
La célula: origen, estructura y funciones 50

CAPÍTULO 04
La estructura de las células ... 52

- **La observación de las células** ... 53
  Historia del microscopio. Observación actual
- **La teoría celular** ... 54
  Descubrimiento de la célula. Postulados de la teoría celular. Características comunes de las células. Escala celular
- **Las células procariotas y eucariotas** ... 56
  Clasificación de las células. Pluricelularidad y especialización de funciones
- **Las células animales y vegetales** ... 58
  Clasificación de células eucariotas. Células animales. Células vegetales
- **El núcleo celular** ... 60
  Funciones del núcleo. Origen del núcleo. Composición del núcleo. ADN y control celular
- **La membrana plasmática** ... 62
  Membrana: estructura y función. Transporte a través de la membrana
- **La incorporación y el transporte de nutrientes** ... 64
  Ingreso y egreso de nutrientes. Lisosomas y aparato de Golgi
- **La nutrición celular** ... 66
  Mecanismos de alimentación. Teoría endosimbiótica
- **Experiencia en acción**
  La búsqueda de la clorofila ... 68
- **Revisión final** ... 69

CAPÍTULO 05
El camino a la pluricelularidad ... 70

- **El origen de la pluricelularidad** ... 71
  Unicelulares y pluricelulares. Ventajas y desventajas de la pluricelularidad
- **Los niveles de organización de los seres vivos** ... 72
  Una organización jerárquica
- **El ciclo celular** ... 74
  Etapas del ciclo celular
- **La diferenciación celular y el crecimiento** ... 76
  Organización celular. Diferenciación celular. Crecimiento y regeneración de tejidos
- **Experiencia en acción**
  Las células de la mucosa bucal ... 78
- **Revisión final** ... 79

BLOQUE III
La reproducción 80

CAPÍTULO 06
La reproducción y la diversidad 82

- **La reproducción** 83
  Especies y reproducción. Reproducción asexual. Reproducción sexual
- **La reproducción asexual** 84
  Organismos unicelulares. Organismos pluricelulares
- **La reproducción sexual** 86
  Generalidades. Células sexuales o gametas. Tipos de reproducción sexual. Fecundación
- **Los ciclos de vida** 88
  Definición y clasificación. Ciclo de vida diploide. Ciclo de vida haploide. Ciclo de vida haplodiploide
- **Las estructuras reproductivas** 90
  Estructuras reproductivas en las plantas. Estructuras reproductivas en los animales
- **El desarrollo** 92
  Etapas embrionarias. Desarrollo después del nacimiento. Metamorfosis
- **Experiencia en acción**
  La disección de la flor y sus partes reproductivas 94
- **Revisión final** 95

CAPÍTULO 07
La reproducción humana 96

- **Los ciclos de reproducción** 97
  Reproducción en animales
- **El desarrollo sexual en el ser humano** 98
  Caracteres sexuales. Cambios hormonales
- **El sistema reproductor en el ser humano** 100
  Características generales. Sistema reproductor femenino. Sistema reproductor masculino. Etapas de la fecundación
- **El desarrollo embrionario en el ser humano** 102
  Fecundación y desarrollo. Gestación y desarrollo. Parto y alumbramiento
- **La sexualidad y la salud sexual** 104
  Sexualidad humana. Métodos anticonceptivos. Infecciones de transmisión sexual
- **La reproducción humana y la tecnología** 106
  Tecnología aplicada a la fecundación y fertilidad. Tecnología aplicada al nuevo individuo
- **Experiencia en acción**
  La reproducción: mitos y verdades 108
- **Revisión final** 109

CAPÍTULO 08
La reproducción y la evolución 110

- **La evolución de la reproducción** 111
  Origen de la variabilidad
- **Las estrategias de supervivencia** 112
  Distintas estrategias reproductivas. Ventajas y desventajas
- **Las claves para el éxito reproductivo** 114
  Reconocimiento y dimorfismo sexual. Competencia y selección sexual. Cortejo y apareamiento
- **La reproducción y la supervivencia** 116
  Polinización: coevolución entre flores y polinizadores. Primeras etapas en el desarrollo de las plantas. Dispersión de las semillas
- **El cuidado de las crías** 118
  Desarrollo y crecimiento. Comportamiento parental
- **Experiencia en acción**
  El comportamiento reproductivo 120
- **Revisión final** 121

BLOQUE IV
Los mecanismos de la herencia 122

CAPÍTULO 09
Las leyes de la herencia genética 124

- **La información hereditaria: el ADN** 125
  ADN, cromatina y cromosomas
- **Los primeros experimentos de Mendel** 126
  Inicios de Mendel. Primer grupo de experimentos. Segundo grupo de experimentos. Tablero de Punnett
- **El último experimento y las leyes de Mendel** 128
  Tercer grupo de experimentos. Variantes de las leyes de Mendel
- **Los genes y los cromosomas** 130
  Teoría cromosómica de la herencia. Estructura del cromosoma. Cariotipo. Concepto de gen. Expresión genética
- **La herencia** 132
  Herencia ligada al sexo. ADN y Abuelas de Plaza de Mayo
- **Experiencia en acción**
  El ADN de una cebolla 134
- **Revisión final** 135

CAPÍTULO 10
La meiosis y la diversidad 136

- **La reproducción sexual y la variabilidad** 137
  Fuentes de variabilidad. Importancia del número par de cromosomas
- **La meiosis y la formación de gametas** 138
  Ciclo celular y meiosis. Gametogénesis
- **Las alteraciones cromosómicas** 140
  Generalidades de las mutaciones. Alteraciones cromosómicas estructurales. Alteraciones cromosómicas numéricas
- **Los factores que determinan el fenotipo** 142
  Genotipo, fenotipo y medio. Factores internos. Factores externos
- **Experiencia en acción**
  El genotipo y el fenotipo probables 144
- **Revisión final** 145

CAPÍTULO 11
La manipulación de la información genética 146

- **La selección artificial** 147
  Generalidades. Tipos de selección artificial
- **La biotecnología** 148
  Definición e historia. Aplicaciones de la biotecnología. Ventajas y riesgos de la biotecnología
- **La ingeniería genética** 150
  Definición y aplicación. Clonación
- **Las nuevas técnicas en la medicina** 152
  Medicina regenerativa. Inseminación artificial. Terapia génica
- **Experiencia en acción**
  La elaboración de yogur 154
- **Revisión final** 155

Índice alfabético de conceptos 156

Bibliografía 159

BLOQUE I

La evolución: origen y diversidad de las estructuras biológicas

CAPÍTULO 01
El origen de la biodiversidad

- La biodiversidad
- La teoría del ancestro común: evidencias
- El registro fósil como evidencia
- La biogeografía como evidencia
- La clasificación de los seres vivos
- Los árboles filogenéticos

CAPÍTULO 02
La evolución y la selección natural

- Las teorías evolutivas
- Del creacionismo al transformismo
- Darwin y la selección natural
- Los estudios de Darwin
- Las variantes de la selección natural
- Las consecuencias de la evolución
- Las extinciones: pérdida de especies

CAPÍTULO 03
El origen de la vida

- Las teorías sobre el origen de la vida
- La Tierra primitiva y la evolución prebiótica
- Los primeros seres vivos
- La evolución de la nutrición

La vida comenzó en la Tierra hace aproximadamente 3.800 millones de años. Desde entonces, la **diversidad** de organismos que ha habitado el planeta es inimaginable. Las distintas formas que adoptaron los seres vivos fueron consecuencia del **proceso evolutivo** que ocurrió en las especies a lo largo del tiempo. El *ambiente* es un factor clave, ya que influye directamente sobre la *supervivencia*, debido a que los organismos se encuentran *adaptados* a su hábitat.

Cuando las condiciones ambientales *cambian*, aquellos individuos que *por azar* hayan adquirido nuevas características, viables en ese medio, podrán sobrevivir. Estas características se denominan **adaptaciones** y pueden estar relacionadas con aspectos *anatómicos*, *funcionales* o vinculados al *comportamiento*.

Además, si los organismos se *reproducen*, transmitirán esa característica a sus descendientes, y permanecerá en la población a través de las generaciones. De este modo, los seres vivos *acumulan cambios* que pueden dar origen a nuevas **especies**.

La *observación directa* de organismos, su *distribución geográfica* y el *registro fósil* son algunas de las evidencias que permitieron a **Charles Darwin** proponer una hipótesis acerca del mecanismo mediante el cual se producen los cambios en los seres vivos.

1. En la imagen se observan tortugas gigantes de Galápagos, isla visitada por Darwin durante su expedición. ¿Esta tortuga tendrá alguna relación de parentesco con las tortugas pequeñas? ¿Serán de la misma especie?

2. ¿Qué adaptaciones posee la tortuga gigante? ¿Serán distintas a las que presentan las tortugas marinas?

3. ¿Creen que un organismo adaptado a un ambiente acuático puede vivir en uno terrestre? ¿Cómo influye el ambiente sobre la supervivencia de las especies?

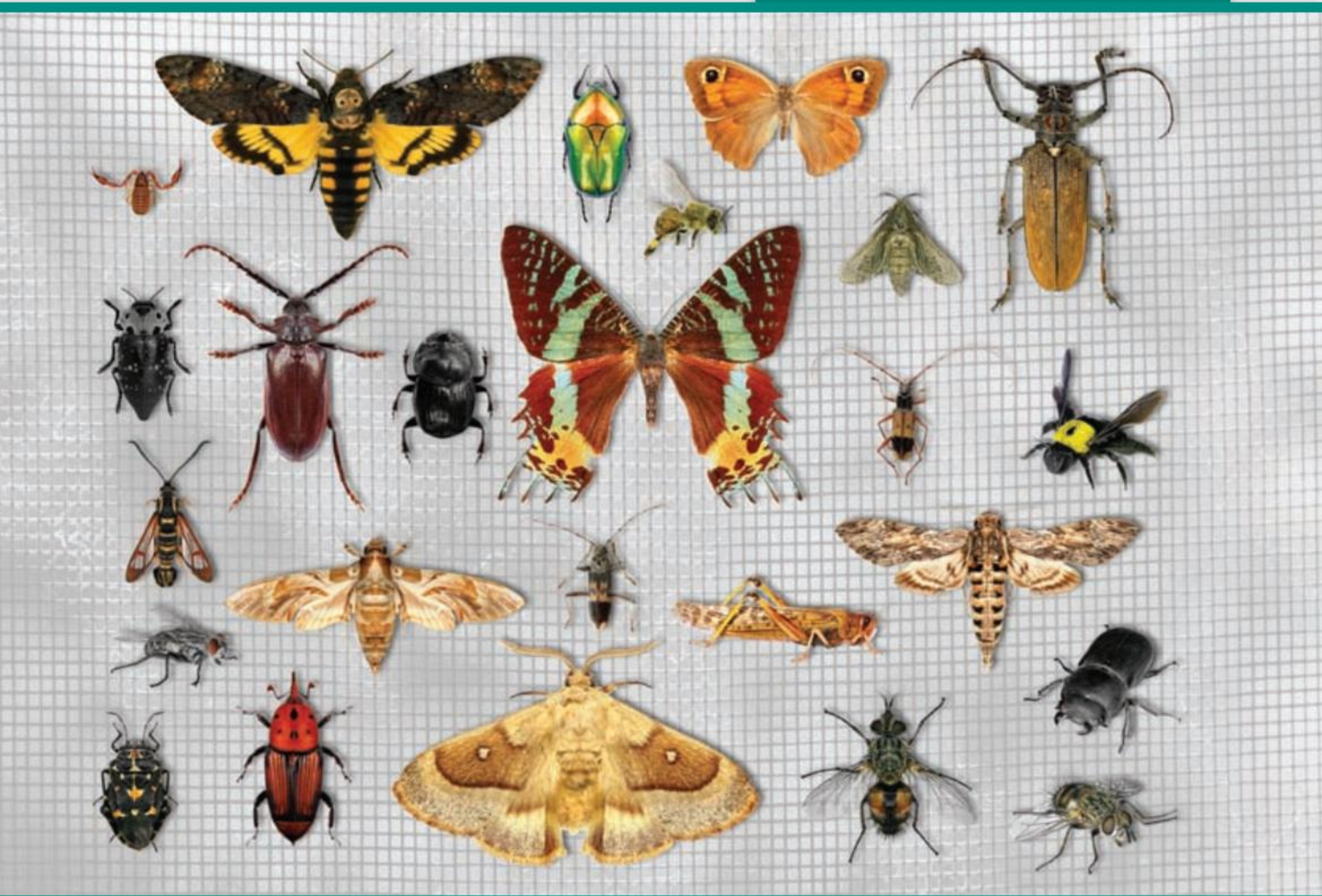
Capítulo 01

El origen de la biodiversidad

Darwin fue el primero en proponer la teoría del ancestro común, basándose en la observación directa, el estudio de homologías, la imperfección de la adaptación, el registro fósil y la biogeografía. Para vincular las relaciones de parentesco entre las especies y agruparlas según determinadas características se emplean árboles filogenéticos. Los seres vivos son clasificados en cinco reinos o en tres dominios en función de distintos parámetros.

Secuencia de contenidos:

- La biodiversidad
- La teoría del ancestro común: evidencias
- El registro fósil como evidencia
- La biogeografía como evidencia
- La clasificación de los seres vivos
- Los árboles filogenéticos



- ¿Creen que los insectos de la imagen comparten alguna relación de parentesco? Justifiquen su respuesta.
- ¿Consideran que la diversidad de seres vivos se mantuvo constante a lo largo del tiempo?
- ¿Cómo se habrá originado la diversidad de insectos a partir de un ancestro común? Propongan hipótesis y posibles evidencias que lo demuestren.

La biodiversidad

En el planeta Tierra existe una gran variedad de seres vivos denominada biodiversidad. Este término contempla la diversidad genética, es decir las variaciones heredables entre los seres vivos de una misma especie, la diversidad específica o variabilidad existente entre las distintas especies, y la diversidad ecosistémica que agrupa a los diferentes tipos de ecosistemas presentes en un territorio. Veamos...

Definición de diversidad biológica

La **diversidad biológica** o **biodiversidad** es el *conjunto de seres vivos que habita el planeta Tierra.*

La *biodiversidad* contempla la **variabilidad** de individuos dentro de una misma especie (nivel genético), la **variedad** de especies (nivel específico) y de ecosistemas (nivel de ecosistemas). La biodiversidad es consecuencia de 3.800 millones de años de **evolución** desde la aparición de los primeros seres vivos.

Diversidad *genética*

La **diversidad genética** se asocia a la **variabilidad** entre organismos de una misma especie. Se origina en el *material genético* o *ADN* y contiene la información hereditaria necesaria para el desarrollo de todas las características de un ser vivo. La capacidad de adaptarse y sobrevivir a cambios en el ambiente se relaciona con la variabilidad genética de las especies. La diversidad de genes* depende del *número de individuos* que conforman la población y de las posibilidades de reproducirse entre ellos.

Diversidad *específica*

Las **especies** son grupos de seres vivos que *comparten caracteres externos y que al reproducirse generan descendientes fértiles.* Por ejemplo, si se cruzan dos razas de perros (caniche y pastor alemán) se obtendrá otro individuo de la misma especie *Canis lupus familiaris*, que será fértil y dejará descendencia.

En algunos casos, distintas especies pueden aparearse y dar lugar a *híbridos*, individuos que no son fértiles y por lo tanto no dejan descendencia. Por ejemplo el ligre [FIG. 1] es un híbrido, producto del cruzamiento entre una tigresa y un león.

[FIG. 1]
El ligre puede medir hasta 4 metros y pesar hasta 500 kg.

La mula también es un organismo híbrido estéril, que resulta de la cruza entre una yegua y un burro [FIG. 2].

El término **diversidad específica**, empleado en ecología, tiene en cuenta dos variables.

- **Riqueza de especies.** Corresponde al número de especies presentes en un determinado lugar.
- **Abundancia relativa entre las especies.** Es la cantidad de individuos pertenecientes a cada especie.

Una comunidad es más diversa cuantas más especies tenga y cuanto más equitativamente repartidos estén los individuos de las distintas especies.

[FIG. 2]
La mula emite un sonido similar al del burro (rebuzno), pero en algunos momentos puede parecerse al relincho de un caballo.

Diversidad de *ecosistemas*

El término **diversidad de ecosistemas** se refiere a la cantidad de **ecosistemas*** presentes en un ambiente dado.

Para los científicos este tipo de diversidad es el más difícil de determinar, debido a las dificultades para definir los límites o fronteras entre los ecosistemas.

En la zona de transición, denominada **ecotono**, coexisten especies de ambos ecosistemas y generalmente allí suele haber mayor riqueza de especies.

gen. Porción de ADN que contiene la información para la expresión de una característica.
ecosistema. Unidad organizada en el espacio y el tiempo, formada por componentes bióticos y abióticos interrelacionados, a través de los cuales fluyen energía y materia.

Guía de estudio

1. Escriban un texto en el que relacionen los siguientes términos: biodiversidad, diversidad genética, ecotono, variabilidad y especie.
2. ¿Qué son los organismos híbridos? ¿Por qué son infértiles?

Palabras clave: mimetismo fósil evolución

La teoría del ancestro común: evidencias

La teoría del ancestro común considera que todos los seres vivos comparten un ancestro en el pasado. Esto puede ser demostrado mediante cinco tipos de evidencias: observación directa, estudio de homologías, imperfección de la adaptación, registro fósil y biogeografía. Veamos...

Definición de ancestro común

Una inmensa cantidad de evidencias indica que a lo largo de la historia de la Tierra, todos los seres vivos presentes en ella, incluido el ser humano, surgieron a partir de formas anteriores más primitivas. Esto significa que *todas las especies descienden de otras*, y que todos los seres vivos *comparten antecesores comunes* en el pasado distante.

Las bases de la **teoría del ancestro común** fueron sentadas por Charles Darwin (1809-1882), quien brindó la explicación más convincente al incluir pruebas y posibles mecanismos [FIG. 3]. Las evidencias se agrupan en cinco categorías: *observación directa*, *estudio de homologías*, *imperfección de la adaptación*, *registro fósil* y *biogeografía*. El registro fósil resulta de mayor relevancia al reflejar el tiempo evolutivo.

[FIG. 3]
Si bien la palabra evolución se asocia rápidamente con Charles Darwin, él nunca utilizó dicho término sino que la denominó descendencia con modificación.

Evidencias provenientes de la *observación directa*

Charles Darwin creía que el proceso evolutivo era tan lento que no podía observarse de manera directa. Sin embargo, en la actualidad existen especies en las que se pudieron apreciar y evidenciar cambios evolutivos.

Un ejemplo es el caso de la *polilla moteada del abedul, Biston betularia*. En Inglaterra existen dos tipos de especies de polillas moteadas: gris claro y gris oscuro. Las de color gris claro solían ser las más comunes, ya que resultaban prácticamente indistinguibles sobre los árboles y las rocas cubiertas de líquenes. Esto les otorgaba una clara estrategia de defensa frente a predadores [FIG. 4].

Sin embargo, un grupo de investigadores observó que entre 1848 y 1898 se impusieron los insectos de color gris oscuro o negro. Con la progresiva industrialización, las partículas presentes en las emisiones de humo generaron la muerte de los líquenes y los troncos quedaron desnudos. En el transcurso de este período se encontró mayor cantidad de polillas oscuras en relación con las claras, ya que el color oscuro comenzó a resultar ventajoso cuando los troncos se oscurecieron por el hollín y la ausencia de líquenes. Este ejemplo es conocido como **melanismo industrial** (del griego *melanos*, 'negro').

[FIG. 4]
Actualmente, el hollín ha disminuido y la forma oscura redujo su frecuencia frente a la clara.

Un ejemplo más reciente se relaciona con la *resistencia* de las bacterias a las drogas. Luego de la Segunda Guerra Mundial y como consecuencia de un período de rápido desarrollo de antibióticos, comenzaron a aparecer bacterias resistentes a los fármacos.

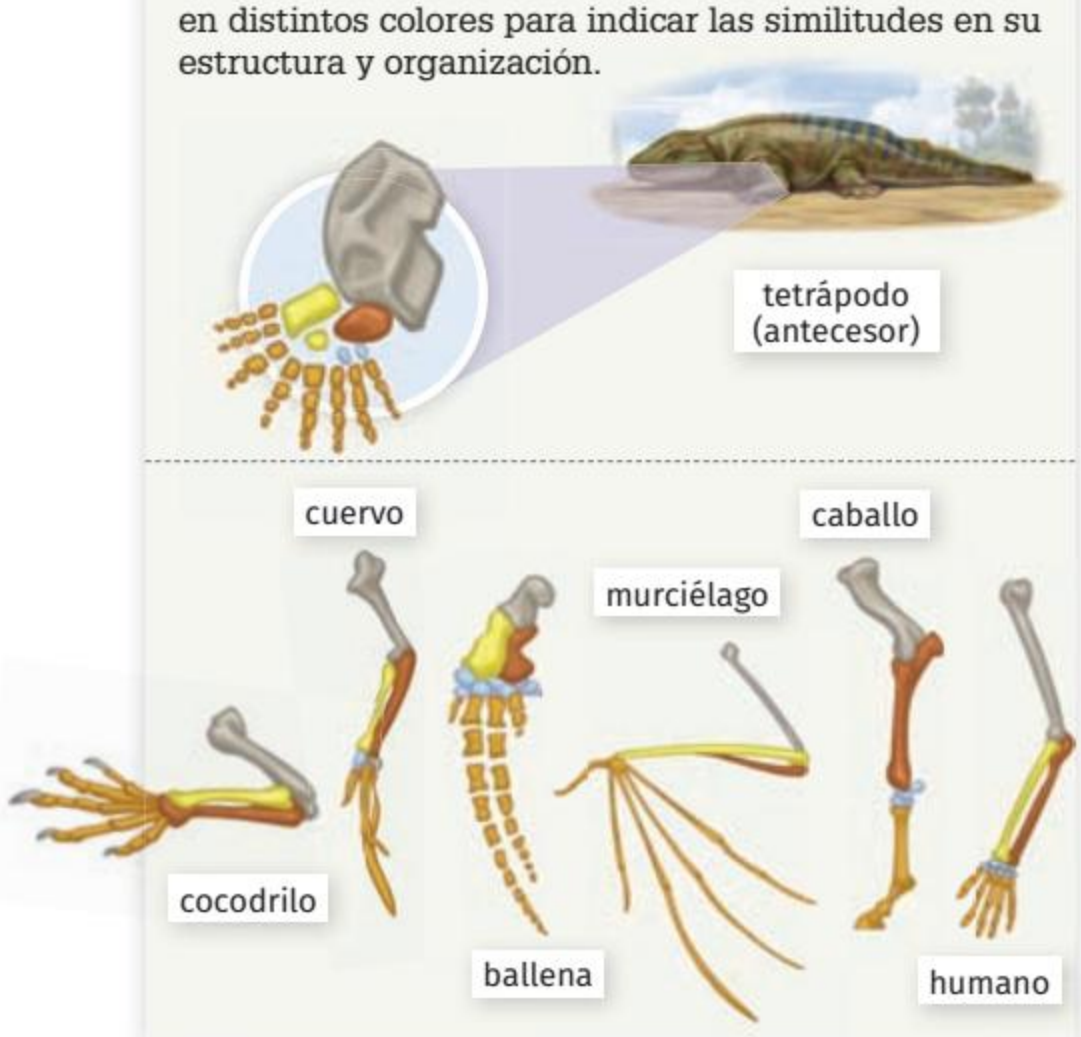
Los científicos *Joshua* y *Ester Lederberg* llevaron a cabo experimentos para estudiar este fenómeno. De este modo, realizaron un cultivo de bacterias en unas cajas llamadas *placas de Petri* sobre una sustancia gelatinosa, conocida como *agar*. Luego de que las bacterias crecieran y formaran un grupo o *colonia*, extrajeron una parte de estas y las trasladaron a otra placa de Petri que contenía el antibiótico *penicilina*. Solo aquellas colonias de bacterias que habían desarrollado resistencia al antibiótico podían sobrevivir en ese medio [FIG. 5]. Por lo tanto, al igual que sucedió con las polillas, las bacterias resistentes se debían a simples variantes, ya existentes en el cultivo original, producidas por azar.

[FIG. 5]

Evidencias provenientes de la *homología*

En especies diferentes se puede observar que existen ciertos patrones estructurales comunes. Estas características, si son heredadas de un ancestro común, se llaman **homologías**. Por ejemplo, las extremidades anteriores de animales tan diversos como cocodrilos, aves, ballenas, murciélagos, caballos y seres humanos presentan los huesos en un mismo patrón, aunque tengan morfología y funciones diferentes [FIG. 6].

[FIG. 6]
Los huesos de los miembros anteriores se muestran en distintos colores para indicar las similitudes en su estructura y organización.



Las **estructuras homólogas** pueden presentarse en diferentes estadios del desarrollo. Los tetrápodos actuales: anfibios, reptiles y mamíferos, ocupan una gran variedad de ambientes y sus extremidades desarrollan diferentes funciones. Algunos animales presentan menos de cinco dedos en sus miembros durante la etapa adulta, sin embargo estos se encuentran presentes en la *fase embrionaria*.

Cabe destacar que las estructuras homólogas se diferencian de las *análogas*, debido que estas últimas presentan un origen embrionario distinto pero tienen aspecto o cumplen funciones semejantes. Un ejemplo de ello son las alas de las aves y mariposas. Ambas son estructuras aplanadas que permiten el vuelo, pero su *origen embrionario* es totalmente diferente.

Evidencias provenientes de la *imperfección de la adaptación*

En biología, el término **adaptación** hace referencia a una característica particular que resulta adecuada para los requerimientos ambientales, y que le permite al organismo reproducirse y sobrevivir.

Darwin denominó a las adaptaciones "dispositivos", y basándose en toda la información recolectada a partir de estudios y viajes, determinó que no todas las adaptaciones son perfectas para un ambiente determinado. Esta evidencia constituyó un elemento clave como apoyo a la *evolución de las especies*.

Mediante la observación de las distintas estructuras reproductivas de las flores, Darwin pudo concluir que existen graduaciones y variedad de adaptaciones. Los posibles cambios morfológicos que garantizan la supervivencia de las especies en determinadas condiciones ambientales están limitadas por la historia de vida de las diferentes especies. Darwin pensaba que las adaptaciones se dan en pequeños pasos de modo *gradual*, cada uno ventajoso y más probable para los requerimientos del medio ambiente.

Hoy se sabe que esto no tiene por qué ser así, ya que en la evolución puede haber cambios adaptativos *abruptos*, que generan nuevas estructuras anatómicas o especies en un corto período de tiempo [FIG. 7]. Este tipo de cambio corresponde con una **macroevolución**, que se basa en el *registro fósil* y en la *morfología funcional*, *teórica* y *comparada*. La macroevolución tiene en cuenta **procesos** evolutivos que no pueden observarse y deben ser inferidos.

[FIG. 7]
La evolución del linaje de los caballos está bien documentada en el registro fósil. Se utiliza como un modelo clásico de macroevolución.

Guía de estudio

1. **Expliquen qué evidencias le permitieron a Darwin postular la teoría del ancestro común.**
2. **Definan los términos adaptación y homología.**
3. **¿Qué implica que dos estructuras sean homólogas entre sí? Desarrollen.**

El registro fósil como evidencia

Otra evidencia de la teoría del ancestro común es el registro fósil, que permite observar la secuencia de patrones morfológicos a lo largo del tiempo geológico. Los fósiles son señales o restos dejados por los seres vivos preservados de distintas maneras: permineralizaciones, improntas, moldes internos o externos, momificaciones e inclusiones. Veamos...

Registro fósil

La historia de la Tierra se encuentra contenida en *capas de rocas superpuestas* sucesivamente. Estas capas llamadas **estratos** se constituyen por diferentes materiales o *sedimentos* depositados en distintos espesores.

Los estratos dependen de las condiciones ambientales bajo las cuales se formaron, de su contenido fósil, del modo de transporte y de la naturaleza de los sedimentos. Estos últimos son materiales sólidos acumulados sobre la superficie terrestre denominada *litósfera*.

Generalmente cuando un organismo muere sus restos se descomponen por la acción de diversos factores. Sin embargo si el cadáver es rápidamente enterrado por sedimentos, aislado de descomponedores biológicos y de humedad, es posible que pueda llegar a *fosilizar*. De este modo, el conjunto de procesos químicos y físicos que permiten que esto suceda se denomina ***fosilización***. Así, un **fósil** se define como *resto o señal de un organismo que vivió en el pasado y ha quedado conservado en las rocas*. La fosilización es un fenómeno poco frecuente y requiere de un gran intervalo de tiempo para poder concretarse.

El **registro fósil** constituye otra evidencia del proceso de evolución. Este revela que las *estructuras morfológicas* más complejas derivan de otras más simples. Sin embargo Darwin no encontró en el registro fósil evidencias de una transición gradual entre las especies.

En el libro *El origen de las especies...*, Darwin afirmó que los fósiles mostraban la existencia de cambios entre los seres vivos a través del tiempo, pero no aportaban evidencias acerca de cómo ocurría la evolución. Posteriormente se recuperaron fósiles a partir de los cuales fue posible corroborar que las pruebas provenientes del registro fósil son evidencias de que la evolución ha ocurrido. El hallazgo de una gran cantidad de caballos extintos permitió ver una sucesión de cambios en los dientes, las patas y el tamaño corporal con respecto a los caballos actuales [FIG. 8].

[FIG. 8]
Hyracotherium es considerado un ancestro del caballo actual. Presentaba 25 cm de altura.

Si bien no suele fosilizarse la totalidad del cuerpo de un organismo, existen **preservaciones excepcionales** o *Fossil-Lagerstätten*. Estos fósiles se caracterizan por la abundancia de restos o porque se encuentran en un excelente estado de preservación. Existen dos tipos de preservaciones excepcionales que varían según la calidad y cantidad de restos fósiles hallados: de *conservación* y de *concentración*.

Proceso de fosilización

La **fosilización** consiste en una serie de *cambios físicos, biológicos* y *químicos* mediante los cuales el ser vivo deja su rastro en la litósfera. La muerte del organismo no es siempre una condición necesaria para la existencia de un fósil, ya que muchos de ellos resultan de la actividad diaria de los seres vivos, como los *gastrolitos* (materia fecal fosilizada), los *huevos* o las *pisadas* [FIG. 9].

[FIG. 9]
Representación de la formación de un fósil acuático en el tiempo geológico.

Tipos de fosilización

La presencia de un fósil en un determinado tiempo y espacio está definida por *factores* propios del *ambiente*, como la temperatura, humedad, altitud, etcétera y por factores propios y particulares de cada *ser vivo*. Esto quiere decir que no todos los organismos de una misma especie fosilizan de una misma manera.

Los movimientos frecuentes de los sedimentos, como consecuencia de la subida de las mareas, o aquellos extraordinarios como tsunamis, alteran la composición y la estructura del resto o señal. Estas modificaciones pueden involucrar desplazamientos que afectan la ubicación espacio-temporal de los organismos o de los fósiles.

Además estas modificaciones determinan el tipo de fósil que se genera, que puede clasificarse en: permineralizaciones, improntas, moldes, momificaciones o inclusiones [FIG. 10].

El tipo de fosilización depende del organismo, ya que si se trata de un gusano o una hoja no va a ser posible encontrarlos como una permineralización.

Los vertebrados presentan una mayor probabilidad de fosilizar, ya que poseen partes duras como huesos o caparazones. A su vez, dentro de los vertebrados existen determinados huesos que presentan mayor resistencia a las modificaciones externas y tienen mayor potencial de fosilización que otros huesos, como es el caso de los maxilares donde se insertan los dientes.

Aquellos organismos que no presentan partes duras también pueden fosilizar, como es el caso de las plantas o los gusanos.

Guía de estudio

1. ¿Qué es un fósil? ¿Todos los seres vivos que mueren pueden preservarse como fósiles? ¿Por qué?

2. ¿Para la formación de un fósil es necesaria la muerte del organismo? Justifiquen mediante ejemplos.

[FIG. 10] Diferentes preservaciones

Permineralización. Las partes duras del organismo son reemplazadas molécula a molécula por *minerales*, así se obtiene una copia del organismo en la piedra. Este proceso se puede dar en huevos, madera, huesos y conchillas de invertebrados.

Impronta. Se genera cuando el organismo se descompone y solo deja una marca o *sello*, por ejemplo de una hoja o flor . Además pueden representar la actividad del organismo, este es el caso de las huellas de los animales. El sedimento debe endurecerse para así convertirse en roca y preservar los rastros.

Momificación e inclusión. La *momificación* ocurre cuando la materia orgánica del ser vivo no se descompone totalmente. Este proceso puede darse en ambientes secos y fríos con poco oxígeno, como puede suceder en la cima de un volcán. Otro modo de preservación es la *inclusión*, donde también se conserva la materia orgánica, y ocurre cuando un organismo está cubierto por alguna sustancia que lo aísla y evita su deterioro. Las resinas naturales representan un ejemplo de este tipo de fosilización.

Molde. Los restos orgánicos son cubiertos por el suelo y con el tiempo se degradan y dejan un *molde* perfecto en la roca que los rodea. Los moldes pueden ser *internos*, cuando el sedimento ocupa los espacios internos dejados por la descomposición de los tejidos o partes blandas, o *externos* cuando el material que rodea a la superficie externa del organismo se solidifica.

Palabras clave: distribución de organismos barrera geográfica

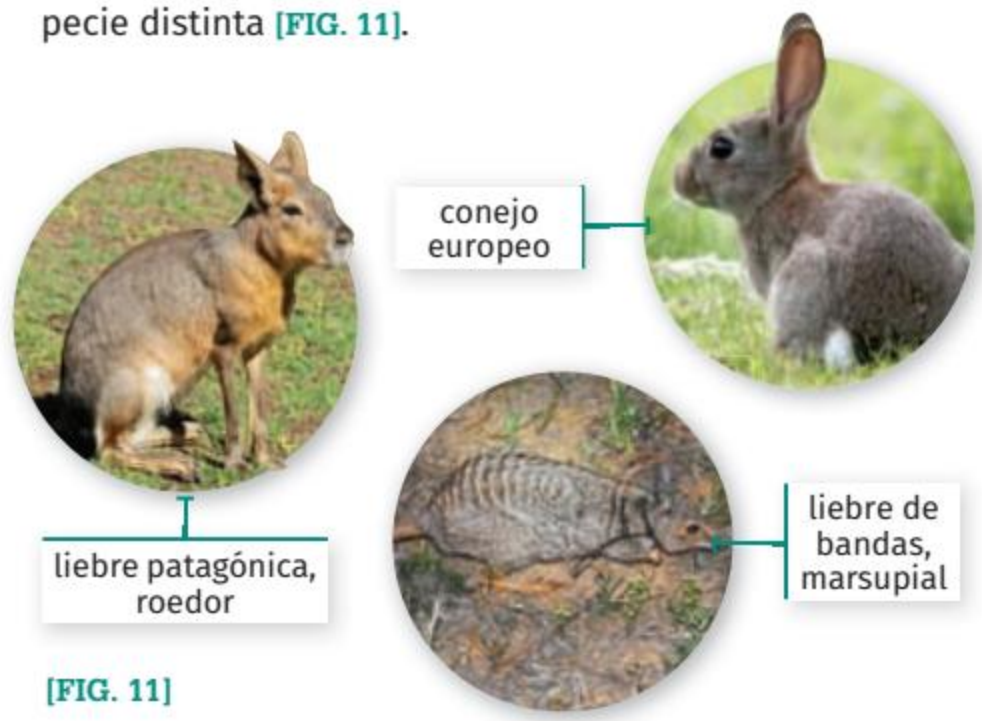
La biogeografía como evidencia

La biogeografía es el estudio de la distribución espacial de los seres vivos, y puede aportar evidencias sobre la evolución. La paleobiogeografía, por su parte, es una rama de la biogeografía que utiliza los mismos criterios de análisis, pero se centra en el estudio de los registros fósiles. Estos últimos han servido como evidencia de la deriva continental (movimiento de los continentes en el pasado geológico). Veamos...

Definición de biogeografía

La gran cantidad de evidencias recuperadas por los naturalistas antes de que Darwin propusiera su teoría, ayudó a demostrar que la distribución de organismos seguía patrones complejos de explicar.

De este modo se observó la presencia de especies similares pero no emparentadas en diferentes regiones de ambientes parecidos. Por ejemplo, en Inglaterra y en el continente europeo existe una gran diversidad de conejos. Estos no pertenecen al grupo taxonómico de los roedores (ratas, ratones y cobayos). Sorprendentemente, en zonas semejantes como Sudamérica, un roedor llamado liebre patagónica presenta un aspecto parecido al de los conejos europeos. Lo mismo sucede en Australia con el marsupial liebre de bandas, que comparte características morfológicas a pesar de pertenecer a una especie distinta [FIG. 11].



[FIG. 11]

La **biogeografía** es la disciplina biológica que estudia la distribución geográfica de los seres vivos, los ecosistemas y biomas. Por lo tanto analiza los procesos que generan, alteran y ponen en peligro la desaparición de los organismos. La biogeografía relaciona diversas áreas de la ciencia como biología y geografía.

Paleobiogeografía

La **paleobiogeografía** es la rama de la biogeografía que estudia la *distribución geográfica* de los organismos del pasado a partir de *restos fósiles*. Por medio de esta disciplina se reconstruye una parte de la historia terrestre y la geografía del pasado distante.

Los factores que inciden en la dispersión de los organismos fósiles se pueden inferir a partir de los restos hallados y de las interpretaciones paleoambientales* basadas en las rocas de estudio.

Las causas de dispersión de los organismos actuales dependen del ambiente donde habitan (latitud, temperatura, salinidad) y de las características del propio organismo. Los obstáculos que dificultan la propagación de los animales se denominan **barreras**. De este modo, las migraciones de los seres vivos del pasado aportan datos sobre la formación o supresión de barreras geográficas como montañas o continentes. Estos procesos geológicos influyen en el aislamiento y en la unión de distintas poblaciones de especies.

El concepto **deriva continental** planteado por primera vez en 1912 explica el movimiento de los continentes y, como consecuencia de esto, la posterior formación de montañas. Un ejemplo de este proceso se ha representado de manera particular y cómica en la película *La era del hielo 4. Deriva continental* [FIG. 12]. Allí se observa a la ardilla Scrat que, luego de perseguir su bellota, ingresa al núcleo terrestre sobre el cual gira y, de este modo, produce la separación de los continentes. La película además aborda teorías evolutivas que se desprenden de la deriva continental.

[FIG. 12]
Película dirigida por Steve Martino y Mike Thurmeier (2012).

https://goo.gl/dqdWbw

Escaneen el código QR y vean el adelanto de la película mencionada: *La era del hielo 4. Deriva continental.*

Pangea **resto fósil** Gondwana Laurasia

Deriva continental

Durante el siglo XX, el meteorólogo y geofísico alemán *Alfred Wegener* (1880-1930) planteó que los *continentes habían migrado en el transcurso de la historia de la Tierra* y que estos cambios espaciales eran la causa de la formación de las montañas y de otros fenómenos geológicos. Para ello Wegener, propuso la teoría de la **deriva continental** que se encuentra actualmente aceptada. Sin embargo, en sus inicios esta teoría fue rechazada debido al descubrimiento de una gruesa capa por debajo del fondo oceánico que aparentaba dificultar el movimiento de los continentes.

La teoría de la *deriva continental* fue posteriormente reforzada gracias al descubrimiento de la **tectónica de placas**. Esta teoría explica las fuerzas que hacen mover las placas continentales, el sentido del movimiento y la consecuente aparición de montañas y mares.

Una de las evidencias que respalda la tectónica de placas es el descubrimiento de restos fósiles de invertebrados denominados *fauna de Eurypteria* [FIG. 13]. Este descubrimiento permitió concluir que ambas masas continentales habrían permanecido unidas. Actualmente se sabe que se habrían ubicado cerca del polo sur.

[FIG. 13]
La fauna de Eurypteria fue hallada en Tíbet, Afganistán, Turquía, Irán y Antártida.

Como parte de su teoría, Wegener planteó que hace 235 millones de años los cinco continentes actuales habrían sido parte de un único continente denominado **Pangea**. Con el transcurso de los millones de años, este se fracturó y originó dos masas continentales: **Laurasia** y **Gondwana**. Con el paso del tiempo Laurasia dio lugar a los actuales territorios de Europa, Asia y Norteamérica y se ubicó siempre en el hemisferio norte. Por otro lado, Gondwana estuvo formada por la actual Antártida, Sudamérica y África. Este último supercontinente se ubicó durante varios millones de años en la región del Ecuador pero continuó su desplazamiento hacia el hemisferio sur. Posteriormente, estos supercontinentes continuaron fragmentándose y originaron los actuales continentes [FIG. 14]. En esta fragmentación, Gondwana también aportó masas territoriales al sur de Europa.

La teoría de la deriva continental está íntimamente vinculada con la evolución, como consecuencia del hallazgo de fósiles similares en regiones geográficas alejadas.

[FIG. 14] Movimientos de los supercontinentes

Hace 235 millones de años (Triásico), todos los continentes estaban unidos y formaban un supercontinente denominado *Pangea*. Este se habría fragmentado hace 200 millones de años (Jurásico) y se habrían formado dos grandes masas: *Laurasia* y *Gondwana*.

Hace 135 millones de años (Cretácico), se habría alcanzado la máxima fragmentación continental.

Hace 65 millones de años, hacia el final del período Cretácico, los actuales continentes se habrían separado de manera tal que habrían quedado bosquejados los actuales océanos y masas continentales.

Hace 50 millones de años, la India se habría desplazado hacia el norte y habría colisionado con Asia. Este hecho habría iniciado el levantamiento del Himalaya.

interpretación paleoambiental. Inferencia de las condiciones climáticas que predominaron durante el pasado distante a partir del estudio de rocas y fósiles.

Guía de estudio

1. Escriban un texto donde se expliquen y relacionen los siguientes términos: *biogeografía, evidencia, deriva continental, fósil, Pangea.*

2. Expliquen cómo se asocia la deriva continental con los restos fósiles. ¿Se mueven actualmente los continentes?

Palabras **clave:** sistemática **binomial** dominio agrupación

La clasificación de los seres vivos

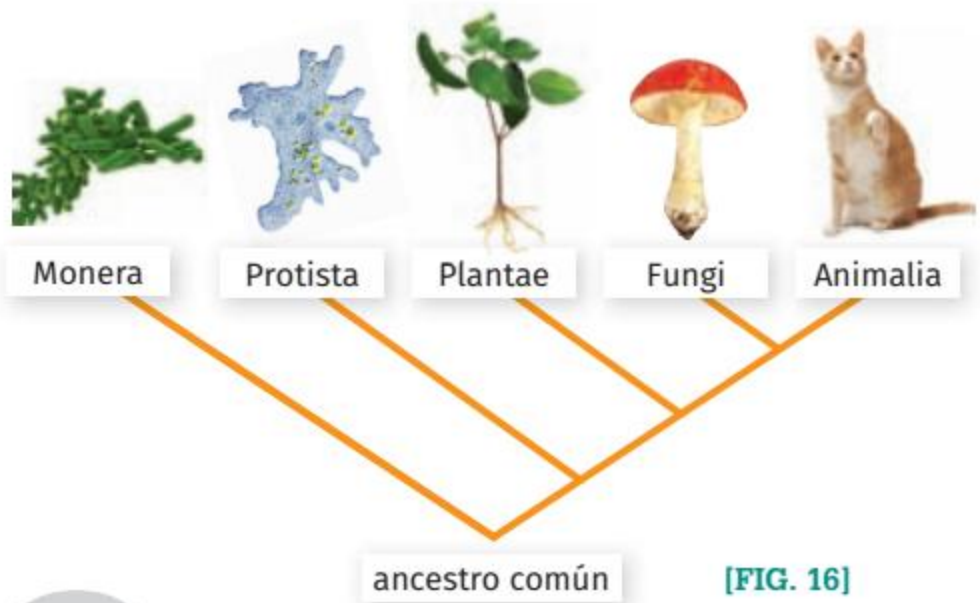
A lo largo de la historia, el ser humano agrupó y diferenció a los seres vivos sobre la base de distintos criterios. En la actualidad, para denominar científicamente a un organismo se utiliza la nomenclatura binomial: nombre genérico y epíteto específico. La clasificación actual incluye cinco reinos y tres dominios: Eubacteria, Archea y Eukarya. Veamos...

Historia y definición de la clasificación

Las **clasificaciones** son hipótesis que los científicos ponen a prueba constantemente. Los biólogos, al clasificar a los seres vivos mediante su trabajo de campo y de laboratorio, agrupan y nombran a las especies de una manera lógica, objetiva, consistente y no redundante. Con el paso de los años, se modificaron los criterios para agrupar o separar a los organismos y como consecuencia variaron las clasificaciones a medida que se registraron nuevas especies de organismos.

A lo largo de la historia, los naturalistas intentaron describir y explicar la diversidad del mundo de los seres vivos para tratar de ordenar el caos de animales y plantas, cuyo número aumentaba periódicamente a medida que los viajeros recolectaban ejemplares no descriptos hasta el momento.

Desde la Antigüedad, los científicos han propuesto diferentes formas de agrupar a los seres vivos [FIG. 15]. El avance de la miscroscopía permitió que los investigadores realizaran clasificaciones con mayor grado de detalle respecto a los microorganismos. Posteriormente, estudios basados en la información genética llevaron a que la clasificación de los cinco reinos [FIG. 16] fuera complementada por la clasificación de los tres dominios.



[FIG. 16]

[FIG. 15] La clasificación en la historia

350 a.C. — **Aristóteles.** Dividió a los seres vivos en dos grupos o reinos: animal y vegetal. A los animales los subdividió en: 'con sangre' (*enaima*) y 'sin sangre' (*anaima*), y a las plantas: *con* y *sin flor*.

1682 — **John Ray.** Definió el término *especie* sobre la base de las características de estructura y reproducción. Inventó un método para clasificar a las plantas a partir de la semilla. Para identificar cada una de las especies utilizó una frase en latín, en la que se enumeraban sus características: *sistema polinomial*.

1758 — **Carl Von Linneo.** Adoptó una jerarquía de siete niveles: *imperio, reino, clase, orden, género, especie y variedad*. Posteriormente se eliminaron algunas categorías y se crearon otras intermedias. Linneo definió el *sistema binomial*: el primer nombre corresponde al género y el segundo a la especie.

1859 — **Charles Darwin.** Ordenó y agrupó a los seres vivos por su *parentesco evolutivo*. Se basó en el hecho de que todas las especies descienden de otras y comparten un ancestro.

1866 — **Ernest Haeckel.** Propuso la creación de un tercer reino constituido por los microorganismos: el *Protista*. Los otros dos reinos que estaban en uso eran el *Plantae* y *Animalia*.

1956 — **Herbert Copeland.** Definió el reino *Monera*, que incluye a las bacterias y cianobacterias, basándose en el grupo Monera descripto someramente por Haeckel.

1969 — **Robert Whittaker.** Propuso una clasificación general que contenía cinco reinos: *Monera* (bacterias), *Protista* (protozoos), *Fungi* (hongos), *Animalia* (animales) y *Plantae* (plantas).

1977 — **Carl Woese y colaboradores.** Propusieron la categoría *dominio* para incluir las tres líneas evolutivas: *Eubacteria* (bacterias), *Archea* (arqueobacterias) y *Eukarya* (eucariotas). Esta es una clasificación suprarreinal. *Eubacteria* y *Archea* engloban a Monera, mientras que *Eukarya* engloba a los otros cuatro reinos.

Clasificación actual

A principios del siglo XIX, el botánico suizo *Augustin Pyramus de Candolle* utilizó el término **taxonomía** para referirse a la disciplina que establece *reglas de clasificación de los organismos vivos*. La taxonomía se basa en la *especie* como unidad fundamental y contribuye a establecer relaciones de *parentesco* en los distintos grupos a partir de las *características morfológicas, fisiológicas* y *genéticas* que comparten.

La **sistemática** es la disciplina científica que estudia la diversidad de los seres vivos y clasifica a las especies en función de su historia evolutiva.

La clasificación de los **cinco reinos** se basa en la cantidad de células y el modo de alimentación de los seres vivos. Así los organismos pueden pertenecer al reino Monera, Protista, Plantae, Fungi y Animalia. Posteriormente se definió una clasificación suprarreinal de **tres dominios** propuesta en 1977 por *Carl Woese* [FIG. 17]. Estos son: *Eubacteria* (bacterias), *Archea* (arqueobacterias) y *Eukarya* (eucariotas).

[FIG. 17]
Carl Woese y sus colaboradores compararon el ARN ribosomal entre distintas especies.

Las especies se nombran a partir de la **nomenclatura binomial**, es decir mediante dos términos: uno genérico denominado *género* y otro específico para designar la *especie*. En la mosca *Drosophila melanogaster*, el nombre del género —*Drosophila*— se escribe con mayúscula inicial y antecede al de la especie —*melanogaster*—, que va en minúscula.

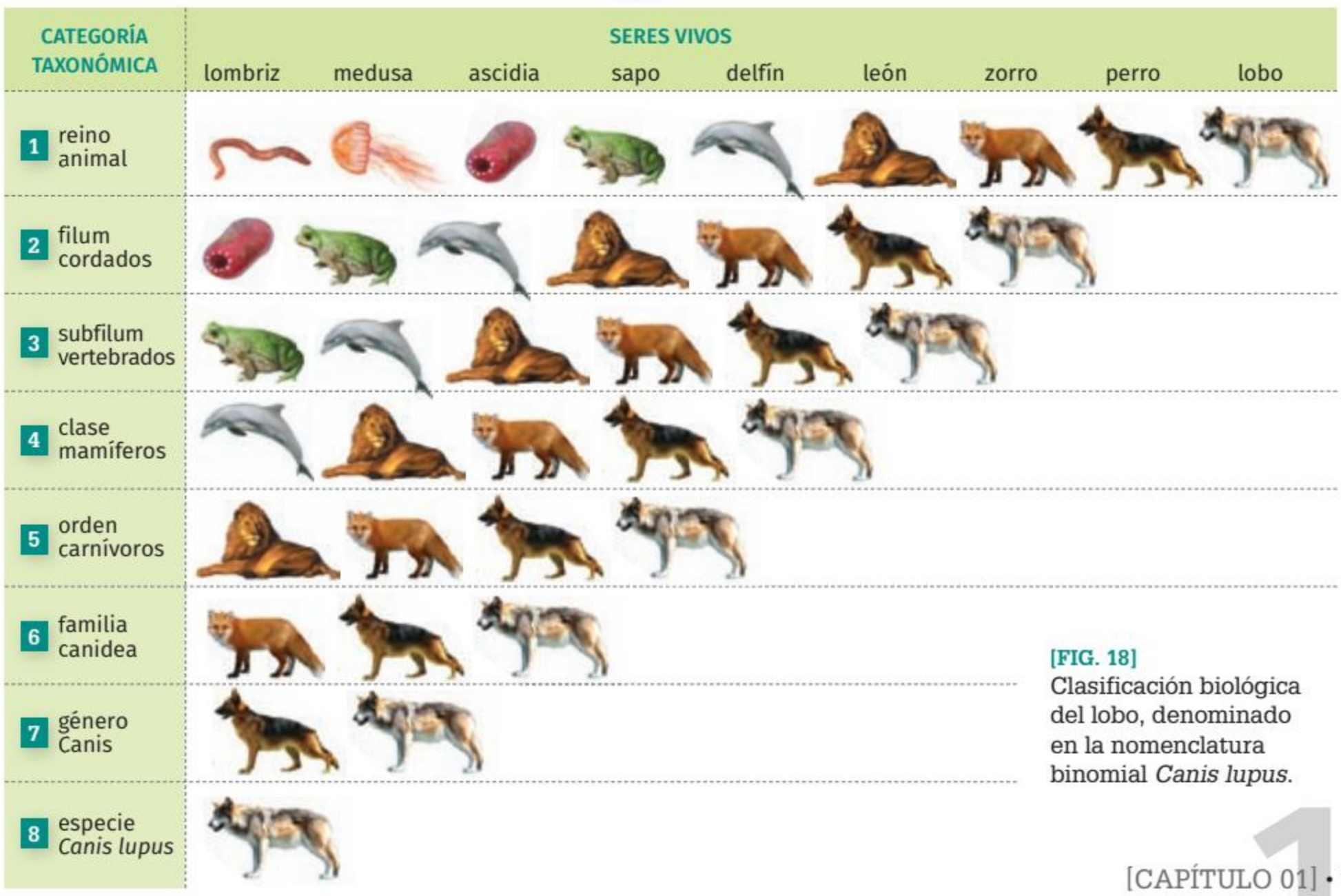
En el sistema jerárquico de clasificación biológica, cada grupo o **taxón** se asocia a una categoría (género, especie, etcétera) y a un conjunto de características que determina la pertenencia de ciertos seres vivos a este grupo [FIG. 18].

Guía de estudio

1. ¿Cuál es la diferencia entre taxonomía y sistemática?

2. Según la nomenclatura binomial, ¿dos perros de distinta raza presentan el mismo nombre específico? Justifiquen.

3. Dos organismos que pertenecen al mismo género pero a distinta especie, ¿se encuentran clasificados en distintas familias? Justifiquen con un ejemplo.



[FIG. 18]
Clasificación biológica del lobo, denominado en la nomenclatura binomial *Canis lupus*.

Palabras clave: **cladismo** taxón **filogenia** *sinapomorfía*

Los árboles filogenéticos

Los árboles filogenéticos agrupan los seres vivos según sus características exclusivas y derivadas. Aquellas que se mantienen en un grupo y en su ancestro se denominan sinapomorfías. Los árboles filogenéticos suponen relaciones de parentesco realizadas sobre la base de caracteres genéticos, ecológicos, comportamentales, reproductivos, fisiológicos o moleculares. Veamos...

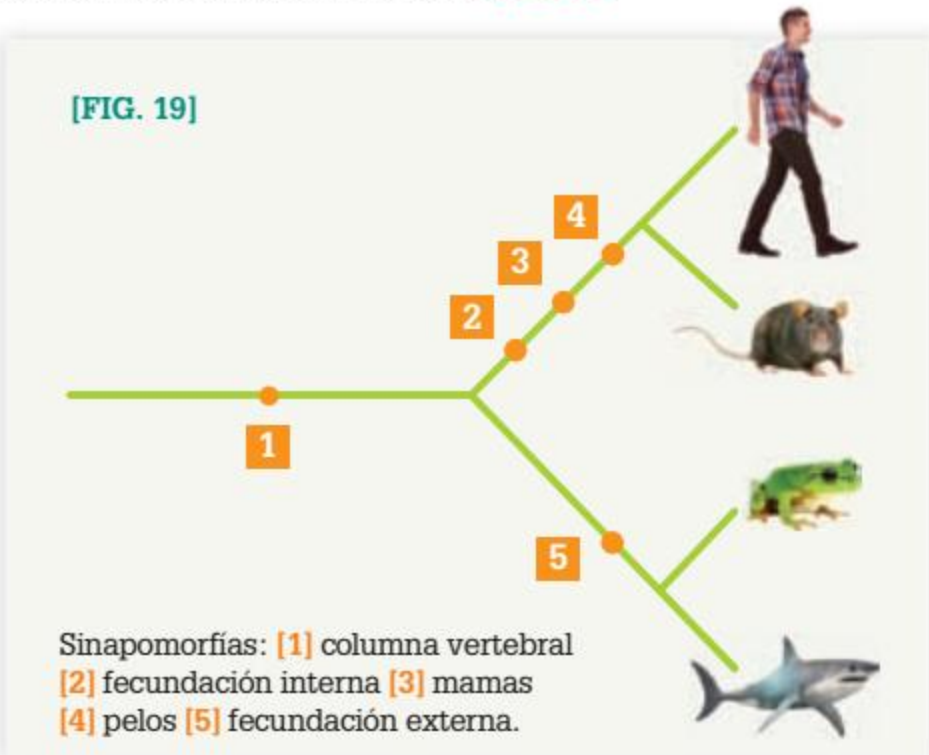
Sistemática filogenética

Darwin propuso que todos los seres vivos pertenecen a un mismo *árbol genealógico* y que descienden de un *único* **antecesor común**.

En 1950, *Willi Hennig* presentó en su libro *Sistemática filogenética* una propuesta para una nueva clasificación, que junto con los aportes de otros investigadores se conoce como **sistemática filogenética** o **cladismo** (término que proviene del griego *cládos*, 'rama').

El *cladismo* se sustenta en la construcción de grupos basados en características exclusivas y heredables de un grupo de organismos. Por lo tanto, estos caracteres, denominados **sinapomorfías**, permiten identificar a todos los miembros de un grupo y a su ancestro común.

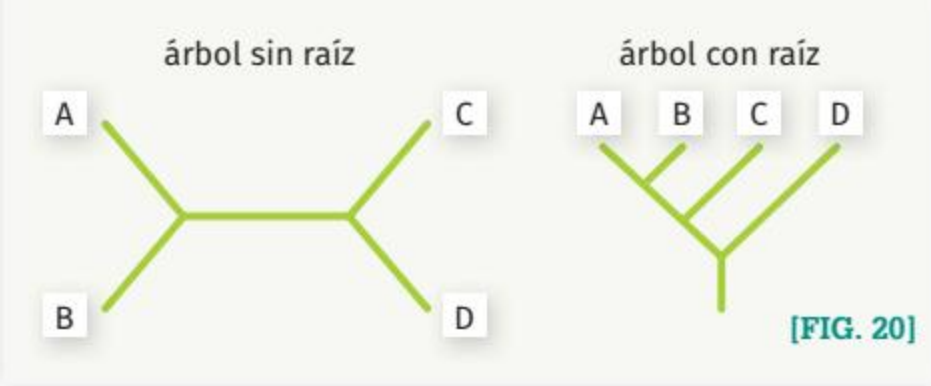
Por ejemplo, el ratón y el ser humano se encuentran dentro del taxón Mammalia (mamíferos), ya que ambos presentan mamas y pelos, características exclusivas del taxón. A su vez, estos organismos comparten con los peces, anfibios y reptiles la presencia de columna vertebral. Debido a la presencia de esta estructura, todos estos animales están incluidos dentro de una categoría superior denominada Phylum Cordata [FIG. 19].



[FIG. 19]
Sinapomorfías: [1] columna vertebral [2] fecundación interna [3] mamas [4] pelos [5] fecundación externa.

El parentesco entre los seres vivos se representa, por medio de características compartidas, en los **árboles filogenéticos**. Las relaciones evolutivas de parentesco entre las especies comprenden la **filogenia**, que se esquematiza en árboles con *ramas* que se *bifurcan* en cada una de las especies analizadas.

Cada rama puede dar únicamente dos ramas, por lo tanto es un *diagrama dicotómico*. Un árbol filogenético puede o no tener raíz, por tanto puede o no incluir al posible ancestro de todas las especies estudiadas [FIG. 20].



[FIG. 20]

Los árboles filogenéticos se construyen sobre la base de supuestos y según el número de grupos examinados, existirá una determinada cantidad de árboles posibles. El árbol más probable será aquel que contenga menor número de transformaciones de los caracteres a lo largo de sus ramas [FIG. 21].

[FIG. 21]
Para los tres taxones estudiados (A, B, C) existen tres posibles árboles enraizados y todos son probables.

De este modo se demuestra que la *representación lineal* de la evolución humana a partir de un primate es errónea [FIG. 22]. Los seres humanos habrían presentado un ancestro común compartido con el mono y su historia evolutiva debe esquematizarse mediante un árbol filogenético.

[FIG. 22]
Esta representación acerca de la evolución del hombre es incorrecta.

Realización del árbol filogenético

Al descubrir una nueva especie, la descripción que realizan los biólogos debe tener en cuenta las relaciones filogenéticas y su ubicación en el árbol de la vida. Por este motivo deben analizar gran variedad de **caracteres biológicos** y así determinar similitudes y diferencias con las especies ya descriptas.

Estos caracteres analizados pueden ser de varios tipos: morfológicos, ecológicos, comportamentales, reproductivos, fisiológicos o moleculares.

Los primeros árboles filogenéticos fueron realizados a partir de los **caracteres morfológicos**, es decir de la forma y estructura de las distintas partes del organismo.

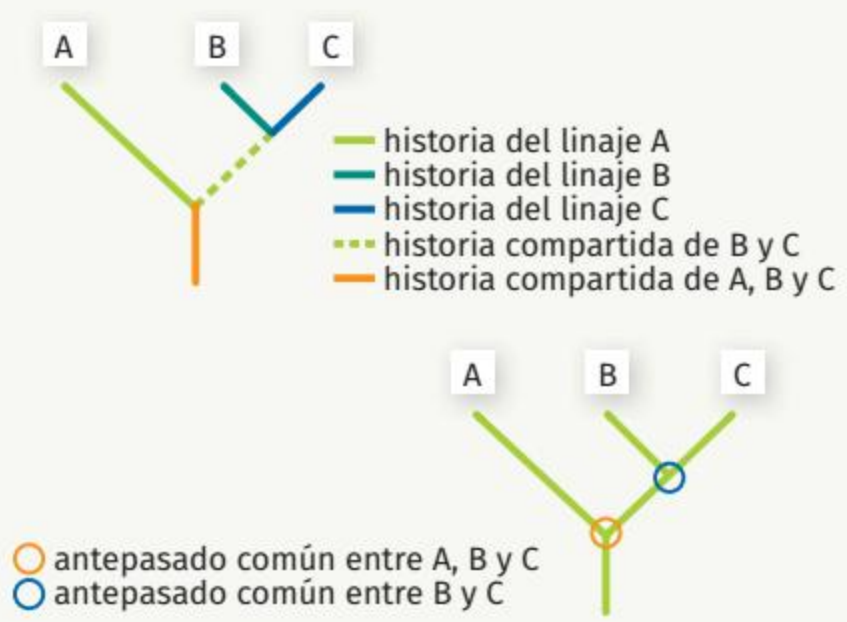
Con la información recolectada en los últimos años, las ramas principales de los árboles cambiaron de posición y además, se agregaron nuevas ramas gracias a los aportes brindados por los estudios *moleculares*, que permitieron analizar secuencias de aminoácidos* y de nucleótidos* de gran variedad de organismos.

Después de que el biólogo determina los caracteres, construye con ellos hipótesis de relación de parentesco entre las especies y la representa de manera esquemática mediante el *árbol filogenético*.

Cada uno de los puntos de ramificación, denominado **nodo**, contiene las características del *ancestro hipotético* e indica el evento de separación que dio lugar a dos especies distintas.

En el extremo más distal* de las ramas se encuentran los taxones que se evaluaron [FIG. 23]. Por lo tanto, se debería obtener un árbol filogenético donde un género contenga exclusivamente a las especies que descienden del ancestro común más cercano a todas las especies que constituyen dicho género.

[FIG. 23]



A su vez, una familia debería contener únicamente a los géneros que derivaron de la especie ancestral más cercana a todas las especies que constituyen dicha familia, y así para cada jerarquía de clasificación.

Es necesario destacar que los árboles filogenéticos propuestos son *hipótesis*, por ende cambiarán a lo largo de los años y de los estudios realizados a medida que los biólogos analicen mayor cantidad de datos.

Los científicos desarrollan sus investigaciones por medio de distintos criterios de clasificación, ya que cada grupo de trabajo predetermina el criterio que quiere analizar, a partir de características que consideran relevantes. Como consecuencia de la disparidad de pautas se generan numerosos árboles basados en caracteres morfológicos, mientras que otros se sustentan sobre la base de características a nivel molecular.

aminoácido. Molécula orgánica que forma parte de las proteínas.
nucleótido. Molécula orgánica que forma los ácidos nucleicos (ADN y ARN).
distal. Que está más distante o lejano.

Ciencia actual

La filogenia computacional

Para incorporar una nueva especie a un árbol filogenético, se utilizan programas de computación en donde se incorporan todos los datos que el investigador considera relevantes a la hora de la clasificación. Estos programas varían según el método empleado, y realizan el árbol que incluye el menor número de pasos evolutivos. La veracidad de la información obtenida aumenta con la cantidad de caracteres analizados.

Guía de estudio

1. ¿Cómo se denominan las características que tienen en común las distintas especies?
2. ¿Cuáles son las características de la especie que se tienen en cuenta para armar un árbol? ¿Siempre se utilizan las mismas?
3. ¿Por qué la evolución humana no es lineal? ¿Consideran que los seres humanos aún evolucionan?

Experiencia en acción y...

El armado de su propio fósil

Como se explicó anteriormente, existen distintos tipos de fósiles según el modo de fosilización. Existen fósiles en tres dimensiones, como las momificaciones o moldes internos, o en dos dimensiones, como las improntas. A partir del siguiente experimento podrán obtener una réplica de algún objeto que deseen.

Materiales

- Bandeja de plástico o telgopor rectangular
- Objeto del que se quiere hacer el molde
- Aceite de cocina o vaselina
- Plastilina
- Yeso en polvo
- Agua
- Pincel

Procedimiento

a. Estiren la plastilina para que quede de un centímetro de espesor y abarque toda la superficie de la base interna de la bandeja.

b. Coloquen la plastilina estirada en la base de la bandeja.

c. Sobre la plastilina, presionen el objeto que quieran. El fósil que originen tendrá la forma de ese objeto.

d. Retiren el objeto y pinten la superficie de la plastilina con aceite o vaselina para que sea más fácil la separación entre el yeso y la plastilina. Esparzan el líquido utilizando un pincel o su propio dedo.

e. Preparen una mezcla de yeso en polvo con agua. Pueden utilizar una proporción de media taza de yeso por ¼ de taza de agua de manera que quede espeso. Dejen reposar dos minutos.

f. Vuelquen la mezcla del yeso sobre la plastilina previamente cubierta con el aceite o la vaselina y extiéndanla hasta cubrir toda la superficie.

g. Dejen secar por 24 horas aproximadamente.

h. Con cuidado separen el yeso de la plastilina.

Observaciones y conclusiones

1. ¿El fósil que originaron con el yeso tiene dos o tres dimensiones?
2. De acuerdo con la clasificación vista en la página 15, ¿qué tipo/s de fósil/es obtuvieron?
3. Si con sus manos hicieran presión sobre el yeso antes de que solidificara, ¿obtendrían la misma morfología? ¿Por qué?

...revisión final.

- **Lean el siguiente texto y resuelvan las actividades.**

Tres compañeros del colegio debían realizar un trabajo práctico para la materia Biología. El papá de uno de los chicos les sugirió que fueran primero al Museo de Ciencias Naturales de la ciudad, y a ellos les pareció una buena recomendación. Ni bien llegaron, un guía les explicó cómo estaban distribuidas las salas y cuál era la temática de cada una. A partir de esa información, los chicos decidieron recorrer las salas de anfibios y reptiles, aves, mamíferos, fondo del mar, el mundo de las plantas y paleontología.

1. Uno de los chicos preguntó por qué los seres vivos estaban divididos en distintas salas. Marquen con un ✓ la respuesta correcta a dicha pregunta.

- ○ **a.** Porque siguieron las reglas de clasificación de los tres dominios.
- ○ **b.** Porque el edificio no es tan grande como para poner a todos los organismos juntos.
- ○ **c.** Porque se clasifican en distintos grupos.

2. Al llegar a la sala dedicada al fondo del mar, uno de los chicos pensó en el término "biodiversidad" que se había explicado en clase. Sabía que estaba relacionado con tres niveles de clasificación, pero no pudo recordar su definición. Unan con una flecha cada término con la definición correspondiente.

diversidad genética	Cantidad de ecosistemas presentes en un determinado espacio.
diversidad biológica	Variabilidad de la información hereditaria.
diversidad de ecosistemas	Conjunto de seres vivos que habita en la Tierra.

3. Indiquen si las siguientes oraciones son verdaderas (V) o falsas (F).

- ☐ **a.** Los árboles filogenéticos son diagramas que establecen de manera única e inequívoca las relaciones entre los seres vivos.
- ☐ **b.** La deriva continental aporta información acerca del surgimiento de montañas.
- ☐ **c.** Una homología es una similitud compartida por un conjunto de especies y por el ancestro común más cercano.
- ☐ **d.** La deriva continental es la única evidencia que avala la teoría del ancestro común.
- ☐ **e.** La clasificación actual de los organismos se basa en los tres dominios.
- ☐ **f.** Un resto fósil siempre implica la muerte del organismo.
- ☐ **g.** La presencia de pelos es una sinapomorfía de los mamíferos.

4. Al llegar a la sala de paleontología, uno de los chicos observó que los organismos en exhibición eran fósiles. Marquen en cada casillero si se trata de una impronta (IM), una permineralización (P), un molde (M) o una inclusión (IN).

- ☐ **a.** Hueso de ave.
- ☐ **b.** Pisada de reptil.
- ☐ **c.** Sello en dos dimensiones de una hoja.
- ☐ **d.** Insecto en resina.
- ☐ **e.** Huevo de tortuga.

5. Completen el siguiente párrafo con las palabras faltantes de manera que quede correcto.

La teoría del ancestro común plantea que los seres vivos ..... de un antecesor en común con el resto. Existen varias evidencias que la respaldan, como la observación directa, la biogeografía, la homología, el ..... y la imperfección de la adaptación. La biogeografía hace referencia a la distribución geográfica de los seres vivos, en contraste con la paleobiogeografía, que estudia la distribución de los .....

Capítulo 02

La evolución y la selección natural

A lo largo de la historia de la vida todos los organismos sufrieron cambios. Estas modificaciones fueron causadas por la interacción entre individuos y por la influencia del ambiente en un momento particular. Si el ambiente cambia, aquellos organismos que por azar hayan adquirido estructuras aptas para ese nuevo medio, sobrevivirán y dejarán más descendencia con los caracteres adaptados a ese ambiente. Este proceso se conoce como selección natural.

Secuencia de contenidos:

- Las teorías evolutivas
- Del creacionismo al transformismo
- Darwin y la selección natural
- Los estudios de Darwin
- Las variantes de la selección natural
- Las consecuencias de la evolución
- Las extinciones: pérdida de especies

- ¿Cómo interpretan la imagen de la apertura? ¿Por qué piensan que se representa con forma de espiral?
- ¿Creen que las especies cambian en el tiempo? ¿Qué teorías escucharon relacionadas a la evolución de las especies? ¿Consideran que continúa la evolución sobre los seres vivos? Justifiquen su respuesta.
- ¿El medio ambiente es un factor influyente en la evolución? ¿Por qué?

Las teorías evolutivas

Desde la antigua Grecia, se propusieron distintas teorías sobre los cambios experimentados por los seres vivos con el paso del tiempo. Sin embargo, el primer concepto de transformación fue planteado recién en 1801 por Lamarck. Actualmente, esta teoría no se encuentra vigente, ya que el mecanismo evolutivo propuesto no es posible. Veamos...

Primeras concepciones sobre la evolución

A lo largo del tiempo, el ser humano se ha interrogado sobre la historia de los seres vivos en la Tierra y muchas de esas respuestas se obtuvieron a partir de observaciones. Un ejemplo de ello es el viaje realizado por *Charles Darwin* a bordo del *HSM Beagle*, que marcó un antes y un después en la historia de la ciencia y en la forma de interpretar al ser humano en relación con el resto de los seres vivos. Dos décadas más tarde, la teoría planteada por Darwin sobre la evolución se convirtió en una de las bases más importantes para comprender este fenómeno.

El término **evolución** suele asociarse directamente con *Darwin*. Sin embargo, el naturalista inglés no fue pionero en proponer que los seres vivos cambian a lo largo del tiempo. Uno de los primeros registros o hipótesis acerca del origen y de la transformación de las especies se atribuye al filósofo *Anaximandro* (611-547 a. C.), quien concluyó que los cambios en las especies eran el resultado de un conjunto de procesos naturales.

Posteriormente, *Aristóteles* (384-322 a. C.) clasificó a los seres vivos de acuerdo con sus similitudes y diferencias en estructura y apariencia. El filósofo y naturalista griego es reconocido por ser uno de los primeros en considerar que el conocimiento puede ser ordenado y clasificado, y formuló un lenguaje lógico para nombrar a los seres vivos.

[FIG. 24] Representación de las distintas jerarquías de los seres vivos realizada por Aristóteles.

Aristóteles propuso un ordenamiento de los seres vivos en jerarquías crecientes: las criaturas más simples como los gusanos se encontraban en los escalones inferiores; el hombre, en el extremo opuesto, y en los escalones intermedios se ubicaba el resto de los organismos, como las aves y reptiles **[FIG. 24]**.

En el siglo XVIII, el naturalista *Georges-Louis Leclerc* (1707-1788) propuso que las especies podían sufrir cambios con el transcurso del tiempo, aunque su hipótesis no explicaba cómo ocurrían esas transformaciones.

El abuelo de Charles Darwin, *Erasmus Darwin* **[FIG. 25]**, se encontraba entre los que dudaban de la creencia de que las especies permanecían invariables en el tiempo. Erasmus sugirió que las especies presentaban conexiones históricas entre sí, que los animales podían cambiar en respuesta al ambiente y que su descendencia heredaría dichos cambios.

[FIG. 25] Erasmus Darwin (1731-1802), médico, naturalista y filósofo británico.

En 1801, *Jean Baptiste Lamarck* (1744-1829) planteó la primera explicación sobre los *mecanismos* de estos cambios. En su teoría, denominada **transformismo**, explica que todas las especies descienden de otras más antiguas y que las formas más complejas habrían surgido a partir de las más sencillas por un proceso de *transformación progresiva*. En este, las modificaciones morfológicas, fisiológicas o comportamentales adquiridas durante la vida de un individuo se transmitirían progresivamente a su descendencia. En la actualidad, el mecanismo evolutivo propuesto por Lamarck no se encuentra en vigencia, pero fue muy importante para sentar las bases de la teoría planteada posteriormente por Charles Darwin.

Guía de estudio

1. Armen una línea de tiempo en donde incluyan las principales ideas que plantearon los naturalistas citados en la página.

2. El término *evolución* es utilizado frecuentemente en diversos contextos. Discutan acerca de sus usos. ¿Cómo creen que la evolución repercute en los seres vivos?

Del creacionismo al transformismo

Las teorías sobre las variaciones de las especies se modificaron a medida que se recolectaron nuevas evidencias. Durante muchos años se consideró que las especies no cambiaban, sino que se mantenían fijas y que la Tierra y el ser humano habían sido creados por un ser divino. Luego, Lamarck planteó que las especies se transforman como consecuencia de distintos factores. Veamos...

Concepciones sobre la variabilidad de las especies

En el siglo XVIII, prácticamente todos los científicos y naturalistas creían que no existía variabilidad de las especies en el tiempo. Las distintas concepciones que se tenían acerca de la historia de los seres vivos respondían a las teorías **fijistas** y **creacionistas**. Estos dos términos generan confusión ya que coinciden en ciertos aspectos, sin embargo hacen alusión a dos procesos que presentan diferencias.

Con el paso del tiempo surgieron distintas ramas dentro de las ciencias naturales, como la paleontología y la anatomía comparada, que brindaron nueva información a los científicos, lo que llevó a que se comenzaran a cuestionar las ideas dominantes de la época. La teoría **fijista** plantea una visión estática de las especies y fue abandonada paulatinamente por los científicos y naturalistas cuando el científico francés Lamarck planteó su **teoría transformista**.

Creacionismo

El **creacionismo** es el conjunto de **creencias** basadas en la **doctrina religiosa judeocristiana**, según la cual el universo, la Tierra y cada ser vivo existente en ella provienen de la creación de un **ser divino**.

El creacionismo plantea que la Tierra es un planeta "estático". En el siglo XVII, el obispo Usher estimó que la creación divina del mundo databa del año 4004 a. C. A partir de diversas evidencias actuales, los científicos calculan que la antigüedad de la Tierra es de 4.500 millones de años y que la vida se habría originado 3.800 millones de años atrás. Además, los creacionistas se oponen a las explicaciones científicas sobre el origen de la vida y niegan la evolución biológica, debido a que contradicen la interpretación bíblica. El fresco pintado en la Capilla Sixtina por Miguel Ángel, *La creación de Adán*, representa el momento en que, según la tradición judeocristiana, Dios le dio vida al primer hombre: Adán.

El brazo izquierdo de Dios se encuentra rodeando a una mujer, que representa a Eva, quien hasta ese momento no había sido creada. Dios y Adán se encuentran en una postura similar en alusión a la cita de la Biblia que anuncia que "Dios creó al hombre a su imagen y semejanza" [FIG. 26].

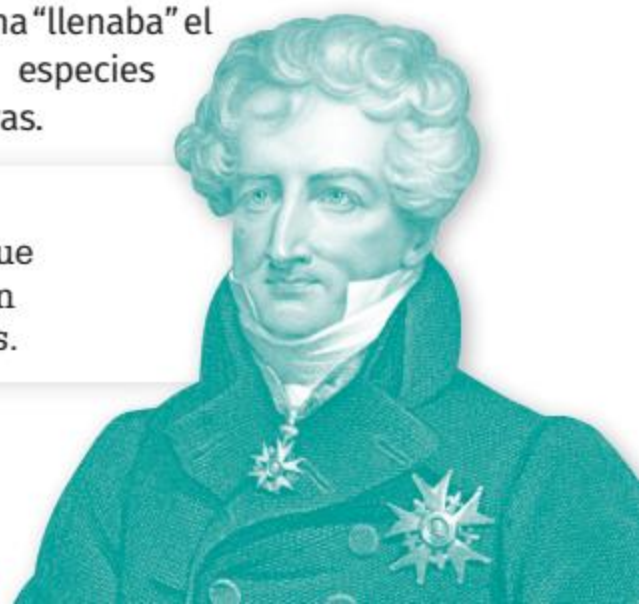
[FIG. 26] Alrededor del año 1511, Miguel Ángel completó la última representación de los episodios del Génesis ubicados en el techo de la Capilla Sixtina.

Fijismo

El **fijismo** es una teoría que expone que todas las **especies** de seres vivos han permanecido **invariables** o **fijas** desde su creación. *Carlos Linneo*, el fundador del método de clasificación de los seres vivos, fue el primero en formalizar el fijismo [FIG. 27]. Linneo sostuvo que las especies se habían creado de forma separada e independiente y además negó un origen común entre todas las especies.

[FIG. 27] Carlos Linneo (1707-1778), científico, naturalista, botánico y zoólogo sueco.

George Cuvier fue considerado fijista y fundador de la anatomía comparada [FIG. 28]. Si bien él reconocía la ausencia de muchas especies presentes en el registro fósil, explicaba que las extinciones se habían producido por una serie de catástrofes y que la creación divina "llenaba" el espacio vacío dejado por las especies extintas con la creación de nuevas.



[FIG. 28] Existe un cráter en la Luna que recibe el nombre de *Cuvier* en homenaje al científico francés.

Teoría transformista de Lamarck

En contraposición con el fijismo, *J. B. Lamarck* elaboró un conjunto de teorías para explicar la variabilidad de las especies al que denominó **transformismo**.

La teoría de Lamarck es una teoría sobre la evolución de la vida y no sobre su origen, ya que en aquel entonces se aceptaba que todas las especies se habían originado por **generación espontánea***. A partir de las observaciones realizadas sobre invertebrados fósiles y actuales, Lamarck propuso que las especies aparecían por generación espontánea para llenar el espacio vacío en la base de la escalera sugerida por Aristóteles. Luego, las especies cambiaban como consecuencia de diversos factores, lo que generaba que estuvieran mejor adaptadas al ambiente y fueran más complejas. La progresión o evolución dependía de tres factores principales: *cambios ambientales, uso y desuso de los órganos* y *sentimiento interior.*

- **Cambios ambientales.** El ambiente que rodea a los seres vivos se encuentra en continuo cambio. Las variaciones ambientales crean necesidades que exigirán a los individuos modificar sus hábitos o conductas.
- **Ley del uso y desuso de los órganos y teoría de la herencia de los caracteres adquiridos.** En función del ambiente y del uso o desuso, los órganos de los seres vivos se hacen más fuertes o débiles y más o menos importantes. Los órganos más usados se desarrollan, mientras que los que dejan de utilizarse se atrofian. Estos cambios siempre se transmiten de los progenitores a sus descendientes. Uno de los tantos ejemplos planteados por Lamarck es el famoso caso del *cuello de las jirafas* [FIG. 29].

En su libro, el naturalista escribió: "la jirafa, el más alto de los mamíferos, vive en el interior de África en lugares donde hay poca hierba, por lo que se alimenta de las hojas de los árboles. El permanente esfuerzo por alcanzarlas ha hecho que sus patas delanteras sean mucho más largas que las traseras y que su cuello se haya estirado notablemente". Los cuellos más largos adquiridos a partir del estiramiento se transmitieron a la descendencia.

- **Sentimiento interior.** Los seres vivos son impulsados hacia una *mayor complejidad* mediante *esfuerzos* inconscientes. Existe un impulso vital o una tendencia natural que lleva a los organismos hacia la perfección y complejidad.

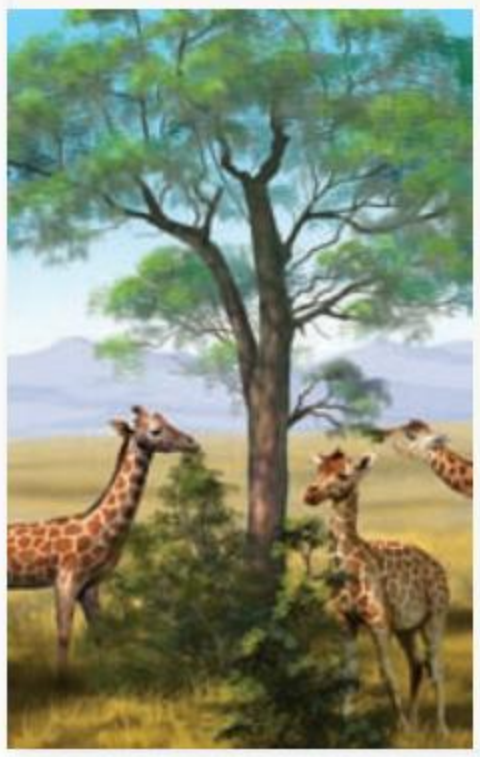
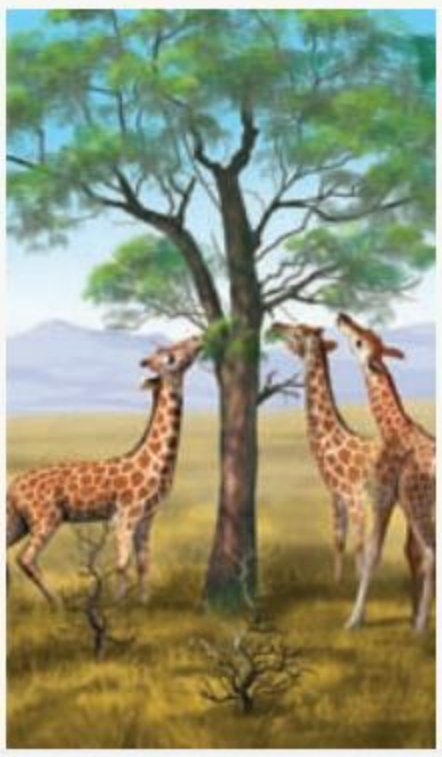
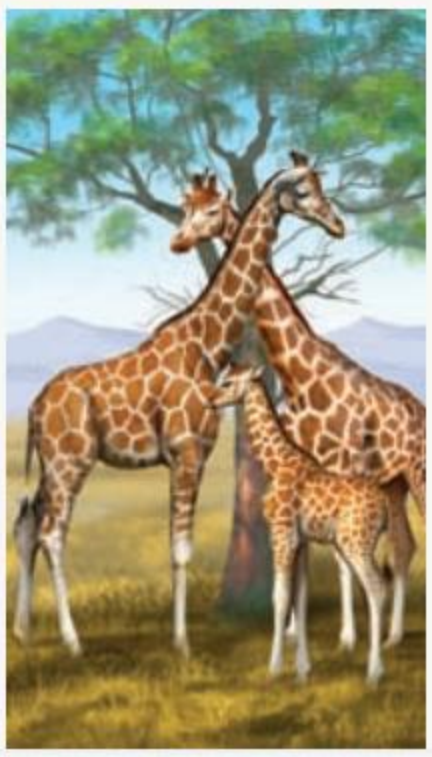
Las ideas de Lamarck no pudieron ser demostradas debido a la ausencia de evidencias de los mecanismos propuestos y a la falta de conocimiento sobre la herencia de caracteres. Sin embargo Lamarck planteó ideas sobre el cambio de los seres vivos que contribuyeron a la progresiva aceptación de las teorías evolutivas.

generación espontánea. Proceso sin causa aparente mediante el cual surgen nuevas formas de vida a partir de materia orgánica e inorgánica.

Guía de estudio

1. ¿Cuáles son las diferencias y las similitudes entre el fijismo y el creacionismo?
2. ¿Por qué la teoría de Lamarck es incorrecta?

[FIG. 29]
Para Lamarck, las jirafas tenían un impulso vital que las llevó a estirar sus cuellos para alimentarse, y este cambio se transmitió a la descendencia.

Darwin y la selección natural

El mecanismo de selección natural planteado y publicado por Charles Darwin vincula el proceso de interacción entre los organismos con su entorno. La selección natural consta de dos etapas: producción de variabilidad (o variación entre individuos de la misma especie) y la supervivencia del organismo (aquel que presente los caracteres que más se adapten al ambiente). Veamos...

Mecanismo planteado por Darwin

Charles Darwin comenzó a estudiar medicina pero en 1831 decidió embarcar en el *HSM Beagle*, comandado por *Robert Fitz Roy* [FIG. 30], donde consiguió un puesto como naturalista.

En su viaje llevó el libro de *Charles Lyell*, *Principios de la Geología*, donde se fundamentaban las críticas a la *teoría de las catástrofes*. Esta sostenía que los relieves de la superficie terrestre surgirían por catástrofes y no por movimientos telúricos de millones de años. De este modo, en el libro se presentaban novedosas evidencias que refutaban el catastrofismo. Además, se explicaba la **teoría del uniformismo**: el efecto lento, constante y acumulativo de las fuerzas naturales había producido un cambio continuo en el relieve de la Tierra.

A bordo del *Beagle*, Darwin observó el paisaje geológico de Sudamérica y puso a prueba el "uniformismo" en los seres vivos.

Luego del viaje, Darwin estudió durante veinte años las muestras que había recolectado y obtuvo conclusiones fundamentales para su teoría. Además, tuvo en cuenta para su elaboración un tratado sociológico publicado en 1789 por *Thomas Malthus*. En él se advertía que la población humana sobre el planeta Tierra se incrementaba con tanta rapidez que en poco tiempo sería imposible alimentar a tal cantidad de habitantes.

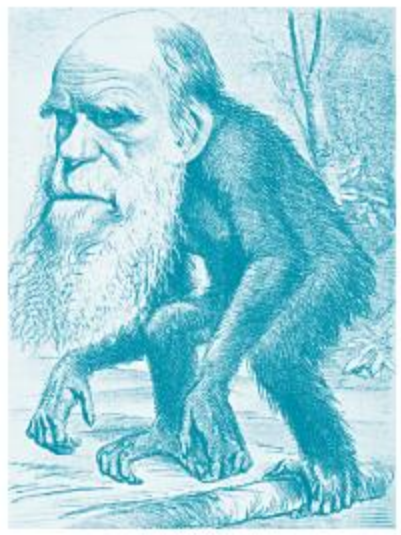
Así, Darwin concluyó que la disponibilidad de alimentos, entre otros factores, limitaría el crecimiento de las poblaciones de las distintas especies.

[FIG. 30]
Robert Fitz Roy (1805-1865) fue gobernador de Nueva Zelanda desde 1843 a 1845.

Darwin y Lamarck se oponían a la concepción fijista dominante de su época y coincidían en que las especies cambiaban de manera *gradual* y *continua*, es decir evolucionaban. Otro aspecto en común radicaba en que ambos sostenían que los caracteres adquiridos se transmitían a la descendencia, a pesar de no contar con la evidencia necesaria para poder afirmarlo. No obstante, para Darwin las especies descendían de un *ancestro común*, mientras que Lamarck sostenía que la evolución era un *proceso lineal*. A su vez, Darwin creía en la *extinción de especies*, idea que Lamarck rechazaba.

Como lo explicaba Lamarck, el ambiente tenía un papel fundamental; sin embargo, para Darwin el *ambiente* no impulsaba el cambio en los seres vivos sino que los *seleccionaba*.

La propuesta de Darwin no fue aceptada rápidamente en la sociedad, sino que muchos científicos de la época cuestionaron su hipótesis. Una manera de representar este desacuerdo es la gran variedad de caricaturas que se publicaban en las revistas de la época [FIG. 31].



[FIG. 31]
Caricatura publicada en la revista *Hornet* que representa a Darwin como un simio a modo de ironía del ancestro común.

La selección natural explica las distintas formas de los animales que habitan ambientes similares. Muchas veces los organismos presentan características que pasan inadvertidas en determinados ambientes. De este modo, el mimetismo es una consecuencia de este mecanismo evolutivo, ya que camuflarse y esconderse entre la vegetación otorga más posibilidades de sobrevivir al ataque de un predador o de alimentarse capturando una presa [FIG. 32].

[FIG. 32]
La chita o guepardo camuflado es el único felino que no es capaz de trepar árboles.

Selección natural

En 1844, *Charles Darwin* comenzó a escribir sus hipótesis del cambio en los seres vivos y del mecanismo evolutivo por **selección natural**. Sin embargo, la publicación de su teoría se produjo recién en 1859 en el famoso libro *El origen de las especies por medio de la selección natural*.

Un año antes de la publicación del libro el autor contactó al naturalista inglés *Alfred Russel Wallace*, quien había llegado a conclusiones muy semejantes a las planteadas por Darwin al estudiar la distribución de animales en Indonesia y Malasia. Por ello, decidieron que sus ideas debían ser dadas a conocer al resto de los científicos.

A partir del libro publicado por Charles Darwin, se asentaron las bases de que el proceso de selección natural consta de dos etapas. La primera hace referencia a la **producción de la variabilidad** o a la *diferencia* observada entre *dos organismos de una misma especie*, ya que si no existe variabilidad no hay qué seleccionar.

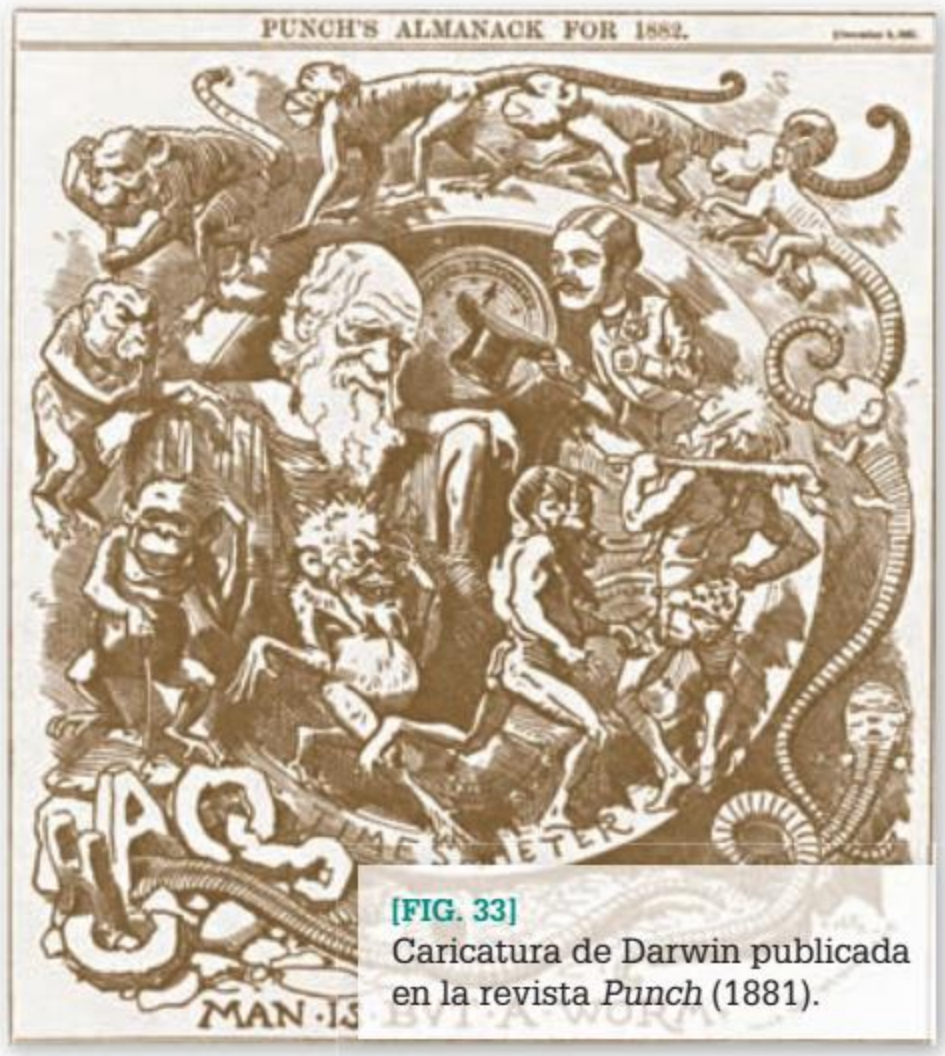
La segunda etapa del proceso de selección natural es el **mecanismo selectivo** o *supervivencia diferencial* de los organismos en su lucha por la existencia. Aquellos individuos que presenten la combinación de *caracteres* más propicios para enfrentarse al entorno (clima, depredadores, etcétera) serán los que tengan *mayor probabilidad de sobrevivir*. Los organismos más aptos para un ambiente particular serán aquellos que tengan caracteres que les permitan sobrevivir. Estos caracteres se heredarán a la descendencia y permanecerán en la siguiente generación.

Cuestionamientos a la selección natural

Una vez planteado el mecanismo de *selección natural*, los científicos se dividieron en dos grupos: aquellos que *apoyaban* la teoría y los que la *rechazaban*. Las críticas realizadas por los detractores se basaban sobre:

- **El origen de la variabilidad.** En contraste con Lamarck, Darwin suponía que la variabilidad no se originaba por voluntad del organismo, sino que aparecía al *azar*. Sin embargo, el naturalista desconocía el mecanismo, lo que resultó ser una crítica por parte de los detractores. Con el paso de los años y el surgimiento de la genética, se demostró que los organismos de las poblaciones naturales tienen numerosas diferencias como consecuencia de las variaciones en sus *genes*.
- **La herencia de las características.** Darwin sostenía que los caracteres heredados se transmitían mediante *herencia por mezcla*. Sin embargo, esto contradice la selección natural, ya que si los caracteres iniciales se mezclaban en los descendientes, la variabilidad se perdería.
- **La ausencia del registro fósil.** Si la evolución es un proceso gradual deberían encontrarse *fósiles* de todas las *variantes intermedias* entre las extintas y las actuales. Darwin argumentó que el proceso de fosilización es poco frecuente y es muy posible que las formas intermedias no se encuentren fosilizadas.

En la época de Darwin se ignoraban muchos de los conocimientos biológicos con los que se cuenta hoy en día. Además, aceptar que el ser humano evoluciona y comparte un ancestro común con primates resultaba intolerable para la sociedad victoriana del momento. Así fue como se realizaron caricaturas a modo de burla que expresaban la resistencia a las ideas de Darwin. En la [FIG. 33] se concentran gran parte de las críticas que se le realizaron. A partir del caos surge la lombriz que va "evolucionando" hasta convertirse en un caballero que saluda a Charles Darwin.



[FIG. 33]
Caricatura de Darwin publicada en la revista *Punch* (1881).

Guía de estudio

1. Realicen un cuadro comparativo entre las teorías de Darwin y de Lamarck.
2. Armen un texto donde se desarrolle la definición de *selección natural*. Además, empleen los siguientes términos: *variabilidad*, *mecanismo selectivo* y *Darwin*.
3. ¿Cuáles son los factores que posibilitan que las especies evolucionen por selección natural?

Los estudios de Darwin

Darwin zarpó en el Beagle, *barco comandado por Fitz Roy, y durante cinco años recolectó ejemplares de animales y plantas que le proporcionaron numerosos indicios utilizados para elaborar su teoría de la selección natural. Luego de la travesía, realizó un estudio sobre la variabilidad, a partir de la forma y el tamaño de los picos de los pinzones, aves típicas de la isla de los Galápagos. Veamos...*

Viaje en el *Beagle*

Charles Darwin ingresó en la Universidad de Edimburgo a los 16 años para estudiar medicina. Con el paso del tiempo, fue dejando de lado esta disciplina y dos años más tarde ingresó al *Christ's College* de Cambridge para estudiar teología. Allí conoció a su profesor de botánica, *John Stevens Henslow*, quien le sugirió que se postulara como acompañante del capitán *Robert Fitz Roy* a bordo del barco *H.M.S Beagle*, en un viaje que duró cerca de cinco años. Durante ese lapso, Darwin realizó investigaciones geológicas en tierra firme y recolectó ejemplares de varias especies.

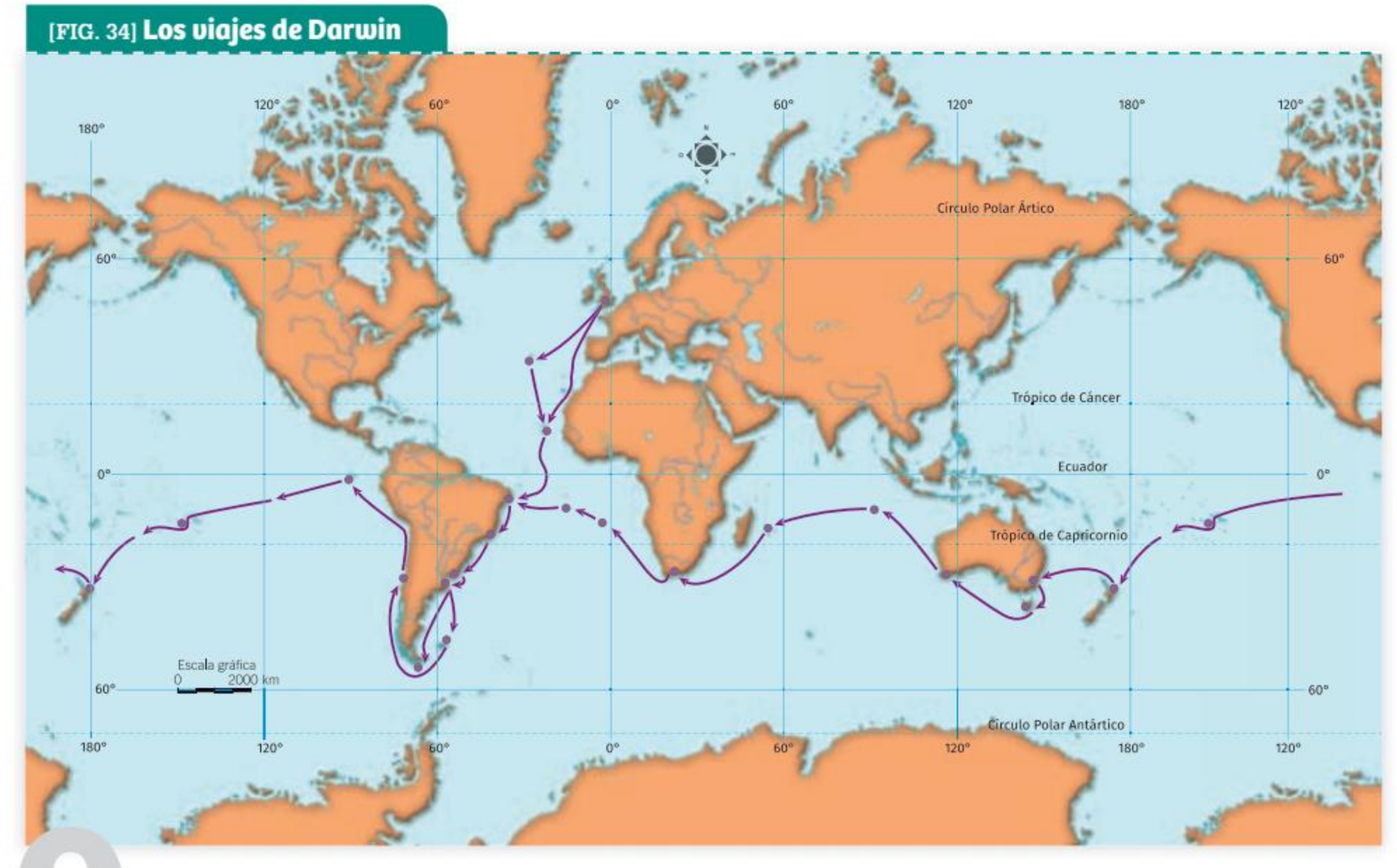
Durante tres años y medio a bordo, Darwin y otros científicos estudiaron y recolectaron muestras de animales y plantas típicos de las distintas localidades. Entre los lugares estudiados de América del Sur se encuentran Bahía, Río de Janeiro, Montevideo, Buenos Aires, Punta Alta, Monte Hermoso, Tierra del Fuego, Islas Malvinas, Puerto Deseado, Mendoza y Valparaíso [FIG. 34].

En la Argentina, Darwin halló y recolectó numerosos y variados ejemplares fósiles. En la provincia de Buenos Aires descubrió restos de gliptodontes (similares a armadillos pero gigantes), megaterios (perezosos de gran porte) y animales afines.

Estos fósiles presentaban semejanzas morfológicas con las especies actuales de los perezosos y armadillos, y por ello Darwin propuso la posible relación entre las especies extintas y actuales.

Durante su recorrido se asombró al observar a los ñandúes, aves semejantes a los avestruces; dadas las particularidades de esta especie, atrapó a un ejemplar y lo envió a Europa para su estudio. Años más tarde, en honor a Darwin, el ñandú recibió el nombre científico de *Rhea darwini*.

[FIG. 34] **Los viajes de Darwin**



Estudio de los pinzones

Luego del recorrido por países de latinoamérica como Brasil, Argentina, Chile y Perú, la fragata *Beagle* llegó a las **islas Galápagos**, ubicadas en el océano Pacífico aproximadamente a 1.000 km de las costas de Ecuador. Estas islas reciben su nombre por la presencia de una gran cantidad de tortugas gigantes, cuyo caparazón se parece al de una silla de montar denominada *galápago*.

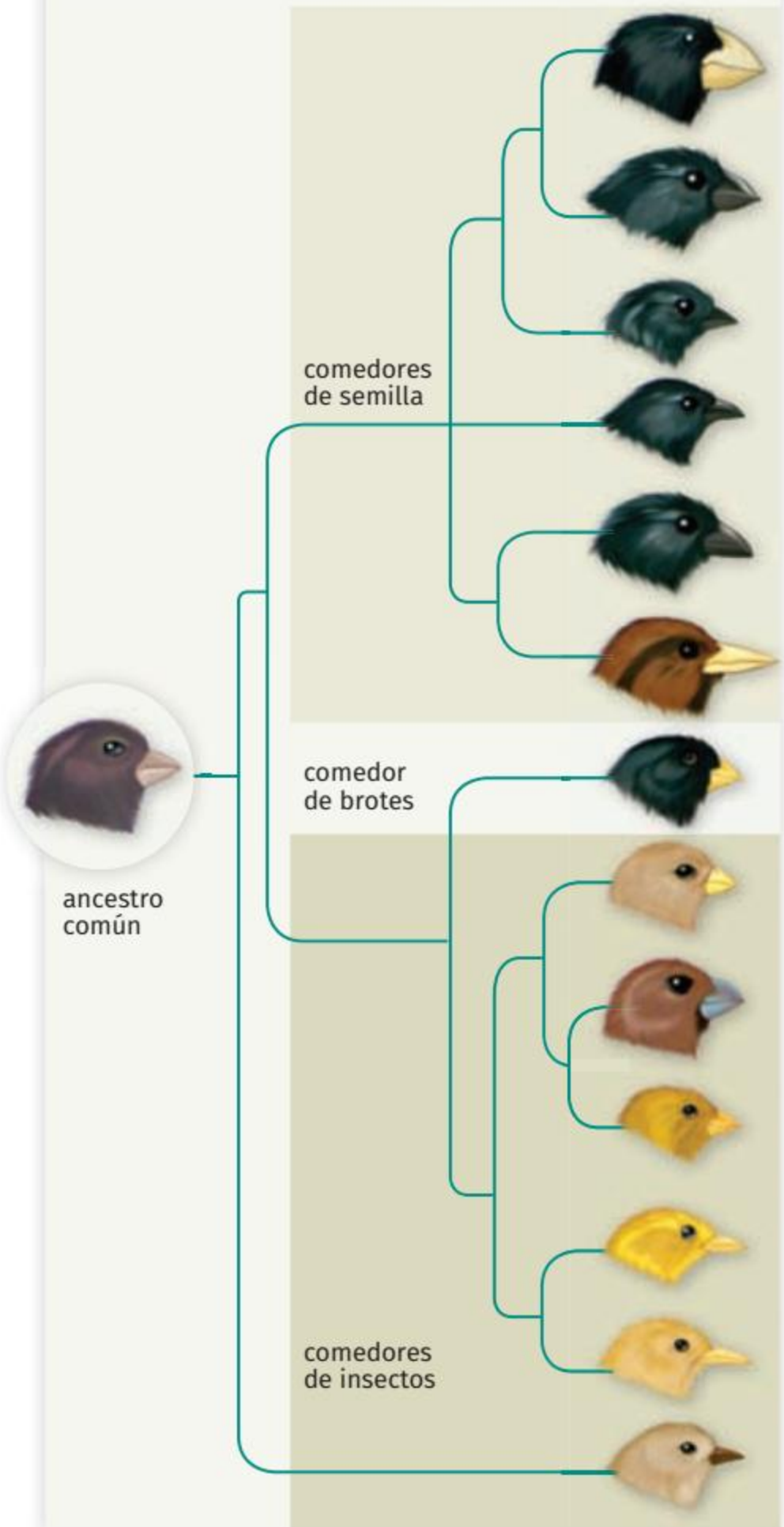
Para Darwin, la diversidad y variedad de animales y plantas de las islas Galápagos resultaron de gran relevancia. Se asombró al ver tortugas gigantes, exóticas iguanas marinas e insectos con morfologías extrañas. Sin embargo su asombro fue mayor cuando descubrió que si bien las islas presentan ambientes semejantes, poseen poblaciones muy diversas correspondientes a los mismos géneros. En particular se centró en el caso de los pinzones, aves pequeñas y grisáceas que resultaron de gran importancia en la formulación de la teoría de la *selección natural* planteada por el científico.

Luego de su análisis, el naturalista determinó que existían 13 tipos de pinzones diferentes en las islas, mientras que en el continente solo un tipo. Frente a esta situación Darwin se cuestionó sobre por qué algunas especies provenientes de las islas se parecían más a las del continente que a las aves pertenecientes a otras islas que presentan condiciones ambientales semejantes.

Al regreso del viaje, el naturalista le entregó los ejemplares de los pinzones recolectados a un especialista, *John Gould*, para su identificación. En primera instancia, Darwin pensó que eran aves pertenecientes a diversas familias, sin embargo Gould determinó que presentaban particularidades que permitían formar un nuevo grupo en el que se incluían las especies descubiertas. Además, observó que los *picos de los pinzones variaban en morfología y tamaño en función de su dieta* [FIG. 35]. La explicación que posteriormente propuso Darwin es que las 13 especies se originaron a partir de la especie del continente. En cada isla las condiciones ambientales (en este caso alimentarias) ejercieron una **presión selectiva** sobre los pinzones, y las especies que sobrevivieron fueron las que, por *azar*, desarrollaron picos que estaban mejor adaptados a los alimentos disponibles en cada isla. De este modo, al poder alimentarse lograron sobrevivir y transmitir ese carácter a su descendencia.

[FIG. 35] Distintas semillas, distintos pinzones

Árbol filogenético que representa la relación entre las distintas especies, además se asocia el tipo de dieta con la forma del pico que presentan.



http://goo.gl/BNvJUF

Escaneen el código QR, observen a partir del minuto 17 y aprendan más sobre Darwin.

Guía de estudio

1. **Expliquen por qué los picos de los pinzones de las distintas islas son diferentes entre sí.**

Las variantes de la selección natural

La selección natural es el mecanismo propuesto por Darwin para explicar cómo ocurre el cambio evolutivo en las especies. Las características de una población dependen de la presión selectiva que realice el ambiente. La selección natural se clasifica en función de qué característica incrementa el éxito reproductivo, y puede ser de tipo normalizadora, direccional y disruptiva. Veamos...

Tipos de selección natural

Los resultados de la selección natural dependen de la interacción de una variedad importante de factores.

Para que exista un proceso evolutivo, la selección debe cambiar la frecuencia de los genes implicados en la adaptación de los individuos a un determinado ambiente. Una **adaptación biológica** es un rasgo morfológico, comportamental o fisiológico que ha resultado de la *selección natural*, de manera que la supervivencia y el éxito reproductivo de los organismos se vieron incrementados para un ambiente específico en un momento dado. El ambiente favorece la selección de determinadas características de las especies y así contribuye al mantenimiento de la diversidad [FIG. 36].

[FIG. 36]
Los dientes molares de los osos pardos y de los osos polares difieren en forma y estructura, como consecuencia de los diferentes hábitos alimentarios.

Una característica se puede considerar más o menos apta en función del ambiente donde se desarrolle el organismo. Por ejemplo, como consecuencia de la extinción de los dinosaurios sobrevivieron numerosos invertebrados, como las estrellas de mar [FIG. 37]. En este sentido, la supervivencia de un individuo no está condicionada por su "fortaleza" sino por su capacidad de sobrevivir y por ende de dejar más descendientes en un ambiente determinado.

[FIG. 37]
Las estrellas de mar surgieron hace 450 millones de años.

Los procesos de selección natural se pueden clasificar en función de cómo afecten la variabilidad de una característica dentro de una población. Por lo tanto dependen de qué individuos de la población poseen mayor éxito reproductivo y transmiten sus genes a la descendencia.

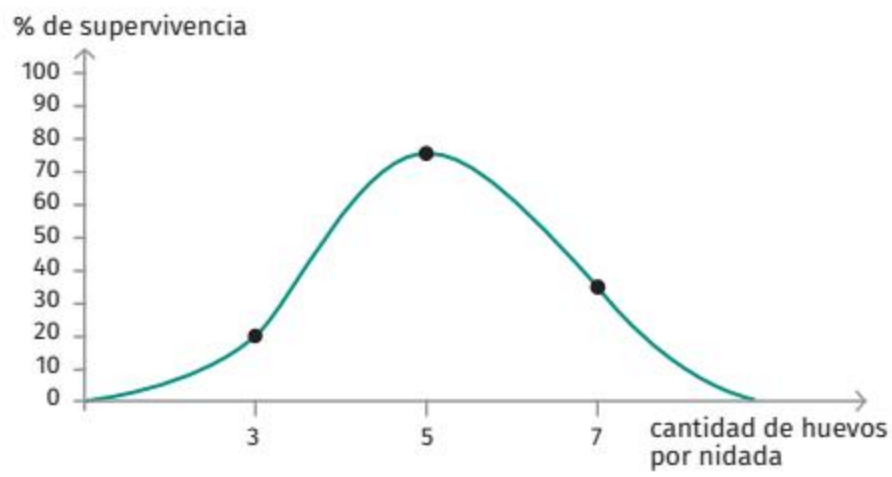
Selección *normalizadora* o *estabilizadora*

La **selección normalizadora** ocurre en ambientes con condiciones estables y favorece a los individuos que poseen un *valor intermedio* para cierta característica. Por otro lado, genera una selección en contra de los individuos que presentan valores extremos.

Un ejemplo es el número de huevos que ponen las aves. El tamaño de la nidada está determinado en cada especie, pero también puede estar influenciado por diversos factores ecológicos. Un estudio realizado en aves de Suiza determinó que había hembras que ponían de uno a cuatro huevos y que alimentaban a sus crías correctamente. Sin embargo, algunas crías eran depredadas o morían en los estadios iniciales. Cuando el número de crías llegaba a cinco, aumentaba el porcentaje de supervivencia, pero si superaba dicho valor volvía a disminuir el porcentaje porque la madre no podía cuidarlos adecuadamente [FIG. 38].

Los seres humanos también se encuentran sometidos a la selección natural. Hasta principios del siglo XX, los bebés que presentaban mayor o menor peso respecto del valor intermedio tenían menos probabilidades de sobrevivir. En la actualidad, este tipo de selección normalizadora ha desaparecido en los países ricos, como consecuencia del cuidado de los recién nacidos con bajo peso y de la cesárea en el caso de los bebés de gran tamaño. En contraste, en los países con menos recursos este fenómeno continúa ocurriendo.

[FIG. 38]
Las nidadas con cantidad de huevos intermedios (5) son las que más sobreviven.



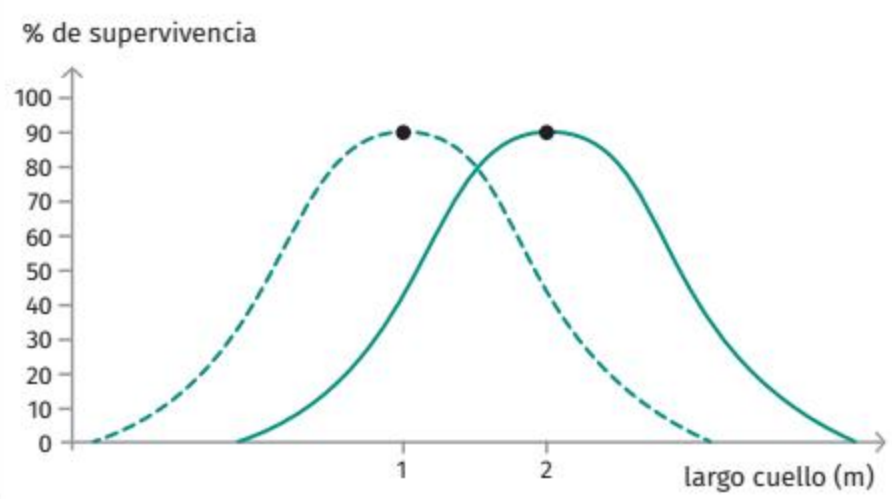
Selección *direccional*

La **selección direccional** produce un incremento en la proporción de individuos que poseen *uno de los valores extremos* de una característica y selecciona desfavorablemente a los individuos promedio y a los organismos que se encuentran en el otro extremo.

La presencia de los cuellos largos en las jirafas es un ejemplo de selección direccional. Es probable que los ancestros de las jirafas que, debido a variaciones genéticas heredables producidas al azar, presentaran cuellos más largos hayan conseguido más alimento. Por lo tanto sobrevivieron y se reprodujeron más en comparación con las de cuellos cortos. Esto llevó a un incremento de la presencia del carácter *cuello largo* [FIG. 39].

La selección direccional no continúa indefinidamente. Si el ambiente no cambia, la mayoría de las variantes que aparecen al azar resultan perjudiciales. Así, luego de un tiempo la selección direccional será reemplazada por la normalizadora, que favorece las características intermedias presentes en la población.

[FIG. 39]
Las necesidades de hidratación imponen presiones ambientales opuestas sobre la longitud del cuello de las jirafas.



Ciencia actual

Selección de insectos resistentes

El DDT (Dicloro Difenil Tricloroetano) era un insecticida que resultaba venenoso para los insectos. Con el paso del tiempo se observó que el insecticida se acumulaba en el ambiente y que era cada vez menos eficaz, ya que había insectos con variables genéticas que eran tolerantes a esta sustancia tóxica. Como consecuencia, se observó un aumento de insectos resistentes a los compuestos químicos y por este motivo, resultó necesario modificar la composición química de los insecticidas para evitar la selección de ejemplares resistentes.

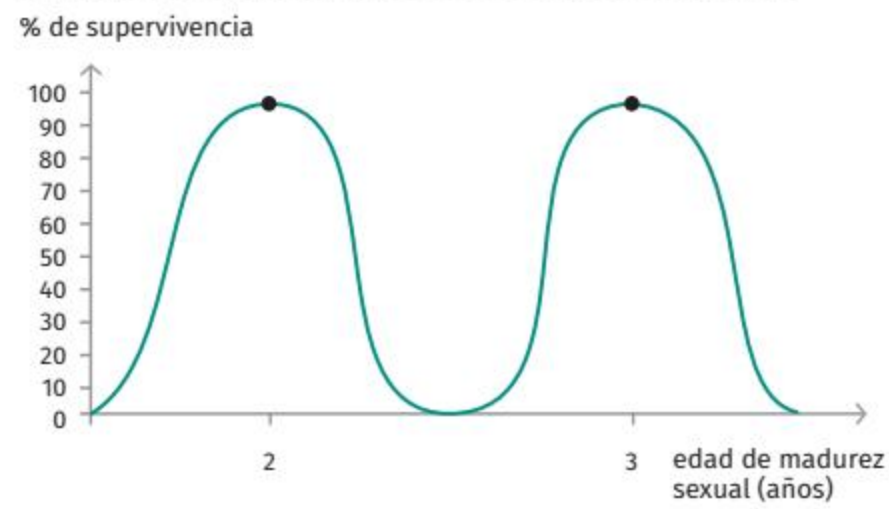
Selección *disruptiva*

En la **selección natural disruptiva** se ven favorecidos los tipos *extremos de una población*, mientras que los intermedios no resultan beneficiados.

Esta selección ocurre cuando una región proporciona diferentes recursos, lo que conduce a la aparición de dos especies distintas. Como consecuencia de este tipo de selección natural se *incrementa la variabilidad*.

Un ejemplo de ello se observa en el salmón plateado del noreste del Pacífico. Las hembras alcanzan su madurez sexual a los tres años, mientras que los machos la pueden alcanzar a los dos o a los tres años y mueren luego de reproducirse. Los machos de dos años tienen la mitad del tamaño con respecto a los de tres años. Se ha observado que la selección disruptiva favorece a los ejemplares grandes de tres años y a los más chicos de dos años. Para llegar al nido y dejar su esperma, los de mayor tamaño luchan contra individuos de tamaño intermedio, mientras que los de menor tamaño suelen acercarse al nido escondiéndose entre las rocas. De este modo, los machos de dos años de menor tamaño y los de tres años grandes depositan su esperma sobre los huevos de las hembras [FIG. 40].

[FIG. 40]
Algunos machos maduran sexualmente a los dos años y otros a los tres. La reproducción de machos chicos de dos años y grandes de tres años conduce a que de los huevos eclosionen peces de ambos tamaños.



Guía de estudio

1. Una especie de pájaro del hemisferio norte tiene un pico con sus mandíbulas cruzadas hacia la derecha o hacia la izquierda, lo que le permite abrir las piñas de las coníferas y alimentarse de las semillas. Pero no se observa ningún ave de la especie con el pico sin cruzamiento de las mandíbulas. ¿Qué tipo de selección natural ocurre? Justifiquen su respuesta.

Las consecuencias de la evolución

Las adaptaciones son una consecuencia de la selección natural y permiten aumentar la supervivencia de los seres vivos. Las adaptaciones pueden ser funcionales, morfológicas y comportamentales. La especiación es el proceso por el cual se originan nuevas especies, y sus mecanismos dependen de la distribución geográfica o del aislamiento reproductivo entre las poblaciones. Veamos...

Definición de adaptación

En términos evolutivos, las **adaptaciones** presentes en los seres vivos son el resultado de la selección natural. Una adaptación puede ser cualquier *carácter funcional*, *morfológico* o de *conducta* que aumente la probabilidad de que un organismo sobreviva y pueda reproducirse. La adaptación no surge como respuesta del ambiente sino por **azar** y, al ser **heredable**, se transmite a la descendencia. La **adaptación** puede ser un **proceso lento** y **gradual**, y en ocasiones no se logra determinar el mecanismo de selección que le dio origen.

En algunos casos las adaptaciones se relacionan con **factores físicos** como la *temperatura* y *humedad*. Por ejemplo, se ha observado que las orejas y la cola de los mamíferos que habitan en zonas más cálidas presentan mayor longitud que los que viven en climas templados o fríos. Así, el animal podría disipar más energía térmica al medio y disminuir su temperatura corporal.

Otra adaptación observable en los animales es el color blanco del pelaje en aquellos que habitan zonas muy frías, como los polos, que les permite camuflarse en el hielo y la nieve. Además, el tamaño corporal también se puede ver influenciado por las condiciones ambientales. Los gorriones, por ejemplo, habitan zonas de diferentes condiciones climáticas, y los de mayor tamaño viven en regiones frías. En otros casos, la presión selectiva no la da el ambiente sino otros organismos, como *competidores* de recursos o *predadores*. Por ejemplo, es más probable que un león pueda capturar una cebra más lenta y débil y por lo tanto se "seleccionará" positivamente a las cebras más veloces, que transmitirán estos atributos a la descendencia.

La selección natural "selecciona" a aquellos individuos que presentan las mejores adaptaciones a un ambiente particular en un momento determinado. Por el contrario, este mecanismo evolutivo elimina a los individuos que no tienen las características necesarias para sobrevivir y dejar descendencia.

Adaptación funcional. Las *iguanas marinas* de las *islas Galápagos* presentan glándulas en las fosas nasales que les permiten liberar el exceso de sal proveniente de la alimentación, cuando el organismo resopla o sacude la cabeza. Esta adaptación contribuye a mantener un equilibrio hidrosalino, lo que resulta beneficioso en un ambiente marino donde las concentraciones de sal son elevadas [FIG. 41].

[FIG. 41]
El color de las iguanas marinas varía de negro a gris claro. Los colores más oscuros les ayudan a obtener más rayos solares y a regular la temperatura de sus cuerpos.

Adaptación morfológica. El *pájaro carpintero* presenta adaptaciones asociadas a la obtención del alimento: dos dedos orientados hacia adelante y dos hacia atrás que le permiten sostenerse del árbol. Además tiene plumas en su "cola" en las que se apoya, un pico fuerte con el que perfora la corteza y una lengua larga mediante la cual toma los insectos que están debajo de la corteza [FIG. 42].

[FIG. 42]
El pájaro carpintero golpea la madera entre 15 y 16 veces por segundo.

Adaptación conductual. El *leopardo* es capaz de arrastrar grandes *presas* hacia zonas que no puedan ser alcanzadas por otros predadores. Muchas veces fueron observados arrastrando jirafas de mayor tamaño que ellos, hacia las ramas más altas de los árboles [FIG. 43].

[FIG. 43]
Los leopardos son buenos nadadores, y cazan los peces de los cuales se alimentan.

morfología alopátrica, aislamiento *especiación* simpátrica

Origen de las especies

Para que los seres vivos **evolucionen**, las poblaciones de una misma especie deben dejar *descendencia que presente cambios*, y se deben *generar nuevas especies*, proceso denominado **especiación**.

En la actualidad, se define a una **especie** como un grupo de *poblaciones* cuyos miembros pueden *reproducirse* entre sí, dejar *descendencia fértil* y que se encuentran *aisladas reproductivamente* respecto de otras especies, es decir que pueden ocupar el mismo hábitat y no reproducirse. Los organismos de una especie comparten *información genética* que determina las características de los individuos, y la diferencia de otras especies. En un momento dado y como consecuencia de diferentes factores, la información genética de una población sufre modificaciones, se diferencia y aísla, lo que dará lugar a una nueva especie.

A partir de observaciones y experimentos, biólogos evolutivos han propuestos diferentes mecanismos de especiación entre los que se encuentra la especiación *alopátrica* y *simpátrica*.

Estos modelos se han desarrollado sobre la base de hipótesis que contemplan el **aislamiento geográfico** y el **aislamiento del flujo de la información genética** entre poblaciones; es decir, se presenta una incompatibilidad en el material genético que determina que las especies no puedan producir descendientes fértiles.

Especiación *alopátrica*

En la especiación **alopátrica** las nuevas especies se originan en ambientes diferentes que se encuentran aislados espacialmente. Esta especiación ocurre de manera *gradual* mediante varias etapas sucesivas. Por un lado se establece una **barrera geográfica**: el surgimiento de una montaña, o el derretimiento de un glaciar que incremente el caudal de un río y lleve a que los individuos que quedaron a ambos lados de la barrera geográfica no puedan cruzarse. La población queda dividida en dos, y con el paso del tiempo se diferencia la información genética de ambas poblaciones. Si luego de transcurrido cierto tiempo los individuos de ambas poblaciones se encontraran, no tendrían la capacidad de reproducirse y por lo tanto se habrían transformado en dos especies diferentes [FIG. 44].

[FIG. 44]
Las diferencias entre las especies de pinzones de las islas Galápagos y el continente fueron producto de una especiación alopátrica.

Especiación *simpátrica*

La especiación **simpátrica** es un proceso que ocurre en *ausencia de una barrera geográfica* y en un mismo territorio. Se observa cuando los individuos de una población presentan distintos comportamientos frente a un ambiente que es heterogéneo y con el transcurso del tiempo las dos formas pueden acumular diferencias genéticas que llevarán al origen de dos especies [FIG. 45].

[FIG. 45]
El cultivo de manzanas llevó a que la mosca *Rhagoletis* diera origen a dos especies distintas, según la alimentación de manzanas autóctonas o foráneas.

Coevolución de plantas e insectos

Las plantas presentan distintos medios por los cuales la gameta masculina alcanza a la gameta femenina para que se produzca la *fecundación*.

A lo largo de la historia evolutiva, es probable que en ciertos casos la *polinización* por insectos haya resultado más eficiente que por viento [FIG. 46].

Algunas plantas con determinadas características habrían sido más visitadas por estos animales. Por lo tanto, fueron más polinizadas y produjeron mayor cantidad de semillas. A dicho proceso donde dos especies establecen interacciones tan estrechas que se afectan entre sí y actúan de manera simultánea y selectiva, se lo denomina **coevolución**.

[FIG. 46]
Las abejas, con rápidas contracciones de sus músculos, producen un zumbido que hace vibrar las anteras de la flor, lo que permite la salida del polen.

Guía de estudio

1. ¿Cómo se relacionan los términos adaptación y especiación? ¿Cómo influye el ambiente sobre estos procesos?
2. ¿En qué se diferencian la especiación alopátrica y simpátrica?

Palabras **clave:** *Jurásico* **Ordovícico** especie **Silúrico**

Las extinciones: pérdida de especies

Las extinciones de especies, algunas observables en el registro fósil, conducen a la disminución de la biodiversidad. Se pueden agrupar en aquellas que presentan una tasa de extinción constante, denominadas extinciones de fondo, y las que generan una mayor pérdida de especies, llamadas masivas. A lo largo de la evolución de la vida, se reconocieron cinco extinciones masivas. Veamos...

Extinciones y diversidad

Las **extinciones de las especies** son una de las formas más drásticas de pérdida de la biodiversidad y de la información genética. Estas pueden ser documentadas mediante el análisis del registro fósil, que permite estudiar el origen y las relaciones entre las especies actuales y extintas, y constituye así una prueba importante de la evolución de las especies.

En la mayoría de los casos, el registro fósil resulta incompleto ya que solo fosiliza una pequeña parte de la diversidad de los seres vivos. Otra interpretación de esta imperfección del registro fósil es que algunos cambios evolutivos en los seres vivos no ocurren de manera gradual, sino abrupta.

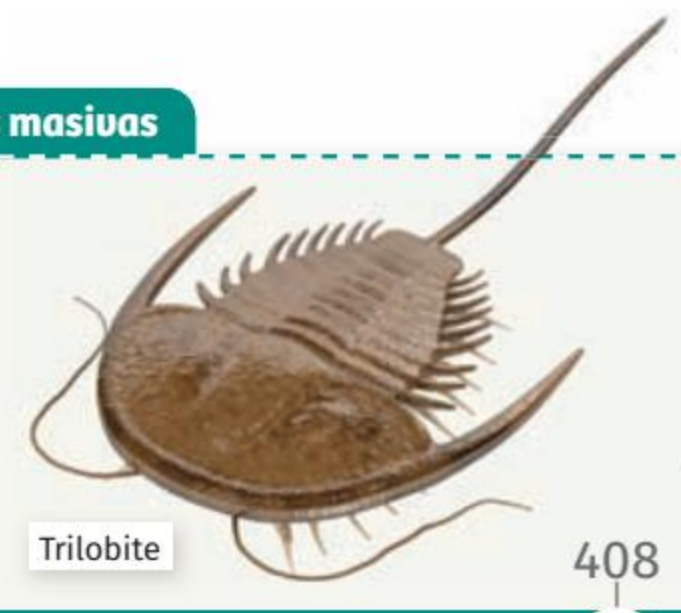
Además se determinó que en los últimos 250 millones de años la tasa de extinción constante, conocida como **extinción de fondo**, se intensificó como consecuencia de una disminución drástica de la diversidad; a dichas **extinciones** se las denominó **masivas**. En cada una de estas extinciones, el curso de la *historia evolutiva* fue *alterado* de manera decisiva y drástica.

Los estudios paleontológicos y geológicos permitieron definir cinco extinciones masivas [FIG. 47]; cada una recibe el nombre del período geológico* en el que ocurrió: *Ordovícico-Silúrico*, *Devónico*, *Pérmico-Triásico*, *Triásico-Jurásico*, *Cretácico-Terciario*.

Las extinciones masivas provocaron una considerable pérdida en la diversidad de especies y generaron la duplicación de la extinción de fondo. Otras extinciones masivas provocaron la desaparición completa de grupos muy importantes de seres vivos [FIG. 48].

[FIG. 48]
La extinción que terminó con los dinosaurios mesozoicos es la más estudiada, sin embargo no fue la más importante en cuanto a disminución de la biodiversidad.

[FIG. 47] **Las cinco extinciones masivas**



440 — 408 — 360

millones de años antes del presente

Ordovícico-Silúrico. Ocurrida hace 440 millones de años y considerada la segunda extinción masiva más importante en cuanto a intensidad. Como consecuencia se extinguió alrededor del 85 % de las especies de animales. Algunos de los grupos más afectados fueron los trilobites y corales. La teoría más aceptada hasta el momento es que fue causada en el inicio de una larga etapa de enfriamiento global.

Devónico. Extinción ocurrida en varias etapas que abarca el intervalo desde los 408 a los 360 millones de años. Tuvo mayores consecuencias sobre los organismos marinos que sobre los continentales y provocó la pérdida del 83 % de las especies. Los trilobites nuevamente se vieron afectados junto con los peces sin mandíbula (ostracodermos), entre otros. Las causas sugeridas son: enfriamiento global, disminución de concentración de oxígeno en los océanos e impacto meteorítico.

Variación en la biodiversidad

La biodiversidad actual representa tan solo el 0,1 % del total de especies que han sido registradas a lo largo de la historia de la vida en la Tierra.

El estudio del registro fósil permite detectar patrones de cambio en la diversidad y estos sugieren que la extinción de grupos enteros de organismos generó nuevas oportunidades para los sobrevivientes.

Se puede decir entonces que la **evolución** es un proceso *único* y el resultado de *complejos acontecimientos* que ocurrieron a lo largo de la historia de la Tierra.

Un estudio basado en la extinción de las especies marinas en los últimos 600 millones de años demuestra que existe una tasa de extinción constante denominada **extinción de fondo**, según la cual alrededor de 180 a 300 especies se extinguen cada millón de años [FIG. 49].

Los científicos estudian las causas de las extinciones, sin embargo ninguna de las hipótesis ha sido confirmada en su totalidad. Entre los hechos más frecuentes se encuentran el *impacto de meteoritos*, el *vulcanismo*, el *cambio climático* y la *disminución de la radiación solar*.

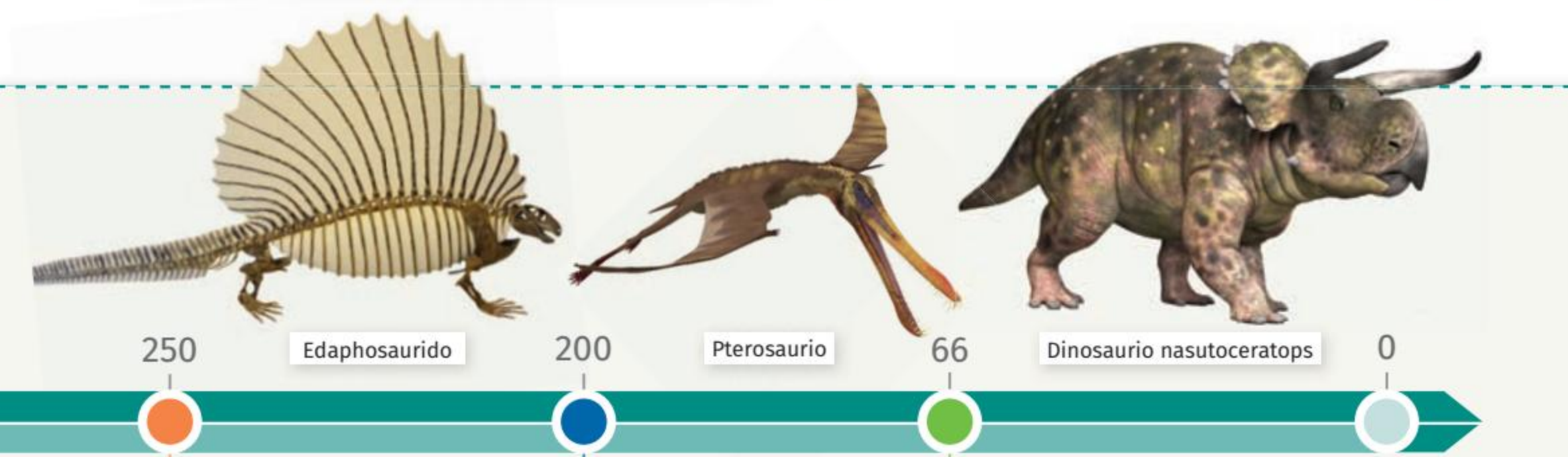
período geológico. Unidad formal de la escala temporal geológica que representa un intervalo temporal. El período Jurásico se extiende desde los 201 millones de años hasta los 145 millones de años atrás.

[FIG. 49] Extinciones de organismos marinos

Variación del número de animales marinos a lo largo de 600 millones de años. Los puntos de color corresponden a las cinco extinciones masivas registradas.

Guía de estudio

1. ¿Cuál es la diferencia entre una extinción de fondo y una masiva?
2. ¿Cómo se relacionan las extinciones de las especies con la evolución de estas? ¿Y con la especiación?



Pérmico-Triásico. Extinción que ocurrió en el límite entre dos períodos hace 250 millones de años; causó la pérdida del 95 % de las especies marinas y el 70 % de las especies de vertebrados terrestres. Las causas posibles son vulcanismo e impacto meteorítico. Entre los grupos más afectados se encuentran los corales y los vertebrados como *Edaphosaurus*.

Triásico-Jurásico. Extinción masiva que ocurrió hace 200 millones de años y llevó a la pérdida del 80 % de las especies aproximadamente. Afectó a organismos tanto continentales como marinos, entre ellos pterosaurios y grandes anfibios. En consecuencia, los dinosaurios asumieron un rol importante.

Cretácico-Terciario. Ocurrida 66 millones de años atrás, implicó la pérdida del 76 % de las especies. Es la extinción más estudiada, ya que no solo provocó la desaparición de los dinosaurios, sino también de animales que pesaban más de 25 kilogramos y de organismos marinos. La causa más firme hasta el momento es el impacto de un meteorito en México (Yucatán). Sin embargo, existen controversias sobre si el cráter encontrado se habría producido en un período significativamente anterior a la extinción.

Experiencia en acción y...

Como predadores y presas

En este capítulo estudiaron el proceso de evolución en las especies. Con el siguiente ejemplo podrán asociar lo aprendido con la dinámica de la relación predador-presa y suponer en el tiempo qué consecuencias traería.

Materiales

- Colitas de pelo de distintos colores (delgadas y lisas)
- Espacio abierto con pasto y tierra
- Cronómetro o reloj
- Lápiz
- Papel

Procedimiento

a. Recolecten aproximadamente 30 colitas de pelo. Tengan en cuenta que 10 de ellas deben ser de color verde o marrón, y las otras 20 de algún color llamativo, como rojo, amarillo o naranja.

b. Seleccionen a un compañero y pídanle que se aleje momentáneamente. Él será el detector de las colitas.

c. Desparramen las colitas de manera azarosa sobre el pasto (en no más de un metro cuadrado). El compañero seleccionado no deberá ver cómo las distribuyen.

d. Llamen al compañero y durante un minuto este debe juntar la mayor cantidad posible de colitas.

e. Cuenten y anoten cuántas encontró de cada color.

f. Realicen el mismo procedimiento con cinco compañeros. Tengan en cuenta que deben reponer las colitas levantadas, esparcirlas nuevamente y registrar cuántas colitas levantó cada uno.

Observaciones y conclusiones

1. ¿Qué color fue el más recolectado? Para ello deben sumar los valores de todos los compañeros que participaron.

2. ¿Por qué piensan que uno de los colores fue el que se detectó más? ¿Cuál habrá sido el color más adaptativo para ese ambiente? ¿De qué manera el color incrementa o disminuye la "supervivencia de las colitas"?

3. ¿Qué ocurriría si se extinguieran los predadores? ¿Y si se distribuyeran las colitas sobre un suelo rojo?

...revisión final.

- **Lean el siguiente texto y resuelvan las actividades.**

En la puerta del cine, dos hermanos, Francisco y María Eugenia, decidieron ver una película sobre dinosaurios. Cuando Francisco vio el afiche de la película le preguntó a su hermana si los dinosaurios habían existido, a lo que ella respondió afirmativamente. Entonces quiso saber más y la interrogó acerca de si las personas habían convivido con los dinosaurios o si la película era solo ciencia ficción. Pero debieron apurarse porque la película estaba por comenzar…

1. ¿Cuáles son las respuestas correctas a las preguntas de Francisco? Justifiquen pensando en qué período se extinguieron los dinosaurios.

2. En la mitad de la película, María Eugenia le contó a su hermano que leyó que las aves descienden de los dinosaurios. Como Francisco no entendió, su hermana rápidamente le explicó y luego hizo referencia al concepto de selección natural. Marquen con un ✓ la definición correcta de selección natural.

- ☐ **a.** Mecanismo por el cual el ambiente selecciona un carácter determinado en una población donde se observa una variación del mismo.
- ☐ **b.** Mecanismo por el cual el ambiente impulsa el cambio en los seres vivos.
- ☐ **c.** Mecanismo mediante el cual el ambiente selecciona un carácter en particular de manera dirigida y no azarosa.

3. El inicio de la película se basaba en un resumen sobre el origen del planeta Tierra, según la ciencia actual. Sin embargo, Francisco le comentó a su hermana que en el colegio también les habían explicado las concepciones fijistas y creacionistas. Unan con flechas las características de cada uno de los términos.

	Seres vivos creados por un ser divino.
fijismo	Los organismos no se transforman.
	Se basa en creencias religiosas.
creacionismo	Se opone al transformismo.
	Fue formalizado por Carlos Linneo.

4. Completen el siguiente texto con los términos faltantes.

Al finalizar la película los hermanos se quedaron con ganas de saber más sobre la evolución de las especies, entonces buscaron en el libro de Biología que usan en el colegio. Allí encontraron que hay diversos tipos de selección ..... según cómo afecte la distribución de la variabilidad de una característica dentro de una población. Estos tipos de selección natural son: normalizadora, disruptiva y ..... En la selección ..... se observa que los individuos que más sobreviven son los que presentan ..... intermedias, mientras que en la direccional se favorece uno de los ..... y en la disruptiva a ambos extremos.

5. Los chicos leyeron la frase "la supervivencia del más fuerte". Justifiquen por qué es errónea.

6. Determinen si las siguientes afirmaciones son verdaderas (V) o falsas (F).

- ☐ **a.** La adaptación es el resultado acumulado de la selección natural que puede darse únicamente sobre un carácter morfológico del organismo.
- ☐ **b.** La especiación alopátrica se da en dos poblaciones que habitan en un territorio contiguo.
- ☐ **c.** La teoría transformista de Lamarck no tiene en cuenta el ambiente en donde se encuentran los organismos.
- ☐ **d.** Según Darwin la selección natural consta de dos etapas: producción de variabilidad y mecanismo selectivo.
- ☐ **e.** La coevolución es un mecanismo mediante el cual el ambiente ejerce una fuerza selectiva sobre una determinada especie.

7. ¿Todas las extinciones generan la misma pérdida de biodiversidad? Justifiquen su respuesta.

Capítulo 03

El origen de la vida

La pregunta acerca del origen de la vida siempre estuvo presente en las personas. Actualmente, la teoría más aceptada señala que la vida se originó a partir de moléculas orgánicas dentro de un caldo primitivo. Las condiciones ambientales de la Tierra hace 3.800 millones de años eran muy distintas a las actuales y la atmósfera carecía de oxígeno. Hasta el momento se desconoce si los primeros organismos fueron heterótrofos o autótrofos.

Secuencia de contenidos:

- Las teorías sobre el origen de la vida
- La Tierra primitiva y la evolución prebiótica
- Los primeros seres vivos
- La evolución de la nutrición

- Las plantas se forman a partir de una semilla que viene de otra planta, los animales a partir de otros animales. ¿Cómo creen que habrán surgido los primeros ejemplares de estos grupos?
- ¿Cómo habrán sido los primeros organismos en habitar la Tierra? ¿Qué condiciones climáticas creen ustedes que favorecieron el origen de la vida? Compárenlas con las condiciones actuales.

Las teorías sobre el origen de la vida

A lo largo del tiempo el ser humano propuso diferentes teorías acerca del origen de la vida en el planeta. Las hipótesis que tuvieron mayor peso fueron la generación espontánea, el creacionismo, la panspermia y, la más aceptada actualmente, la quimiosintética. Esta última teoría propone que la vida se originó por medio de la evolución de moléculas químicas. Veamos...

Inicio de la vida: diversas hipótesis

A través de la historia de la humanidad han existido diversas concepciones o teorías acerca de cómo se originó la vida en el planeta Tierra.

Antes del descubrimiento del mecanismo de reproducción entre los organismos la teoría más influyente, importante y con mayor número de defensores era la **teoría de la generación espontánea**. Esta teoría se basó en creencias populares y postulaba que *ciertos seres vivos como los insectos, los gusanos y los microorganismos podían formarse a partir de la materia inerte o inanimada, sin la intervención de ningún organismo progenitor*. A partir de la observación directa de fenómenos como la presencia de moscas en la carne, en el barro o en el agua estancada, se elaboraron las ideas que respaldaban la generación espontánea.

Aristóteles (384-322 a. C.) fue uno de los primeros en realizar las descripciones de este proceso publicadas en dos de sus libros [FIG. 50].

[FIG. 50]
El filósofo griego Aristóteles propuso hace 2.500 años la teoría de la generación espontánea.

El **creacionismo** es un sistema de creencias surgido durante la Edad Media. Se basaba en doctrinas religiosas, principalmente la judeocristiana, y establecía que *el universo, los cuerpos celestes y todos los seres vivos que habitan el planeta Tierra fueron creados por un ser superior o inteligente*.

El químico sueco *Svante Arrhenius* [FIG. 51] postuló en 1908 la hipótesis conocida como **panspermia**, que tiene un antecedente en el siglo v con el filósofo griego *Anaxágoras* [FIG. 52]. Esta teoría sostiene la existencia de *esporas o "semillas de la vida" que se trasladaban en el espacio exterior impulsadas con la energía emitida por las estrellas*. Estas esporas "sembraban vida" en los sitios que presentaban condiciones propicias para ello. La hipótesis de la panspermia se sostuvo hasta la mitad del sigo XX, principalmente por la comunidad de astrónomos y biólogos. Uno de los puntos débiles de la panspermia es que no explica cómo se formaron estas "semillas de la vida" en el espacio exterior. Si bien en la actualidad se considera una alternativa posible, la hipótesis resulta muy controversial dentro de la comunidad científica.

En la actualidad, la teoría más aceptada es la hipótesis **quimiosintética**, que sostiene que *la vida se originó por medio de una evolución química*, mediante un proceso denominado *síntesis prebiótica*.

[FIG. 51]
El científico sueco Svante Arrhenius (1859-1927) era originalmente físico y luego se formó en el área de la química. En el año 1903 ganó el Premio Nobel de Química por sus aportes en el campo de la disociación electrolítica.

[FIG. 52]
El filósofo griego Anaxágoras nació en Calzómenas, actual Turquía, y después se trasladó a Atenas. Fue maestro de figuras célebres como Pericles, Pitágoras y Sócrates.

Guía de estudio

1. ¿Qué diferencia existe entre la teoría de la generación espontánea y el creacionismo?
2. Expliquen el principal punto débil de la hipótesis de la panspermia.
3. ¿Cuál es la hipótesis más aceptada actualmente y qué postula?

La Tierra primitiva y la evolución prebiótica

La Tierra se originó por la condensación de polvo y gas remanentes de la formación del Sol. Millones de años después, modificaciones de temperatura y de concentración de gases llevaron a la formación de los océanos. Las primeras formas de vida provendrían de una evolución química. Veamos...

Orígenes de la Tierra

Durante siglos, el origen de la vida ha sido uno de los enigmas que más ha intrigado al hombre. Por mucho tiempo se ha intentado dilucidar cómo se produjeron los distintos cambios en la Tierra, y cómo esas modificaciones permitieron el desarrollo de la vida.

Según la teoría actual, el universo surgió luego de una gran explosión conocida como **Big Bang**. Posteriormente se liberó toda la energía y las partículas contenidas se alejaron de forma violenta. El modelo sostiene que a medida que el universo se expandía y se enfriaba, gradualmente se fue formando la materia.

A partir de estos átomos, desintegrados y vueltos a formar durante varios miles de millones de años, comenzaron a formarse los planetas del universo.

Hace aproximadamente 5.000 millones de años, nació la única estrella del Sistema Solar, el Sol, a partir de partículas de polvo y gases de hidrógeno y helio.

En la actualidad, se supone que la Tierra se formó hace 4.500 millones de años, cuando la *atracción gravitacional condensó el polvo cósmico y los gases remanentes de la formación del Sol*.

En sus comienzos, la Tierra era un planeta frío y con condiciones homogéneas. Con el paso del tiempo, la *continua contracción de los materiales y la radiactividad de los elementos* más pesados convirtieron a la Tierra en una *esfera caliente de roca fundida carente de atmósfera*, condiciones que la caracterizaban como un lugar hostil e inhóspito. Bajo estas circunstancias resultó imposible, en ese entonces, el desarrollo de la vida.

Los elementos químicos más pesados, como el hierro y el níquel, se hundieron en el núcleo terrestre mientras que los más livianos, como el silicio, el magnesio, el oxígeno y el aluminio, se combinaron y formaron estructuras rocosas en la superficie. Al mismo tiempo, las erupciones volcánicas provocaron la salida de vapores y gases volátiles. Algunos quedaron "atrapados" alrededor de la Tierra como consecuencia de su fuerza gravitatoria y conformaron la **atmósfera primitiva**, mientras que *el vapor de agua condensado* formó los primeros océanos.

Atmósfera primitiva

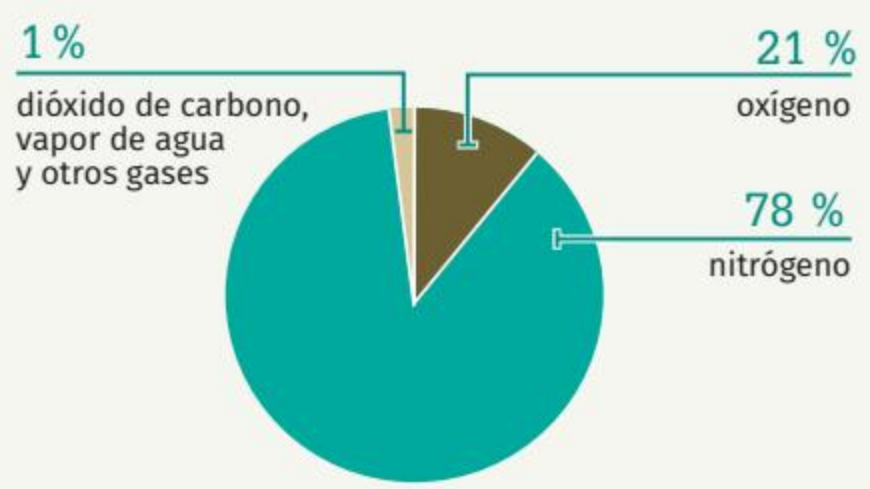
La ausencia de atmósfera llevó a que los meteoritos impactaran sobre la superficie terrestre. Sin embargo, la progresiva formación de la atmósfera condujo a que estos se desintegraran al atravesarla [FIG. 53].

[FIG. 53]
Los impactos de los meteoritos en la Tierra generaron depresiones llamadas cráteres.

La composición de la **atmósfera primitiva** era distinta a la actual, aunque si bien compartían varios elementos: hidrógeno, dióxido de carbono, helio y vapor de agua, la primitiva contenía además *amoníaco*, *sulfuro de hidrógeno* y *metano*, gases que hoy en día son considerados tóxicos para la mayoría de los seres vivos.

A su vez, la atmósfera primitiva carecía de dos componentes muy importantes presentes en la actualidad: el *oxígeno* y el *ozono*. A pesar de la ausencia de oxígeno, en estas condiciones fue posible el desarrollo de la vida, ya que los primeros seres vivos no requerían de oxígeno para su supervivencia. El ozono se formó a partir del oxígeno y resultó indispensable al actuar como "escudo" frente a las radiaciones de alta energía que llegaban a la Tierra. En la actualidad, la **atmósfera terrestre** está formada por *nitrógeno, oxígeno*, *dióxido de carbono*, *vapor de agua* y *ozono* [FIG. 54]. Esta capa gaseosa que rodea al planeta retiene parte del calor que emite la superficie terrestre. La presencia de la atmósfera permite que la temperatura terrestre se mantenga en un rango de valores acotado y propicio para el desarrollo de la vida.

[FIG. 54]
Composición actual de la atmósfera terrestre.



Hipótesis de Oparin y Haldane

A lo largo de la historia, los científicos han intentado explicar cómo se originó la vida bajo las condiciones desfavorables de la atmósfera primitiva.

La **síntesis prebiótica**, también llamada **evolución química**, es la hipótesis que presenta en la actualidad mayor aceptación entre la comunidad científica. Fue propuesta alrededor de 1924 de manera independiente por el bioquímico ruso *Aleksander Oparin* [FIG. 55] y el biólogo inglés *John Haldane*.

[FIG. 55]
En su teoría Oparin (1894-1980) aplicó sus conocimientos previos sobre geología.

Esta hipótesis postula que hace aproximadamente 4.000 millones de años ocurrió una **evolución química** que dio origen a las primeras formas de vida. En ese entonces el ozono no estaba presente en la atmósfera, esto permitía que los rayos solares cargados de energía llegaran directamente a la superficie terrestre.

Por medio de la energía proveniente del Sol y de las descargas eléctricas de las tormentas, los compuestos en el planeta Tierra comenzaron a reaccionar químicamente y dieron origen a moléculas orgánicas sencillas.

Con el paso de los años la temperatura descendió, el vapor de agua y otros gases atmosféricos se condensaron y formaron grandes masas de **agua**. De este modo, las primeras moléculas orgánicas habrían sido arrastradas por las lluvias hacia estas masas de agua y conformaron así el **caldo primitivo**. En este medio, las moléculas reaccionaron entre sí y generaron compuestos más complejos. Algunas moléculas lograron agruparse y formar esferas que en su interior presentaban ácidos nucleicos (ácido ribonucleico, o ARN, y ácido desoxirribonucleico, o ADN, presentes hoy en todos los seres vivos).

Estas estructuras denominadas **coacervados** serían las antecesoras de las células, e intercambiaban materia y energía con el ambiente. Además, presentaban límites definidos, y se asociaron hasta que solo permanecieron aquellos conjuntos que resultaron más estables.

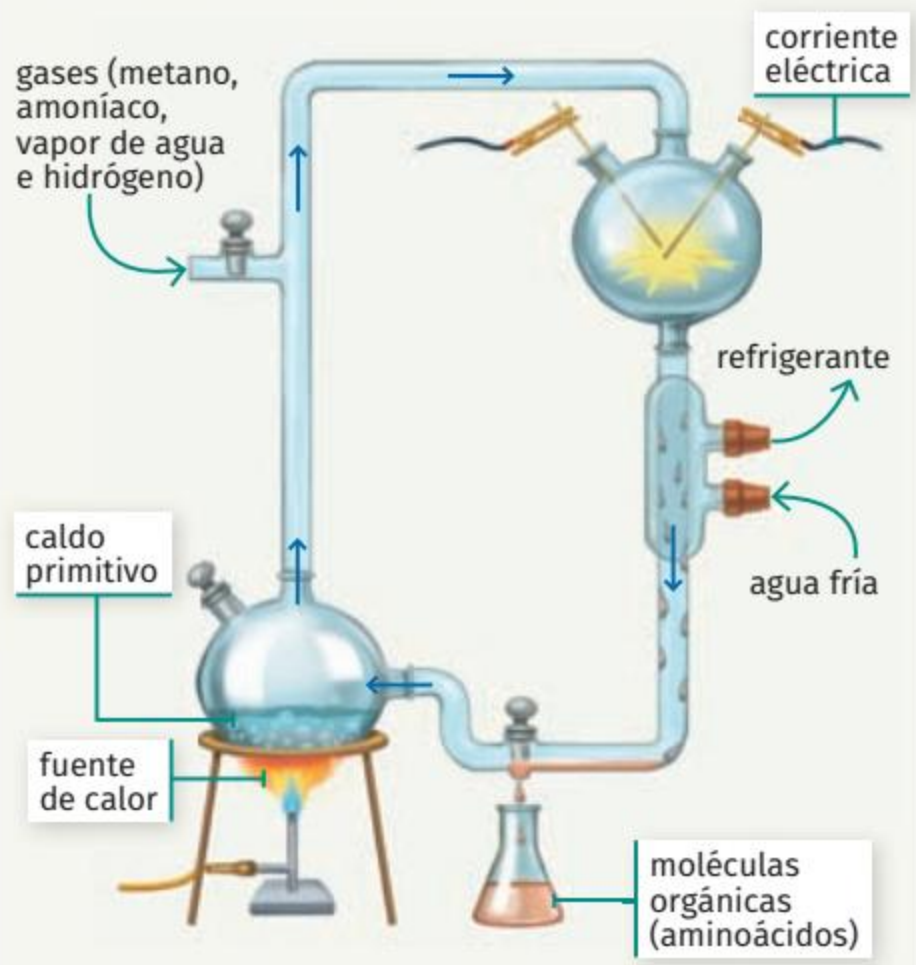
De este modo, hace 3.800 millones de años aparecieron las primeras células vivas, semejantes a las bacterias actuales. A partir de ese momento, comenzó la evolución biológica que dio origen a los seres vivos que habitaron y habitan el planeta Tierra.

Experimento de Miller y Urey

En 1953, *Stanley Miller* y *Harold Urey* pusieron a prueba la hipótesis postulada por Oparin y Haldane.

El dispositivo constaba de un recipiente esférico con agua hirviendo que representaba el caldo primitivo. El vapor producido ascendía por un tubo hasta llegar a otro recipiente. Este representaba la atmósfera primitiva ya que contenía amoníaco, vapor de agua, nitrógeno y metano. Además, tenía conectados unos electrodos que producían descargas de corriente eléctrica, que simulaban las descargas que había en la atmósfera. La mezcla resultante se refrigeraba para simular el descenso de la temperatura del planeta. Al analizar el líquido obtenido, los científicos encontraron *aminoácidos*. Este experimento comprobó que era posible sintetizar moléculas orgánicas a partir de reacciones químicas [FIG. 56].

[FIG. 56]
Dispositivo que Miller y Urey inventaron para verificar la hipótesis de Oparin y Haldane.



Guía de estudio

1. **Comparen la composición química de la atmósfera terrestre actual y primitiva. ¿Qué diferencias existen?**

2. **Expliquen de qué manera el experimento de Miller y Urey comprueba la hipótesis planteada por Oparin y Haldane.**

Palabras clave: estromatolito autótrofo

Los primeros seres vivos

Los coacervados adquirieron pequeñas moléculas del ambiente que incorporaron a su estructura. Las reacciones químicas y las nuevas sustancias resultantes de ellas condujeron a la aparición de las protocélulas, y posteriormente de las células. Los primeros organismos fueron células procariotas y podrían haber sido heterótrofos, autótrofos o quimiolitótrofos. Veamos...

De los coacervados a los seres vivos

Conocer cómo y cuando se inició la vida sobre la Tierra es uno de los desafíos más grandes para la ciencia, ya que ocurrió hace miles de millones de años y no quedó ningún testigo o evidencia clara del hecho.

Los científicos plantearon diversas hipótesis acerca de qué podría haber ocurrido para que unos simples coacervados dieran origen a los primeros seres vivos. Oparin y Haldane en su hipótesis utilizaron el término **caldo primitivo**, que hace referencia a una sustancia líquida rica en moléculas orgánicas; allí se habría llevado a cabo el origen de la vida [FIG. 57].

[FIG. 57] Las condiciones ambientales del parque Yellowstone serían semejantes a las primitivas.

Los científicos suponen que las sustancias orgánicas, presentes en el caldo primitivo, se pudieron acumular en grandes cantidades por dos factores principales. Uno de ellos fue la *ausencia de seres vivos* que utilizaran a las moléculas orgánicas como alimento.

El otro factor que favoreció la acumulación de estos compuestos fue la *ausencia de oxígeno*, lo que impedía que no reaccionaran ni se degradaran ya que no había moléculas de oxígeno en la atmósfera.

En esta solución se formaron los **coacervados**, algunos de los cuales resultaron poco estables, razón por la cual se disolvieron con rapidez. Otros, en cambio, fueron más estables y se mantuvieron en el tiempo. Estos adquirieron moléculas pequeñas del medio, como *agua*, *glucosa* y *algunos aminoácidos*, que atravesaron sin problemas las membranas de los coacervados.

De esta manera, se llevaron a cabo nuevas reacciones químicas y se generaron nuevas sustancias: este fue el **inicio del metabolismo primitivo**. Las reacciones internas liberaban energía, y de este modo *se habría iniciado el intercambio de energía y materia entre los coacervados y el ambiente*.

Algunas de estas sustancias incorporadas fueron retenidas y pasaron a formar parte de la estructura propia de los coacervados, mientras que otras fueron desechadas al medio.

Protocélula

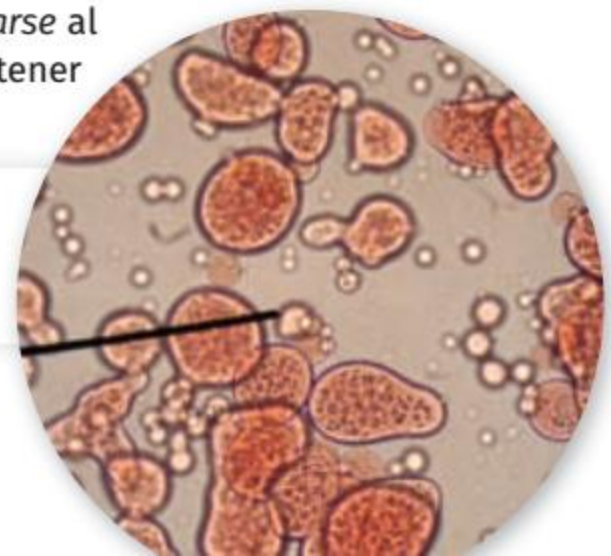
El enigma acerca de cuándo aparecieron las primeras células es uno de los grandes interrogantes de la comunidad científica.

En Australia los científicos han registrado células fósiles de más de 3.500 millones de años de antigüedad, sin embargo esto no implica que hayan sido las primeras en generarse. Además, en Groenlandia se han encontrado evidencias de actividad química en rocas que datan de 3.800 millones de años. Si bien en estos sedimentos no se encontraron los microorganismos correspondientes, se supone que habrían sido responsables de las reacciones químicas registradas.

Los **coacervados** no se consideran seres vivos pero fueron los *primeros heterótrofos*, ya que incorporaron moléculas del exterior [FIG. 58]. Estos se dividieron, aunque no simétricamente, y se conservaron solo aquellas estructuras que recibieron el material favorable.

En un proceso lento y paulatino los coacervados se fueron perfeccionando y dieron lugar a las células primitivas o **protocélulas**: *sistemas autorreplicables con ARN englobados en una membrana protectora*.

Las protocélulas continuaron desarrollándose y dieron lugar a las **primeras células**. Por ello, se supone que el ADN de las células se formó a partir del ARN presente en estas protocélulas que, además de autorreplicarse, tenían la *capacidad de autorregularse* mediante una serie de reacciones químicas. Además, este primitivo material genético podía *autoconservarse* al presentar la capacidad de obtener y transformar energía.



[FIG. 58] Observación de coacervados.

Primeras células

Los fósiles de los seres vivos más antiguos que se conocen en la actualidad son los **estromatolitos**. Estos son estructuras similares a rocas que se forman por la agrupación de *cianobacterias* que habitan en aguas marinas poco profundas y llevan a cabo la fotosíntesis.

Por medio de la *fotosíntesis* estos organismos toman de la atmósfera grandes cantidades de dióxido de carbono, liberan oxígeno y generan carbonatos. Las cianobacterias se disponen formando una capa continua y pasivamente facilitan la precipitación de carbonatos. Cuando se mueren las cianobacterias se genera otra capa de células vivas sobre la anterior, que se encuentra solidificada. Así, con el tiempo se forman distintas capas superpuestas, de las cuales solo la superficial está formada por los organismos vivos [FIG. 59].

[FIG. 59] Estromatolitos actuales en la Bahía Shark, Australia.

En el año 2009, la científica argentina *Eugenia Farías* descubrió en la provincia de Salta estromatolitos a 3.000 metros de altura, en ambientes extremos sometidos a alta radiación ultravioleta y altas concentraciones de sal y arsénico. Los estromatolitos fósiles más antiguos tienen aproximadamente 3.500 millones de años. Esto permite inferir que los primeros seres vivos debieron aparecer antes en la historia de la Tierra. En la actualidad, los científicos proponen que *la vida se originó hace 3.800 millones de años* y, según la observación del registro fósil, se estima que los *primeros organismos* fueron **bacterias** (células procariotas). Estas células se caracterizan por *no tener núcleo* y por presentar la *capacidad de autorreplicarse, autorregularse y autoconservarse*.

En cuanto al modo de alimentación de las primeras bacterias, se cree que eran **heterótrofas** ya que no producían sustancias orgánicas utilizadas como alimento, sino que incorporaban los compuestos orgánicos presentes en el caldo primitivo.

http://goo.gl/ewZ0GA

Escaneen el código QR para aprender un poco más sobre el origen de la vida en la Tierra.

Como la atmósfera primitiva carecía de oxígeno, se especula que habrían sido **anaeróbicas**, es decir que no incorporaban oxígeno para obtener la energía a partir del alimento.

De este modo, con el paso del tiempo se incrementó la cantidad de estos organismos en el caldo primitivo, por lo que la disponibilidad de alimento habría disminuido. Por ello, los científicos propusieron una hipótesis alternativa que sostiene que los primeros organismos eran **autótrofos**, es decir que producían las sustancias orgánicas que utilizaban.

Los seres vivos tuvieron un *rol fundamental en la aparición del oxígeno gaseoso*, que comenzó a acumularse en la atmósfera y en los mares, 1.000 millones de años después del origen de la vida. Este incremento no solo permitió el desarrollo de formas de vida que requerían del oxígeno para cumplir con sus funciones vitales sino que también contribuyó a la formación de la *capa de ozono*. En la actualidad, la presencia de esta capa es fundamental para el desarrollo de la vida, ya que impide el paso de la radiación ultravioleta proveniente de los rayos del Sol, que resulta nociva para los seres vivos.

Independientemente del modo de alimentación y de la dependencia o no del oxígeno, todas las teorías propuestas por los científicos en referencia al origen de la vida coinciden en que los primeros *organismos habitaban los mares y océanos primitivos*.

A modo comparativo, los científicos han propuesto que estos ambientes se asemejaban a las actuales chimeneas submarinas denominadas *fumarolas*, ya que a partir de ellas emergía agua a elevadas temperaturas [FIG. 60].

[FIG. 60] Las fumarolas submarinas generalmente se encuentran vinculadas con las zonas de volcanes activos.

Guía de estudio

1. ¿Qué diferencias existen entre un organismo heterótrofo y un autótrofo?
2. ¿En qué se distingue un coacervado de una protocélula?
3. Los estromatolitos contribuyeron a la presencia de oxígeno en la atmósfera. ¿Qué efectos tuvo este fenómeno?

La evolución de la nutrición

Hasta el momento no se alcanzó un consenso acerca de si los primeros organismos fueron heterótrofos o autótrofos. Los heterótrofos degradaban moléculas orgánicas con las que obtenían energía. Además, no usaban oxígeno, pero el aumento en la cantidad de seres autótrofos incrementó el nivel de oxígeno del medio y así surgieron organismos que pudieron aprovechar este recurso. Veamos...

Cambios en la obtención de la energía

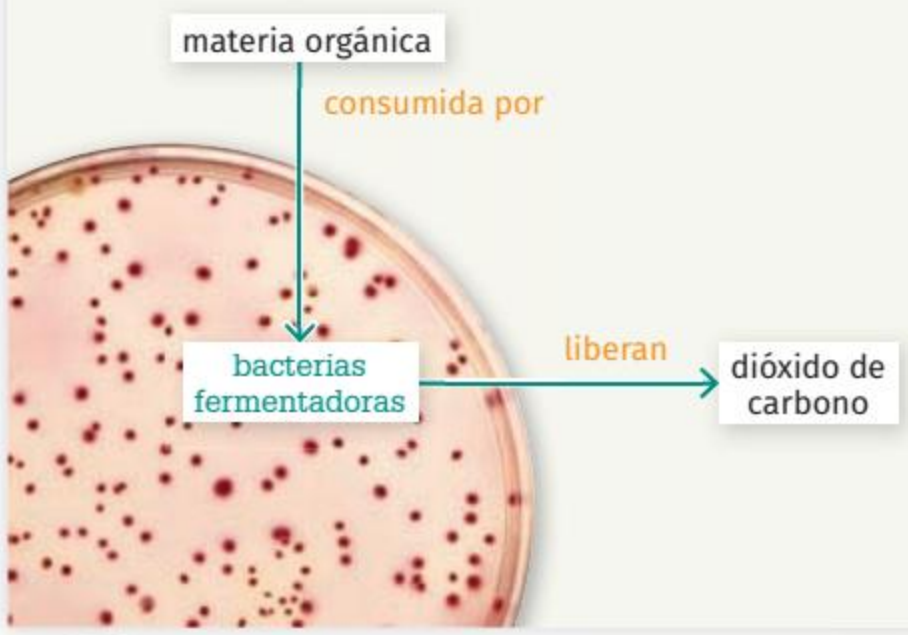
Durante millones de años los organismos procariotas fueron los únicos habitantes del planeta Tierra. Con el paso del tiempo, comenzaron a diversificarse y presentaron modificaciones en sus formas de nutrición. Estos cambios fueron acompañados de transformaciones en las condiciones ambientales del planeta.

Existen discusiones sobre si los primeros seres vivos, procariotas unicelulares, eran **heterótrofos** o **autótrofos**, aunque la *ausencia de oxígeno* en la atmósfera primitva indica la ausencia de fotosíntesis y la *prevalencia de la heterotrofía*.

Estos primeros organismos heterótrofos realizaban distintas transformaciones químicas con las que degradaban moléculas orgánicas y así obtenían energía.

Debido a la *ausencia de oxígeno*, estos procesos metabólicos serían la *fermentación* y la *respiración celular* anaeróbica [FIG. 61].

[FIG. 61]
Independientemente del tipo de fermentación que se lleve a cabo, en todas se obtiene dióxido de carbono en ausencia de oxígeno.



El dióxido de carbono se obtiene como producto de la **fermentación**. En este mecanismo se degradan moléculas para transformarlas en otras más simples, sin embargo es poco eficiente, ya que no obtiene de los alimentos toda la energía posible. La **glucólisis** también se lleva a cabo en ambientes anaeróbicos e implica la ruptura de una molécula orgánica denominada *glucosa*.

La rápida reproducción de los organismos unicelulares provocó que las moléculas orgánicas presentes en la atmósfera y las que llegaban a los mares y océanos, no fueran suficientes para reponer la enorme cantidad de materia prima que consumían estos organismos. De este modo, el caldo primitivo se diluyó y comenzó a escasear el alimento, al mismo tiempo que los océanos en formación y la atmósfera se iban enriqueciendo en dióxido de carbono, producto de la fermentación. Además aumentó la competencia entre los organismos por la falta de alimento.

Bajo estas condiciones únicamente podían sobrevivir aquellos organismos que tuviesen algún tipo de adaptación que permitiera sobrellevar de manera exitosa la cada vez más acentuada falta de alimento. Con el paso del tiempo surgieron individuos **autótrofos,** organismos capaces de generar partículas orgánicas a partir de las cuales obtienían la energía.

A partir de la energía proveniente del Sol y de la incorporación de moléculas de agua y su combinación con las de dióxido de carbono, los organismos autótrofos producen moléculas orgánicas que utilizan como alimento.

Ciencia actual

Fermentación y sustancias antihipertensivas

El queso es un producto de la fermentación de la leche. Los productos lácteos contienen sustancias beneficiosas para la salud, conocidas como *péptidos bioactivos*, algunas de las cuales son capaces de producir un descenso de la tensión arterial y permitir el control de la hipertensión en personas que padecen complicaciones cardíacas. De este modo, grupos de investigación de empresas biotecnológicas estudian la forma de aprovechar los excedentes de queso y suero para la producción a gran escala de sustancias con propiedades antihipertensivas.

Primeros organismos autótrofos

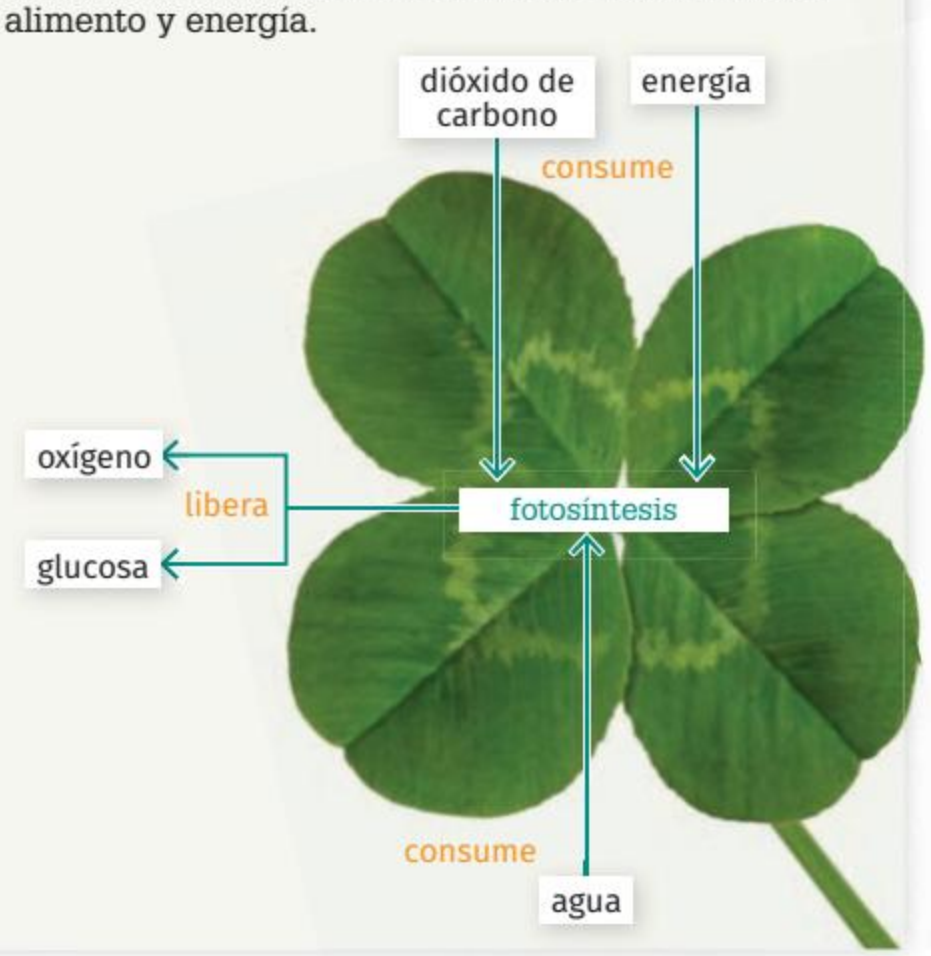
Cuando el alimento comenzó a escasear, sobrevivieron aquellos organismos que podían obtener energía a partir de las moléculas orgánicas producidas por ellos mismos. De esta manera, los seres vivos **autótrofos** comenzaron a reproducirse con mayor éxito.

El proceso por el cual estos organismos elaboran compuestos orgánicos que utilizan como alimento se denomina **fotosíntesis**. En dicho mecanismo, el *agua* y el *dióxido de carbono* reaccionan y se convierten en *moléculas orgánicas*. La energía utilizada para formar las uniones químicas de los nuevos compuestos se obtiene de la *energía de la luz solar* [FIG. 62].

Uno de los productos de la fotosíntesis es el **oxígeno** que se libera al medio. El incremento de la fotosíntesis generó un aumento en la concentración de oxígeno en el agua, lo que a su vez llevó a que aquellos organismos que podían utilizar el oxígeno para degradar el alimento obtuvieran más energía. Este proceso conocido como **respiración celular aeróbica** resultó fundamental para el surgimiento de los *organismos pluricelulares*.

Además, como consecuencia del aumento del oxígeno comenzó la formación de la **capa de ozono** en la atmósfera, lo que provocó una mayor absorción de radiaciones ultravioletas provenientes del Sol.

[FIG. 62]
Las plantas, algunas bacterias y las algas producen compuestos orgánicos que utilizan como fuente de alimento y energía.

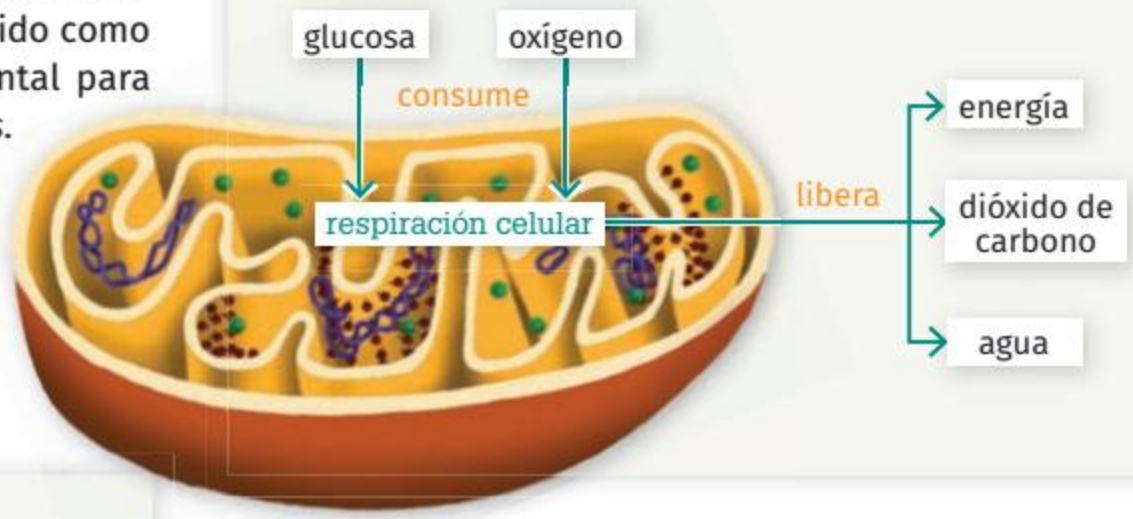


Respiración aeróbica

Cuando los individuos autótrofos se reprodujeron con mayor rapidez, la atmósfera y los océanos comenzaron a almacenar oxígeno. A partir de ese momento, empezaron a surgir bacterias capaces de obtener energía de los alimentos, aprovechando el oxígeno. Este conjunto de reacciones se denomina **respiración celular aeróbica** y es más eficiente que la anaeróbica, ya que permite obtener mayor energía.

En esta reacción la glucosa se degrada y se libera la energía almacenada en sus enlaces. Los productos obtenidos son el *dióxido de carbono* que se libera al medio y el *agua* que puede ser eliminada o conservada en el interior del ser vivo [FIG. 63].

[FIG. 63]
La mitocondria es la organela donde se lleva a cabo la respiración celular aeróbica.



En la actualidad, existen bacterias que requieren de oxígeno para obtener energía (aeróbicas) y otras que no (anaeróbicas). Para estas últimas, la presencia de oxígeno en grandes cantidades suele ser tóxica. Sin embargo, existen **bacterias facultativas**, que según las condiciones del ambiente, con o sin oxígeno, pueden alternar entre una respiración aeróbica o anaeróbica respectivamente. Muchos patógenos como *Escherichia*, *Salmonella* y *Helicobacter* son ejemplos de organismos facultativos.

Guía de estudio

1. ¿A qué proceso se lo llama respiración? ¿Cuántas variedades existen? ¿Cuál es la principal diferencia entre ellas?

2. ¿Cómo se relacionan los éxitos reproductivos de los seres autótrofos y de los organismos con respiración aeróbica?

3. Comparen los procesos de fotosíntesis y respiración.

Experiencia en acción y...

La generación espontánea

Durante el siglo XVII, la teoría de la generación espontánea se encontraba ampliamente aceptada y sostenía que los seres vivos se originan espontáneamente a partir de materia inerte. Un médico italiano llamado Francesco Redi (1626-1697) decidió poner a prueba esta teoría. A continuación, les proponemos una experiencia con la cual podrán recrear el experimento que llevó a cabo Redi.

Materiales

- Tres recipientes transparentes
- 3 trozos de carne de 5 cm de lado
- Un cuadrado de tela de mosquitero de 5 cm de lado
- Hilo para atar

Procedimiento

a. Coloquen tres trozos de carne en los frascos. Es muy importante que la cantidad y el tipo de carne sean iguales en todos frascos.

b. Dejen un frasco destapado, tapen el segundo y cubran el tercero con la tela de mosquitero (usen el hilo para sujetarla).

c. Ubiquen los frascos a la intemperie, en zonas protegidas de las lluvias.

d. Observen el contenido de los frascos durante unos días.

Observaciones y conclusiones

1. ¿Qué observaron en cada frasco?

2. ¿A qué se deben las diferencias observadas entre los frascos?

3. Investiguen sobre los experimentos de Redi y comparen los resultados que el médico italiano obtuvo en su época con los que ustedes alcanzaron.

4. ¿Se comprobó la teoría de la generación espontánea?

5. Para que un experimento tenga credibilidad, se debe tratar de controlar el mayor número de variables, y alterar solo una de ellas. ¿Por qué creen que es importante que la cantidad y el tipo de carne sean iguales para cada frasco?

...revisión final.

- **Lean el siguiente texto y resuelvan las actividades.**

Rafael se fue de vacaciones a la puna salteña con su hermana mayor Sofía y sus papás. Durante su viaje, la familia decidió visitar un lugar conocido por sus lagunas saladas de muy baja profundidad. Una vez allí, Sofía se acercó a la orilla: "¡Miren, miren! Esas piedras son hermosas, ¿son corales?". Rafael se acercó a ver un poco más en detalle: "No, ¡son estromatolitos!". Su hermana muy confundida le preguntó: "¿Es toma litros? ¿Qué es eso?". Rafael, con cara de sorprendido, le contestó: "Es-tro-ma-to-li-tos. Son muy importantes y muy antiguos... Ahora que lo pienso, leí en algún lado que la radiación ultravioleta en este lugar es muy fuerte y, según escuché, este ambiente tiene altos niveles de arsénico... Es como una ventana hacia el pasado".

1. Subrayen la respuesta correcta.

Rafael dice que ese ambiente en el que se encuentran es como una ventana hacia el pasado porque...

a. presenta características similares a las que había cuando apareció por primera vez el hombre.
b. presenta características similares a las que había en la Tierra primitiva cuando aparecieron los primeros organismos.

2. Marquen con un ✓ todas aquellas características que describan las condiciones en la Tierra primitiva.

- ◯ Mares y océanos en formación.
- ◯ Ausencia de oxígeno.
- ◯ Ausencia de dióxido de carbono.
- ◯ Altas concentraciones de sustancias tóxicas (arsénico, metano, amoníaco).
- ◯ Presencia de una capa de ozono.

3. Ordenen los siguientes elementos teniendo en cuenta el momento de su aparición en la historia de la Tierra, desde lo más antiguo hasta lo más reciente.

coacervados • células heterótrofas • protocélulas • células autótrofas • moléculas orgánicas

---------- • ---------- • ---------- • ---------- • ----------

4. Respondan las siguientes preguntas.

a. La secuencia establecida en el punto 3, ¿con qué teoría del origen de la vida se corresponde?

b. ¿Qué otras teorías existen al respecto?

c. ¿Qué son los estromatolitos mencionados en el texto? ¿Cuáles de los términos del punto 3 los describirían mejor?

5. Unan con flechas cada término con su correspondiente definición.

glucosa	Es un proceso de oxidación incompleta que no requiere oxígeno, y el producto final es un compuesto orgánico.
fotosíntesis	Es la molécula orgánica más abundante de la naturaleza y, mediante su oxidación, la fuente primaria de síntesis de energía de las células.
fermentación	Conjunto de reacciones químicas por las cuales determinados compuestos orgánicos son degradados completamente, por oxidación, hasta convertirse en sustancias inorgánicas, que proveen de energía aprovechable a la célula.
respiración	Es la conversión de materia inorgánica en materia orgánica por medio de la energía que aporta la luz solar. En este proceso la energía lumínica se transforma en energía química estable.

BLOQUE

II

La célula: origen, estructura y funciones

CAPÍTULO 04

La estructura de las células

- La observación de las células
- La teoría celular
- Las células procariotas y eucariotas
- Las células animales y vegetales
- El núcleo celular
- La membrana plasmática
- La incorporación y el transporte de nutrientes
- La nutrición celular

CAPÍTULO 05

El camino a la pluricelularidad

- El origen de la pluricelularidad
- Los niveles de organización de los seres vivos
- El ciclo celular
- La diferenciación celular y el crecimiento

Todos los seres vivos están formados por **células**. Algunos organismos, como las bacterias y algunos protistas, están constituidos por una sola célula; mientras que otros, como los seres humanos o los árboles, presentan billones. De este modo, la célula es considerada *la mínima unidad de vida* y los seres vivos pueden ser **unicelulares** o **pluricelulares**.

Existen dos tipos de células: **procariotas** y **eucariotas**. Las bacterias y las arqueas son células procariotas, y los hongos, los protistas, las plantas y los animales están formados por células eucariotas vegetales o animales.

Si bien todas las células presentan una **membrana plasmática** que las rodea, **protoplasma** y **material genético**, existen diferencias muy importantes entre las células procariotas y eucariotas. Por un lado, el material genético o ADN de las procariotas se encuentra inmerso en el protoplasma, mientras que en las eucariotas está contenido dentro de un **núcleo**. Además, las células eucariotas presentan diversas **organelas** que les permiten realizar funciones más complejas que las procariotas, que carecen de la mayoría de estas estructuras especializadas.

Las células eucariotas, a su vez, se dividen en **vegetales** y **animales**. Las primeras, características de las plantas, presentan diferencias respecto de las células animales, como la presencia de una *pared celular* rígida de celulosa, externa a la membrana plasmática, y organelas específicas que participan en el proceso de la **fotosíntesis**: los *cloroplastos*.

Los primeros seres vivos que habitaron la Tierra fueron **unicelulares**. Con el paso del tiempo se agruparon y especializaron, diferenciándose morfológica y funcionalmente. Así aparecieron los organismos **pluricelulares** hace 750 millones de años.

1. ¿Por qué se considera que la célula es la mínima unidad de vida?
2. ¿Cómo diferenciarían una célula procariota de una eucariota? ¿Todas las eucariotas son iguales?
3. ¿Qué diferencias habrá entre un organismo unicelular y una célula aislada de un individuo pluricelular?
4. ¿Qué herramientas necesitan los biólogos para poder estudiar las células?

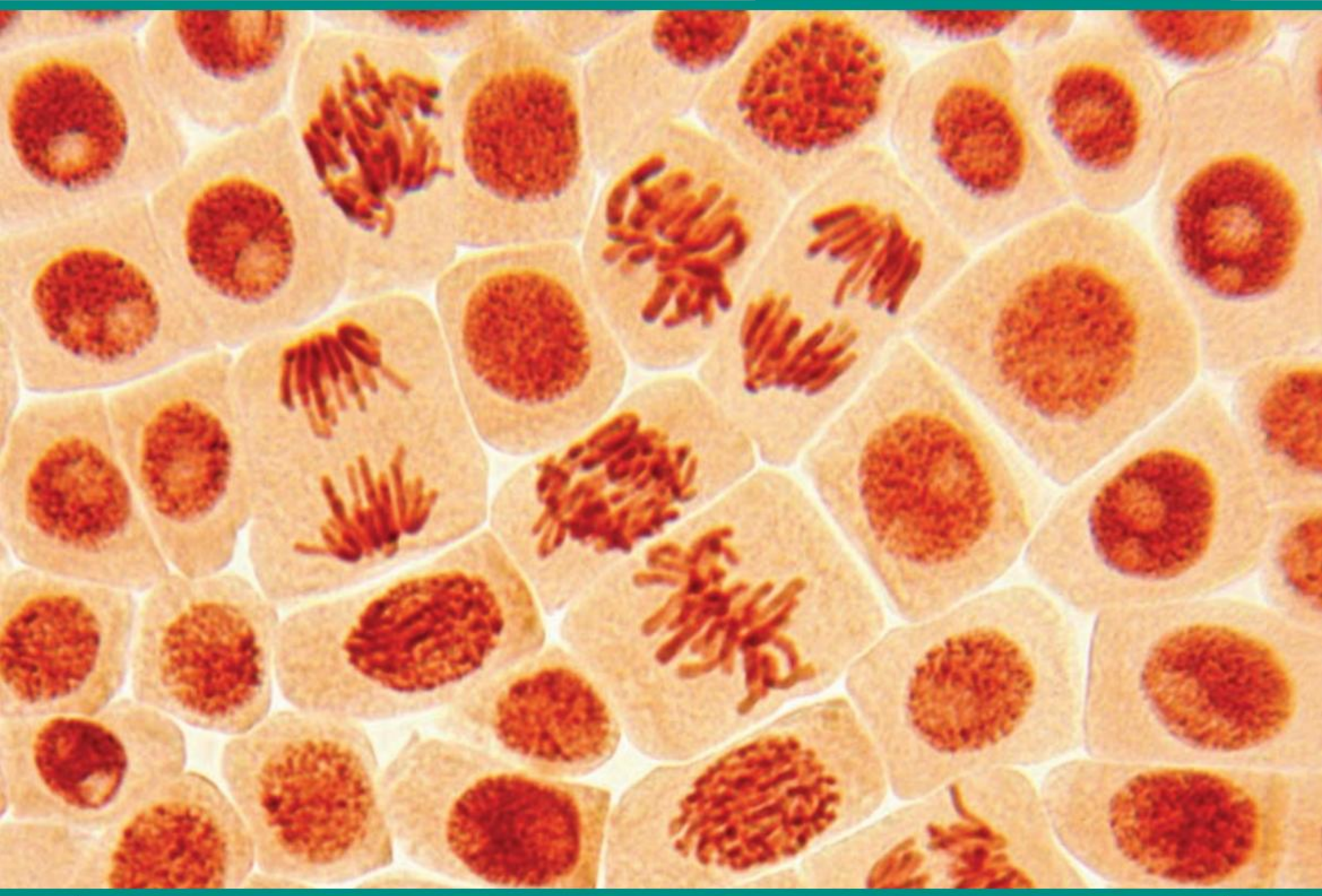
Capítulo 04

La estructura de las células

La célula es la mínima unidad funcional de todos los seres vivos. Al ser de pequeño tamaño, el ser humano ha desarrollado diversos microscopios para su observación. Las células se clasifican en procariotas y eucariotas, y estas últimas a su vez en animales y vegetales. Todas ellas tienen en común un protoplasma, una membrana plasmática o celular y material genético o ADN que se organiza en estructuras denominadas cromosomas.

Secuencia de contenidos:

- La observación de las células
- La teoría celular
- Las células procariotas y eucariotas
- Las células animales y vegetales
- El núcleo celular
- La membrana plasmática
- La incorporación y el transporte de nutrientes
- La nutrición celular



- En la imagen se observan células, ¿ven diferencias entre ellas? ¿Pueden reconocer alguna estructura? ¿Pertenecerán al mismo individuo?
- ¿Existirán diferencias entre una célula de la piel y una célula nerviosa? ¿Tendrán la misma información genética?
- ¿Qué recursos necesita una célula para poder sobrevivir?

La observación de las células

La célula es la mínima unidad de vida. Como su tamaño es tan reducido, no puede ser observada a simple vista, y por ello se utilizan microscopios, que permiten ampliar la imagen y obtener un conocimiento más detallado de los componentes que integran la célula. Los microscopios se han ido perfeccionando con el paso del tiempo. Veamos...

Historia del microscopio

A partir de excavaciones arqueológicas se han hallado numerosas y diversas lentes curvas, convexas y biconvexas que remontan a aproximadamente 3.000–4.000 años de antigüedad. Sin embargo, en 1595 *Zacharias Janssen* construyó el primer microscopio de la historia con la ayuda de su padre, antes de los diez años de edad [FIG. 64].

[FIG. 64]
El microscopio de Janssen consistía en dos lentes soportadas por tubos de latón que se deslizaban uno dentro de otro.

En 1612, el científico *Galileo Galilei* (1564-1642) realizó un pequeño microscopio de alrededor de 12 cm, formado por dos lentes encastradas en un tubo de madera que se deslizaba dentro de otro tubo externo de cartón y cuero [FIG. 65].

[FIG. 65]
Francesco Stellutti (1577-1651) fue el primero en utilizar el microscopio de Galileo con fines biológicos.

En 1670, *Christopher Cock* construyó un microscopio diseñado por *Robert Hooke* (1635-1703) con el que pudo observar, en tejidos de seres vivos, componentes microscópicos a los que llamó células.

El holandés *Anton van Leeuwenhoek* (1632-1723) fabricó un microscopio simple que le permitió en 1674 ser el primero en observar los glóbulos rojos de la sangre.

Con el paso del tiempo, numerosos científicos han contribuido al perfeccionamiento de los microscopios; estos avances permitieron aumentar el poder resolutivo y acceder así a un mayor nivel de detalle y entendimiento de las células.

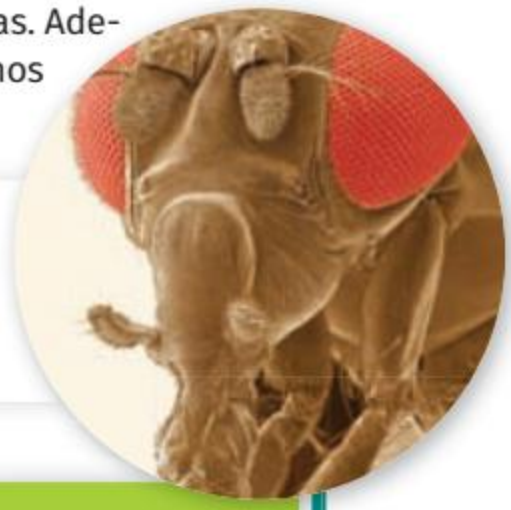
Observación actual

Actualmente los microscopios más empleados son los *ópticos* y los *electrónicos*. Estos instrumentos permiten la observación de objetos diminutos y según el tamaño de lo que se desee estudiar se utilizará uno u otro.

Microscopio óptico. Funciona por medio de dos lentes: una **ocular** por la que se observa al acercar el ojo, y una lente **objetivo**, ubicada próxima al objeto que se pretende estudiar. El aumento final del microscopio se estima mediante la multiplicación del aumento de ambas lentes seguido de una "X", que indica la cantidad de veces que se incrementó la visualización del objeto. La resolución promedio del microscopio permite observar objetos que midan más de 0,0002 mm, que equivale a 0,2 µm (micrones) [FIG. 66].

[FIG. 66]
Usualmente con el microscopio óptico las imágenes se amplian hasta 2.000 veces.

Microscopio electrónico. Emplea haces o "rayos" de electrones, por lo que no funciona con luz visible como lo hacen los microscopios ópticos. La imagen formada no se observa a través del microscopio sino que se registra en una computadora. Existen dos tipos de microscopios electrónicos: **de transmisión** y **de barrido**. El primero se utiliza para ver de forma bidimensional muestras muy finas o moléculas pequeñas de 1 nm (nanómetro) de espesor. El microscopio de barrido permite visualizar de forma tridimensional estructuras que poseen un tamaño de 100 nm como virus y algunas bacterias. Además se usa para obtener detalles finos de distintas estructuras [FIG. 67].



[FIG. 67]
Mosca observada a través de un microscopio electrónico de barrido.

Guía de estudio

1. Armen una línea de tiempo en donde ubiquen a los científicos y sus inventos.

Palabras **clave**: **microscopio** ***Hooke*** *Pasteur* *generación espontánea*

La teoría celular

En 1665, Robert Hooke fue el primero en observar células en una delgada lámina de corteza del árbol alcornoque, también llamado corcho. Con el paso del tiempo, los científicos contribuyeron al conocimiento de las células mediante el estudio de tejidos provenientes de distintos seres vivos. De este modo se formuló la teoría celular, que establece a la célula como unidad fundamental de la vida. Veamos...

Descubrimiento de la célula

La primera observación de células fue realizada por *Robert Hooke* hace casi 300 años [FIG. 68]. El científico inglés utilizó un microscopio fabricado por él mismo para analizar finas láminas de corcho y de otras plantas. Como resultado, descubrió que los tejidos vegetales estaban formados por pequeñas celdas, semejantes a las de los panales de abejas, a las que llamó **células** (del latín *cellula*, 'celdilla').

[FIG. 68]
Robert Hooke también es conocido por sus aportes al estudio de las fuerzas elásticas.

Poco tiempo después, el naturalista holandés *Anton Van Leeuwenhoek* perfeccionó el microscopio y fue capaz de observar distintos microorganismos acuáticos, glóbulos rojos y espermatozoides.

Entre 1838 y 1839, el zoólogo *Theodor Schwann* y el botánico *Matthias Jakob Schleiden* observaron a través del microscopio tejidos animales y vegetales respectivamente. A partir de las conclusiones obtenidas, ambos confirmaron que estos tejidos están constituidos por **células**. Además, sostuvieron que la vida se encontraba en la célula y la propusieron como *unidad estructural de todos los seres vivos*. Sin embargo no supieron responder de dónde provenían estas unidades.

Basándose en estudios de diversos científicos, en 1855 *Rudolph Virchow* (1821-1902) llegó a la conclusión de que toda célula proviene de otra preexistente y no como consecuencia de una formación o **generación espontánea** a partir de materia inerte. Esta concepción es una antigua teoría biológica que consideraba que los animales y las plantas surgían espontáneamente a partir de materia orgánica, inorgánica y una combinación de ambas.

Para *August Weismann* (1834-1914), la teoría celular tenía que considerar el origen de las primeras células. De este modo, desarrolló hipótesis acerca de la *herencia* y postuló una idea sobre la continuidad entre todas las células actuales y sus antecesores.

Con el aporte de los científicos nombrados y de varios otros, se formuló la hasta hoy vigente **teoría celular**. Sin embargo a partir de 1864, gracias a los experimentos de *Louis Pasteur* sobre la reproducción de microorganismos, esta teoría tuvo mayor aceptación debido a que asentaba la base de conocimientos necesarios para refutar la teoría dominante acerca de que los seres vivos surgían como producto de la generación espontánea [FIG. 69].

Postulados de la teoría celular

A mediados del siglo XIX se estableció la **teoría celular**, que integra y relaciona todas las observaciones y conclusiones realizadas sobre los seres vivos.

La teoría celular define a la célula como la *unidad estructural, funcional, de origen y herencia de todos los organismos*, y establece los siguientes **postulados**:

- Todos los seres vivos están compuestos por una o más células.
- Toda célula proviene de otra preexistente que le dio origen.
- Todas las células presentan el mismo tipo de componente químico.
- En las células se llevan a cabo todas las funciones vitales de los seres vivos.
- Toda célula contiene material genético, que corresponde a la unidad hereditaria de los seres vivos.

Este último postulado fue incorporado a la teoría celular a finales del siglo XIX, luego de las investigaciones evolutivas de *Charles Darwin* y los posteriores avances en el estudio de la genética.

[FIG. 69]
Algunos de los aportes de Pasteur fueron: el desarrollo de vacunas y antibióticos, la esterilización y la higiene como métodos de cura y prevención de enfermedades, y la técnica de pasteurización utilizada en el procesamiento de alimentos líquidos.

Teoría celular y ancestro común

La **teoría celular** es una evidencia de la existencia de un **ancestro común** de todos los organismos. El hecho de que todos los seres vivos estén formados por una o más células constituye una prueba que sustenta dicha teoría.

La vida se originó en la Tierra hace aproximadamente 3.800 millones de años a partir de las primeras células procariotas. En algún momento determinado, algunas de estas células primitivas complejizaron su estructura y desarrollaron un núcleo y organelas. Este evento dio origen a los primeros organismos eucariotas.

Características comunes de las células

Todas las células poseen y comparten determinadas estructuras básicas:

- Presentan una **membrana celular** o **plasmática**, que determina el límite entre la célula y el medio que la rodea, y regula el intercambio de sustancias entre ambos.
- Dentro de la célula se encuentra el **protoplasma**, sustancia acuosa de aspecto similar a un gel, que posee minerales y contiene las estructuras celulares. Además, es el lugar donde ocurre la mayoría de las reacciones metabólicas celulares.
- Todas las células poseen en su interior **material genético**, que regula su funcionamiento y se transmite al dividirse la célula. La información genética se encuentra en las moléculas de **ADN** que, en las células eucariotas, se organizan en estructuras denominadas **cromosomas**.

La evidencia recolectada hasta la actualidad permite concluir que existe una continuidad ininterrumpida entre las primeras células primitivas que aparecieron en la Tierra y las células actuales.

Escala celular

Las células poseen un tamaño muy pequeño y por este motivo no pueden ser observadas a simple vista. Para poder apreciarlas es necesario el uso de un microscopio que aumente 400 e incluso 1.000 veces el tamaño de la imagen. Esto se debe a que el *tamaño celular* de la mayoría de las células se encuentra en el rango de los *micrones* (µm). El micrón es una unidad de longitud que equivale a una millonésima parte de un metro (o una milésima parte de un milímetro) [FIG. 70].

En promedio, el tamaño de una célula es cercano a los 10 µm. Algunos componentes internos como el *núcleo* pueden observarse con un *microscopio óptico*, aunque para apreciar otras estructuras es necesario un instrumento más potente como el *microscopio electrónico*.

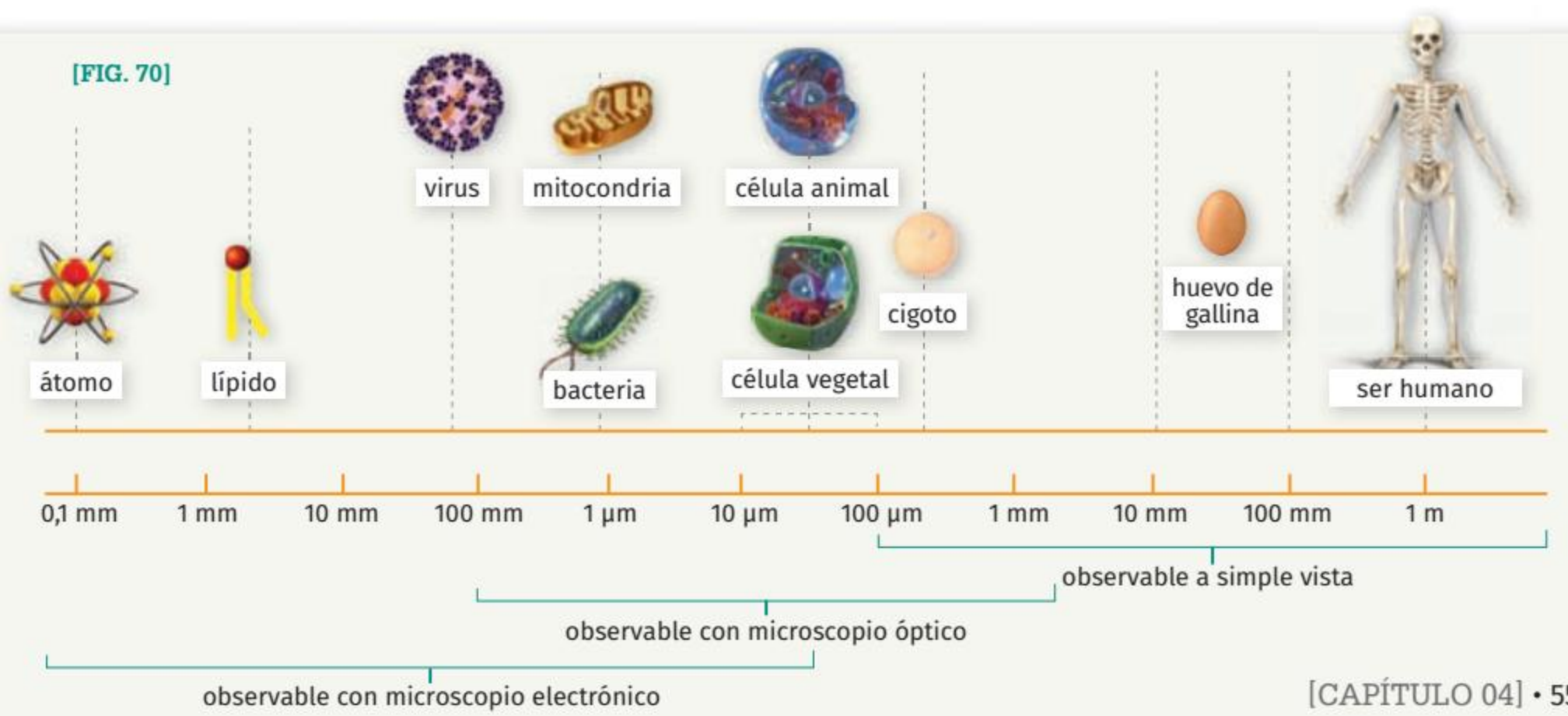
En la especie humana la célula más grande se llama *oocito*, conocida también como óvulo, y presenta un diámetro de alrededor de 0,014 cm (140 µm). Mientras que la más pequeña es el *espermatozoide* (60 µm).

La célula que presenta mayor longitud es un tipo de *neurona* o célula nerviosa, ubicada en la médula espinal, cuyas prolongaciones en conjunto se extienden hasta los pies y pueden medir 1 metro.

Guía de estudio

1. ¿Cómo podrían afirmar que la generación espontánea es una teoría errónea?
2. Enumeren las estructuras básicas presentes en todas las células. ¿Cuáles son sus funciones?
3. ¿Cómo se llama la unidad utilizada para medir las células? ¿Cuál es su equivalencia con el metro?

[FIG. 70]



Palabras clave: organela ribosoma núcleo

Las células procariotas y eucariotas

Las células se dividen en dos grandes grupos: procariotas y eucariotas. Las primeras son células abundantes, menos complejas y pueden presentar distintas formas: esféricas, de bastón, espiraladas, en cadena, etcétera. Las eucariotas poseen un tamaño superior, su complejidad es mayor y pueden asociarse en tejidos. Veamos...

Clasificación de las células

Al analizar diversas muestras de tejidos de seres vivos al microscopio, los científicos llegaron a la conclusión de que en la naturaleza existe una gran variedad de células.

Si bien estas no son todas exactamente iguales, presentan ciertas características que permiten su clasificación en dos grandes grupos: *células procariotas* y *eucariotas*.

Células *procariotas*

Las células **procariotas** son las más abundantes y se caracterizan por habitar una gran diversidad de ambientes. Además, son capaces de sobrevivir en zonas de presión, salinidad y temperaturas extremas.

Algunas células procariotas pueden vivir dentro de otros seres vivos y su tamaño varía entre 0,5 y 5 µm de longitud. Si bien todas presentan una estructura semejante, pueden tener distintas formas [FIG. 71].

[FIG. 71] Morfologías de las procariotas

Cocos. Bacterias con forma esférica que pueden estar sueltas o agrupadas.

Diplococos. Asociación de un par de especies con forma esférica.

Estreptococos. Largas cadenas de especies esféricas.

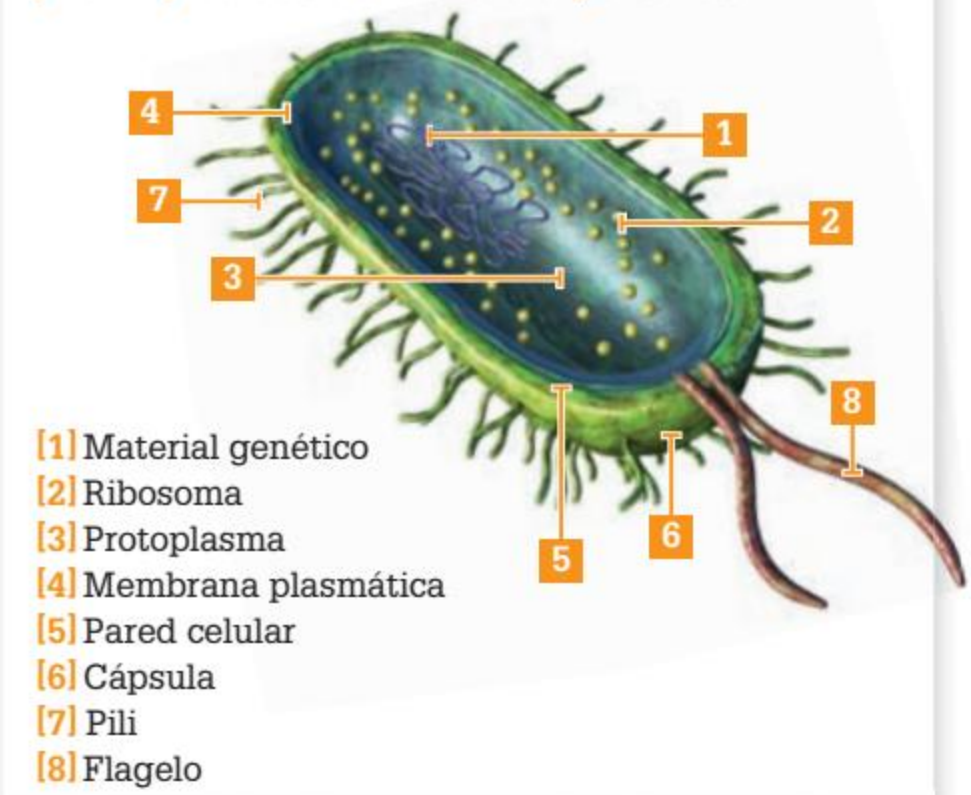
Bacilos. Procariotas semejantes a bastones.

Espirilos. Presentan un aspecto similar a una espiral.

Vibrones. Ligeramente curvos, con forma de coma.

Los organismos procariotas son seres unicelulares y corresponden a las **bacterias** y a las **arqueas**. Presentan aspecto sencillo y tienen pocos componentes [FIG. 72].

[FIG. 72] Estructura de la célula procariota



Al carecer de una membrana nuclear, el **ADN** o **material genético** se encuentra en una zona sin delimitar llamada *nucleoide*, inmersa en el protoplasma.

Los **ribosomas** son las estructuras donde se elaboran las proteínas a partir de la información genética.

El **protoplasma** es el medio interno semilíquido similar a un gel, en donde se llevan a cabo las reacciones metabólicas de la célula.

La estructura que separa a la célula del ambiente y regula el intercambio de sustancias entre el medio externo e interno es la **membrana plasmática**.

La **pared celular**, formada por una sustancia conocida como *peptidoglucano*, le otorga a la célula rigidez, protección y permeabilidad a algunas sustancias.

La **cápsula**, presente en algunos tipos de bacterias, provee protección frente a la deshidratación.

Los **pili** son estructuras semejantes a pelos que permiten la adherencia, el movimiento, la comunicación y el intercambio de material genético entre células. Consiste en prolongaciones citoplasmáticas que atraviesan los poros de la pared celular y de la cápsula.

La estructura en forma de látigo que le permite a la célula desplazarse se conoce como **flagelo**. Las células procariotas pueden no tener flagelos o en algunos casos presentar más de uno.

Células *eucariotas*

Las **células eucariotas** son células que presentan mayor complejidad que las procariotas y, en promedio, son aproximadamente diez veces más grandes.

Muchos microorganismos, hongos, plantas y animales están formados por este tipo de células.

Las células eucariotas comparten características con las procariotas, pero además poseen estructuras propias que las diferencian:

- **Núcleo celular.** El material genético se encuentra encerrado en un compartimento interno llamado *núcleo*. Los límites de este núcleo están determinados por una envoltura o *membrana nuclear* que comunica con el interior de la célula a través de *poros*.
- **Organelas rodeadas por membranas.** Son estructuras o compartimentos internos. Algunos de ellos son: *mitocondrias*, *aparato de Golgi*, *retículo endoplasmático*, *lisosomas*, *cloroplastos* y *vacuolas*. Sin embargo, no todas las organelas se encuentran presentes en todas las células eucariotas.
- **Citoesqueleto.** Conjunto de filamentos y túbulos proteicos distribuidos en el citoplasma. Interviene en el mantenimiento de la forma celular y permite sus movimientos. Funciona como un sistema de transporte por el que se movilizan las organelas dentro de la célula.

Pluricelularidad y especialización de funciones

La capacidad de las células eucariotas de permanecer unidas después de dividirse permite la existencia de **organismos pluricelulares**. Las células que conforman estos organismos se especializan en distintas tareas, y de este modo, optimizan el funcionamiento de todo el cuerpo del individuo.

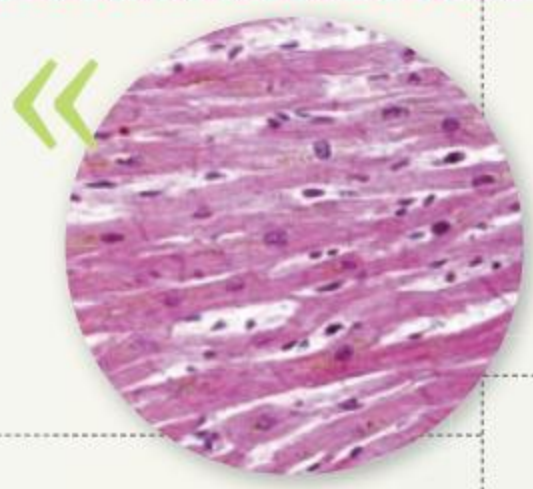
Algunas células presentan funciones relacionadas con los movimientos, la ingesta de alimentos, el transporte de sustancias, la recepción y el envío de señales, la acumulación de sustancias de reserva y la reproducción, entre otras [FIG. 73].

Las agrupaciones de células pueden formar colonias o **tejidos**, que se asocian y constituyen los **órganos**, vinculados entre sí para conformar **sistemas de órganos**.

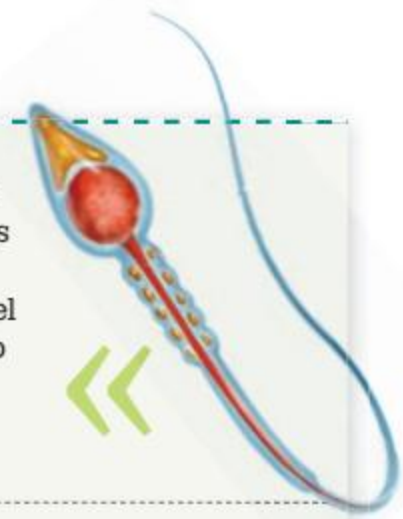
Guía de estudio

1. Realicen un cuadro en el cual comparen las características que presentan las células procariotas y eucariotas.

[FIG. 73] Distintos tipos de células eucariotas



Las **células musculares** son fusiformes (con forma de huso o aguja) y multinucleadas (muchos núcleos). Presentan la capacidad de contraerse y relajarse.

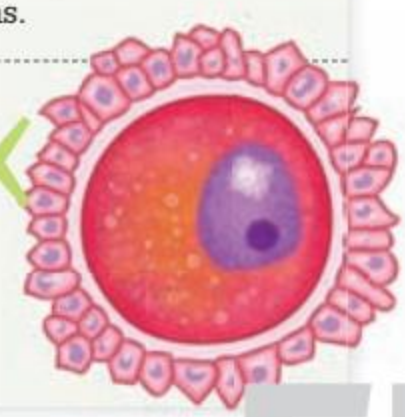


Los **espermatozoides** son las células sexuales de los individuos masculinos que tienen reproducción sexual. Presentan una cabeza con la mitad del material genético, y una cola o flagelo que les permite desplazarse hasta el oocito.

Los **glóbulos rojos** son células especializadas en el transporte de oxígeno y dióxido de carbono, por medio de una proteína transportadora denominada *hemoglobina*.

Los **adipocitos** son las células que constituyen el tejido graso del cuerpo. Por lo general, las personas adultas poseen un número fijo de adipocitos, y el incremento de peso se debe al aumento de tamaño de estas células.

Las **neuronas** son células del sistema nervioso especializadas en la recepción de estímulos y en la transmisión de impulsos eléctricos.



Los **oocitos**, conocidos como óvulos, son las células sexuales femeninas de los animales. Presentan todas las organelas, a diferencia de los espermatozoides que carecen de muchas, y la mitad del material genético.

Las células animales y vegetales

Las células eucariotas se clasifican en células eucariotas animales y vegetales. Si bien poseen estructuras en común, presentan particularidades que las distinguen entre sí. Las células animales se caracterizan por la presencia de centríolos, lisosomas, flagelos y cilios, mientras que las vegetales se destacan por poseer plástidos, pared celular y una gran vacuola central. Veamos...

Clasificación de células eucariotas

Las células eucariotas se agrupan en dos categorías: células **animales** y **vegetales**. En general, ambos grupos comparten varias características, aunque existen ciertas estructuras que son propias de cada tipo.

Características comunes

Las células eucariotas animales y vegetales comparten una estructura básica: *citoesqueleto, membrana plasmática, núcleo y citoplasma.*

Además, tienen en común muchas de sus *organelas*: mitocondria, peroxisoma, vacuola, aparato de Golgi, ribosoma, y retículo endoplasmático rugoso y liso.

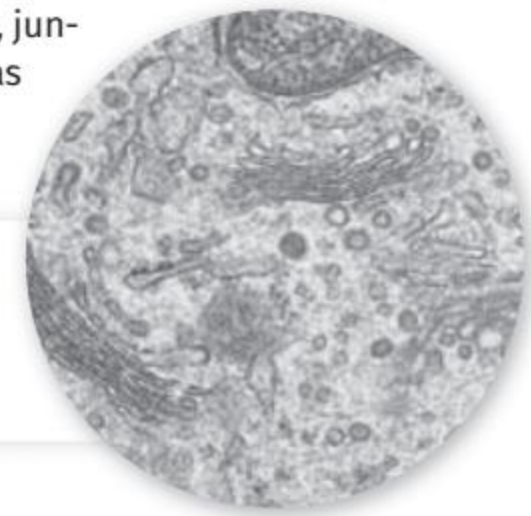
Todas las células eucariotas presentan algún tipo de movimiento, ya sea desplazamiento por el medio o de sus componentes internos. El **citoesqueleto** es una red de fibras proteicas que se extiende a través del citoplasma, y aunque le da forma y estructura tridimensional, no es rígida ni permanente, sino que es una estructura dinámica que cambia con la actividad celular.

La **mitocondria** es de gran tamaño y su forma puede ser esférica, ovoide o cilíndrica. En ella se lleva a cabo el proceso de *respiración celular*, mediante el cual todas las células eucariotas obtienen energía a partir de la degradación de la *glucosa* (azúcar). Generalmente suele haber varias mitocondrias por célula.

Los **peroxisomas** son unas organelas muy pequeñas cuya función es *almacenar sustancias tóxicas* para la célula, como el peróxido de hidrógeno (H_2O_2), y luego *transformarlas en sustancias inofensivas*. Además, los peroxisomas cumplen una función relevante en el *metabolismo de lípidos*.

Las **vacuolas** son vesículas que *almacenan sustancias como el agua* y las *sales minerales*, aunque también pueden contener azúcares y proteínas en disolución. En las células eucariotas vegetales las vacuolas son muy grandes y escasas, mientras que en las células eucariotas animales son numerosas y de reducido tamaño.

El **aparato de Golgi** está formado por un sistema de vesículas y sacos aplanados [FIG. 74]. En las células vegetales se le asigna el nombre de *dictiosoma*, aunque no presenta diferencias respecto del aparato de Golgi de la célula animal. Esta organela *recibe los productos provenientes del retículo endoplasmático, procesa su contenido y los distribuye a otras partes de la célula en pequeñas vesículas*. Además, sintetiza algunos hidratos de carbono y, en células animales, junto con enzimas forma vesículas denominadas **lisosomas**.



[FIG. 74]
El aparato de Golgi no se encuentra presente en los glóbulos rojos.

Existen importantes componentes celulares conocidos como **ribosomas**, cuya función está implicada en la producción o *síntesis de proteínas*. A diferencia de las organelas, estas estructuras no están rodeadas por una membrana, y se encuentran presentes en el citoplasma o adheridas al retículo endoplasmático rugoso. Además, existen ribosomas de menor tamaño en procariotas y en el interior de mitocondrias y cloroplastos. Estos ribosomas son pequeños como los de las bacterias, lo que resultó una fuerte evidencia para que los científicos elaboraran hipótesis sobre el origen de las mitocondrias y los cloroplastos.

El **retículo endoplasmático rugoso** (RER) comprende un conjunto de sacos membranosos o tubos aplanados conectados entre sí y, por lo general, con la membrana nuclear. Se lo llama "rugoso" porque su membrana está cubierta con ribosomas. Por este motivo, su principal función es la *síntesis de proteínas*, y además interviene en su *transporte*.

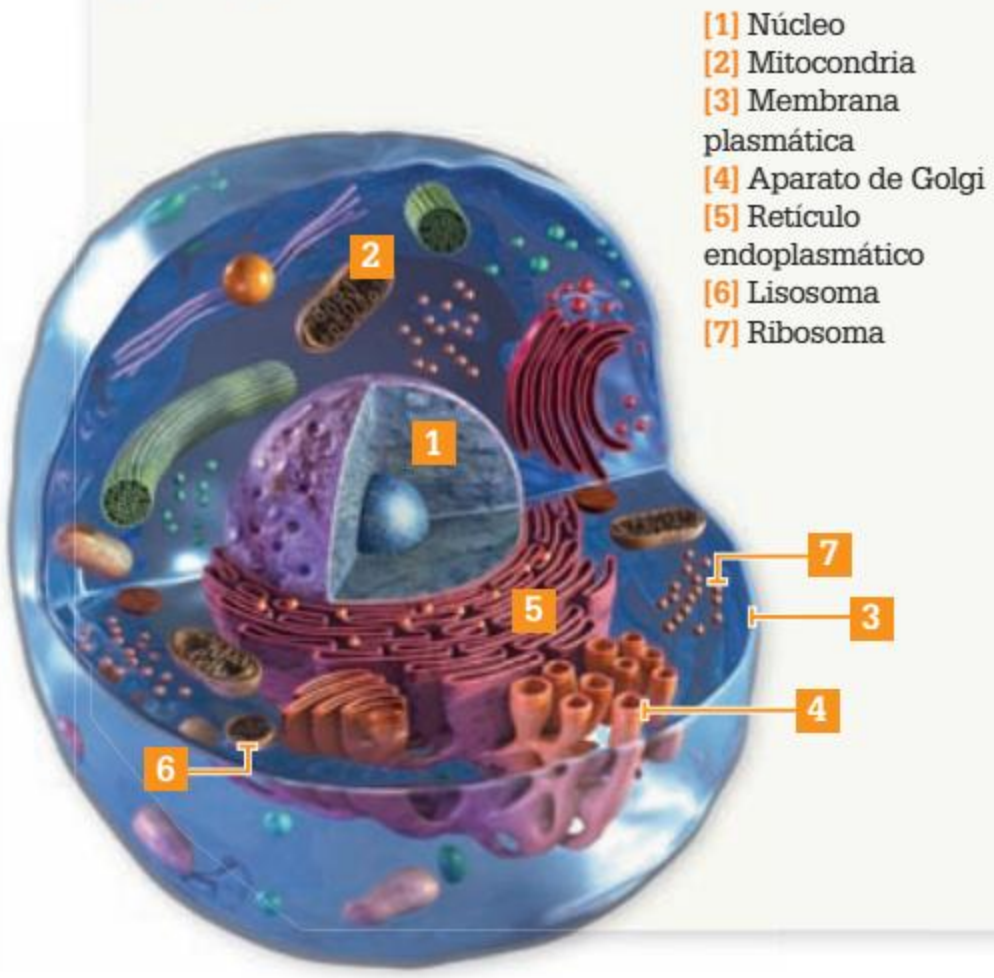
El **retículo endoplasmático liso** (REL) presenta un aspecto similar al RER pero al carecer de ribosomas su superficie es lisa. Sus funciones principales son: *síntesis de lípidos* y *detoxificación celular por medio del procesamiento de sustancias nocivas*.

https://goo.gl/TNOECi
Escaneen el código QR para observar una simulación del interior de la célula.

Células *animales*

Todos los animales están formados por una asociación de **células eucariotas animales** [FIG. 75]. Si bien existen diferencias morfológicas según la función que cumplen dentro del organismo, las células animales comparten una organización en común.

[FIG. 75] Estructura de la célula eucariota animal



Además de las estructuras comunes, características de las eucariotas, las células animales presentan componentes específicos que las diferencian de las vegetales:

- **Cilios.** Estructuras semejantes a pelos que en eucariotas unicelulares participan en el *desplazamiento*, mientras que en los organismos pluricelulares permiten la *remoción de sustancias de algunas superficies*, como ocurre en la tráquea y en los bronquios de los pulmones.
- **Flagelos.** Presentan forma de látigo y, si están presentes, puede haber uno o dos por célula. Como ocurre en las procariotas, el batido del flagelo *permite el movimiento de la célula*. Un ejemplo conocido es el caso de los espermatozoides, que se propulsan por movimientos de su flagelo hasta llegar al oocito.
- **Centríolos.** Son estructuras en forma de cilindro hueco a partir de las cuales se forman cilios y flagelos.
- **Lisosomas.** Vesículas membranosas que contienen enzimas capaces de digerir o degradar sustancias. Cumplen con dos funciones importantes: la *digestión celular* de los elementos incorporados por la célula, y la *degradación de estructuras internas falladas*.

Células *vegetales*

Las plantas están conformadas por **células eucariotas vegetales**, que poseen ciertas estructuras únicas de este tipo celular [FIG. 76].

- **Pared celular.** Ubicada por fuera de la membrana plasmática y formada principalmente por celulosa. Aporta *sostén, protección, y contribuye a determinar su forma*.
- **Vacuola.** Estructura que se encuentra en el centro de la célula y ocupa la mayor parte de ella. *Almacena sustancias de reserva* (agua, sales y otros nutrientes) o de *desecho* y participa en el *mantenimiento de la forma celular*.
- **Plástidos.** Organelas rodeadas por dos membranas. Según el tipo, pueden *almacenar sustancias de reserva*, como los amiloplastos que almacenan almidón, o llevar a cabo el proceso de *fotosíntesis*. Este último ocurre en los cloroplastos por medio de un pigmento encargado de captar la energía lumínica proveniente del Sol: la clorofila.

[FIG. 76] Estructura de la célula eucariota vegetal

Guía de estudio

1. ¿Qué características comparten todas las células eucariotas?
2. ¿Cuáles estructuras son propias de las células animales? ¿Cuáles de las vegetales?
3. ¿Qué estructura recibe distinto nombre según el tipo de célula eucariota que se esté estudiando? ¿Cuál es su función?

Palabras **clave:** **ADN** *núcleo* proteína **cromatina**

El núcleo celular

Todas las células eucariotas presentan un núcleo, estructura interna delimitada por una membrana que separa el citoplasma celular del carioplasma (medio interno semilíquido del núcleo celular). Los núcleos contienen nucléolos y material genético hereditario conocido también como ADN, que regula todas las actividades de la célula. Veamos...

Funciones del núcleo

Los seres vivos eucariotas (animales, plantas, algas, hongos y protozoos) se caracterizan por tener células con un **núcleo** bien definido [FIG. 77]. A lo largo del tiempo, distintas investigaciones les han permitido a los científicos descifrar cuáles son las funciones de esta estructura interna.

[FIG. 77]
Núcleos de células del hígado observados a través de un microscopio.

La forma de las células y el número de núcleos en su interior puede ser variable. Por ejemplo, las células musculares son alargadas y poseen más de un núcleo. Sin embargo, lo más frecuente es que presenten uno solo. Las *células multinucleadas* pueden originarse por fusión de varias células o por una división incompleta del citoplasma luego de la división celular.

Hace más de 100 años, el científico *Oscar Hertwig* (1849-1922) hizo la primera contribución al conocimiento acerca del núcleo celular [FIG. 78]. El científico observó al microscopio cómo se llevaba a cabo la fecundación entre gametas de un erizo de mar y notó que solo se requería que el núcleo de un espermatozoide se uniera al núcleo del oocito. Esta observación fue sumamente importante para establecer que dicha estructura es portadora de la información hereditaria.

[FIG. 78]
Oscar Hertwig, embriólogo alemán que logró profundizar el conocimiento respecto del núcleo celular.

Hasta la actualidad, se han descubierto dos funciones fundamentales del núcleo:

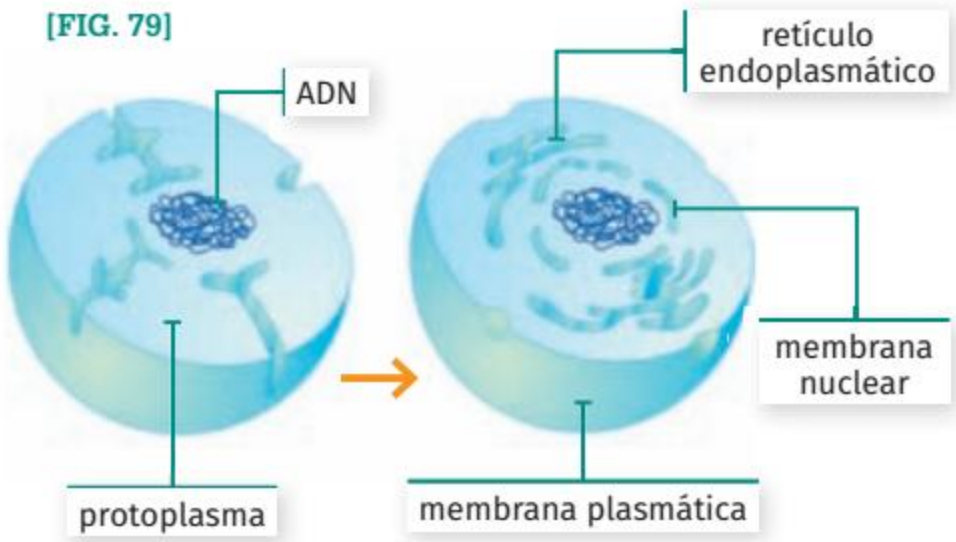
Portador de la información hereditaria. El núcleo encierra el **ADN** o **material genético** heredado por los progenitores, y determina las características propias de cada individuo. Además, el núcleo participa de la división celular, proceso por el cual una célula progenitora origina dos células hijas. Por medio de este proceso las células se multiplican, lo que conduce al crecimiento de los organismos pluricelulares, o a la formación de células sexuales que darán lugar a un nuevo individuo.

Centro de control celular. El núcleo recibe información de lo que ocurre en el interior de la célula y envía una respuesta. De este modo, influencia continuamente las actividades celulares de manera de asegurarse que las moléculas complejas que ella requiera se sinteticen correctamente y en cantidad suficiente.

Origen del núcleo

Algunos científicos sostienen que el origen del núcleo estaría asociado a una *invaginación de la membrana plasmática de organismos procariotas hace aproximadamente 1.500 millones de años* [FIG. 79].

[FIG. 79]



Estos organismos se convirtieron en las primeras células eucariotas, y el núcleo se habría generado a partir de un sistema de *endomembranas* (membranas internas) que recubrió al material genético. Cada una de estas dos membranas concéntricas es una bicapa lipídica.

Sin embargo otros investigadores proponen que el origen del núcleo estaría vinculado a una relación de tipo *endosimbiótico entre distintas bacterias*. De este modo, se habría establecido una asociación beneficiosa entre un organismo que habitó en el interior de otro.

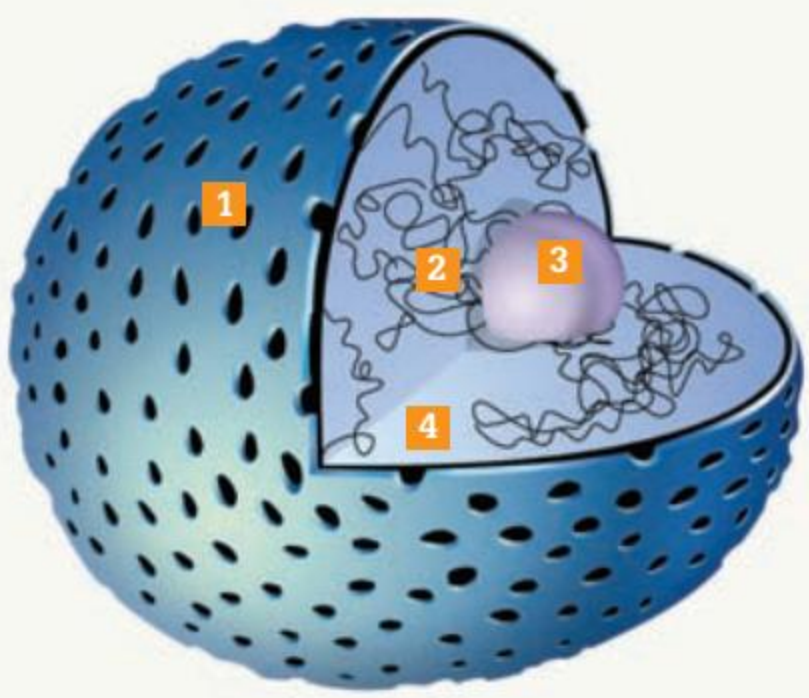
Composición del núcleo

La mayoría de las células poseen un solo núcleo y se denominan **mononucleadas**. También existen otras con dos núcleos: **binucleadas**, o más de dos: **polinucleadas**. En muy pocos casos, como los glóbulos rojos de la sangre de los mamíferos, las células no presentan núcleo y por lo tanto se las llama **anucleadas**.

El núcleo ocupa el 10 % del volumen de la célula y se encuentra rodeado por una envoltura o *membrana nuclear lipídica*, que presenta poros por donde circulan compuestos entre el núcleo y el citoplasma.

A su vez, el núcleo contiene una serie de componentes, entre los cuales se encuentra la información hereditaria o *material genético* [FIG. 80].

[FIG. 80] Estructura del núcleo



[1] **Membrana nuclear.** Membrana o envolutura doble, porosa y semipermeable que separa y comunica el núcleo con el citoplasma.

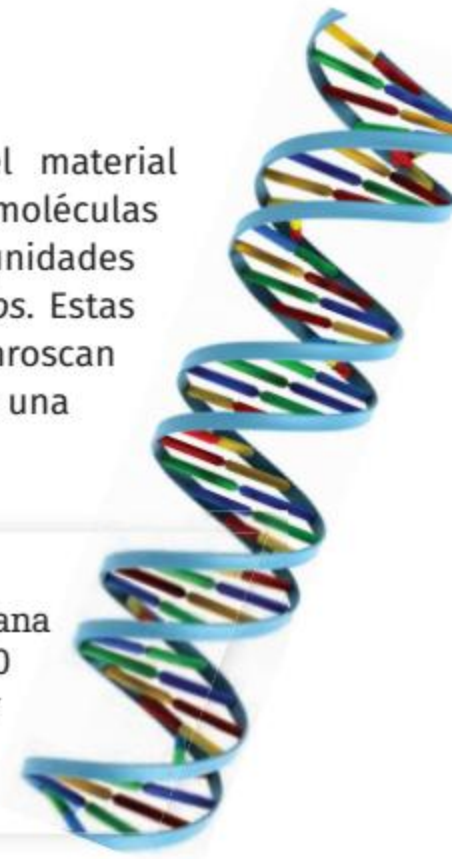
[2] **Material genético (ADN).** Se encuentra asociado a proteínas llamadas histonas, formando la cromatina. Cuando la célula está en reposo, la cromatina está extendida y ocupa todo el volumen del núcleo. Al momento de llevar a cabo la división celular, que dará lugar a las células hijas, la cromatina se condensa y compacta formando los *cromosomas*.

[3] **Nucleolo.** Región densa y pequeña donde se producen los componentes de los ribosomas involucrados en la producción de proteínas. Suelen ser uno o dos por célula.

[4] **Carioplasma.** Material semilíquido coloidal, similar al citoplasma, pero con menor contenido de agua. En él se encuentran inmersos la cromatina y el nucléolo.

ADN y control celular

Dentro del núcleo se encuentra el material hereditario o genético, que consiste en moléculas de **ADN** formadas por dos cadenas de unidades más pequeñas denominadas *nucleótidos*. Estas cadenas están unidas entre sí y se enroscan sobre sí mismas de modo tal que forman una doble hélice [FIG. 81].

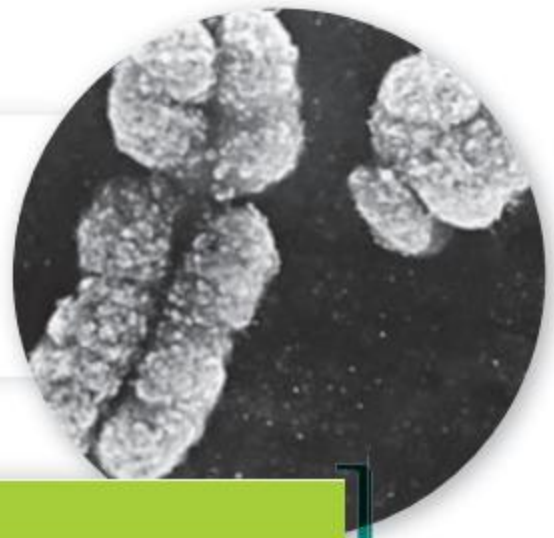


[FIG. 81]
El ADN del núcleo de cada célula humana tiene una longitud de alrededor de 1,80 metros. Sin embargo, al presentar muy poco espesor es capaz de enrollarse y de caber en el interior del núcleo.

Los **genes** son segmentos de ADN que *contienen las instrucciones necesarias para la elaboración de las proteínas que componen todas las estructuras celulares.*

Los genes dirigen, desde el interior del núcleo, las actividades que se realizan en las organelas del citoplasma. Esta función se lleva a cabo sin abandonar el núcleo, para lo cual se utiliza otro tipo de molécula que está estrechamente relacionada con el material genético: el **ARN mensajero**. Esta molécula actúa como intermediario y se forma a partir de una de las cadenas de nucleótidos del material genético. Luego de sufrir ciertos cambios, es transportada al citoplasma donde *participa en la síntesis o formación de proteínas.*

En las células eucariotas, el material genético se encuentra unido a proteínas denominadas *histonas* que participan del enrollamiento y plegamiento de la larga molécula de ADN, y de este modo se constituyen los **cromosomas** [FIG. 82].



[FIG. 82]
Los cromosomas que determinan el sexo de una persona son los sexuales. Las mujeres son XX y los hombres XY.

Guía de estudio

1. ¿Cómo está compuesto el núcleo?
2. ¿Qué funciones tiene?
3. ¿Qué relación existe entre el núcleo, el ADN y las proteínas?

Palabras clave: **sustancia** bicapa hidrofílica ***fosfolípido***

La membrana plasmática

Las células poseen a su alrededor una membrana compuesta por una bicapa de fosfolípidos, colesterol y proteínas. La membrana regula el intercambio de compuestos entre la célula y el exterior. Existen algunas sustancias que atraviesan la membrana sin gasto de energía, este proceso se denomina transporte pasivo, mientras que otras requieren de energía para su ingreso, es decir presentan un transporte activo. Veamos...

Membrana: estructura y función

Todas las células, ya sean procariotas o eucariotas, presentan una **membrana plasmática** que las rodea. Esta estructura cumple funciones muy importantes: *establecer el límite entre el medio externo e interno de la célula, permitir el intercambio de sustancias de manera selectiva entre la célula y el ambiente, detectar señales del exterior y transmitirlas al interior celular*.

La membrana plasmática está formada por **fosfolípidos**, moléculas que contienen una parte *hidrofóbica* (insoluble en agua) y otra *hidrofílica* (soluble en agua), y como consecuencia de esto se las llama *anfipáticas*. De este modo, los fosfolípidos se distribuyen en la membrana formando una **bicapa**: las cabezas hidrofílicas se orientan hacia el exterior de la célula y hacia el protoplasma (ambos medios acuosos), y las colas hidrofóbicas forman el interior de la membrana plasmática.

Además, la membrana presenta otras clases de moléculas: *colesterol*, *proteínas* y *azúcares* [FIG. 83].

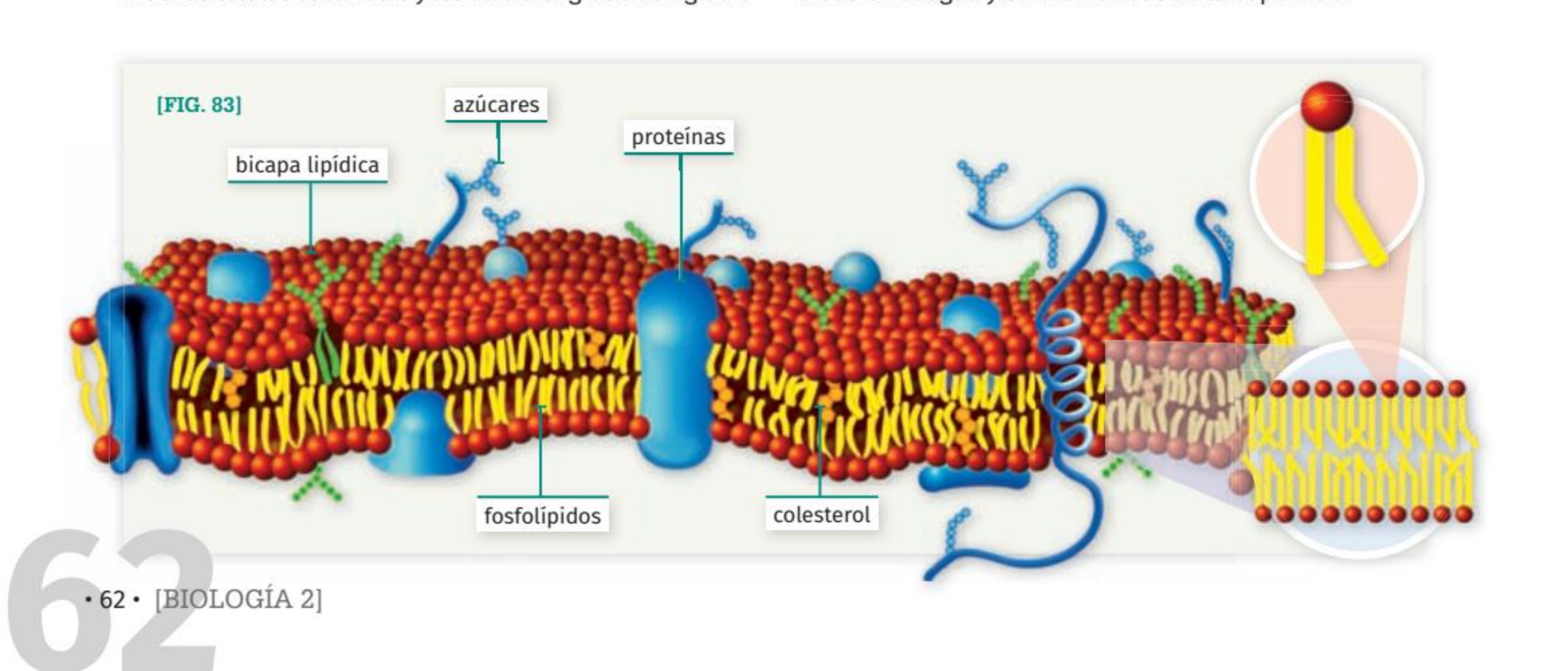
- **Colesterol.** Lípido que está presente en la membrana de muchas células eucariotas y les da cierto grado de rigidez.
- **Proteínas.** Pueden atravesar la membrana o ubicarse a un lado u otro de ella. Regulan de modo específico el transporte de sustancias hacia el interior y exterior de la célula. Algunas actúan como receptores al recibir señales externas y transmitirlas hacia el interior celular.
- **Azúcares.** Algunos lípidos y proteínas tienen adheridas a sus estructuras cadenas cortas de azúcares o hidratos de carbono que colaboran con la comunicación intercelular.

El interior de la membrana es totalmente hidrofóbico y funciona como una barrera impermeable para el pasaje de casi todos los compuestos solubles en agua. Algunas proteínas forman *canales* que permiten el paso de modo específico de distintos compuestos.

El **modelo de mosaico fluido** explica la organización general de la membrana plasmática. Tiene en cuenta la disposición en bicapa lipídica, y las proteínas y los lípidos que la atraviesan. La *estructura fluida* de la bicapa lipídica le otorga movilidad a sus componentes y permite que las membranas se fusionen entre sí en el proceso de división celular y en el transporte de vesículas.

Las moléculas con una cabeza hidrofílica y una larga cadena hidrofóbica también son características de los jabones. Esta disposición constituye el mecanismo por el cual los jabones disuelven compuestos insolubles en agua. Las moléculas de aceite y de grasa son insolubles en medio acuoso; al agregarle jabón al agua, sus largas cadenas hidrofóbicas se unen a las partículas de grasa, mientras que las cabezas hidrofílicas se proyectan hacia el agua.

Se origina entonces una *emulsión* de aceite en agua, lo que implica que las partículas de aceite quedan suspendidas en el agua y son removidas de la superficie.

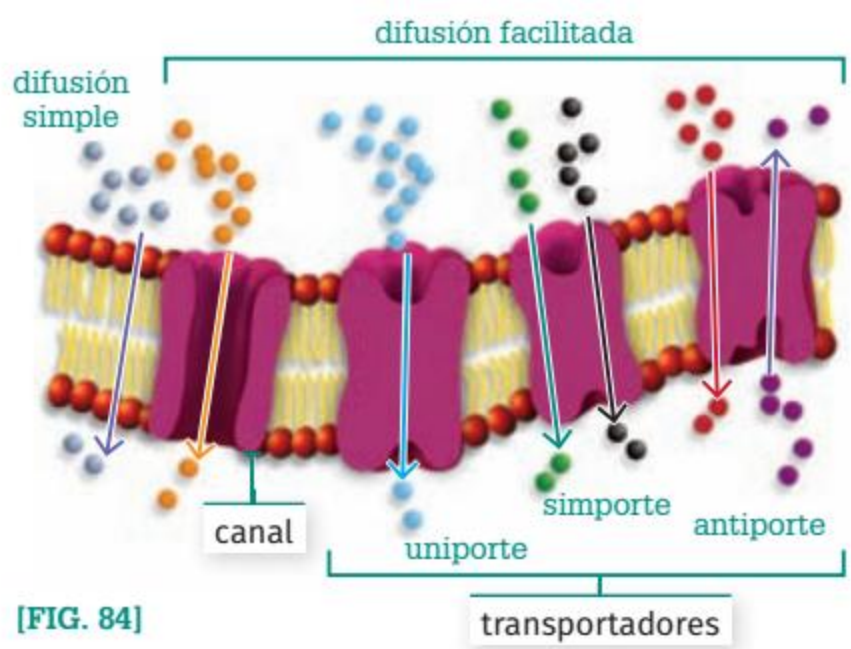


Transporte a través de la membrana

La incorporación o eliminación de sustancias en las células dependen de su paso a través de la membrana. Según las características de cada sustancia, el transporte puede ocurrir por dos mecanismos: *pasivo* y *activo*.

Transporte *pasivo*

Algunas moléculas disueltas en el líquido extracelular ingresan a la célula siguiendo un gradiente* de concentración. Este proceso en el cual las moléculas viajan desde una zona de *mayor concentración a otra de menor concentración* se conoce con el nombre de **difusión**. Cuando la sustancia que pasa a través de la membrana es agua, el proceso recibe el nombre de **ósmosis**. A su vez, el mecanismo de difusión puede ser *simple* o *facilitado* [FIG. 84].



[FIG. 84]

Difusión simple. Las sustancias ingresan desde la zona de mayor concentración a la de menor concentración. En este caso no interviene ningún tipo de molécula transportadora y la célula no gasta energía. Algunas sustancias que entran y salen de la célula por este medio son el oxígeno y el dióxido de carbono respectivamente.

Difusión facilitada. Algunos azúcares, aminoácidos o iones* no pueden atravesar la bicapa lipídica debido a su naturaleza hidrofílica, aunque exista un gradiente de concentración. Para poder ingresar necesitan de la ayuda de ciertas proteínas que se encuentran insertadas en la membrana y constituyen un sistema de transporte por *canales* o *transportadores*.

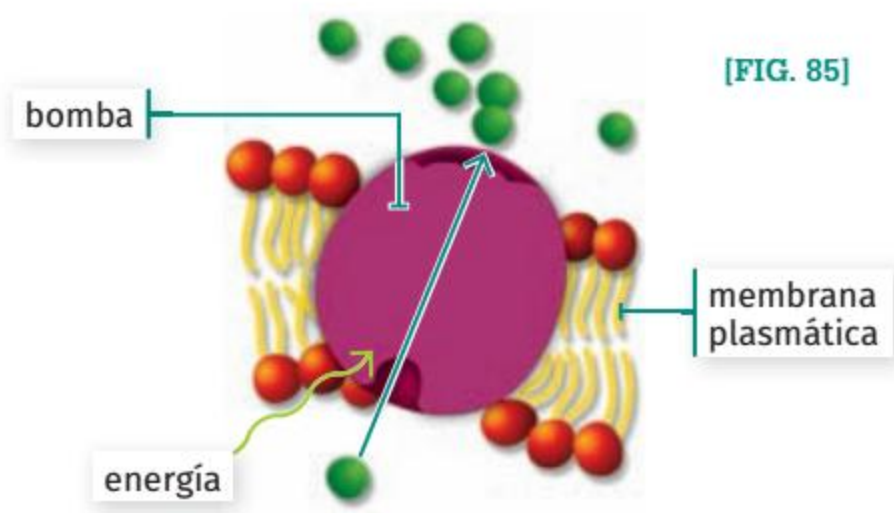
- **Canales.** Funcionan como compuertas que se abren y cierran para dejar pasar iones. Son estructuras proteicas que forman un conducto en la membrana por la cual circulan los compuestos impulsados por su gradiente de concentración.
- **Transportadores.** Se encuentran anclados a la membrana y se unen a moléculas o iones específicos que van a ser transportados. Como consecuencia de la unión, cambian de forma para permitir el pasaje de estos compuestos.

Los transportadores pueden agruparse en tres clases diferentes. Los **uniportes** transportan un *único compuesto* químico en *una sola dirección* definida. Cuando las sustancias químicas transportadas son *dos o más* y en el *mismo sentido*, el transportador se denomina **simporte**. Si las sustancias ingresan en *sentidos opuestos*, los transportadores se conocen como **antiportes**.

Transporte *activo*

En algunos casos el transporte ocurre desde el sector de *menor concentración hacia el de mayor concentración*. En los distintos tipos celulares existen numerosos ejemplos de moléculas que se desplazan en contra del gradiente. Estos procesos no suceden de forma espontánea y para ello la célula debe gastar energía.

Este tipo de transporte se denomina **activo**, y se lleva a cabo por transportadores conocidos como **bombas** impulsados por **energía** [FIG. 85]. Las bombas son *proteínas transportadoras* que movilizan las sustancias de forma activa y poseen sitios específicos donde se unen las moléculas que luego serán transportadas.



[FIG. 85]

Guía de estudio

1. ¿Qué compuestos atraviesan la membrana por difusión simple? ¿Cuál es la diferencia entre el transporte pasivo y el activo?
2. ¿Qué implica que la membrana plasmática esté formada por una bicapa de fosfolípidos?
3. ¿En qué transporte se gasta energía?

gradiente. Indica la dirección en la que cambia la concentración de una solución heterogénea.
ión. Átomo, mínima porción de materia, que presenta carga eléctrica.

Palabras clave: nutriente, vesícula, fagocitosis, pinocitosis

La incorporación y el transporte de nutrientes

En la nutrición celular se distinguen distintos procesos: incorporación de nutrientes, eliminación de sustancias de desecho y obtención de energía. Muchas organelas y estructuras internas de la célula están involucradas en los procesos de nutrición celular: membrana plasmática, aparato de Golgi, lisosomas, entre otros. Veamos...

Ingreso y egreso de nutrientes

Todas las células necesitan *nutrientes* para obtener *energía*. Estos son incorporados a partir de distintos mecanismos que involucran el *transporte a través de la membrana*. La materia que ingresa a la célula es utilizada en la renovación de estructuras internas y en la obtención de sustancias capaces de brindarle energía.

Los gases, las moléculas de pequeño tamaño y los iones ingresan y egresan de la célula mediante un transporte pasivo o activo según sea el caso. En cambio, las moléculas de gran tamaño como las proteínas, los polisacáridos, los ácidos nucleicos o incluso células, son componentes demasiado grandes como para atravesar la membrana, y por lo tanto ingresan al medio celular a través de un proceso denominado **endocitosis**, mientras que la expulsión de las sustancias de desecho se lleva a cabo mediante **exocitosis**. En estos dos tipos de transporte, las sustancias se desplazan en el interior de **vesículas** que se fusionan o desprenden de la membrana plasmática. El mecanismo de transporte de grandes cantidades de sustancias o de componentes de importante tamaño se denomina **transporte en masa**.

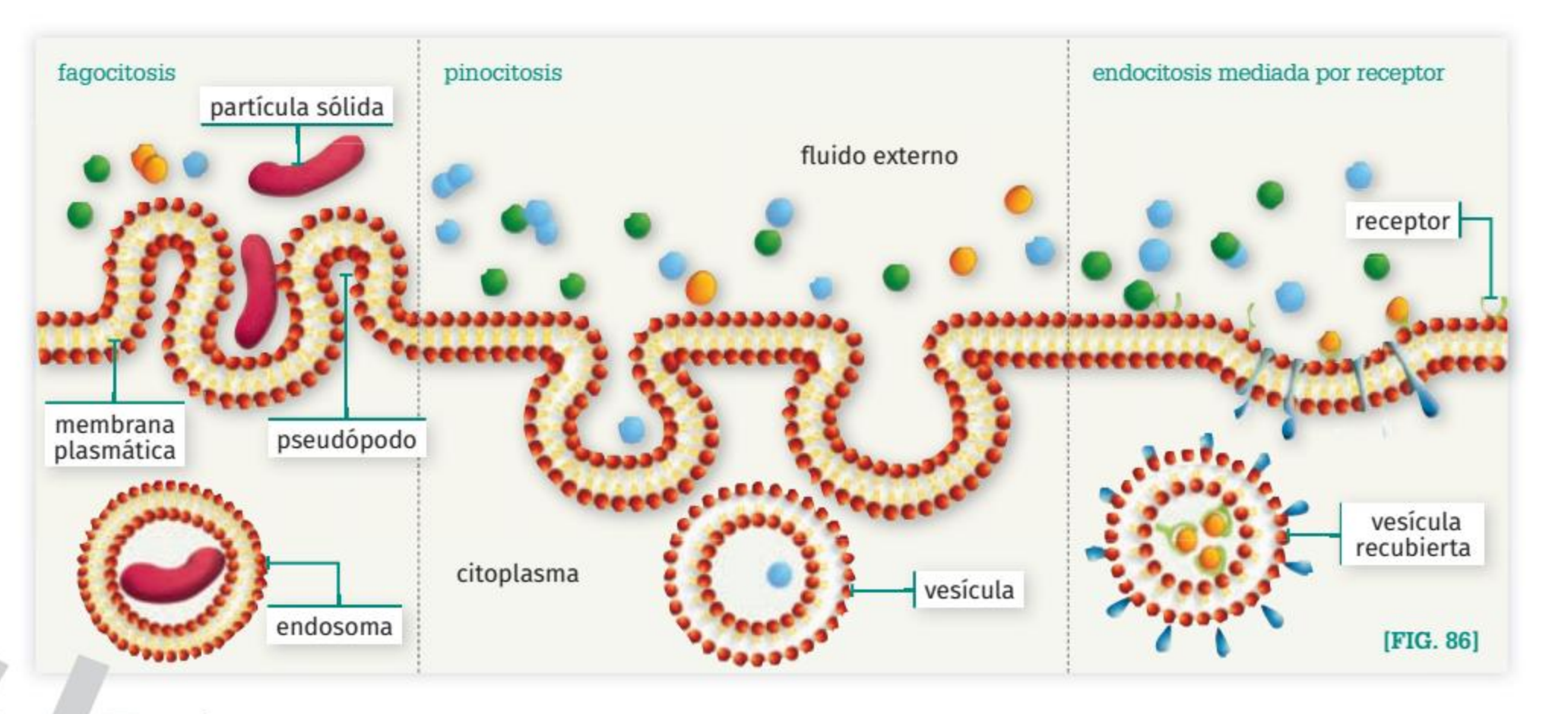
Endocitosis

La **endocitosis** es un proceso por el cual la membrana plasmática se invagina y engloba los componentes extracelulares que van a *ingresar* a la célula.

De este modo constituye una **vesícula** que se separa de la membrana y entra a la célula. Esta vesícula se fusiona con otra, el **lisosoma**, que contiene en su interior enzimas digestivas.*

Como consecuencia de esta etapa se genera un proceso de degradación y digestión que conduce a la reducción del tamaño de dichos compuestos. Las moléculas resultantes de la digestión pasan al citoplasma, mientras que los desechos no digeridos se liberan al exterior de la célula. Existen tres tipos de endocitosis [FIG. 86]:

- **Fagocitosis.** La célula incorpora partículas sólidas grandes o incluso células enteras, como por ejemplo bacterias. Las proyecciones de la membrana, conocidas como *pseudópodos*, se despliegan hacia el exterior, rodean las partículas sólidas y las engloban en una vesícula que luego se internaliza.
- **Pinocitosis.** El proceso es igual que el descripto para fagocitosis, excepto que en este caso se engloban soluciones líquidas.
- **Endocitosis mediada por receptor.** Algunas sustancias como lipoproteínas, colesterol, insulina, entre otras, son incorporadas al interior celular. Sin embargo, primero se unen de modo específico a proteínas de membrana, llamadas *receptores*, ubicadas en la membrana plasmática. Del lado intracelular otras proteínas se asocian a los receptores y participan e inducen la formación de las vesículas.

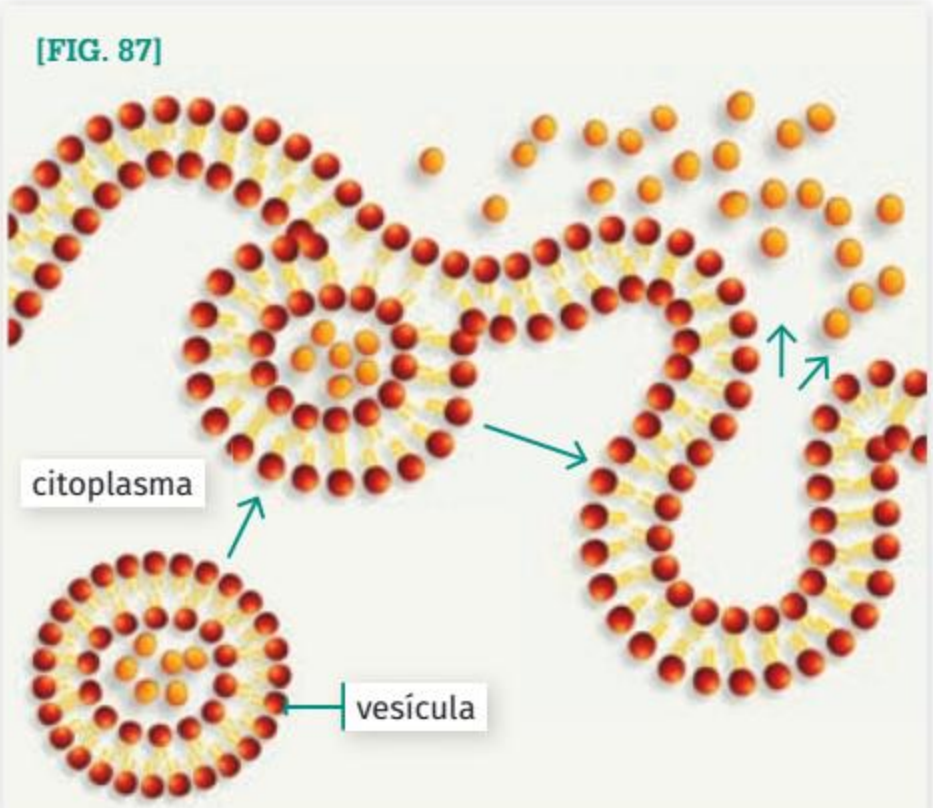


[FIG. 86]

Exocitosis

La **exocitosis** es un tipo de mecanismo de transporte que permite la *salida* de sustancias de desecho de la célula [FIG. 87]. En este proceso las vesículas intracelulares se *fusionan* al lado citoplasmático de la membrana plasmática y el contenido de estas se vacía en el medio extracelular. De esta forma se liberan hormonas, enzimas digestivas y neurotransmisores.

[FIG. 87]



Lisosomas y aparato de Golgi

Dentro de la célula se encuentran dos importantes estructuras que permiten llevar a cabo la digestión celular: *lisosomas* y *aparato de Golgi*.

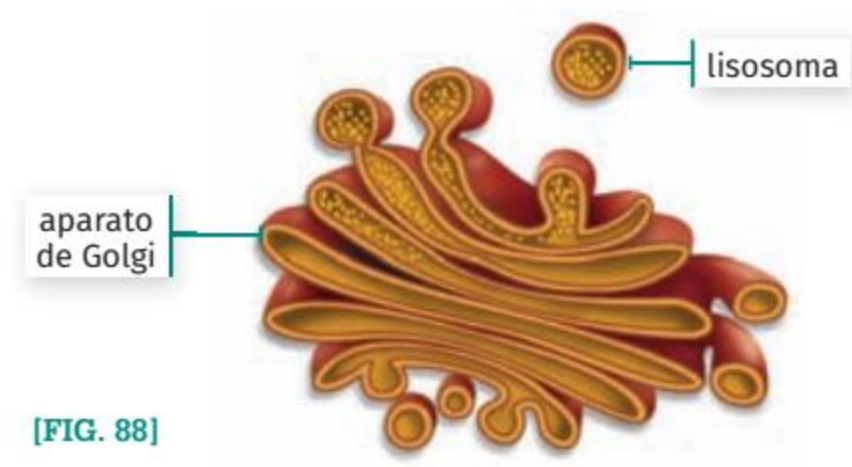
Los **lisosomas** son organelas esféricas o *vesículas* formadas por el aparato de Golgi, presentes únicamente en las células eucariotas. En su interior, los lisosomas contienen *enzimas digestivas* que al entrar en contacto con el contenido de la vesícula endocitada degradan sus moléculas en compuestos más simples.

Durante mucho tiempo, los científicos se preguntaron cómo era posible que el lisosoma no se autodegradara al llevar en su interior enzimas digestivas capaces de digerir las moléculas que se encuentran en su interior. Lo que se observó fue que la membrana de los lisosomas está formada por proteínas que presentan muchos azúcares adheridos a sus estructuras. Esto evita que los componentes de los lisosomas no sean "atacados" por sus propias enzimas digestivas.

Además de su participación en la digestión celular, los lisosomas intervienen en el reciclaje de componentes y estructuras celulares: los engloban, los digieren y liberan sus residuos en el citoplasma. De esta forma, los elementos de la célula se reponen continuamente.

Por otro lado, el **aparato de Golgi** cumple importantes funciones para la célula:

- Produce los lisosomas que intervienen en la digestión celular [FIG. 88].
- Forma el acrosoma* de los espermatozoides.
- Interviene en la secreción celular. Las sustancias atraviesan los sacos membranosos que forman el aparato de Golgi, y quedan encerradas en vesículas que son transportadas hacia la membrana plasmática. A través de esta expulsan su contenido por exocitosis.
- Contribuye parcialmente al crecimiento de la membrana plasmática. Cuando las vesículas de secreción se unen a la membrana en la exocitosis, pasan a formar parte de esta y aumentan el volumen y la superficie de la célula.
- Modifica proteínas que se forman en el retículo endoplasmático rugoso (RER), y de esta manera permite que consigan su estructura definitiva. Estas modificaciones incluyen el agregado de *carbohidratos* y *fosfatos*. Para ello, el aparato de Golgi transporta ciertas sustancias, como *nucleótidos* y *azúcares*, al interior de la organela. Las proteínas también son marcadas con señales que determinan su destino final (membrana plasmática, lisosomas, etcétera).



[FIG. 88]

enzima digestiva. Compuesto capaz de degradar distintas moléculas orgánicas (carbohidratos, ácidos nucleicos, lípidos y proteínas) en sustancias más simples.
acrosoma. Depósito de enzimas, que degradan las capas de células que rodean al oocito. Se sitúa en el extremo de la cabeza del espermatozoide.

Guía de estudio

1. Las células vegetales se caracterizan por realizar el proceso de fotosíntesis. ¿Incorporarán nutrientes del medio? ¿Con qué mecanismos?
2. ¿Los procesos de endocitosis y exocitosis están siempre asociados? Justifiquen su respuesta.

La nutrición celular

La nutrición autótrofa ocurre en las plantas como consecuencia de la fotosíntesis. La nutrición heterótrofa requiere de la obtención de alimentos que se encuentran fuera de la célula. En ambos tipos de nutrición, los alimentos sufren reacciones químicas que permiten a los seres vivos obtener energía. Este proceso, conocido como respiración celular, se lleva a cabo en las mitocondrias. Veamos...

Mecanismos de alimentación

Todos los seres vivos son sistemas biológicos abiertos que intercambian materia y energía con el ambiente que los rodea. Para poder llevar a cabo sus funciones vitales, la célula requiere una cierta cantidad de energía que obtiene de la alimentación. Según el tipo de célula, existen dos tipos de nutrición: **autótrofa** y **heterótrofa**. A partir de estas, las células consiguen nutrientes que serán aprovechados en la obtención de energía.

Nutrición *autótrofa*: fotosíntesis

La **fotosíntesis** es el proceso mediante el cual la célula *produce sustancias orgánicas* que utiliza como fuente de alimento. Este mecanismo de nutrición autótrofa es propio de algas y plantas, y consta de la elaboración de *glucosa* a partir de luz solar y dióxido de carbono obtenidos del ambiente. Por medio de este proceso la energía lumínica se transforma en energía química aprovechable por la célula. La reacción química de la fotosíntesis es:

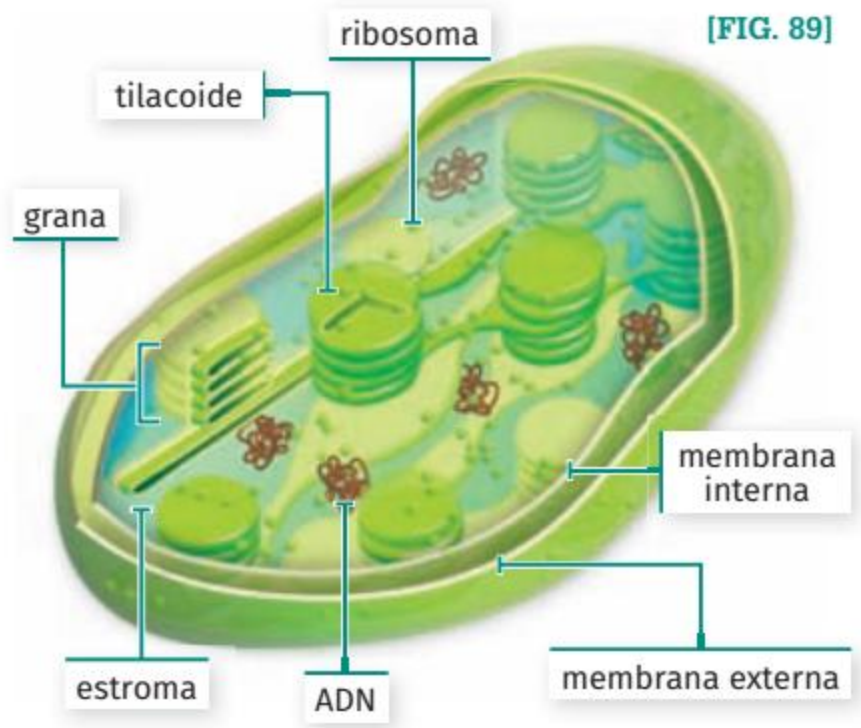
$$\underset{\text{dióxido de carbono}}{6\,CO_2} + \underset{\text{agua}}{6\,H_2O} + \underset{\text{solar}}{\text{energía}} \longrightarrow \underset{\text{glucosa}}{C_6H_{12}O_6} + \underset{\text{oxígeno}}{6\,O_2}$$

Cloroplastos. Son las organelas que participan de la fotosíntesis. Presentan una *membrana doble*: una externa, lisa y muy permeable, que envuelve toda la organela, y otra interna con proteínas específicas que permiten el transporte de sustancias.

La cavidad interna se denomina **estroma** y contiene **ADN cloroplástico** (de aspecto similar al ADN procariota), **ribosomas** y gránulos de distintas sustancias como *almidón* y *lípidos*.

Además, en el estroma se encuentran los **tilacoides** que son una serie de sacos aplanados que están delimitados por una membrana, y en las plantas terrestres se organizan en apilamientos llamados **grana** [FIG. 89].

Además, las membranas de los tilacoides contienen pigmentos fotosintéticos: *clorofila*, *carotenoides*, *xantofilas*; así como diversos lípidos y proteínas.



[FIG. 89]

La **clorofila** es el pigmento responsable de absorber la energía de la luz (solar o artificial), y le otorga el característico color verde a las hojas.

Sin embargo las plantas pueden tener otros pigmentos fotosintéticos, como *antocianinas*, *carotenos*, *xantofilas* y *ficobilinas*, que presentan distintas coloraciones. El pigmento que se encuentra en mayor proporción determina el color de las hojas de la planta [FIG. 90].

[FIG. 90]
La concentración de pigmentos también depende de las condiciones climáticas, como temperatura y humedad.

Ciencia actual

La clorofila en la medicina

La clorofila presente en los cloroplastos de las plantas posee excelentes propiedades cicatrizantes. En la Primera Guerra Mundial se utilizaba en los vendajes para estimular la cicatrización de los tejidos dañados. Luego, en la década del 40, la clorofila comenzó a utilizarse en intervenciones quirúrgicas, en infecciones y heridas abiertas. A su vez, la clorofila contribuye a que los glóbulos rojos de la sangre transporten mejor el hierro hacia los tejidos, por lo que resulta recomendable para tratar anemias.

Nutrición *heterótrofa*

En la nutrición heterótrofa, la energía se obtiene de los alimentos incorporados. En las **mitocondrias** la glucosa, proveniente de los alimentos, es transformada en la energía necesaria para las actividades celulares.

En este proceso denominado **respiración celular** (que ocurre en autótrofos y heterótrofos), participa el oxígeno que ingresa al organismo mediante la respiración. Como productos se obtienen: dióxido de carbono, agua y energía. La reacción química es:

$$C_6H_{12}O_6 + 6\,O_2 \longrightarrow 6\,CO_2 + 6\,H_2O + \text{energía}$$

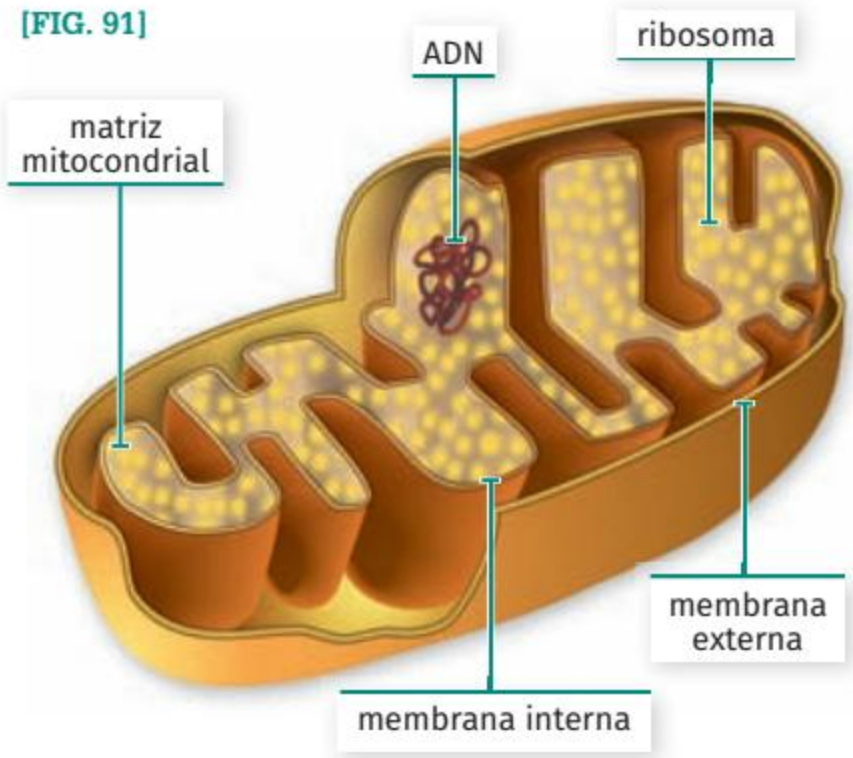
glucosa — oxígeno — dióxido de carbono — agua

Mitocondrias. Suministran energía a la célula y suelen presentar forma alargada. La cantidad presente en una célula depende de sus necesidades energéticas.

Las mitocondrias están rodeadas por dos membranas diferentes que separan dos regiones: el *espacio intermembrana* y la *matriz mitocondrial* [FIG. 91].

- La **membrana externa** es una bicapa lipídica permeable a iones y a otras moléculas. Estos ingresan a través de *porinas*, proteínas que forman poros.
- La **membrana interna** carece de poros y es altamente selectiva. Esta membrana forma invaginaciones o pliegues llamados *crestas mitocondriales*, donde se ubican las proteínas que participan en la *respiración celular*.
- La **matriz mitocondrial** corresponde al medio líquido interno y contiene iones, **ADN mitocondrial** (similar al bacteriano) y **ribosomas**. En esta región se llevan a cabo importantes procesos involucrados en la producción de sustancias que participan en la obtención de energía de la célula.

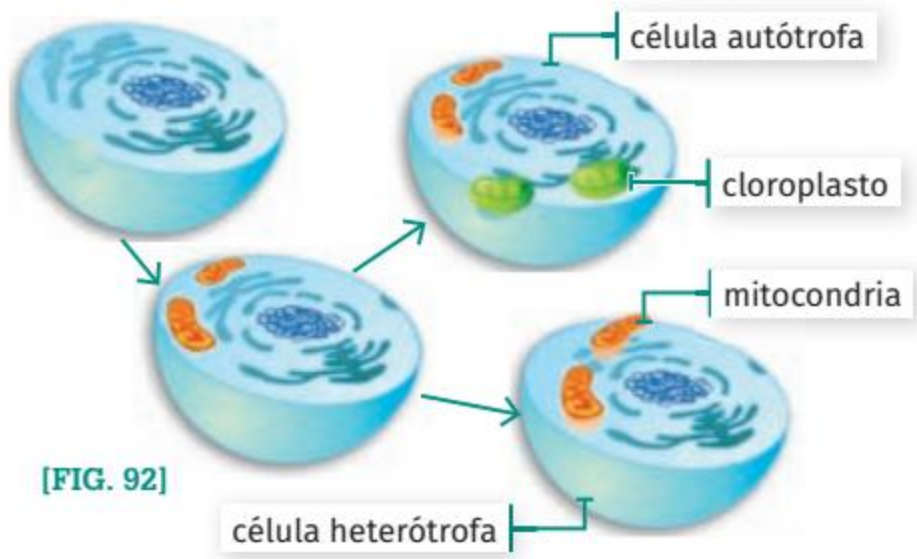
[FIG. 91]



Teoría endosimbiótica

En la década de 1960, la bióloga estadounidense *Lynn Margulis* propuso la **teoría endosimbiótica** para explicar el origen de las células eucariotas [FIG. 92].

El término **simbiosis** en biología se define como una *relación benéfica entre dos organismos*. Esta teoría plantea que células eucariotas primitivas incorporaron bacterias más pequeñas por *endocitosis*. Estas células eucariotas presentaban un gran tamaño y un incipiente núcleo en formación. Luego de la endocitosis, las células pequeñas permanecieron en el interior de la célula más grande y establecieron entre sí una dependiente relación simbiótica que favorecía su supervivencia.



[FIG. 92]

Como consecuencia de la endosimbiosis, las células grandes aumentaron su capacidad para obtener energía y realizar nuevas funciones, y a su vez, les proporcionaban alimento a las pequeñas bacterias. De este modo, luego de millones de años, surgieron las *primeras células eucariotas* constituidas por organelas involucradas en la obtención de energía (mitocondrias). Por otro lado, la endocitosis de bacterias fotosintetizadoras originó los primeros cloroplastos, y así, se formaron las células eucariotas autótrofas. Entre las múltiples evidencias que apoyan esta teoría está el hecho de que ambas organelas presentan una doble membrana: la interna se correspondería con la membrana de la célula procariota endocitada, y la externa con la membrana de la célula de gran tamaño. Además, la mitocondria y el cloroplasto poseen ribosomas y material genético (ADN) de características similares al de las bacterias.

Guía de estudio

1. ¿Qué procesos están asociados a los cloroplastos y a las mitocondrias?

2. ¿Qué características se utilizaron como evidencia de la teoría endosimbiótica?

Experiencia en acción y...

La búsqueda de la clorofila

La clorofila es el pigmento de color verde capaz de captar la luz en el proceso de fotosíntesis. Sin ella, las plantas no podrían producir glucosa y por lo tanto no obtendrían energía. Con el siguiente experimento comprobarán la presencia de clorofila en plantas que no son verdes.

Materiales

- Hojas de la planta *Tradescantia pallida* (conocida como "purpurina" o "amor de hombre") o de cualquier otra cuyo follaje no sea verde
- Un vaso transparente
- Un recipiente transparente
- Un mortero
- Un embudo
- Un filtro de papel (de los que se usa para café)
- Dos tizas blancas enteras
- Medio vaso de alcohol medicinal

Procedimiento

a. Corten las hojas en trozos bien pequeños y tritúrenlas con el mortero.

b. Agreguen un poco de alcohol a las hojas trituradas y sigan machacando. Después añadan el alcohol restante.

c. Coloquen un filtro de papel en el embudo y filtren la mezcla líquida, a través del papel, en el interior del vaso transparente. Observen y anoten el color del jugo obtenido.

d. Traspasen el jugo al recipiente hasta alcanzar aproximadamente 1 cm de altura.

e. Coloquen en su interior las dos tizas blancas de forma vertical y esperen unos minutos hasta que el jugo ascienda.

Observaciones y conclusiones

1. ¿Qué ocurrió sobre las tizas? Elaboren una hipótesis sobre lo observado.
2. ¿Por qué estas plantas no presentan coloración verde? ¿Presentan clorofila? ¿Harán fotosíntesis?
3. Busquen en una enciclopedia información sobre qué son los carotenos y las antocianinas.
4. Según el experimento que realizaron, ¿la planta utilizada tiene carotenos?, ¿y antocianinas?

...revisión final.

- **Lean el siguiente texto y resuelvan las actividades.**

Laura y Marcelo tuvieron que hacer un trabajo práctico en su colegio, que consistía en observar e identificar distintos elementos presentes en fotografías de células observadas con el microscopio. En total eran tres fotos que correspondían a tres preparados distintos: uno hecho con una gota de agua obtenida de un lago, otro armado con un pedacito extraído de una hoja, y el tercero tomado del tejido de un animal. Al realizar las distintas observaciones, los chicos tenían que anotar en sus cuadernos las diferentes características que apreciaban en las células.

1. Al observar la fotografía correspondiente a la muestra de agua, Laura dijo con gran convicción: "Claramente estas son bacterias". Cuando Marcelo le preguntó por qué, ella contestó que había observado características propias de una célula procariota. Marquen con un ✓ las características que correspondan a este tipo celular.

- ○ Un núcleo bien definido.
- ○ Formas variadas (esféricas, bastones), pero la mayoría con "pelos" y una "colita" más larga.
- ○ Sin ningún tipo de organela interna.
- ○ Un nucleolo bien grande.

2. Cuando Laura y Marcelo quisieron observar la segunda fotografía, descubrieron que se habían perdido los rótulos de las fotos, y por lo tanto no sabían a qué preparado correspondía cada uno. Para averiguarlo, se basaron en las distintas características que presentaban las células de cada foto. Marquen con un ✓ cuáles de los siguientes aspectos corresponden a la foto del preparado animal y cuáles al del vegetal.

preparado animal		preparado vegetal
○	pared celular	○
○	membrana plasmática	○
○	núcleo	○
○	muchos lisosomas	○
○	una vacuola muy grande	○
○	retículos endoplasmáticos	○
○	cloroplastos	○
○	mitocondrias	○
○	peroxisomas	○

3. Al finalizar el trabajo práctico, Laura y Marcelo hicieron un repaso general de lo que observaron en las fotografías, relacionándolo con lo aprendido en las clases teóricas. Ordenen los siguientes términos en los recuadros correspondientes (algunos pueden ir en más de un recuadro).

ADN • bicapa lipídica • doble membrana • fotosíntesis • crestas • nucleolo • transporte activo • grana • espacio intermembrana • tilacoides • difusión facilitada • respiración celular • clorofila

núcleo	membrana plasmática

cloroplasto	mitocondria

4. Determinen si las siguientes afirmaciones son verdaderas (V) o falsas (F).

- ☐ La teoría celular postula que toda célula proviene de otra preexistente que le dio origen.
- ☐ Las células procariotas carecen de membrana plasmática.
- ☐ El transporte pasivo se lleva a cabo por medio de canales.
- ☐ El material genético se encuentra almacenado en el núcleo de los procariotas.
- ☐ La membrana plasmática es una bicapa de fosfolípidos.
- ☐ La respiración celular ocurre en todas las células eucariotas.

Capítulo 05

El camino a la pluricelularidad

Los primeros seres vivos fueron unicelulares y con el paso del tiempo aparecieron los pluricelulares. Los organismos se pueden clasificar según el máximo nivel de organización alcanzado. Todas las células presentan un ciclo celular formado por una interfase y una división celular. En las eucariotas, esta última involucra la mitosis o divisón nuclear y la citocinesis. La mitosis permite el crecimiento celular y la regeneración de tejidos.

Secuencia de contenidos:

- El origen de la pluricelularidad
- Los niveles de organización de los seres vivos
- El ciclo celular
- La diferenciación celular y el crecimiento

- ¿Cómo diferencian un organismo unicelular de uno pluricelular?
- ¿Creen que todos los seres vivos de la imagen están formados por más de una célula? ¿Cómo lo demostrarían?
- ¿Serán idénticas todas las células que conforman a un individuo pluricelular? ¿Cumplirán las mismas funciones? Justifiquen su respuesta.

El origen de la pluricelularidad

Los primeros organismos que habitaron la Tierra fueron unicelulares. Con el paso del tiempo, el proceso evolutivo llevó a la aparición de los individuos pluricelulares formados por varias células unidas y comunicadas entre sí. El incremento en el número de células permitió el aumento de tamaño, mientras que una mayor diferenciación celular posibilitó la división de tareas. Veamos...

Unicelulares y pluricelulares

Hace 3.800 millones de años la Tierra estaba poblada por organismos **unicelulares**, es decir por seres vivos formados por una única célula.

En la actualidad, todos los procariotas y algunos de los organismos eucariotas son unicelulares (entre los que se encuentran ciertas especies de protozoos, hongos y algas) [FIG. 93]. Esa única célula cumple todas las funciones características de un ser vivo: se *nutre*, se *reproduce* y se *relaciona con el medio*.

Los organismos unicelulares poseen una estructura simple, pueden multiplicarse rápidamente e intercambian materia y energía de forma directa con el ambiente. Para llevar a cabo dichas funciones de manera eficaz, la célula debe presentar un límite máximo de tamaño; si creciera demasiado, la regulación de su medio interno resultaría muy dificultosa.

[FIG.93]
Si bien la mayoría de los organismos unicelulares son microscópicos, los foraminíferos pueden observarse a simple vista debido a su gran caparazón.

A medida que aumenta el tamaño de una célula, la *relación* existente entre la **superficie** y el **volumen** disminuye, debido a que la superficie se incrementa menos que el volumen. Este aspecto es importante, ya que las células deben mantener una superficie adecuada, porque a través de esta se produce la entrada y salida de sustancias, lo que condiciona el tamaño celular.

Hace 600 millones de años un grupo de células eucariotas desarrollaron la capacidad de mantenerse unidas y comunicarse entre sí, por medio de la formación de *filamentos* y *colonias*.

Una **colonia** es un grupo de seres vivos organizados de manera cooperativa pero con cierta independencia, ya que pueden sobrevivir si se los aísla [FIG. 94].

Con el paso del tiempo y como consecuencia de este agrupamiento, en algunas especies se desarrolló la división del trabajo o *especialización celular* que permitió la aparición de distintos tipos celulares. Este conjunto de células llevó a la formación de *tejidos*, *órganos* y *sistemas de órganos* que constituyen a la mayoría de los organismos **pluricelulares**.

[FIG. 94]
Volvox es un alga verde que se agrupa en colonias.

Ventajas y desventajas de la pluricelularidad

La **ventaja** principal que presenta la pluricelularidad es la *división del trabajo*. Al estar conectadas y comunicadas entre sí, las células que forman el organismo se *diferencian* y en consecuencia presentan distintas formas de alimentación, de relación con el medio, de locomoción y de reproducción. Esto permite que los organismos tengan formas y tamaños variados, aspecto que favorece su adaptación a diversos ambientes. De este modo, la pluricelularidad posibilitó *tamaños considerablemente mayores*, lo que lleva a una reducción de riesgos frente a depredadores.

Progresivamente, la especialización celular condujo a la *complejización*, que permitió un incremento en la variabilidad anatómica y fisiológica de las funciones vitales.

Una **desventaja** que presentan los pluricelulares es el *grado de interdependencia* de sus células, a tal punto que no pueden sobrevivir solas. Otra desventaja, en aquellos organismos que se *reproducen sexualmente*, es que el proceso de formación de un nuevo individuo requiere de mayor tiempo y gasto energético en comparación con los unicelulares.

Guía de estudio

1. Definan qué es la relación superficie/volumen. ¿Cuáles son sus consecuencias?

Los niveles de organización de los seres vivos

Los seres vivos presentan diferente complejidad asociada a los niveles de organización de las células que los integran. La pluricelularidad permitió que las células se especialicen, cooperen y sean interdependientes. El nivel de organización se determina por el modo en que las células se asocian entre sí. Cada nivel tiene características del anterior y además presenta atributos específicos. Veamos...

Una organización jerárquica

Los seres vivos son *sistemas integrados* que poseen diferente complejidad según el grado o **nivel de organización** máximo que alcancen.

Si bien los organismos están constituidos por los mismos componentes químicos (átomos y moléculas) que los objetos inanimados, presentan propiedades que superan las características básicas de la materia inerte.

Las interacciones entre los componentes que forman parte de un determinado nivel dan lugar a propiedades nuevas denominadas *emergentes*, ausentes en el nivel de organización anterior.

El **nivel molecular** comprende al *nivel atómico* y a las *macromoléculas*. Estas últimas están formadas a partir de moléculas más simples y constituyen a la menor unidad de vida: la **célula**.

Nivel celular. Incluye a todos los seres vivos tanto unicelulares como pluricelulares. En este nivel de organización, la propiedad emergente más notoria e importante es la *vida*. A su vez, comprende las propiedades características del nivel molecular y atómico.

Los organismos unicelulares presentan el nivel celular como máximo nivel de organización alcanzado. Sin embargo, algunos de estos individuos se agrupan y forman **colonias**. Si bien en esta agrupación hay una mínima división de trabajo, los organismos no son dependientes entre sí [FIG. 95]. Por este motivo se considera que estos seres unicelulares no llegan a formar verdaderos tejidos.

[FIG. 95]
Los corales marinos son animales cuyas colonias están formadas por miles de individuos.

En el grupo de animales conocidos como esponjas, por ejemplo, cada célula se especializa en una función en particular [FIG. 96]. Los *coanocitos* son las células encargadas de la alimentación, mientras que los *porocitos* son células cilíndricas que constituyen los poros de la pared del cuerpo. A pesar de esto, las esponjas no presentan verdaderos tejidos ya que sus células tienen la potencialidad de transformarse en cualquiera de los tipos celulares, por lo que se incluyen en el nivel de organización celular.

[FIG. 96]
Cuando las células de la esponja son separadas por medios mecánicos, inmediatamente vuelven a reunirse y forman un individuo completo y funcional.

Nivel tisular. Todos los seres vivos, desde los más simples hasta los más complejos, están formados por células. Estas pueden cumplir sus funciones de manera independiente y aislada, u organizarse en una unidad funcional y estructural. En este último caso, las células constituyen los tejidos y forman el nivel de organización denominado **nivel tisular**.

Un **tejido** es una *estructura constituida por un conjunto organizado de células iguales o muy similares entre sí, que se distribuyen regularmente y actúan de manera coordinada cumpliendo con una función particular*. Los tejidos a su vez forman parte del siguiente nivel. Existen animales, como los cnidarios y otros invertebrados marinos, que corresponden a este nivel de organización [FIG. 97].

[FIG. 97]
Los cnidarios presentan un nivel de organización tisular. Este grupo incluye a las hidras, anémonas de mar y medusas, organismos que poseen tejidos sencillos.

Nivel de órganos. Comprende a los organismos que presentan tejidos agrupados en estructuras más complejas denominadas **órganos**.

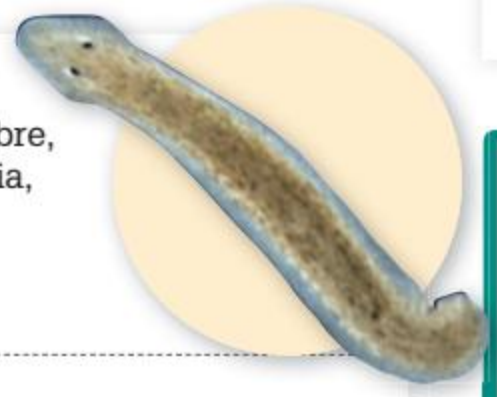
Los órganos están *constituidos por tejidos* y de este modo son unidades anatómicas y funcionales que llevan a cabo una tarea particular.

Las plantas vasculares presentan este tipo de organización ya que poseen diferentes tipos de órganos: flores, frutos, semillas, hojas, tallos y raíces. Estos órganos no integran sistemas coordinados por lo tanto no alcanzan las propiedades emergentes características del nivel de organización superior, es decir no forman sistemas de órganos [FIG. 98].

[FIG. 98]
No todas las plantas vasculares presentan todos los órganos. Solo las angiospermas poseen flores que luego de la fecundación dan origen a los frutos.

En este nivel de organización se incluye a ciertos organismos invertebrados, como los gusanos planos de vida libre. Estos gusanos presentan una organización muy sencilla, por lo que sus órganos carecen de una jerarquía que incluya un sistema coordinado. Sin embargo, los órganos reproductores de los gusanos planos son de los más complejos entre los animales [FIG. 99].

Otro ejemplo lo constituyen las tenias, comúnmente llamadas "lombrices solitarias". En estos organismos, que parasitan el intestino de los vertebrados, los tejidos se asocian y forman unos pocos órganos que no se organizan en un sistema coordinado. Se caracterizan por presentar órganos de fijación llamados *ventosas*, que permiten su adhesión al hospedador [FIG. 100].



[FIG. 99]
Los gusanos planos de vida libre, comúnmente llamados planaria, presentan una reproducción hermafrodita.

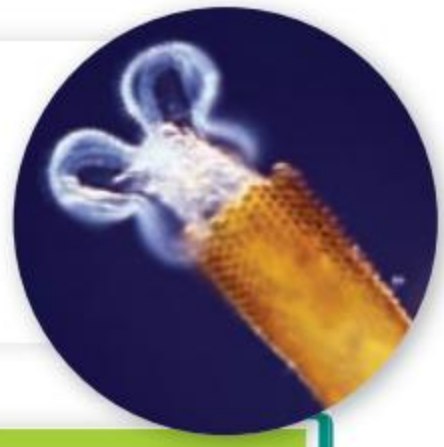
[FIG. 100]
Las tenias pueden medir entre tres y cuatro metros y residir en el interior del intestino humano.

Nivel sistemas de órganos. Abarca a todos los organismos en los cuales los órganos trabajan en conjunto, coordinadamente y cumplen alguna función vital para el organismo. A este grupo pertenecen todos los vertebrados, como los seres humanos que cuentan con varios **sistemas de órganos** que les permiten llevar a cabo sus complejas funciones [FIG. 101].

[FIG. 101]
Los humanos no son los únicos animales capaces de aprender y memorizar. Muchos grupos de investigación estudian este comportamiento en cangrejos y ratones.

Si bien existen diferencias entre los distintos grupos de vertebrados en cuanto a estructuras anatómicas, las funciones vitales vinculadas a estas son prácticamente idénticas. Las distintas estructuras se relacionan con el ambiente, ya que son la consecuencia de la *selección natural* que actuó sobre la especie en función de las condiciones ambientales.

Por otro lado, se considera de manera errónea que un organismo de mayor tamaño es más complejo que uno más pequeño. Esto no siempre es así; los rotíferos son invertebrados cuyo tamaño oscila entre 0,1 y 0,5 mm y presentan una organización que comprende al sistema de órganos [FIG. 102]. Mientras que otros animales como algunas esponjas de mar, poseen una altura que supera los dos metros y pertenecen al nivel celular.



[FIG. 102]
Algunas especies de rotíferos habitan en tubos que construyen ellos mismos utilizando pequeños trozos de residuos y bolitas formadas por bacterias.

Guía de estudio

1. Realicen un cuadro comparativo que contemple los niveles de organización estudiados.
2. ¿Qué determina que un organismo presente un nivel de organización de sistema de órganos?
3. ¿Creen que a mayor tamaño del organismo, mayor será el nivel de organización? Justifiquen su respuesta con ejemplos.

Palabras **clave:** **replicación** **cariocinesis** cromátida

El ciclo celular

Todas las células cumplen un ciclo celular que consiste en una interfase y una división celular. Esta última etapa comprende la formación de células hijas a partir de una progenitora. La división celular se clasifica en meiótica, involucrada en la formación de gametas, o mitótica, utilizada por los organismos pluricelulares en el crecimiento de sus tejidos. Veamos...

Etapas del ciclo celular

Todas las células funcionan de acuerdo con un **ciclo celular** que se divide en dos grandes etapas: una de crecimiento y preparación para la división celular llamada **interfase** y otra denominada **división celular** (fase M).

La *duración del ciclo* varía en función del tipo celular. Por ejemplo, la médula ósea produce entre dos y tres millones de glóbulos rojos por segundo. Por otro lado, la mayoría de las células nerviosas pierden la capacidad de dividirse, y de este modo no pueden ser reemplazadas.

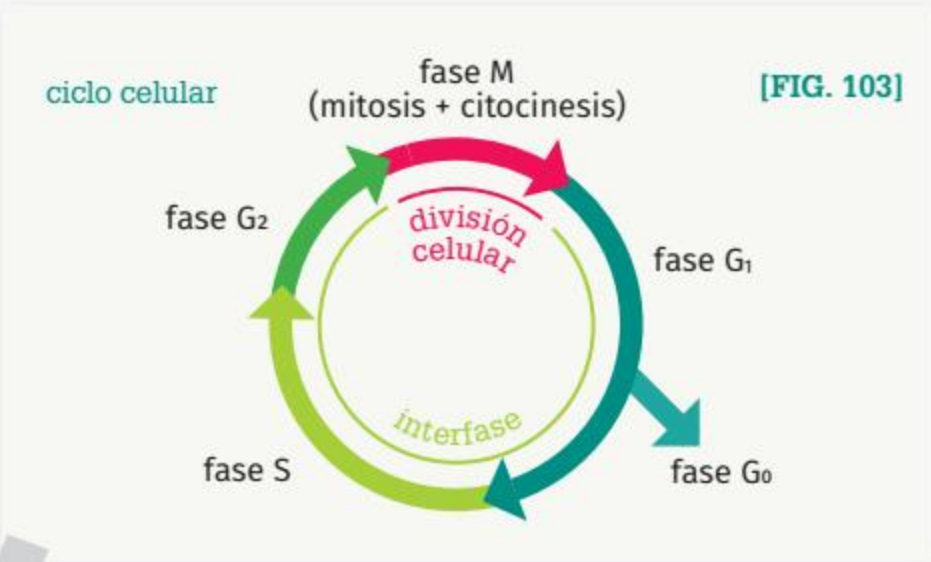
Interfase

La **interfase** es una instancia del ciclo celular que se divide en cuatro etapas o fases: **G_1, G_0, S** y **G_2** [FIG.103].

En la **fase G_1** las células cumplen con sus funciones específicas, y por lo tanto no se encuentran en división.

Existe una fase particular del ciclo en el cual las células pueden permanecer un tiempo variable sin dividirse. En esta etapa, conocida como **fase G_0**, el ciclo celular se encuentra detenido aunque haya actividad metabólica.

Previo a la división mitótica, la célula debe duplicar su ADN para que ambas células hijas reciban copias idénticas del mismo. En ese momento entra en **fase S** (de síntesis de ADN). Durante la **fase G_2**, la célula realiza otras actividades metabólicas como la síntesis de proteínas y otros compuestos necesarios para la división celular.



[FIG. 103]

División celular

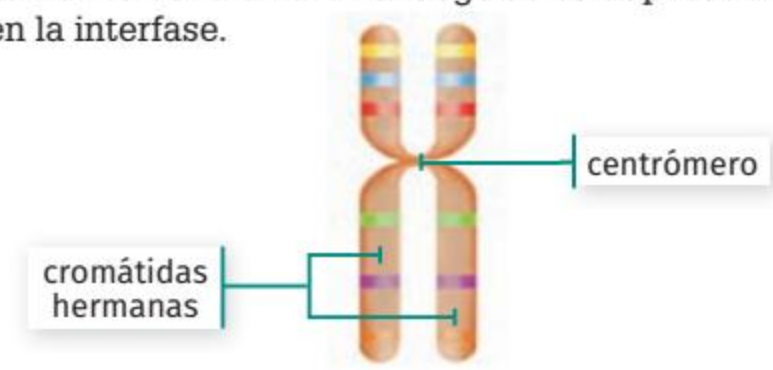
La **división celular** cumple un rol fundamental en el mantenimiento de un ser vivo. Por medio de esta, animales y plantas crecen a partir de una única célula. De este modo la división celular puede implicar el crecimiento de un tejido y también la reproducción de los organismos unicelulares. En ambos casos se produce de idéntica manera: *una célula se divide para dar lugar a dos células nuevas o hijas.*

Los eucariotas aumentan su tamaño por un proceso de división celular que involucra a la **mitosis**, mientras que la formación de las células sexuales o gametas se lleva a cabo por otro proceso conocido como **meiosis**. Por lo tanto existen dos tipos de división celular.

- La **división mitótica** es realizada por la mayoría de las las células eucariotas. En esta etapa el ADN de la célula progenitora, previamente duplicado en la fase S de la interfase, se reparte equitativamente entre las *dos células hijas que heredan todo el material genético*, organizado en *cromosomas* provenientes de la célula madre.
- La **división meiótica** es un tipo particular de división que se lleva a cabo durante la formación de las *células sexuales*. En este caso, se producen *cuatro células hijas que heredan solo la mitad del número de cromosomas* de la célula progenitora.

Para poder comenzar la división celular, la cromatina se compacta y se visualizan los cromosomas [FIG. 104]. Por otro lado, toda división celular finaliza con una etapa denominada como **citocinesis**, que consiste en la división del citoplasma.

[FIG. 104]
La cromátida es cada una de las unidades que conforman al cromosoma luego de su duplicación en la interfase.



La división o reproducción celular varía entre procariotas y eucariotas, como consecuencia de la ausencia del núcleo en la célula procariota y debido a que la eucariota presenta alrededor de mil veces más material genético. En las células procariotas ocurre un proceso conocido como *fisión binaria*.

Mitosis

La formación de dos células hijas a partir de una debe realizarse de modo tal que las descendientes reciban la misma cantidad de material genético. De este modo, la **mitosis** es un proceso de división nuclear en el cual una célula *madre* da lugar a dos *células hijas idénticas*.

En los **organismos pluricelulares** la división mitótica permite el *crecimiento*, ya que favorece el aumento del número de las células que integran los tejidos; mientras que en **organismos unicelulares** este tipo de división celular funciona como un *mecanismo de reproducción asexual*. En la mitosis se reconocen cuatro fases características: *profase*, *metafase*, *anafase* y *telofase* [FIG. 105]. En la especie humana este proceso ocurre con 46 cromosomas.

https://goo.gl/6TzH6d

Escaneen el código QR y aprendan más sobre los cromosomas y la mitosis.

Citocinesis

Luego de la división del núcleo, proceso conocido como *mitosis* o *cariocinesis*, se produce la división del citoplasma o **citocinesis**, que conduce a la separación de la célula progenitora en dos nuevas células. En la citocinesis de las células animales, el citoplasma se "estrangula" y origina así dos células hijas con igual número de cromosomas que la célula madre. Además la célula hija tendrá alrededor de la mitad del citoplasma, macromoléculas y organelas de la célula materna. Así, finaliza la división celular y ambas células hijas entran en un período de interfase.

Guía de estudio

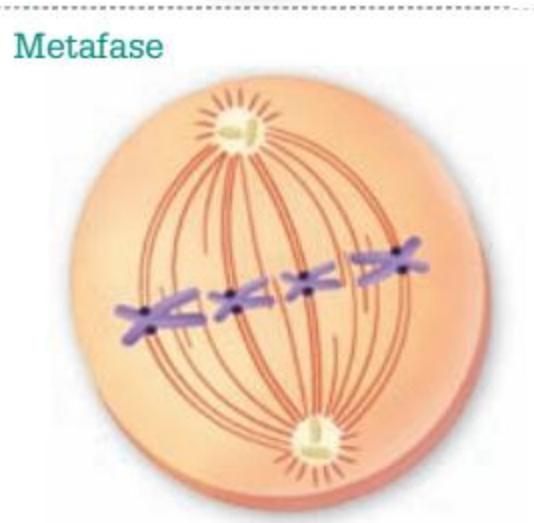
1. ¿Por qué las células procariotas no realizan mitosis? ¿Cómo se reproducen las bacterias?
2. ¿En qué se diferencian la mitosis y la meiosis?
3. ¿Cuál es la diferencia entre las fases G_1 y G_2?

[FIG. 105] Etapas de la mitosis

El ADN se encuentra "empaquetado" en *cromosomas*, formados por *dos cromátidas* unidas entre sí mediante un estrechamiento llamado *centrómero*. En los polos de la célula se ubican dos estructuras llamadas *centrosomas* que participan en la formación del *huso mitótico* (una red de fibras por el que se desplazan los cromosomas). En las células de animales y de plantas inferiores (musgos y helechos), dentro de cada centrosoma se encuentra un par de *centríolos*, cuya función es generar cilios y flagelos. Además se desorganiza el nucleolo y la membrana nuclear.

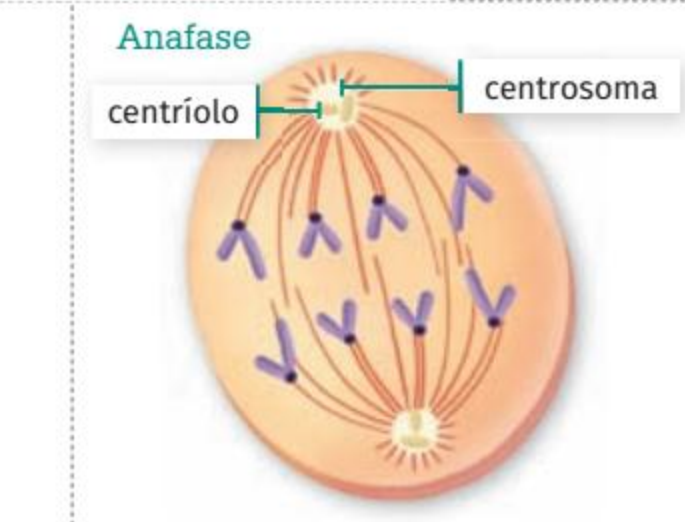
Profase

Metafase



Los cromosomas se ubican y alinean en la zona media o *plano ecuatorial*, unidos al huso por medio de sus centrómeros.

Anafase



Las fibras del huso "tiran" de los cromosomas hacia cada centrosoma. Esto hace que las cromátidas se separen y migren a los polos opuestos.

Telofase

Se desarma el huso y finaliza la cariocinesis. Se forma el nucleolo, se descondensa la cromatina y se reorganiza la membrana nuclear.

Palabras clave: cigoto determinación blástula mórula

La diferenciación celular y el crecimiento

La mitosis es importante tanto para el crecimiento del organismo como para la regeneración de sus partes dañadas. En este último caso, un grupo de células con gran capacidad de división se encarga de regenerarlas. Todo ser vivo se forma a partir de una célula original: el cigoto. A medida que este se divide, las células resultantes se diferencian entre sí y forman los órganos y tejidos del cuerpo. Veamos...

Organización celular

Todos los seres pluricelulares surgen a partir de una única célula llamada **cigoto**. Por medio de sucesivas divisiones mitóticas, esta célula inicial se multiplica hasta formar un gran número de células unidas y relacionadas entre sí.

Las divisiones que sufre el cigoto son mitóticas, y por lo tanto, las células hijas son idénticas a la progenitora y presentan la totalidad de los cromosomas .

Las células resultantes de la división del cigoto se denominan *blastómeros* y forman una masa celular llamada **mórula**, compuesta de 12 a 16 células.

A partir de la mórula, las divisiones prosiguen y se constituye otra masa celular: la **blástula**, que posteriormente origina la **gástrula**. El proceso de división que abarca desde el cigoto hasta antes de la formación de la gástrula se llama **segmentación** [FIG. 106].

Luego de este período las células se agrupan y diferencian en *tejidos* que presentan características específicas. Esto se debe a que, si bien las células poseen exactamente el mismo material genético, no todos los genes se activan o expresan de manera simultánea.

Los distintos genes del ADN que se leen o expresan en el interior de una célula permiten que esta forme diversas estructuras y realice diferentes funciones. Es por ello que la función y la forma de una célula varían respecto de las demás según qué parte del ADN se esté expresando. Este proceso se conoce como **diferenciación**, y conduce a la **especialización** de las células. De este modo, un organismo adulto se compone de *distintos tejidos y diferentes tipos celulares*, que aparecieron durante el desarrollo del individuo mediante procesos de **diferenciación celular.**

Diferenciación celular

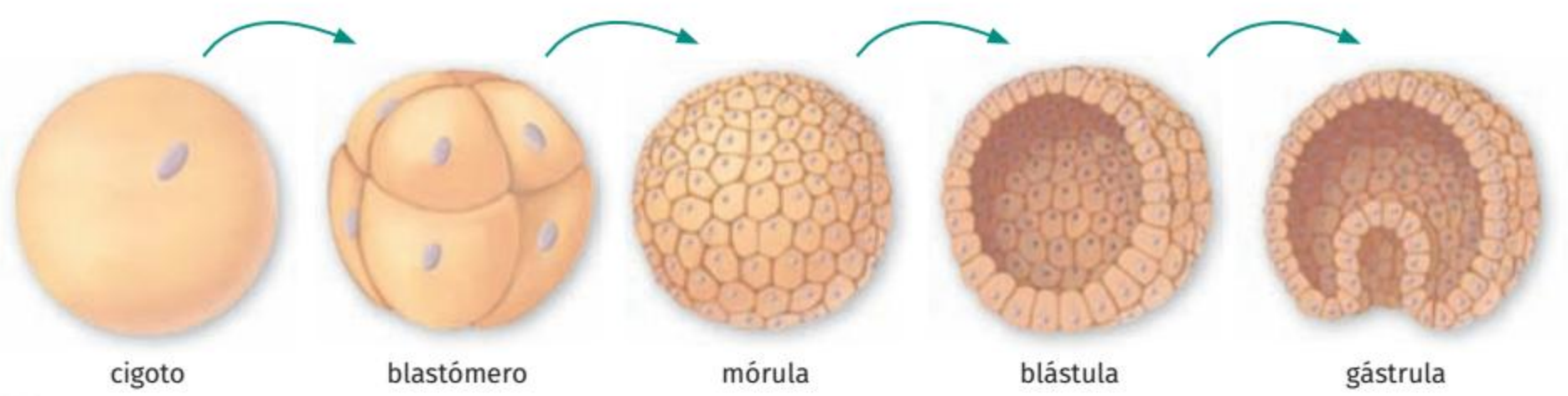
Distintas reacciones bioquímicas que tienen lugar en el interior de la célula llevan a que esta se *diferencie*. El control de la expresión genética depende de un tipo de sustancias denominadas **morfógenos**, que por lo general son proteínas que actúan como determinantes de la diferenciación.

La *diferenciación* implica la pérdida progresiva de la capacidad de una célula de formar diferentes tejidos. El "camino" hacia un determinado destino celular consta de dos etapas: *especificación* y *determinación*.

- **Especificación.** La célula es capaz de diferenciarse autónomamente incluso si es extraída de su entorno y puesta en un ambiente o medio "neutro" respecto de la presencia de factores **determinantes.** Sin embargo todavía puede revertir su destino.
- **Determinación.** En esta etapa la célula se diferencia, incluso si se la coloca en un lugar diferente del embrión y con **determinantes morfogenéticos** distintos.

[FIG. 106] Desarrollo del cigoto

El cigoto se divide mitóticamente y forma distintas masas celulares. Cuando se alcanzan las 32 células, estas comienzan a diferenciarse.



Crecimiento y regeneración de tejidos

En todos los organismos el **crecimiento** puede darse de dos formas distintas: por *aumento del tamaño celular* o por *aumento del número de células*. La **regeneración**, en cambio, solo se lleva a cabo por un *aumento en la cantidad de células* y conduce a la *reparación de los tejidos dañados*. Existen tres mecanismos de regeneración.

- **Morfalaxis.** Es la transformación de zonas del cuerpo o tejidos existentes de un individuo en nuevas estructuras. De este modo, se lleva a cabo una reorganización del patrón de diferenciación que se acompaña de un nuevo crecimiento limitado.
- **Epimorfosis.** Se caracteriza por la diferenciación de un blastema* y la generación de nuevos tejidos u órganos. Este mecanismo de regeneración es muy común en las extremidades.
- **Regeneración compensatoria.** Es un mecanismo intermedio en el cual las células se dividen pero mantienen sus funciones.

La regeneración depende del tipo de tejido, algunos ejemplos se observan en músculos, huesos y piel.

Regeneración muscular. El mecanismo de regeneración muscular varía según el músculo que se evalúe. El **músculo esquelético** permite el movimiento, y se forma a partir de células denominadas **mioblastos** que proliferan y se fusionan para formar nuevas fibras musculares. Además las fibras pueden aumentar de tamaño, lo que se conoce como **hipertrofia muscular**. El **músculo cardíaco** presente en el corazón, no puede regenerarse y cuando se daña, se forma una cicatriz de tejido conjuntivo. El **músculo liso** que forma parte de diversos órganos tiene una moderada capacidad de regeneración.

Ciencia actual

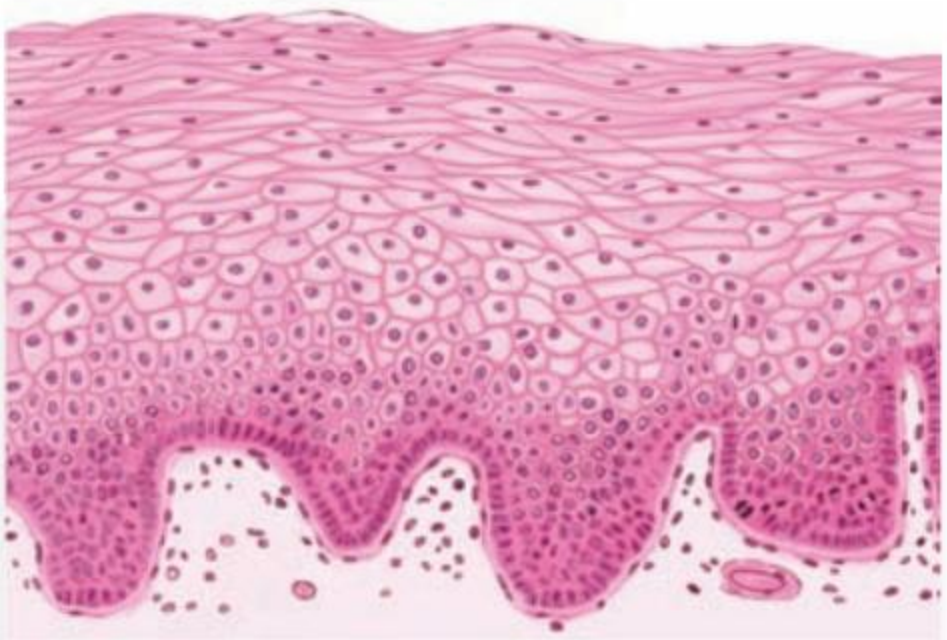
La medicina regenerativa

La medicina regenerativa utiliza la capacidad de regeneración de algunos tejidos para curar destrucciones celulares o daños en otras regiones del cuerpo. Actualmente, cuando se desea restituir la piel del paciente con úlceras o quemaduras se extraen células de la dermis del paciente, y se las reproduce en un laboratorio para crear con ellas una capa que posteriormente se aplicará en el paciente. Este proceso puede tardar meses y durante ese tiempo, el individuo está expuesto a posibles infecciones. En la Argentina hay grupos de investigación que están desarrollando un *kit* quirúrgico que permitiría acelerar el proceso de regeneración, de manera tal de disminuir las posibles infecciones.

Remodelación del tejido óseo. El **tejido óseo** está en constante remodelación a lo largo de la vida. De esta manera, este tejido se encuentra en continua destrucción y renovación. Para ello, dentro del tejido óseo unas células denominadas **osteoclastos** se encargan de la destrucción o reabsorción ósea y los **osteoblastos** participan en el desarrollo y crecimiento de los huesos.

Regeneración del tejido epitelial. Las células epiteliales recubren la parte exterior del cuerpo y también los órganos internos. Los *queratinocitos* que forman la **piel** [FIG. 107] están en continua renovación y forman una capa de células muertas que dejan expuesta una proteína llamada *queratina*.

El *endometrio* que recubre el interior del útero está formado por tejido epitelial y se renueva en cada menstruación cada 28 días aproximadamente.



[FIG. 107]
La piel es el órgano más grande del cuerpo humano y la epidermis es la región más externa.

blastema. Masa de células desdiferenciadas (células que revirtieron sus características particulares y adoptaron características embrionarias), encargadas de procesos de proliferación celular y redifferenciación de nuevas estructuras perdidas por posibles daños mecánicos, como amputaciones.

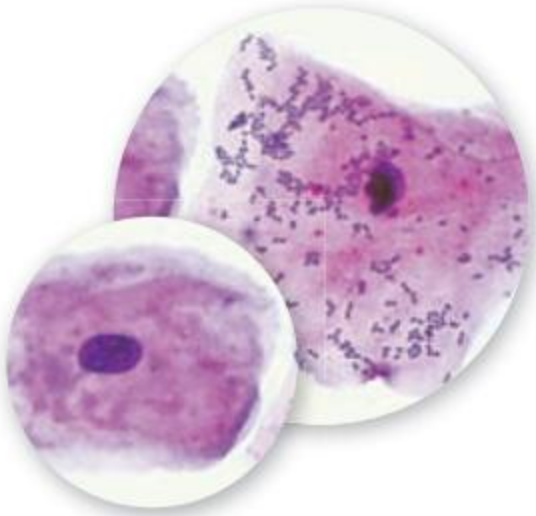
Guía de estudio

1. ¿En qué momento comienza la diferenciación celular durante el desarrollo embrionario?
2. ¿Qué diferencia la regeneración celular del crecimiento de los tejidos?

Experiencia en acción y...

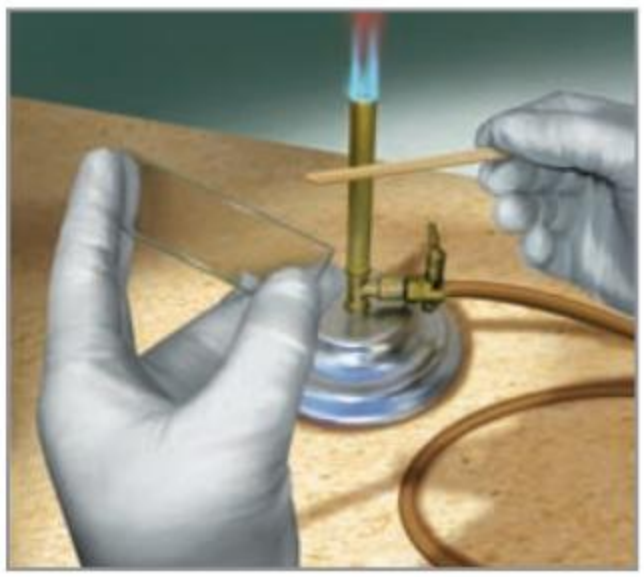
Las células de la mucosa bucal

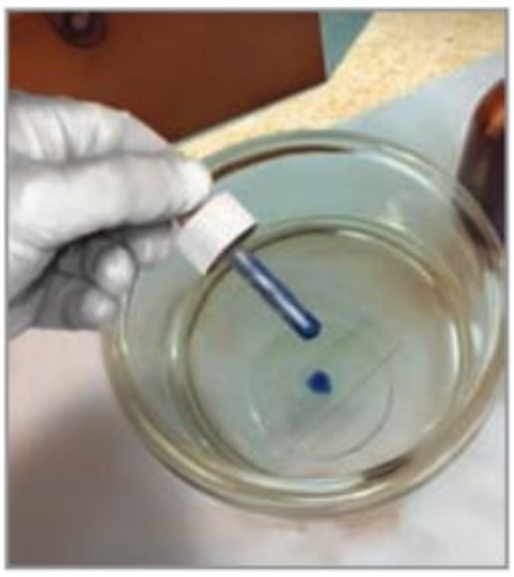
Los seres humanos son animales pluricelulares formados por billones de células. La piel es el órgano de mayor tamaño del cuerpo, debido a que pesa 5 kg y ocupa una superficie total de 2 m². A continuación, les proponemos una experiencia para poner a prueba los conocimientos acerca de las células mediante la observación de la mucosa bucal, es decir las células que recubren el interior de la boca.



Materiales

- Microscopio
- Portaobjetos y cubreobjetos
- Guantes de laboratorio
- Palito de helado o espátula
- Mechero de laboratorio
- Pinza de madera
- Vidrio de reloj
- Frasco lavador o vaso de precipitado
- Agua destilada
- Azul de metileno





Procedimiento

a. Con una espátula o palillo de madera raspen el interior de la boca de un voluntario del grupo. Coloquen el fluido extraído en un portaobjetos con una gota de agua destilada.

b. Con la ayuda de una aguja o cubreobjetos extiendan la gota a lo largo del portabojetos, coloquen el cubreobjetos por encima. Enciendan el mechero, con mucho cuidado sujeten el portaobjetos con la pinza de madera y pasénlo por la llama para lograr la desecación del fluido.

c. Coloquen el portaobjetos sobre el vidrio de reloj y añadan a lo largo unas gotas de azul de metileno. Dejen actuar durante dos minutos.

d. Luego laven el portaobjetos con agua destilada sobre un frasco o vaso de precipitados para descartar el azul de metileno.

e. Observen mediante el microscopio la mucosa bucal extraída.

Observaciones y conclusiones

1. ¿Cómo se organizan las células observadas? ¿Consideran que están agrupadas? ¿Están vivas estas células?
2. El azul de metileno tiñe los núcleos de las células de la mucosa bucal y tenuemente los citoplasmas. ¿Creen que se podrá usar esta tinción para cualquier tejido del cuerpo humano?
3. Observen en el microscopio a 40X y a 100X, ¿pueden reconocer otros componentes celulares al cambiar el aumento?

...revisión final.

- **Lean el siguiente texto y resuelvan las actividades.**

Dos hermanos estaban mirando una película de ciencia ficción. En ella, uno de los personajes principales, llamado Jorge, se encuentra tumbado en el suelo, debajo de un montón de rocas, y habla con el otro, su amigo Carlos, que está sentado al lado de él.
Carlos —¡No lo puedo creer, Jorge! ¡Solo a vos se te ocurre venirte tan lejos para estudiar esos bichitos raros! ¡Lo único que conseguiste es que te sepultara un derrumbe de rocas!
Jorge —Se llaman *Nummulites*, y qué te puedo decir, soy micropaleontólogo y estudiar organismos del pasado es mi mayor pasión. Solo porque seamos más complejos que muchos organismos unicelulares no significa que estos no sean importantes.
Carlos —¡Te podrías haber matado! Si no fuera por tu don sobrenatural habrías muerto. Por suerte, tu extraordinaria capacidad de regeneración te permitió recuperarte en solo unos minutos.
Jorge —Sí, la verdad es que tuve suerte pero igual valió la pena. Mirá esta roca, ¿los ves?, son *Nummulites*.
Los hermanos querían seguir viendo la película pero su mamá los interrumpió para mandarlos a la cama, porque ya era muy tarde y tenían que dormir.

1. **En la película, Jorge habla de complejidad de los seres vivos. Escriban en orden creciente los distintos niveles de organización.**

..... < ..... < ..... < .....

2. **Escriban al lado de cada ser vivo su correspondiente nivel de organización.**

tenia: .....

esponja: .....

rosa: .....

medusa: .....

perro: .....

3. **Marquen con un ✓ la opción correcta.**

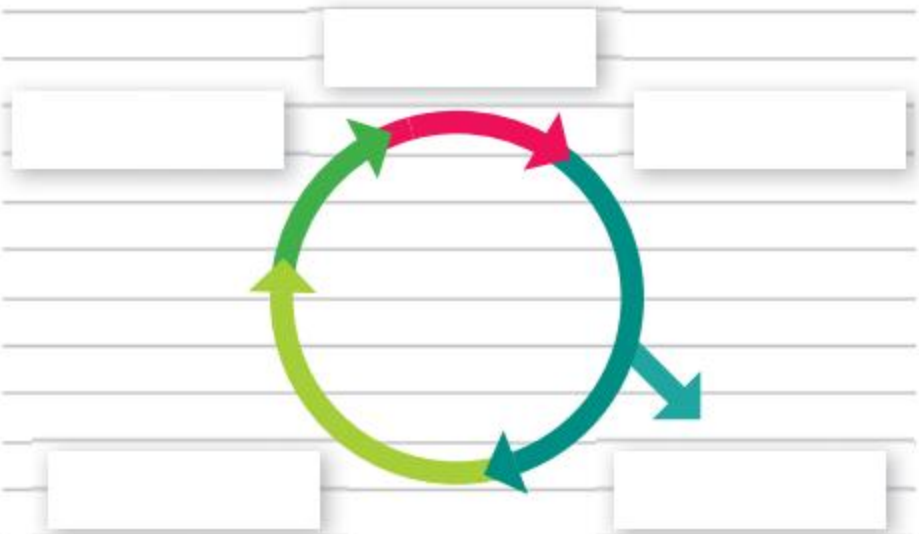
La inusual capacidad que demostró el micropaleontólogo al recuperarse tras el derrumbe de rocas se debió a...

- ○ **a.** la gran habilidad de sus células para aumentar de tamaño.
- ○ **b.** la gran habilidad de sus células para dividirse mitóticamente muchas veces y a gran velocidad.
- ○ **c.** la gran habilidad de sus células para dividirse meióticamente muchas veces y a gran velocidad.

4. **Unan con flechas las fases que conforman la división mitótica con los sucesos que ocurren en cada una.**

anafase	Los cromosomas están formados por dos cromátidas unidas por un centrómero. Los centríolos migran hacia polos opuestos de la célula.
metafase	Finaliza la cariocinesis (división del núcleo) y se reorganizan las membranas nucleares que encerrarán a los núcleos de las células hijas.
profase	Las cromátidas que conforman el cromosoma se separan y migran a los polos opuestos.
telofase	Los cromosomas se ubican en el plano ecuatorial de la célula y están unidos al huso por medio de sus centrómeros.

5. **Rotulen las distintas fases del ciclo celular.**



BLOQUE III

La reproducción

CAPÍTULO 06
La reproducción y la diversidad

- La reproducción
- La reproducción asexual
- La reproducción sexual
- Los ciclos de vida
- Las estructuras reproductivas
- El desarrollo

CAPÍTULO 07
La reproducción humana

- Los ciclos de reproducción
- El desarrollo sexual en el ser humano
- El sistema reproductor en el ser humano
- El desarrollo embrionario en el ser humano
- La sexualidad y salud sexual
- La reproducción humana y la tecnología

CAPÍTULO 08
La reproducción y la evolución

- La evolución de la reproducción
- Las estrategias de supervivencia
- Las claves para el éxito reproductivo
- La reproducción y la supervivencia
- El cuidado de las crías

La **reproducción** es el proceso que permite la *continuidad de las especies* y la *formación de individuos semejantes a sus progenitores.* Las características heredables se transmiten entre las generaciones y los individuos se desarrollan a partir de la formación del **cigoto**, que proviene de la unión de las células sexuales o **gametas**.

Este último proceso, denominado **fecundación**, es característico de la reproducción **sexual**. Sin embargo algunos organismos se generan a partir de un único individuo, y constituyen así una copia idéntica de su progenitor. En este caso, la reproducción es **asexual** y se observa en organismos unicelulares, aunque es frecuente en plantas y en unos pocos animales.

La **variabilidad genética** de los seres vivos es posible por medio de la reproducción sexual, ya que la información genética de los descendientes resulta de la *combinación del ADN* de sus progenitores.

Sin embargo la reproducción sexual es más "costosa" que la asexual, porque requiere de una mayor inversión energética y de recursos. En algunas especies de animales, antes del *apareamiento* ocurre el *cortejo*, un comportamiento característico de cada especie.

Además, algunos animales cuidan a sus crías durante el desarrollo, o luego del nacimiento. El **cuidado parental** *aumenta la probabilidad de supervivencia de los descendientes, favorece el incremento del tamaño y el desarrollo de sus cuerpos.*

1. ¿Por qué los hijos se parecen a sus padres?
2. ¿La reproducción es un fenómeno biológico que solo ocurre en animales?
3. ¿Los organismos unicelulares se reproducen? ¿Cómo?
4. ¿Qué pasaría si una especie no pudiera reproducirse más? ¿Qué consecuencias traería para la especie un aumento en su número de individuos?
5. ¿Todos los animales cuidan a sus crías? ¿Qué ventajas trae esto?

Capítulo 06

La reproducción y la diversidad

Los seres vivos unicelulares y pluricelulares se pueden reproducir sexual o asexualmente. La reproducción sexual aumenta la variabilidad de la especie, ya que en la fecundación se unen dos gametas provenientes de dos individuos distintos. Según la dotación cromosómica que presenten los organismos pueden ser haploides (n) o diploides (2n). Luego de la fecundación comienza el desarrollo embrionario y en algunas especies la metamorfosis.

Secuencia de contenidos:

- La reproducción
- La reproducción asexual
- La reproducción sexual
- Los ciclos de vida
- Las estructuras reproductivas
- El desarrollo

- ¿Todos los leones son genéticamente iguales? ¿Por qué existen diferencias entre machos y hembras?
- ¿Siempre se necesitan dos individuos para que haya reproducción? ¿Qué tipos de reproducción conocen?
- ¿Todas las especies presentan un desarrollo embrionario? ¿Conocen especies que realicen metamorfosis? ¿Qué diferencias presentan respecto a aquellos organismos que no sufren este proceso?

La reproducción

La reproducción es el proceso biológico por el cual se forma un ser vivo a partir de otro. Puede llevarse a cabo de forma asexual, como en los organismos unicelulares, o sexual, como en la mayoría de los seres vivos más complejos. En el primer caso, el proceso es más rápido y la descendencia es genéticamente igual a su progenitor. El segundo es más lento, costoso y mantiene la variabilidad genética. Veamos...

Especies y reproducción

La **reproducción** es un proceso biológico característico de todas las formas de vida conocidas, que permite la *creación de nuevos organismos*. Si bien la reproducción no resulta imprescindible para que un determinado individuo sobreviva, es esencial para el mantenimiento de la especie. En los seres vivos existen dos formas muy diferentes de reproducción: *asexual* y *sexual*.

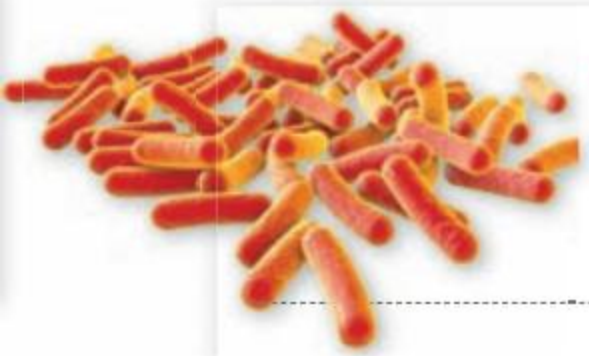
Reproducción *asexual*

La **reproducción asexual** es frecuente en los organismos *unicelulares* y en algunos *pluricelulares*.

En este proceso la descendencia se genera a partir de un *único individuo*. De esta manera, todo "hijo" es una copia exacta de su progenitor.

La reproducción asexual se observa en *organismos unicelulares* como las bacterias [FIG. 108] y las levaduras, un tipo de hongo [FIG. 109].

El tiempo de reproducción depende de cada organismo; en las bacterias la célula progenitora se divide y forma dos células hijas exactamente iguales entre sí de manera muy rápida, mientras que en las levaduras la reproducción requiere de mayor tiempo.



[FIG. 108]
La división de la célula equivale a la reproducción de las bacterias y suele demorar de 10 a 20 minutos.

[FIG. 109]
En las levaduras una célula se divide cada 2 horas.

La mayoría de los **animales** se reproduce sexualmente, sin embargo algunos de ellos pueden hacerlo de manera **asexual**. Esto suele ocurrir ante alguna amenaza de daño, o cuando las condiciones del entorno son desfavorables. La estrella de mar puede desprenderse de un brazo si está lastimado y regenerar otro. A partir del fragmento desprendido se forma una nueva estrella [FIG. 110]. Este proceso se conoce como **fragmentación**.

[FIG. 110]
Se estima que el tiempo de regeneración del brazo lleva en promedio un año.

Reproducción *sexual*

La **reproducción sexual** requiere de la *fusión de dos células sexuales* o **gametas**, *una femenina y otra masculina*. Estas gametas se originan por *meiosis* y se unen en el momento de la **fecundación**. Si las gametas son aportadas por dos individuos distintos, el proceso se denomina **fecundación cruzada**. Mientras que si provienen de un mismo organismo (denominado hermafrodita), el proceso se conoce como **autofecundación**. Este último se lleva a cabo en algunas plantas y animales.

Los individuos que se originan por reproducción sexual son producto de la *combinación del ADN de ambos progenitores* y, por lo tanto, serán genéticamente distintos a ellos. De este modo, la reproducción sexual es una **fuente de variabilidad genética**, característica que aumenta la probabilidad de la especie de sobrevivir frente a cambios en el ambiente.

En contraste con la reproducción asexual, la sexual es un proceso más lento y costoso desde el punto de vista energético, ya que requiere de la formación de las gametas y del tiempo necesario para que el individuo madure sexualmente. Sin embargo, evolutivamente esta estrategia reproductiva resulta más ventajosa.

Guía de estudio

1. ¿En qué se diferencian la reproducción asexual y la sexual?

2. Comparen las ventajas y desventajas de cada uno de los mecanismos de reproducción.

Palabras clave: sexual bipartición espora estolón

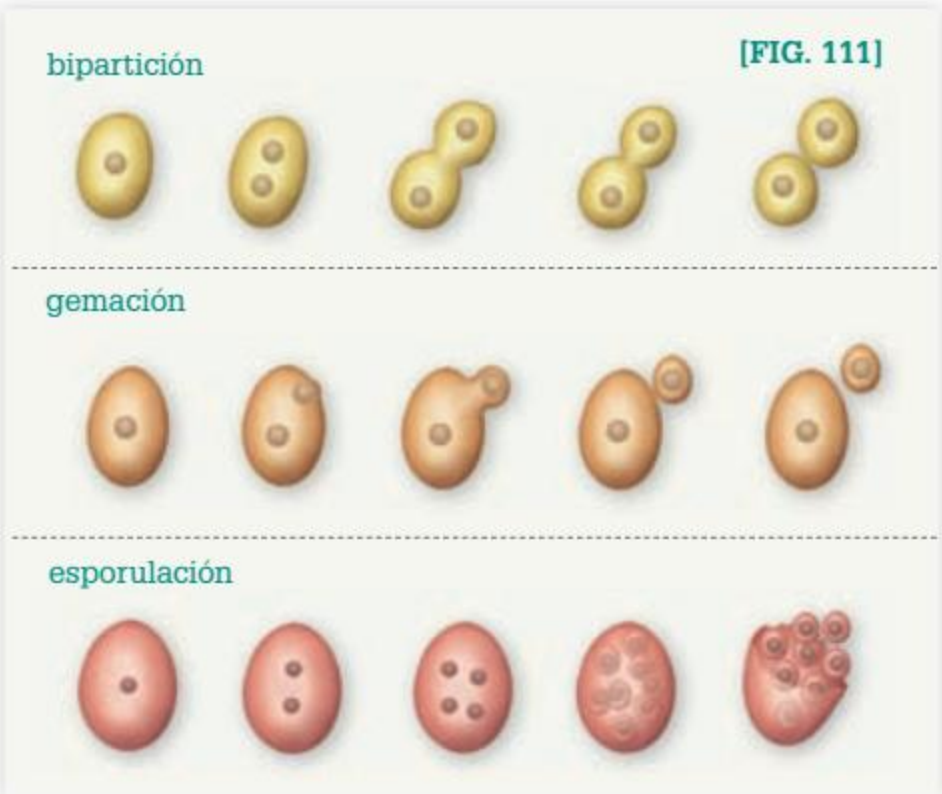
La reproducción asexual

La reproducción asexual es el proceso por el cual algunos organismos pueden dar origen a nuevos individuos a partir de un único progenitor. Este proceso es frecuente en organismos unicelulares y se lleva a cabo por diferentes modalidades: bipartición, gemación y esporulación. Las plantas se reproducen asexualmente por multiplicación vegetativa. Veamos...

Organismos *unicelulares*

La **reproducción asexual** es un proceso biológico por el cual se generan nuevos organismos a partir de un único individuo progenitor. Este proceso puede ocurrir tanto en seres vivos unicelulares como en pluricelulares más complejos.

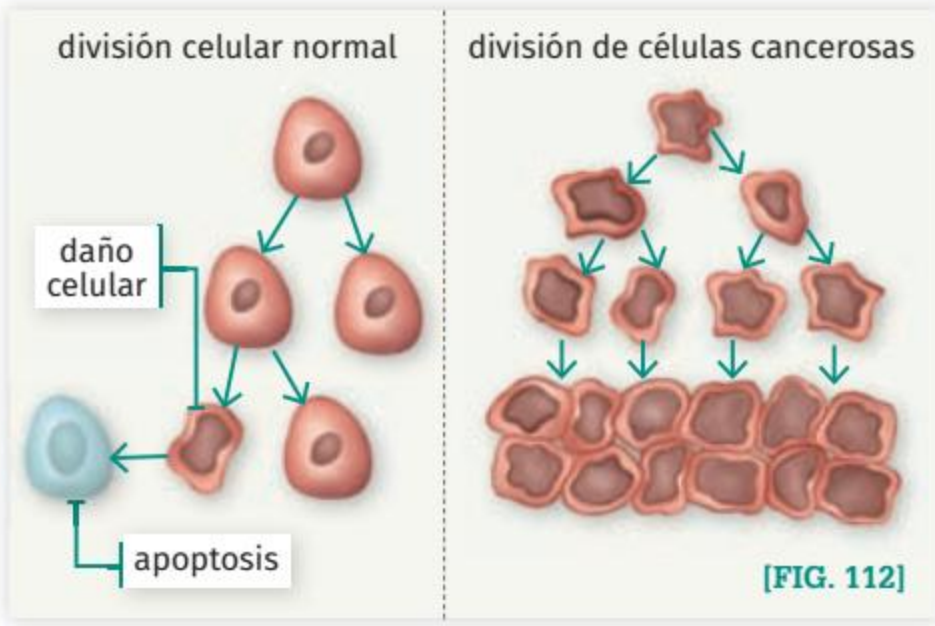
Este mecanismo reproductivo es sumamente rápido y permite que un *único individuo* deje, por medio de sucesivas **divisiones mitóticas**, un gran número de descendientes, todos exactamente *iguales*. Existen distintos tipos de mecanismos por medio de los cuales los organismos unicelulares se reproducen de manera asexual: *bipartición*, *gemación* y *esporulación* [FIG. 111].



[FIG. 111]

- **Bipartición** o **fisión binaria.** Ocurre en unicelulares, como *bacterias* y algunas *algas*. La célula progenitora se divide en dos células hijas exactamente iguales. Este proceso se produce a gran velocidad y permite la formación de muchos individuos nuevos en un lapso corto de tiempo. Además cada célula presenta el mismo tamaño.
- **Gemación.** Mecanismo de reproducción asexual que ocurre en algunos organismos unicelulares, como las *levaduras* (hongos microscópicos). Se lleva a cabo una *división mitótica asimétrica*, de manera tal que el citoplasma se reparte de manera no equitativa entre las dos células nuevas. El aparato mitótico se desplaza hacia la periferia de la célula progenitora y se forma un **brote** o **yema**. Esta estructura comienza a crecer y una vez alcanzado el tamaño adecuado, se desprende y forma un nuevo organismo.
- **Esporulación.** Ciertas *bacterias* se reproducen por medio de **esporas**. Este proceso implica una división mitótica, caracterizada por la formación de un *septo* que aisla el ADN y una porción del citoplasma. Luego, la membrana plasmática rodea esta estructura y se forma la *espora*. Generalmente la liberación de esporas se lleva a cabo frente a circunstancias ambientales adversas: *escasez de nutrientes*, *ausencia de oxígeno* o *poca luz solar*, entre otras. Si bien estas condiciones ambientales pueden favorecer o desencadenar la esporulación, también puede originarse como instancia del ciclo de vida normal durante la reproducción.

Si bien las rápidas y sucesivas divisiones mitóticas permiten que los organismos unicelulares dejen un gran número de descendientes, dividirse rápidamente y sin control no siempre resulta beneficioso para los organismos pluricelulares. Un ejemplo de esto se observa en los pacientes con cáncer, cuyas células tumorales o cancerosas no pueden producir, entre otras cosas, una proteína que activa el proceso de *apoptosis* que lleva a la muerte programada de la célula. Esto provoca que las *células se dividan de forma continua sin detenerse*. Además, algunas células cancerosas pueden viajar por el torrente sanguíneo e invadir otros tejidos, generando nuevos tumores (metástasis) [FIG. 112].



[FIG. 112]

Organismos *pluricelulares*

Si bien la mayoría de las **plantas** se reproduce de forma sexual, algunas pueden reproducirse **asexualmente**, especialmente si las condiciones de su entorno no resultan favorables. Para ello, utilizan como estrategia reproductiva la *multiplicación vegetativa*.

Multiplicación vegetativa

Es un mecanismo de reproducción asexual generado por el corte de fragmentos de tallos, hojas o raíces, que pueden originar nuevos individuos completos a partir de divisiones mitóticas. Este mecanismo de reproducción se puede originar tanto de manera *natural* como *artificial* [FIG. 113].

[FIG. 113] Multiplicación vegetativa artificial

» **Esquejes o estacas.** Se origina una nueva planta a partir de porciones cortadas de tallos, hojas o raíces, que se entierran y se riegan.

» **Injertos.** Se toman pequeños tallos de una planta nueva o porciones de ellos y se los ata al tallo de una planta ya adulta. El injerto (tallo chiquito) se desarrolla a través de la planta adulta.

» **Acodos.** Esta técnica consiste en enterrar ramas de las plantas (sin cortarlas) y estimular el crecimiento de raíces a partir de esas ramas. De este modo, se forman las plantas nuevas.

http://goo.gl/dva9Y1

Escaneen el código QR para poner a prueba lo que aprendieron sobre la reproducción en plantas.

La **multiplicación vegetativa natural** incluye *estolones*, *rizomas*, *tubérculos* y *bulbos*.

- **Estolones.** Tallos que se extienden al ras del suelo y a partir de ellos se generan raíces que originan nuevas plantas [FIG. 114].

[FIG. 114] En las frutillas la reproducción por estolones es más rápida que a partir de semillas.

- **Rizomas.** Tallos que se extienden horizontalmente por debajo del suelo, similares a raíces. Sobre ellos se generan brotes o yemas que originan nuevos tallos que salen a la superficie y forman nuevos individuos [FIG. 115].

[FIG. 115] Los rizomas del jengibre se utilizan frecuentemente en la cocina asiática.

- **Tubérculos.** Tallos cortos y subterráneos como la papa, caracterizados por acumular sustancias de reserva. Tienen yemas a partir de las cuales crecen raíces y tallos, de manera tal que cada tubérculo puede desprenderse de la planta original y formar una nueva.
- **Bulbos.** Parte interior del tallo que tiene hojas carnosas modificadas en donde se almacenan nutrientes. El bulbo puede dividirse y formar bulbillos que den origen a una nueva planta [FIG. 116].

[FIG. 116] La cebolla, al igual que la mayoría de las plantas con bulbo, es muy resistente al frío.

Guía de estudio

1. Realicen un mapa conceptual en su carpeta en el que destaquen las características principales de los distintos mecanismos de reproducción asexual.

Palabras **clave:** oogámica externa isogámica anisogámica

La reproducción sexual

La reproducción sexual implica la unión de dos células sexuales denominadas gametas, originadas por un mismo organismo o por dos distintos. La fecundación, proceso por el cual dos gametas se fusionan, se clasifica según: la semejanza entre gametas (isogámica, anisogámica y oogámica), la cantidad de individuos involucrados (cruzada o autofecundación), y el lugar en donde se lleva a cabo (interna o externa). Veamos...

Generalidades

La **reproducción sexual** es el proceso biológico por el cual se origina un nuevo individuo, a partir de la unión de dos células sexuales llamadas **gametas** y de la combinación del **material genético** que estas llevan. Cada gameta proviene de los progenitores.

Por medio de la reproducción sexual, las características heredables, tanto ventajosas como perjudiciales, se transmiten de una generación a la siguiente.

Por lo general, este mecanismo se lleva a cabo entre dos individuos pluricelulares de distinto sexo, proceso denominado **fecundación cruzada**. Sin embargo, existen especies en las que un mismo organismo genera las dos gametas. De este modo, el individuo es **hermafrodita** y el proceso se conoce como **autofecundación**.

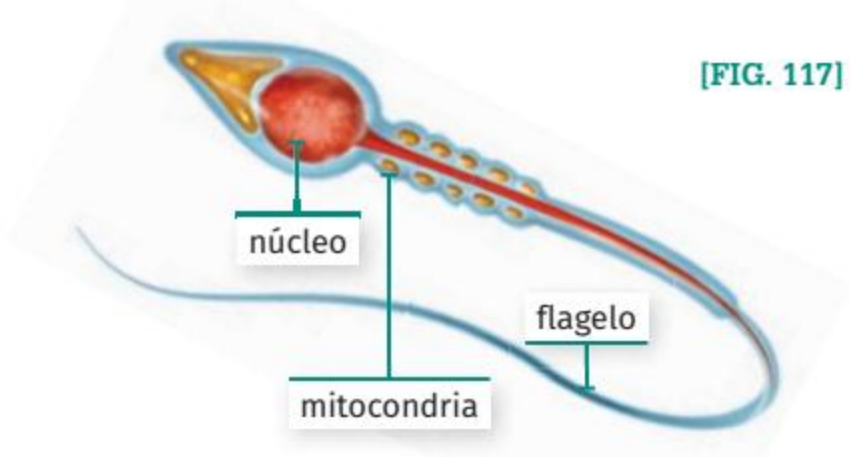
En el caso de la fecundación cruzada, cada progenitor cuenta con órganos sexuales desarrollados que producen por **divisiones meióticas** las *gametas*. Estas células son distintas entre sí, tanto en la morfología como en la información genética que contienen, y en los seres humanos se diferencian en gametas femeninas u **oocitos** y gametas masculinas o **espermatozoides**.

Cuando las gametas se ponen en contacto, se fusionan y se produce la **fecundación**. Como las gametas presentan la mitad del número de cromosomas característico de la especie, mediante la fecundación se restablece el número cromosómico. La fecundación posibilita la generación de individuos con características nuevas que pueden resultar ventajosas frente a un ambiente cambiante. Esto conduce a que, a largo plazo, se incremente la variabilidad de las especies.

Un tipo de reproducción asexual relacionado con la existencia de gametas es la **partenogénesis**, que se caracteriza porque se desarrolla un individuo a partir de una gameta femenina no fecundada. Este proceso lleva a que el nuevo organismo presente la mitad de los cromosomas y que sea idéntico al progenitor.

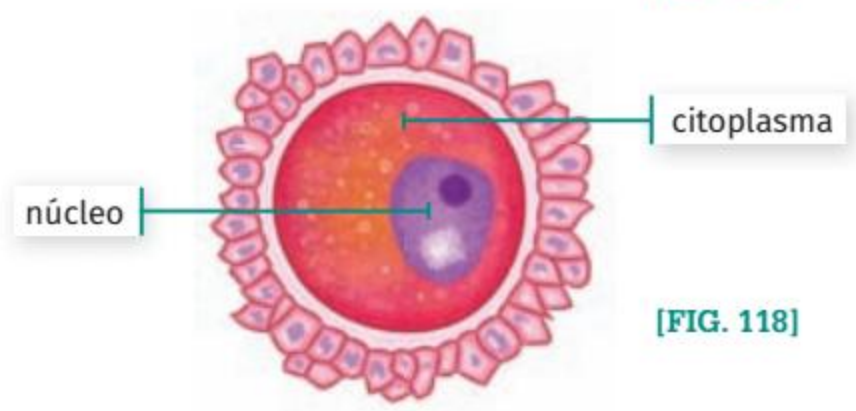
Células sexuales o gametas

El **espermatozoide** es la gameta masculina y además es la célula más pequeña presente en los hombres. Además, posee poca cantidad de citoplasma y presenta una gran movilidad, dada por su característico flagelo [FIG. 117]. Por medio de su cola, en forma de látigo, se desplaza hacia el oocito orientado por señales químicas liberadas por la gameta femenina. Además del ADN, en su interior contiene sustancias capaces de penetrar las células que rodean al oocito.



[FIG. 117]

En comparación con el espermatozoide, el **oocito** es mucho más grande. Esto se debe a que, además del ADN nuclear, contiene en el citoplasma todas las organelas y los nutrientes de los cuales se va a alimentar el futuro cigoto. Otra diferencia con el espermatozoide es que el oocito no tiene movilidad propia sino que desciende, a lo largo de las trompas de Falopio, por medio de los movimientos peristálticos producidos por los músculos lisos y por los cilios que tapizan el órgano [FIG. 118].



[FIG. 118]

Las **gónadas** son los órganos sexuales que integran los sistemas reproductores de los individuos y se encargan de producir las gametas. En los machos las gónadas se llaman **testículos** y en las hembras, **ovarios**.

La cantidad de gametas producidas por las gónadas varía entre sexos. En el ser humano, por ejemplo, el hombre libera con cada eyaculación un promedio de 200 millones de espermatozoides, mientras que la mujer solo produce un oocito maduro cada 28 días.

Tipos de reproducción sexual

En la reproducción sexual intervienen dos gametas o células sexuales generadas en las gónadas u órganos sexuales.

Si se consideran las similitudes y diferencias entre las gametas, se pueden distinguir tres tipos diferentes de reproducción: *isogámica*, *anisogámica* y *oogámica*.

- **Isogámica.** En este tipo de reproducción las gametas son idénticas en tamaño y estructura. Ocurre únicamente en algunos protozoos y hongos. Para diferenciarlas se utilizan los símbolos (+) y (-), según el comportamiento que presente cada una.
- **Anisogámica.** Las gametas son diferentes tanto en tamaño como en estructura, se distingue una masculina de una femenina. Esta reproducción se lleva a cabo en varios grupos de seres vivos.
- **Oogámica.** Es un caso particular de anisogamia, ya que las gametas son muy distintas: la femenina es grande e inmóvil, y aporta todas las reservas nutritivas al cigoto, mientras que la masculina es pequeña y móvil. Este tipo de reproducción ocurre en el ser humano.

Fecundación

La **fecundación** es el proceso por el cual *dos gametas*, una masculina y una femenina, se *fusionan*. Como resultado, se obtiene un cigoto que dará lugar a un organismo cuya información genética es producto de la combinación del ADN de sus dos progenitores.

El proceso de fecundación se puede clasificar en función de distintos criterios. Si el parámetro elegido se relaciona con los individuos que generan las gametas, se clasifica en *fecundación cruzada* o *autofecundación*.

- **Fecundación cruzada**. En este proceso, cada gameta procede de un individuo distinto. En algunos casos, como las lombrices de tierra, los individuos son hermafroditas. Sin embargo no se autofecundan sino que dos lombrices colocan los extremos de sus cuerpos en sentido inverso y se fecundan mutuamente intercambiando sus espermatozoides [FIG. 119].

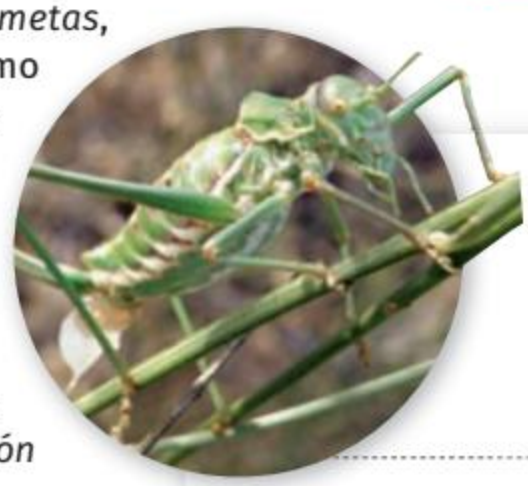
[FIG. 119]
Los espermatozoides de las lombrices de tierra son almacenados en los receptáculos seminales.

- **Autofecundación**. En este caso las dos gametas proceden de un mismo individuo. En las plantas cuyas flores son hermafroditas, es frecuente la autofecundación, casi siempre combinada con la fecundación cruzada [FIG. 120].

[FIG. 120]
La planta de cacao es hermafrodita, ya que en la misma flor posee los dos órganos sexuales.

Otro criterio de clasificación considera la ubicación de la fecundación, que puede ser *interna* o *externa*.

- **Fecundación interna.** En este tipo de fecundación, los espermatozoides pasan al interior del cuerpo de la hembra inyectados por órganos copuladores en el curso de un apareamiento, o bien son tomados por la hembra en forma de *espermatóforo* (bolsa de esperma) liberado previamente por el macho [FIG. 121].
- **Fecundación externa.** Este proceso es propio de los animales acuáticos. El organismo libera los espermatozoides al medio y así fecunda huevos libres. Es llevada a cabo por casi todos los invertebrados marinos, peces y muchos anfibios [FIG. 122].



[FIG. 121]
Un espermatóforo es una cápsula creada por los machos de diversos animales que contiene espermatozoides y según la especie, diversos nutrientes.

[FIG. 122]
Los oocitos de algunos anfibios son depositados en forma de ristras unidas con gelatina o de nidos de espuma batida, flotantes o en cuevas.

Guía de estudio

1. Busquen ejemplos para cada tipo de fecundación y redacten un texto en el cual expliquen cómo se lleva a cabo el proceso en cada caso (características de las gametas, características de los individuos involucrados, época del año, etcétera).

Palabras **clave:** meiosis gametofito **haploide** espora

Los ciclos de vida

Los organismos se clasifican en función de la cantidad de copias de cromosomas que tengan en haploides (n) y diploides (2n). Además, todos cumplen con un ciclo de vida, un período que abarca la concepción, el desarrollo y la reproducción de los individuos de una especie. Según qué grupo de organismos se estudie, el ciclo de vida puede ser diploide, haploide o haplodiploide. Veamos...

Definición y clasificación

Un **ciclo de vida**, desde un punto de vista biológico, es el lapso de tiempo que incluye la concepción, el desarrollo y la reproducción, ya sea asexual o sexual, de los diferentes individuos de una especie.

Todas las células del cuerpo que presentan núcleo poseen la misma cantidad de cromosomas, a excepción de las células sexuales. Así, un mosquito tiene seis cromosomas en cada célula del cuerpo, un gato presenta 38, una rata vizcacha colorada 102 y los humanos y las papas poseen 46 cromosomas.

La cantidad de cromosomas que una especie presenta no se encuentra relacionada con el número de genes ni con la complejidad de los organismos.

Por otro lado, *las células sexuales tienen exactamente la mitad del número de cromosomas que el resto de las células del cuerpo*. El número de cromosomas de las *gametas* se conoce como **número haploide** de cromosomas (dotación simple) y el de las *células del cuerpo*, como **número diploide** (dotación doble).

De acuerdo con la cantidad de cromosomas que presentan las células del cuerpo, los seres vivos pueden clasificarse en dos categorías: *haploides* y *diploides*.

- **Haploides (n)**. Organismos formados por células haploides y por lo tanto, todas sus células presentan la mitad del juego cromosómico.
- **Diploides (2n)**. Son los seres vivos constituidos por células que tienen en sus núcleos una dotación doble de cromosomas.

En toda célula diploide cada cromosoma tiene su par, conocido como *cromosoma homólogo*. Los miembros del par contienen los *mismos genes* dispuestos en el *mismo orden* y cada uno proviene de un progenitor distinto.

Durante la *meiosis*, los cromosomas homólogos se separan y las células hijas presentan un número haploide de cromosomas. Cada vez que se unen las gametas, se forma un nuevo individuo con un número diploide de cromosomas y comienza un nuevo ciclo de vida.

La meiosis puede ocurrir en diferentes momentos del ciclo biológico. Los animales son individuos diploides y producen gametas haploides antes de la fecundación. Muchos seres unicelulares y hongos son haploides, por lo que la meiosis se produce luego de la fecundación para retornar al número haploide. En algunas plantas existe una alternancia de generaciones. El individuo diploide produce por meiosis esporas haploides que, por mitosis generan un tejido o individuo haploide llamado *gametofito*. Este produce gametas haploides que luego de la fecundación dan lugar a una estructura diploide. Según en qué momento se lleve a cabo la meiosis, se pueden distinguir tres ciclos de vida: *diploide, haploide* y *haplodiploide*.

Los tres ciclos de vida presentan estados haploides y diploides, pero en cada uno se observa la preponderancia de un estado en particular.

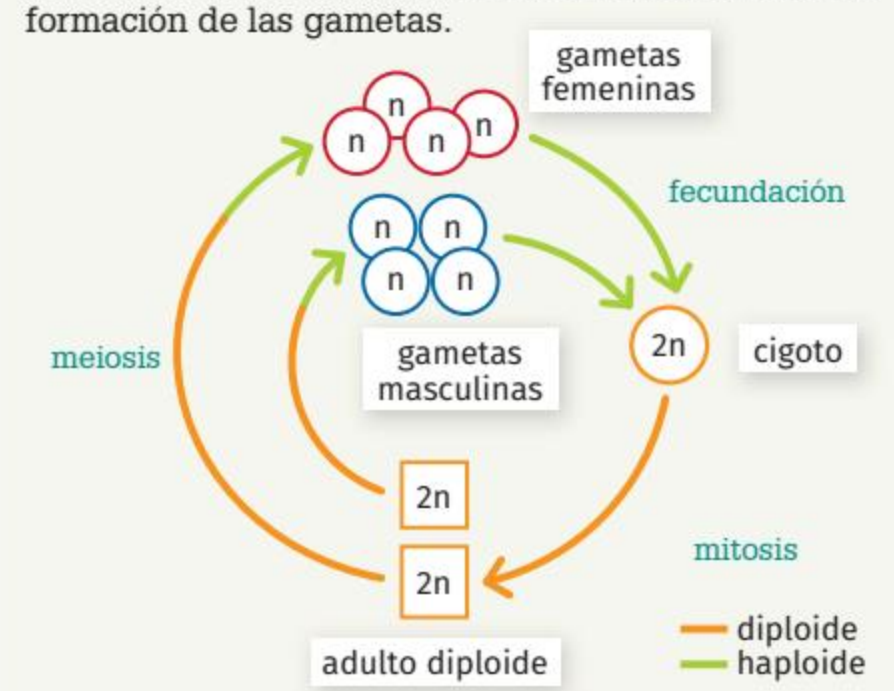
Ciclo de vida diploide

En el ciclo de vida diploide, la **fase diploide** resulta la *preponderante* [FIG. 123].

Consiste en la unión de dos gametas haploides durante la fecundación y la posterior formación de un cigoto diploide que luego se desarrolla como un individuo diploide. Posteriormente los nuevos individuos producen por meiosis gametas haploides conocidas en el ser humano como *oocitos* y *espermatozoides*.

Este ciclo ocurre por ejemplo en las algas diatomeas y en los animales, entre ellos el ser humano.

[FIG. 123]
En el ciclo de vida diploide, la reducción del material genético ocurre antes de la reproducción, durante la formación de las gametas.



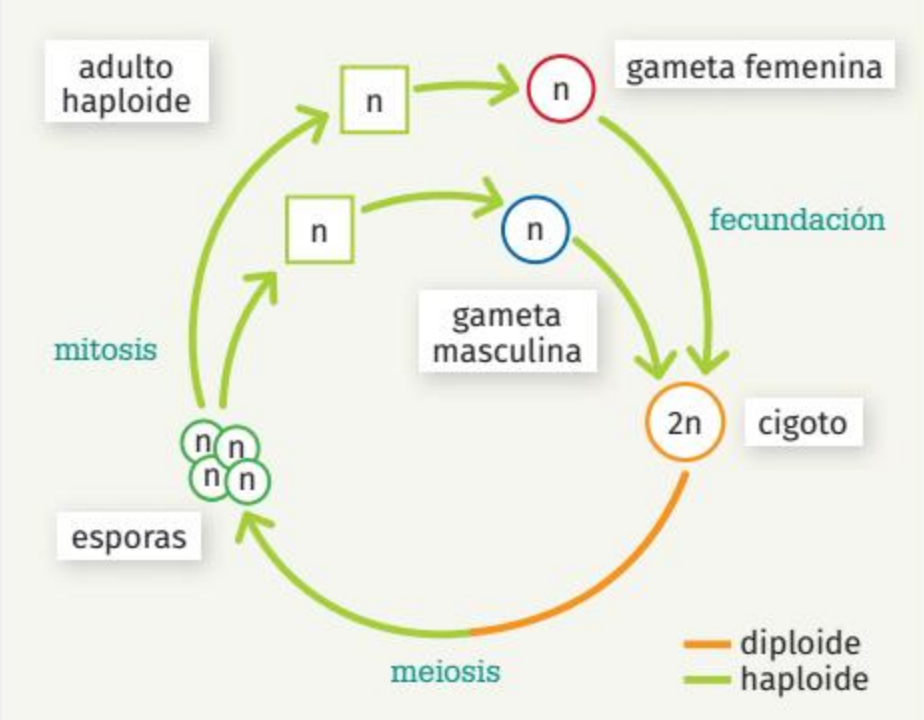
Ciclo de vida *haploide*

Como su nombre lo indica, en el ciclo de vida haploide la *fase preponderante* es la fase **haploide**.

Dos gametas haploides (n) se unen y dan un cigoto diploide (2n) que por meiosis pasa a ser haploide (n). La reducción del material genético ocurre después de la formación del cigoto, que comprende a la única célula diploide de todo el ciclo.

De este modo, no se obtienen individuos diploides, sino haploides [FIG. 124].

[FIG. 124]
La meiosis ocurre luego de la formación del cigoto. Las gametas y los individuos adultos son haploides.



Como consecuencia de la *meiosis* se obtienen cuatro **esporas** haploides, que por sucesivas *mitosis* originan el cuerpo vegetativo haploide (en el caso de los organismos pluricelulares) que producirán las **gametas**.

Muchos protistas como las algas unicelulares del género *Chlamydomonas*, algunos hongos como *Neurospora* o el moho *Rhizopus stolonifer* pasan la mayor parte de su vida en la fase haploide. Se multiplican asexualmente por mitosis, y generan poblaciones de células haploides idénticas.

En determinadas condiciones ambientales, cepas diferentes producen células sexuales que se fecundan y forman un cigoto diploide.

El cigoto produce una cubierta resistente gruesa que le permite mantenerse en vida latente mientras permanezcan las condiciones adversas.

Luego del período de latencia, el cigoto se divide por meiosis, y forma nuevamente células haploides que reinician el ciclo de vida haploide.

Ciclo de vida *haplodiploide*

El **ciclo de vida haplodiploide** ocurre principalmente en musgos, helechos y plantas superiores. Su característica principal es la **alternancia de generaciones**: se alterna una fase haploide, productora de gametas y una diploide, productora de esporas [FIG. 125].

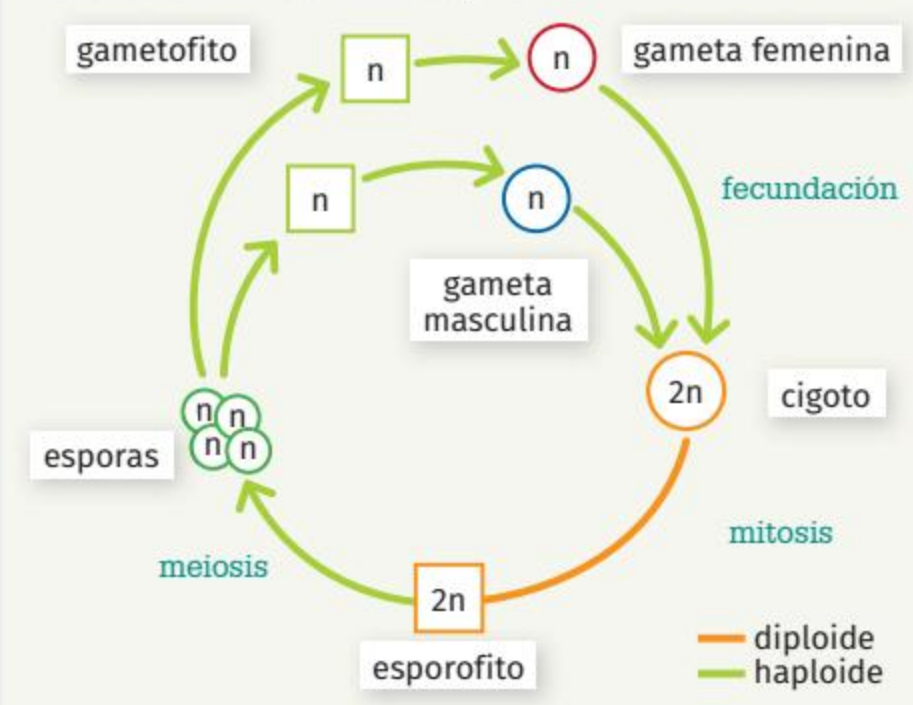
Según la especie, la fase haploide presenta mayor duración que la diploide o viceversa.

El **esporofito** (2n) corresponde a la generación diploide, posee células reproductoras que se dividen por meiosis y dan lugar a esporas haploides (n).

Las **esporas** se liberan al ambiente y cuando las condiciones son adecuadas y encuentran un lugar indicado, germinan y originan individuos haploides, productores de gametas denominadas **gametofitos**. Este último corresponde a la generación haploide.

Posteriormente, las **gametas** se fusionan y dan origen al *cigoto*, que al dividirse por mitosis, genera un organismo diploide o *esporofito*.

[FIG. 125]
El ciclo de vida haplodiploide de los helechos presenta una alternancia de generaciones. La meiosis ocurre durante la formación de esporas.



Guía de estudio

1. ¿Cuántos cromosomas tiene un espermatozoide humano? ¿Y una neurona?
2. ¿Cuáles son los distintos ciclos de vida? Busquen ejemplos de organismos que presenten los ciclos de vida mencionados en el texto.

Palabras clave: **antera** gineceo **androceo**

Las estructuras reproductivas

Si bien la reproducción no es una función vital para los individuos, resulta fundamental para perpetuar la especie. En todas los animales, además de los órganos productores de gametas denominados gónadas, muchos organismos presentan diversas estructuras reproductivas que participan en la fecundación o en el coito. Veamos...

Estructuras reproductivas en *plantas*

Las **estructuras reproductivas** son aquellas que el organismo emplea en la *formación de gametas* y en la *fecundación*. Por medio de estas estructuras los seres vivos originan nuevos individuos mediante la reproducción sexual. Las estructuras reproductivas en las plantas varían dentro de los distintos grupos.

Gimnospermas

Las **gimnospermas** no forman flores, y por lo tanto sus semillas carecen de protección. Por este motivo se las conoce como **plantas sin flor** y presentan dos estructuras reproductivas bien diferenciadas, una masculina y otra femenina. En este grupo se encuentran alerces, araucarias, *Ginkgo biloba*, y pinos, entre otros. Los pinos alojan las semillas en estructuras especializadas llamadas *conos*. El **cono masculino** consta de un eje donde nacen las hojas modificadas llamadas *microsporofilos*, que en la cara inferior llevan los *microsporangios* y dentro de estos, por *meiosis*, se originan las *microsporas* o **granos de polen** [FIG. 126].

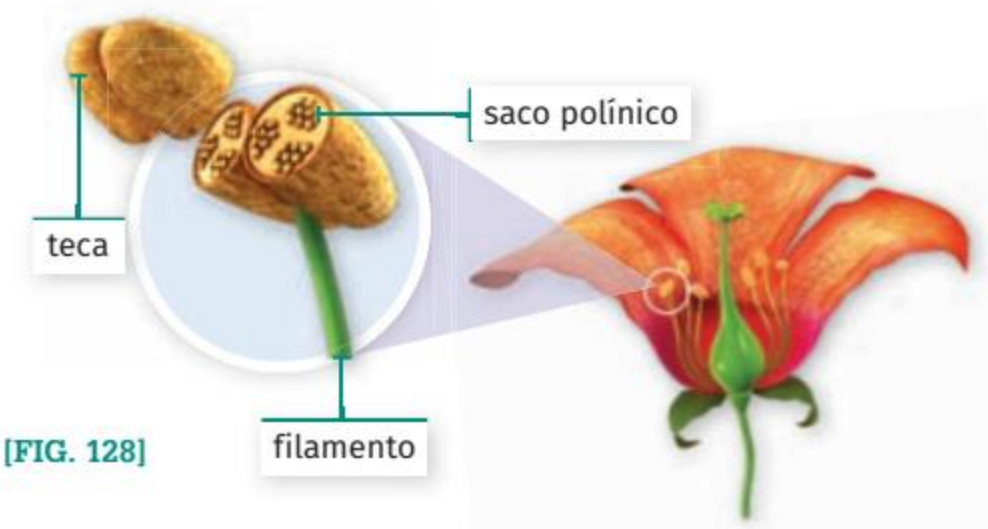
[FIG. 126]
Los conos masculinos son curvados y pequeños (10-12 mm de largo).

La piña o **cono femenino** se compone de un eje sobre el cual se insertan unas escamas leñosas que presentan *óvulos*. Dentro de estos se producen, por meiosis, las **megasporas** o esporas femeninas [FIG. 127], que al madurar originan gametofitos, estructuras productoras de gametas. Cuando la microspora llega al cono femenino, desarrolla un *tubo polínico* por donde baja la gameta masculina que fecundará a la femenina y así se originará la semilla.

[FIG. 127]
Los conos femeninos miden hasta 15 cm de largo.

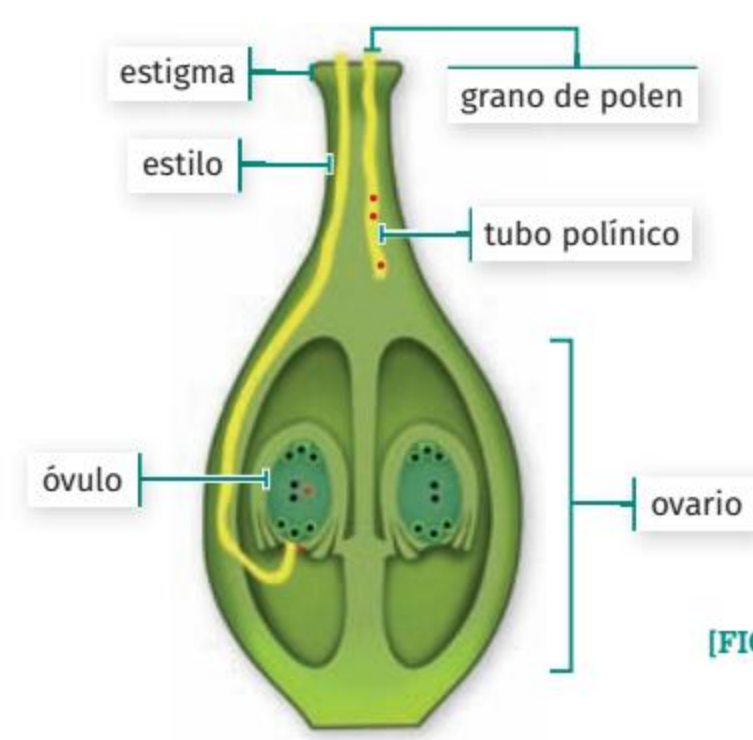
Angiospermas

Las **angiospermas** o **plantas con flor** también tienen dos estructuras reproductivas bien diferenciadas, una masculina, llamada *androceo*, y otra femenina, denominada *gineceo*. El **androceo** está formado por **estambres**, cada uno compuesto por un *filamento estaminal* y una *antera* (equivalente al microsporofilo de las gimnospermas) [FIG. 128]. La antera está formada por dos *tecas* que poseen dos *microsporangios* llamados *sacos polínicos*. En esta estructura se forman, por meiosis, los **granos de polen** o microsporas que maduran y originan al gametofito. Cuando los granos de polen llegan al *gineceo*, se desarrolla el *tubo polínico* por donde se desplaza la gameta masculina.



[FIG. 128]

El **gineceo** está formado por un **ovario**, un **estilo** y un **estigma** [FIG. 129]. El estigma es la parte receptiva de los granos de polen, el estilo es la parte estéril por donde corre el *tubo polínico* hasta llegar al **óvulo** contenido dentro del *ovario*. En el interior del óvulo se forma por meiosis una megaspora que da origen al *saco embrionario* (gametofito) productor de la gameta femenina. Esta es fecundada por la gameta masculina que descendió por el tubo polínico a través del estilo.



[FIG. 129]

fecundación **estambre** **cono**
cópula ***amplexo***

Estructuras reproductivas en *animales*

Los *ovarios* y los *testículos* son las **gónadas**, órganos reproductores donde se producen las gametas. Además, existe una gran variedad de estructuras que colaboran con la *fecundación*.

La fecundación puede ser *interna* y *externa*, y por lo tanto existen diversas estructuras y estrategias que permiten que estas fecundaciones se lleven a cabo. A su vez, es muy común observar en animales estructuras asociadas al "agarre" entre el macho y la hembra.

El tiburón macho presenta un par de *claspers*, órganos cilíndricos formados a partir de una modificación de las aletas pélvicas. En los machos inmaduros son cortos y blandos, pero en un individuo sexualmente maduro son largos y rígidos. Durante la cópula el macho introduce uno de ellos en la abertura genital de la hembra [FIG. 130].

[FIG. 130]
En los tiburones, el macho fecunda los huevos en el interior de la hembra.

En el caso de las líbelulas, el macho marca su territorio cerca del agua y lo defiende ferozmente de sus rivales. Cuando llega la hembra, el macho realiza una exhibición para cortejar a su compañera, antes de sujetarle la cabeza con unas pinzas especiales ubicadas en el extremo de su abdomen. Una vez que está sujeta al macho, la hembra arquea su abdomen hacia adelante para reunir sus órganos sexuales y se produce la fecundación. El macho además posee unos "ganchos" en su abdomen para aferrarse al de la hembra y así asegurar que el órgano copulador masculino contacte con el orificio genital femenino. Luego, la hembra pone los huevos en un lugar cercano o sobre el agua [FIG. 131].

[FIG. 131]
Las libélulas machos tienen un órgano utilizado para retirar de la hembra el esperma de otro macho.

En las abejas, la fecundación de la reina se produce en el vuelo nupcial. Las reinas suelen copular con varios zánganos. Durante la cópula, el macho introduce el pene dentro de la hembra, libera el semen y luego se separa de su pareja, momento en el cual su pene es arrancado de su abdomen, queda dentro de la hembra y el zángano muere. La abeja reina guarda en su interior el esperma de los diferentes machos con los que ha copulado, cuyos espermas utilizará para poner huevos durante toda su vida [FIG. 132].

En la mayoría de los anifibios sin cola (anuros), como las ranas y los sapos, los machos poseen **callos nupciales** en las manos, cuya función es la de asegurar a la hembra durante el *amplexo* o abrazo nupcial. En algunas especies estos callos pueden tener glándulas que secretan hormonas para atraer a la hembra.

Otros animales con fecundación interna no tienen estructuras especializadas en el agarre para el momento de la cópula. Estos han desarrollado modificaciones en ciertas estructuras para introducir el esperma en la hembra y depositarlo directamente en el lugar donde se va a llevar a cabo la fecundación.

En muchas arañas macho, uno de los apéndices con los cuales se manipula el alimento llamado *pedipalpos*, está modificado como órgano copulador; presenta forma de cuchara y así el macho deposita su esperma en el interior de la hembra.

[FIG. 132]
Las abejas reinas pueden almacenar más de cinco millones de espermatozoides en su interior.

Guía de estudio

1. ¿Cuáles son las estructuras reproductivas masculinas y femeninas de las plantas con flor? ¿Y de las plantas que no tienen flor?
2. ¿Creen que las estructuras reproductivas de los seres vivos se relacionan con el medio ambiente? ¿Cómo?

Palabras **clave:** *larva* ovíparo vivíparo **ovulíparo**

El desarrollo

Una vez ocurrida la fecundación, comienza el desarrollo del embrión. Según cómo se realice este proceso, los animales se clasifican en: ovulíparos, ovíparos, vivíparos y ovovivíparos. Cuando el individuo nace, comienza otro tipo de desarrollo que puede darse a partir de cambios graduales o abruptos. Veamos...

Etapas embrionarias

Luego de la fecundación se forma el **cigoto**, que corresponde a la primera célula del nuevo individuo. A partir de ese momento, se inicia un proceso de desarrollo que comienza con una etapa embrionaria que se continúa hasta el nacimiento. La **primera etapa del desarrollo** se origina después de la fecundación. Este proceso varía entre los distintos organismos, por lo que es posible agruparlos en cuatro categorías diferentes: *ovulíparos*, *ovíparos*, *vivíparos* y *ovovíparos*.

Los animales **ovulíparos** se caracterizan por presentar *fecundación externa*. El cigoto da lugar al embrión, que se desarrolla fuera del cuerpo de la madre y no posee ningún tipo de cubierta protectora. Muchos de los animales acuáticos pertenecen a este grupo: los cnidarios, los equinodermos, muchos moluscos, varios crustáceos, los peces óseos y los anfibios [FIG. 133].

[FIG. 133]
El número de huevos que pone una rana depende de la especie, pero varían desde 80 a 500 aproximadamente.

Los animales **ovíparos** presentan *fecundación interna*, pero el embrión se desarrolla fuera del cuerpo y está rodeado por una cubierta protectora que forma el **huevo**. Dentro de este, no solo está el embrión sino también todos los nutrientes que necesita para su desarrollo. De este modo, el huevo tiene como función principal *proteger el embrión frente a daños mecánicos y desecación*, hasta que pueda completar su desarrollo. Insectos, aves, reptiles [FIG. 134] y la mayoría de los tiburones presentan este tipo de desarrollo.

[FIG. 134]
Las serpientes pitones ponen entre cinco y seis huevos. El máximo registrado alcanzó a 15 huevos.

En los animales **vivíparos** la *fecundación* es *interna*, el embrión se desarrolla dentro del *útero* materno y obtiene los nutrientes a través de tejidos que lo conectan con la madre. Los mamíferos pertenecen a este grupo.

Los **ovovivíparos** presentan *fecundación interna*. El desarrollo del embrión ocurre en el interior de un huevo retenido por la hembra en su interior. El huevo eclosiona dentro del cuerpo de la madre y sale la cría. Algunos tiburones y serpientes pertenecen a este grupo.

Desarrollo después del nacimiento

Posteriormente al nacimiento, un individuo alcanza su estado adulto mediante un desarrollo directo o indirecto. En el caso de los animales que presentan **desarrollo directo**, el individuo recién nacido es muy parecido al adulto. En estas situaciones el organismo sufre cambios graduales conforme avanza el tiempo. Los reptiles, las aves, la mayoría de los peces y los mamíferos presentan este tipo de desarrollo [FIG. 135].

[FIG. 135]
El plumón natal es un tipo de pluma que presentan las aves al nacer.

Otros animales, como los anfibios y muchos insectos, presentan un **desarrollo indirecto;** esto significa que el individuo recién nacido es muy distinto del organismo adulto. En estas situaciones, el individuo atraviesa por distintos estadios hasta que alcanza la etapa adulta. El primero de todos es el estadio larval, la cría sufre un proceso complejo de cambios llamado **metamorfosis**, y luego adquiere el aspecto y las características del adulto [FIG. 136].

[FIG. 136]
La esperanza de vida de una mariposa depende de la especie, pero el promedio abarca desde las dos semanas al mes.

Metamorfosis

La **metamorfosis** es un complejo proceso de cambios por el cual el animal deja de tener características larvales y desarrolla estructuras propias del adulto. Por lo general, los *estadios larval* y *adulto* presentan caracteres corporales distintos y no compiten por los mismos recursos. Un ejemplo de esto se observa en la metamorfosis de los anfibios [FIG. 137].

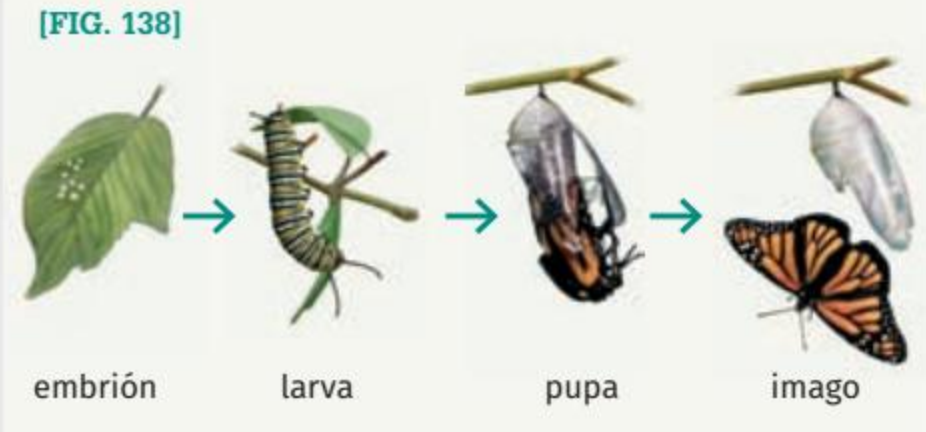
[FIG. 137]

En el caso del sapo, las **larvas** presentan características corporales típicas de un animal adaptado a la vida acuática, como branquias, cola larga similar a una aleta caudal, etcétera. Como consecuencia de la metamorfosis, el animal desarrolla miembros anteriores y posteriores, pulmones, pierde las branquias y se le acorta la cola, entre otras modificaciones. Esto permite que el sapo pase de habitar un ambiente marino a uno aeroterrestre.

En los insectos, la metamorfosis puede darse de dos maneras distintas. Según si este proceso se lleva a cabo de forma **completa** o **incompleta**, se pueden distinguir dos categorías de insectos: *holometábolos* y *hemimetábolos* respectivamente.

En el caso de los **insectos holometábolos**, el desarrollo presenta cuatro estadios bien diferenciados: *embrión*, *larva*, *pupa* e *imago* (adulto). Las mariposas pertenecen a este grupo de insectos [FIG. 138].

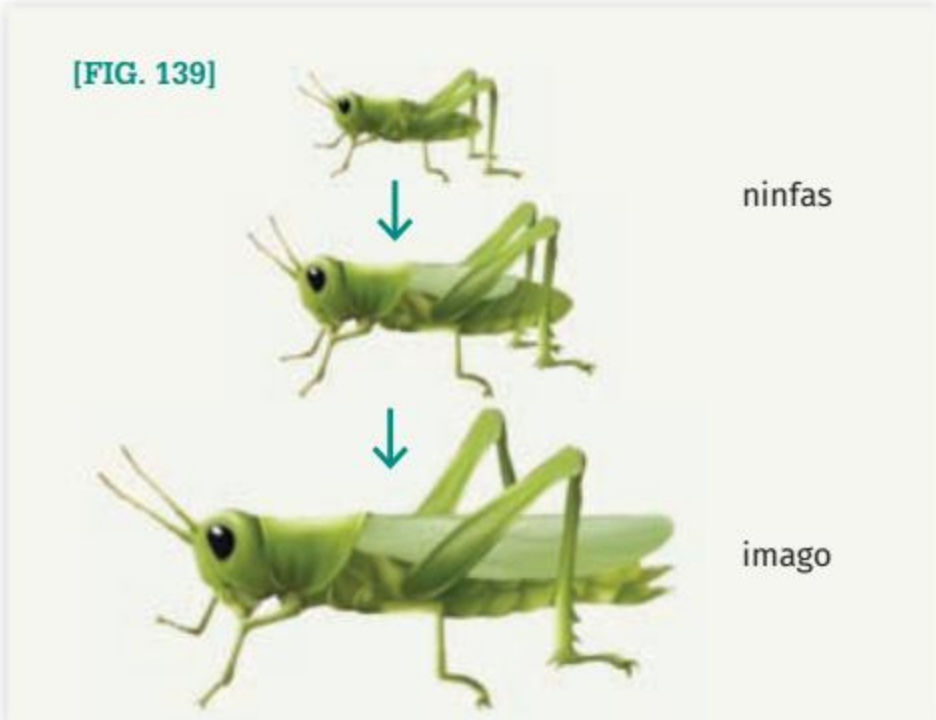
[FIG. 138]



En los **insectos hemimetábolos**, el desarrollo presenta solamente tres etapas claras: *embrión*, *ninfa* e *imago* (adulto). Este tipo de metamorfosis implica cambios graduales y carece de la etapa de pupa. La ninfa a menudo se parece al adulto, presenta ojos compuestos y patas desarrolladas; además tiene rudimentos de alas cuyo desarrollo se completa en el estado adulto. Además, la ninfa no presenta órganos sexuales maduros, y por lo tanto estos no son funcionales. Los saltamontes pertenecen a este grupo de insectos [FIG. 139].

La metamorfosis suele desencadenarse como respuesta a estímulos hormonales, y además es un proceso sensible a la presencia de compuestos químicos en el medio.

[FIG. 139]



Ciencia actual

Incubadora avícola

Las aves incuban sus huevos con su cuerpo hasta que eclosionan. Para cubrir las demandas de la industria avícola, se desarrollaron incubadoras que imitan los parámetros de temperatura, humedad, ventilación y movimientos realizados por un ave durante la incubación. Las incubadoras mantienen un control continuo y automatizado de estos parámetros.

Guía de estudio

1. ¿En qué se diferencian un vivíparo de un ovovivíparo? ¿Y un ovulíparo de un ovíparo?

2. ¿Qué es la metamorfosis? Nombren al menos dos ejemplos.

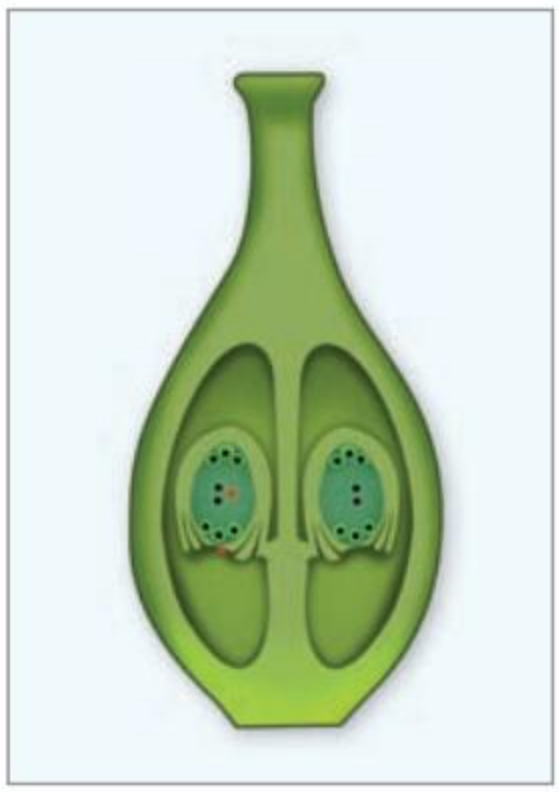
Experiencia en acción y...

La disección de la flor y sus partes reproductivas

Las plantas se pueden reproducir de manera sexual y asexual. Aquellas que presentan flor se reproducen sexualmente, y en una misma estructura presentan las partes masculinas (androceo) y femeninas (gineceo). A continuación, podrán realizar un experimento donde observarán las distintas estructuras reproductivas y algunas células reproductivas.

Materiales

- Flor (*Hibiscus* o rosa china)
- Lupa
- Agujas de disección o bisturí



Procedimiento

a. Escojan una flor con hojas grandes, de manera que sus componentes sean visibles a simple vista. Una buena alternativa es la rosa china.

b. Separen cuidadosamente de la flor los sépalos y los pétalos.

c. Retiren los estambres del gineceo.

d. Realicen un corte longitudinal a la altura del ovario utilizando una aguja de disección o bisturí.

e. Con la lupa observen los óvulos.

Observaciones y conclusiones

1. ¿Qué función se encuentra vinculada con la flor?
2. ¿Cuáles de los órganos observados están asociados a la reproducción femenina y masculina?
3. ¿Qué función cumplen los granos de polen? ¿Todas las flores presentan anteras con polen?
4. ¿Cómo hacen las plantas para evitar la autofecundación? ¿Qué factores externos requieren?

Realicen una búsqueda de información para profundizar esta pregunta.

...revisión final.

- **Lean el siguiente texto y resuelvan las actividades.**

Tres amigos, Octavio, Francisco y Tomás, tienen un examen de biología la semana que viene. Como están cansados de estudiar en sus casas, deciden ir a un parque cercano al colegio para poner en práctica los conceptos teóricos que han aprendido. Una vez que llegan al parque, observan que hay gran variedad de plantas (con y sin flor) pero además reconocen numerosos insectos, anfibios y aves que se encuentran rodeando un gran lago dentro del parque. Se sientan en un banco cercano al cuerpo de agua y resuelven la ejercitación que el profesor les entregó para practicar para la prueba...

1. Marquen con un ✓ las características que poseen los siguientes seres vivos: lombriz (L), escarabajo (E), sapo (S) y perro (P). Tengan en consideración que una misma característica puede corresponder a más de un organismo.

L	E	S	P	
○	○	○	○	ovíparo
○	○	○	○	vivíparo
○	○	○	○	ovovivíparo
○	○	○	○	ovulíparo
○	○	○	○	fecundación interna
○	○	○	○	fecundación externa

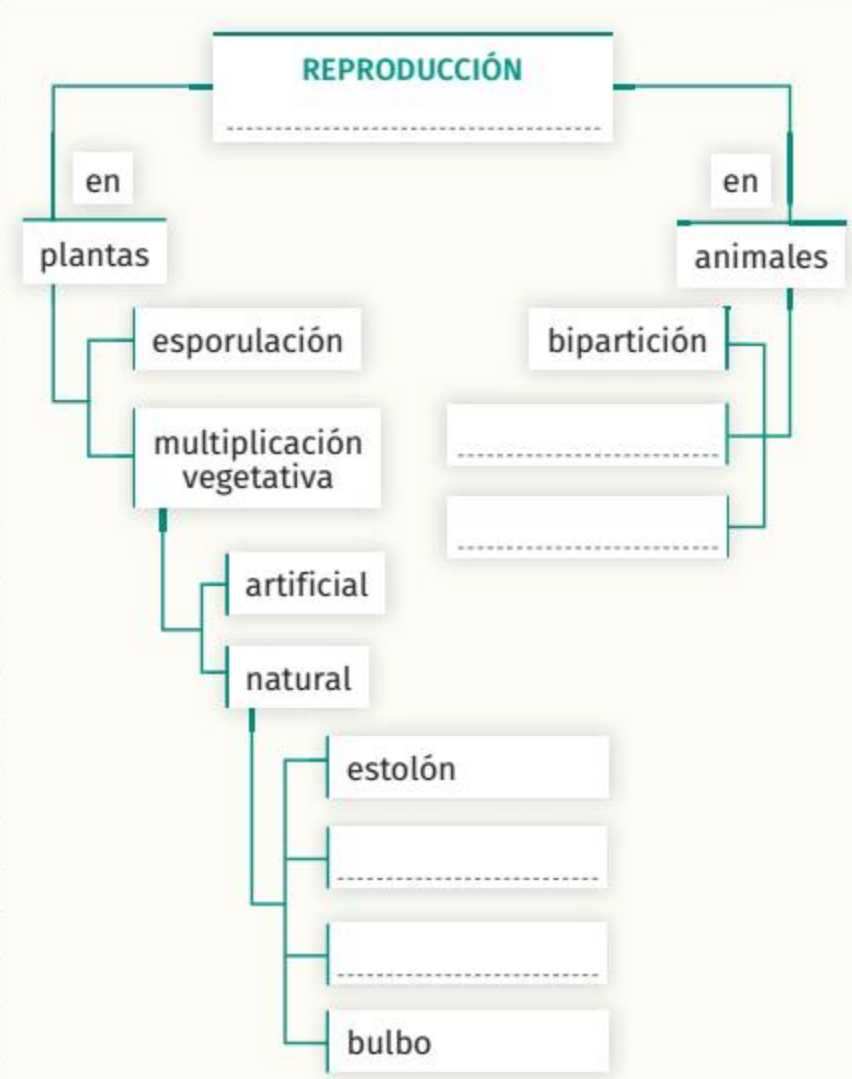
2. Unan con flechas a qué tipo de reproducción (sexual, asexual o ambas) corresponden las siguientes situaciones.

	Se produce en la mayoría de los organismos unicelulares.
sexual	Genera variabilidad genética en la especie.
	Presente en las plantas sin flor.
asexual	Requiere menor gasto de energía.
	Se genera en la mayoría de los organismos complejos.
ambas	La descendencia es diferente de los progenitores.
	Requiere de un único progenitor.

3. Determinen si las siguientes afirmaciones son verdaderas (V) o falsas (F).

☐ **a.** En el desarrollo indirecto el organismo recién nacido es muy semejante al adulto.
☐ **b.** Las plantas se pueden reproducir sexual o asexualmente.
☐ **c.** Un organismo hermafrodita presenta tanto las estructuras reproductivas femeninas como las masculinas.
☐ **d.** El ser humano es un animal vivíparo.

4. Completen los espacios faltantes con los términos correspondientes.



5. Marquen con un ✓ la opción correcta que complete la siguiente afirmación: "La fecundación denominada anisogámica es aquella en la que...

○ **a.** las gametas femeninas y masculinas son diferentes en tamaño y estructura".
○ **b.** las gametas son idénticas respecto al tamaño y la estructura".
○ **c.** las células sexuales son muy distintas entre sí: una gameta es grande e inmóvil y la otra pequeña y móvil".

Capítulo 07

La reproducción humana

La reproducción no es una función vital para los seres vivos, pero sin ella las especies no podrían perpetuarse. Individuos de sexo contrario de la misma especie presentan órganos sexuales encargados de producir gametas, que luego de fecundarse dan origen al nuevo individuo. La sexualidad humana es un comportamiento complejo, que no se encuentra limitado a la función reproductiva, sino que se asocia a situaciones de placer y bienestar.

Secuencia de contenidos:

- Los ciclos de reproducción
- El desarrollo sexual en el ser humano
- El sistema reproductor en el ser humano
- El desarrollo embrionario en el ser humano
- La sexualidad y la salud sexual
- La reproducción humana y la tecnología

- ¿Una mujer puede quedar embarazada en cualquier momento de su ciclo menstrual?
- ¿La reproducción es un proceso biológico que puede ocurrir durante toda la vida de la mujer? ¿Y del hombre?
- ¿Cómo creen que se produce el crecimiento de los bebés? ¿Qué cambios físicos se verán involucrados en ese proceso?
- ¿Les parece que todos los animales presentan un desarrollo embrionario similar al de los humanos?

Los ciclos de reproducción

Casi todos los animales se reproducen de manera sexual. Este mecanismo requiere de la fusión de dos gametas de distinto sexo. En los sistemas reproductores de hembras de mamíferos existen dos ciclos: ciclos menstruales, en primates, y ciclos estrales, en el resto de los mamíferos. Los ciclos reproductores están asociados a cambios en el comportamiento. Veamos...

Reproducción en animales

A excepción de unas pocas especies, la gran mayoría de los **animales** se reproducen **sexualmente**. Esto implica que las células sexuales o **gametas**, producidas en los órganos sexuales, se deben fusionar para dar origen a un nuevo organismo.

Los *oocitos* son las células sexuales femeninas y su maduración puede darse de dos maneras distintas según la especie. Este proceso ocurre de forma cíclica y se reconocen dos tipos de ciclos: *menstrual* y *estral*.

En los primates antropoides, como el gorila, el chimpancé y el ser humano, la maduración del oocito se da mediante un **ciclo menstrual**, en el que las células sexuales maduran regularmente y, si no son fecundadas, se produce al final del ciclo la liberación de flujo sanguíneo desprendido del endometrio uterino. Además, se producen cambios inducidos por hormonas sexuales, que preparan el útero para una posible fecundación. La duración de este ciclo depende de cada especie y de cada organismo, por ejemplo en el ser humano suele extenderse a 28 días, mientras que en el gorila alcanza aproximadamente entre 30 y 39 días [FIG. 140].

[FIG. 140]
La gestación de los gorilas es de ocho meses y medio.

Además algunas especies de murciélagos y musarañas presentan ciclos menstruales. Sin embargo, en el resto de los mamíferos el desarrollo del oocito se da por medio de un **ciclo estral**. Este ciclo es un proceso reproductivo que ocurre en los ovarios en intervalos de tiempo cíclicos como consecuencia de variaciones en la regulación hormonal. Se divide en varias etapas, y una de ellas corresponde al **estro** o **celo**.

Durante este período las hembras presentan ciertos comportamientos (inducidos por hormonas sexuales) que indican que se encuentran *receptivas al macho* para el apareamiento. Además, los oocitos están disponibles para ser fecundados. En esta etapa *fértil* ocurre una *expulsión de sangre*, producto de la ruptura de los vasos sanguíneos vaginales (y no del endometrio como sucede en el ciclo menstrual). Si durante el celo se produce la fecundación, el cuerpo se *prepara para la gestación* y el útero se dispone para alojar a los posibles embriones, al igual que en el ciclo menstrual.

En el siguiente cuadro se resumen las diferencias entre ambos ciclos reproductivos.

	CICLO ESTRAL	CICLO MENSTRUAL
TIPO DE ANIMAL	Mayoría de mamíferos.	Primate antropoide.
FORMACIÓN DE OOCITO	Durante el celo o unas horas después.	En la mitad del ciclo.
FECUNDACIÓN	Durante el celo generalmente.	En la mitad del ciclo.
ACEPTACIÓN DEL MACHO	Solo durante el celo o estro.	En cualquier momento del ciclo.

La duración y la cantidad de ciclos que tenga un individuo dependen de la especie. En las gallinas la ovulación se produce casi a diario, mientras que las perras presentan uno o dos ciclos estrales por año [FIG. 141]. En algunos casos particulares, como ocurre en ratones, el ciclo estral de las hembras se altera por sustancias liberadas en la orina de los machos. Las hembras jóvenes alcanzan la madurez sexual temprana si son expuestas a estas sustancias. En otras especies, como los camellos, la ovulación se induce por hormonas sexuales masculinas.

[FIG. 141]
El celo de las perras puede durar entre 5 y 15 días.

Guía de estudio

1. ¿Qué factores influyen en los ciclos reproductivos?

2. ¿Qué características tienen en común los ciclos menstruales y estrales?

Palabras clave: madurez sexual **hormona** ***caracter sexual***

El desarrollo sexual en el ser humano

Los órganos reproductores de los seres humanos maduran a partir de la pubertad y permiten que el individuo sea capaz de reproducirse. Esta madurez sexual implica la formación de gametas y el desarrollo de caracteres sexuales secundarios propios de cada sexo. Estos cambios se producen como consecuencia del aumento de la actividad de las hormonas sexuales. Veamos...

Caracteres sexuales

Durante el desarrollo embrionario, los seres humanos adquieren órganos sexuales considerados **caracteres sexuales primarios**. Durante la *pubertad*, etapa comprendida entre los 10 y 14 años, el individuo comienza la **madurez sexual**. Por lo tanto, a partir de este período los órganos reproductores sufren cambios que les permiten concretar la función reproductiva.

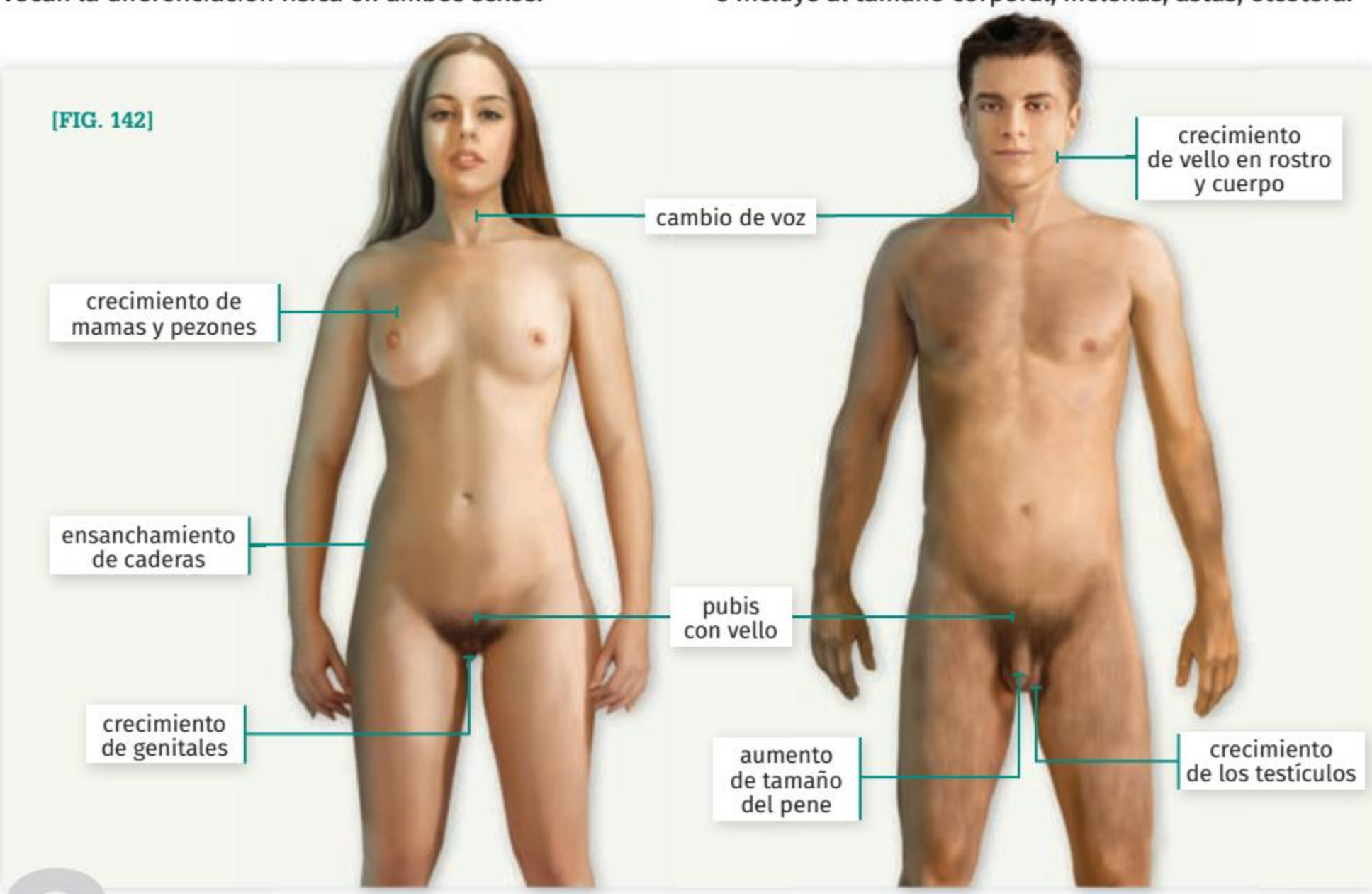
Los órganos sexuales son los **ovarios** y los **testículos** y se encargan de producir gametas denominadas **oocitos** y **espermatozoides**, respectivamente. Además, ocurre un aumento en la secreción de *hormonas sexuales* que provocan la diferenciación física en ambos sexos.

El conjunto de características físicas externas propias de cada sexo se denomina **caracteres sexuales secundarios**. En las mujeres, estos cambios se manifiestan con el desarrollo y aumento de tamaño de las mamas, el ensanchamiento de los muslos y las caderas, el crecimiento del vello púbico y de otras partes del cuerpo, y la *primera menstruación* o *menarca*.

En los hombres, aparecen las *primeras eyaculaciones*, que se ven acompañadas del ensanchamiento de la espalda, el aumento de la musculatura y la aparición de vello en el rostro, tórax y pubis. Además se produce el crecimiento de los testículos, el aumento en tamaño y el oscurecimiento del pene, entre otros [FIG. 142].

Los órganos sexuales comienzan a producir gametas y hormonas sexuales en hombres y mujeres. La acción de estas hormonas conduce a las modificaciones físicas que permiten diferenciar los sexos. Además las hormonas sexuales influyen en la conducta, por lo que generan repercusiones a nivel psicológico.

Los caracteres sexuales secundarios no son exclusivos de los seres humanos. Cuando las diferencias entre sexos son muy marcadas se denomina *dimorfismo sexual*, e incluye al tamaño corporal, melenas, astas, etcétera.



Cambios hormonales

En los seres humanos el desarrollo de los caracteres sexuales secundarios se da como consecuencia del aumento de la actividad de las **hormonas sexuales**.

Las hormonas envían información y estimulan a los órganos de los sistemas reproductores de manera que inicien sus funciones: *producción de oocitos y espermatozoides* (según el sexo del individuo) y *modificación de los órganos femeninos* para alojar al embrión. Las principales hormonas sexuales son **testosterona** en los hombres, y **estrógeno** y **progesterona** en las mujeres.

Ciclo menstrual

En la pubertad, las mujeres adquieren los caracteres sexuales secundarios como consecuencia de los cambios hormonales, que además conducen al desarrollo de los **ciclos menstruales**. Estos períodos regulares están asociados con la formación de gametas y con las modificaciones temporales de la pared del útero.

Por cada ciclo menstrual el ovario produce un **oocito** (gameta o célula sexual femenina), que es liberado hacia la trompa de Falopio alrededor del día 14 contando desde el primer día de menstruación.

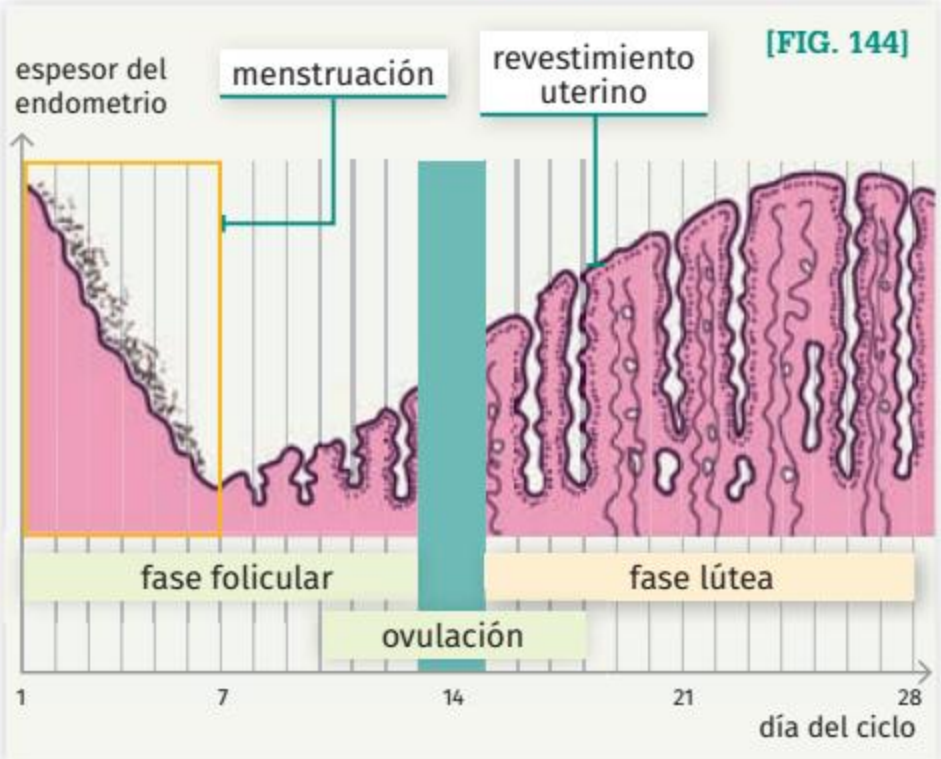
El *ciclo menstrual* se divide en dos fases: **folicular** y **lútea**, cada una de ellas presenta una duración de 14 días aproximadamente [FIG. 143]. Estas fases están reguladas por diversas hormonas: *foliculoestimulante* (FSH), *luteinizante* (LH), *estrógeno* y *progesterona*. Al comenzar el ciclo, los niveles hormonales son bajos.

En la **fase folicular** las hormonas **LH** y **FSH** se encargan de estimular el desarrollo y la maduración del **folículo** del ovario que contiene al **oocito**.

[FIG. 143]

El *folículo* produce **estrógeno**, que provoca un aumento de LH y estimula la formación del tejido de la pared del útero llamado **endometrio** [FIG. 144].

[FIG. 144]



El ciclo comienza con el primer día del flujo menstrual, causado por el desprendimiento del endometrio. Este suceso ocurre en simultáneo al inicio de la fase folicular. El incremento de los niveles de estrógeno producido por el folículo en dicha fase conduce a un aumento súbito de LH. Esto produce la liberación del oocito del folículo, proceso conocido como **ovulación**, y de esta forma finaliza la fase folicular.

Luego de la ovulación comienza la **fase lútea**, en la cual el folículo se convierte en **cuerpo lúteo** y secreta la hormona **progesterona**, que prepara el endometrio para la implantación e inhibe el desarrollo de los folículos. En esa etapa los niveles de FSH y LH decaen.

En la trompa de Falopio el oocito madura a *óvulo* si ocurre la fecundación, pero si no sucede, la producción de hormonas decae, el oocito muere dos o tres días después de la ovulación y el endometrio se desprende. Al producirse el desprendimiento se genera la eliminación de la sangre que lo irriga, este proceso se denomina **menstruación**.

Guía de estudio

1. Diferencien caracteres sexuales secundarios y primarios.
2. ¿Qué factores son responsables de la aparición de los caracteres sexuales secundarios?
3. ¿Qué hormonas están involucradas en el ciclo menstrual?

Palabras **clave:** *órganos internos* externos trompa de Falopio

El sistema reproductor en el ser humano

Los sistemas reproductores femenino y masculino están formados por distintos órganos, propios de cada sexo, que se organizan en internos y externos. Ambos sistemas se encargan de producir las células sexuales. Además, el sistema femenino interviene en la formación y el desarrollo del cigoto originado a partir de la fusión de las gametas. Veamos...

Características generales

La reproducción de los seres humanos, como ocurre en la mayoría de los mamíferos, se caracteriza por presentar fecundación *interna*, desarrollo *vivíparo* y *leche materna* (producida en las mamas) con la cual se alimenta a las crías.

Las personas se reproducen *sexualmente* y la formación del nuevo individuo ocurre mediante la fusión de las dos células sexuales: **oocito** y **espermatozoide**. Estas gametas son generadas por los **ovarios** y los **testículos**, que corresponden a las *gónadas* u órganos sexuales, los cuales constituyen los sistemas reproductores femenino y masculino de los seres humanos.

Sistema reproductor *femenino*

El **sistema reproductor femenino** es el encargado de producir un **oocito** cada 28 días y además participa en el desarrollo del nuevo individuo. Los órganos que lo constituyen se localizan en la región de la pelvis y se agrupan en externos e internos.

El conjunto de los *órganos externos* del sistema reproductor femenino se denomina **vulva** y está formado por el **clítoris**, el **orificio vaginal** que conecta a la vagina con el exterior y por pliegues de piel llamados **labios**.

El clítoris es un pequeño órgano cilíndrico de gran sensibilidad, responsable de la sensación de placer sexual, que alcanza su máximo en el *orgasmo*. Bajo la influencia de estímulos, el clítoris se irriga de sangre y se producen contracciones musculares rítmicas, proceso que ocurre de forma similar en el pene del hombre.

Además existen varias glándulas, que luego de la estimulación sexual secretan líquidos o flujo vaginal que lubrica los labios y las paredes de la vagina.

Los órganos internos son los **ovarios**, las **trompas de Falopio**, el útero y la **vagina** [FIG. 145].

[FIG. 145] Estructuras del sistema reproductor femenino

[1] **Ovarios.** Gónadas encargadas de sintetizar los *oocitos*. Allí se producen y liberan las *hormonas sexuales femeninas*, como el *estrógeno* y la *progesterona*, reguladoras del ciclo menstrual y encargadas de determinar los *caracteres secundarios*.

[2] **Trompas de Falopio.** Son dos conductos que comunican los dos *ovarios* con el útero. También se llaman *oviductos*, debido a que reciben el oocito producido por la mujer y los espermatozoides provenientes de la eyaculación. Es el lugar donde ocurre la *fecundación* y la implantación del *cigoto*.

[3] **Útero.** Órgano muscular hueco encargado de albergar al *feto* durante el embarazo (gestación). Se une con la *vagina* mediante un conducto denominado *cuello del útero*. La pared interna presenta un tejido llamado *endometrio* constituido por numerosos vasos sanguíneos y glándulas.

[4] **Vagina.** C*onducto elástico* que comunica el útero con el exterior. Es el órgano por donde se produce la penetración del pene durante el acto sexual, y el canal de salida del bebé durante el *parto*.

Sistema reproductor *masculino*

En los hombres, el sistema reproductor también se encuentra ubicado en la región de la pelvis y se encarga de producir millones de espermatozoides a diario.

Los órganos que lo constituyen se agrupan y organizan en órganos *internos* y *externos* [FIG. 146].

Los órganos ubicados dentro del cuerpo masculino son el **epidídimo**, los **conductos deferentes**, las **glándulas accesorias** y la **uretra**. Las **vesículas seminales**, la **próstata** y las **glándulas bulbouretrales** constituyen las glándulas asociadas y participan de la formación del *líquido seminal*.*

En el exterior del cuerpo se encuentran los **testículos** y el **pene**. Los testículos están contenidos en una bolsa cutánea denominada **escroto**, cuya temperatura es 3 °C menor a la corporal. Como consecuencia de este descenso de temperatura los espermatozoides pueden madurar normalmente.

líquido seminal. Fluido que contiene sustancias que nutren y favorecen el desplazamiento de los espermatozoides y ayuda a neutralizar la acidez de la vagina.

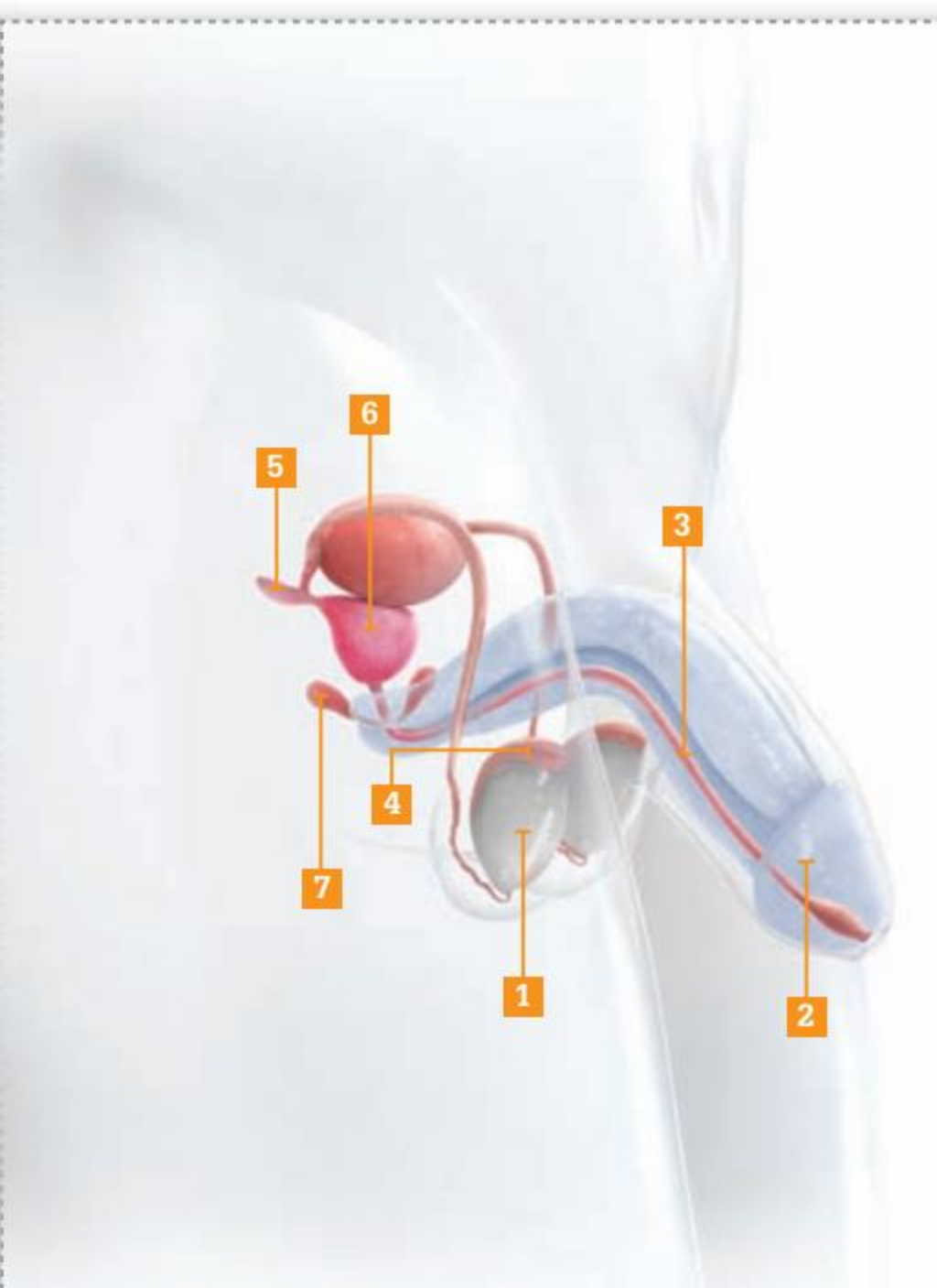
Etapas de la fecundación

Cuando el espermatozoide se encuentra con el oocito, debe penetrar a un conjunto de células que rodean a la gameta femenina: la **corona radiada**.

Luego llega hasta la última capa nutritiva y protectora del oocito, denominada **zona pelúcida**, compuesta por *glicoproteínas* que activan a los espermatozoides. Esta activación consta de la liberación de enzimas que permiten a los espermatozoides llegar hasta la membrana plasmática del oocito. Una vez que el espermatozoide impacta sobre la gameta femenina, la zona se vuelve impermeable a otros espermatozoides y la membrana plasmática de la cabeza del espermatozoide se fusiona con la membrana del oocito.

Guía de estudio

1. ¿Cuáles son las funciones de los ovarios y los testículos?
2. ¿Qué importancia presenta el líquido seminal para los espermatozoides?
3. ¿En qué estructura se produce la gestación?



[FIG. 146] Estructuras del sistema reproductor masculino

[1] **Testículos.** Glándulas, formadas por *túbulos seminíferos* que producen los espermatozoides. Los testículos están contenidos en una bolsa cutánea llamada *escroto*. Además, las gónadas masculinas producen *testosterona* que estimula la formación de las gametas y determina los caracteres masculinos secundarios.

[2] **Pene.** Órgano cilíndrico cubierto por una piel muy fina que forma un repliegue conocido como *prepucio*. Presenta un extremo abultado y sensible llamado *glande*. Su interior está formado por un *tejido esponjoso y vascularizado* que se llena de sangre cuando el hombre se excita y permite que el pene entre en erección.

[3] **Uretra.** Conducto que se extiende a lo largo del pene y que transporta al exterior la orina y el *semen* o *esperma* durante la eyaculación.

[4] **Epidídimos.** Dos conductos enrollados ubicados sobre los testículos. Allí se encuentran los espermatozoides, que son almacenados hasta que adquieran movilidad. Comunican los testículos con los *conductos deferentes* que transportan las gametas hacia la uretra.

[5] **Vesículas seminales.** Secretan sustancias nutritivas para los espermatozoides. Junto con los conductos deferentes, vuelcan su contenido en los *conductos eyaculadores*, que finalizan en la uretra.

[6] **Próstata.** Glándula productora de una sustancia nutritiva y protectora para los espermatozoides.

[7] **Glándulas bulbouretrales** o **de Cowper.** Producen un fluido lubricante que facilita la circulación del *semen* (líquido blanquecino formado por los espermatozoides y líquido seminal).

Palabras **clave:** **embrión** *feto* *cigoto*

El desarrollo embrionario en el ser humano

El cigoto o huevo se genera en las trompas de Falopio luego de la fusión de las gametas sexuales, por medio de la fecundación. El período de gestación o embarazo se lleva a cabo en el útero y abarca los nueve meses de desarrollo del nuevo individuo. En el noveno mes ocurre el parto o nacimiento del bebé y el alumbramiento o expulsión de la placenta. Veamos...

Fecundación y desarrollo

El **desarrollo embrionario** es el período durante el cual se *forma* y se *desarrolla un nuevo individuo* y tiene una duración aproximada de nueve meses.

Este proceso involucra cuatro etapas: la *fecundación* o fusión de las gametas; la *gestación* o *embarazo*, etapa que comprende el desarrollo del nuevo individuo; el *parto*, que ocurre cuando el organismo nace y es expulsado del interior materno al exterior, y el *alumbramiento,* que corresponde a la liberación de la placenta.

Durante el acto sexual el hombre puede introducir entre 300 y 400 millones de espermatozoides en el sistema reproductor femenino.

Luego de que las gametas masculinas ingresan a la vagina, sufren una serie de transformaciones y recién entonces adquieren *capacidad fecundante*.

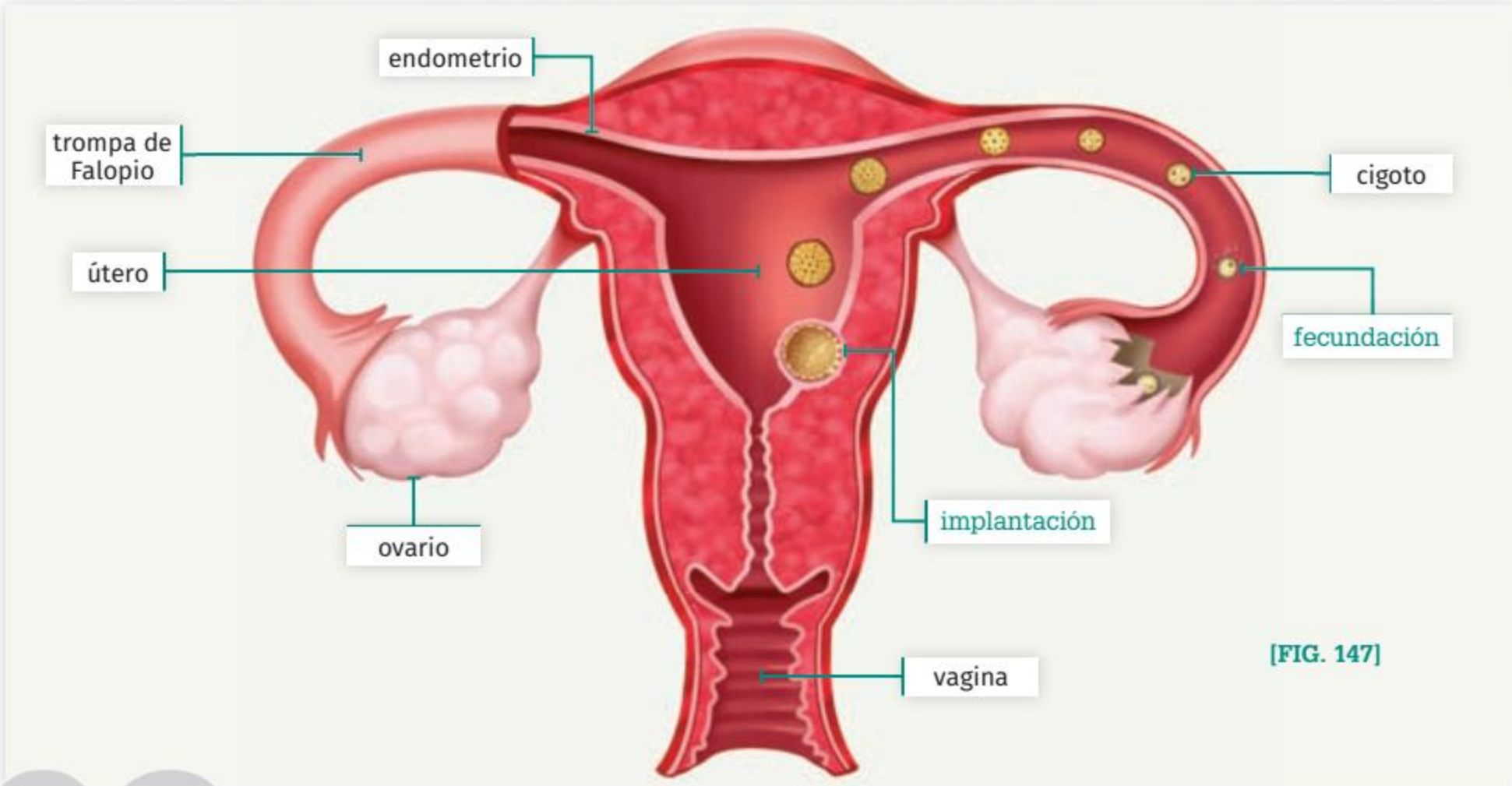
Una mujer en edad reproductiva que no se encuentra embarazada suele generar un oocito por mes, expulsado por uno de los ovarios a la trompa de Falopio. El trayecto desde el ovario al útero lleva alrededor de tres días y en ese recorrido puede ocurrir la *unión del oocito con un espermatozoide* proveniente del semen, proceso denominado **fecundación**. Como consecuencia de la unión se genera el **cigoto** o **huevo**, que desciende por la trompa impulsado por movimientos musculares y por los cilios que la tapizan. A partir de las 30 horas posteriores a la fecundación, el *cigoto* se *divide* sucesivamente hasta que a la semana se compone de 60 células y forma una fase embrionaria llamada **blastocisto**.

Una vez que el blastocisto llega al útero ocurre el proceso de **implantación**, es decir se adhiere al **endometrio** y el *ciclo menstrual se interrumpe* [FIG. 147].

El oocito puede ser fecundado hasta 24 horas después de la ovulación, y los espermatozoides pueden vivir dentro del cuerpo femenino hasta tres días después de la relación sexual.

http://goo.gl/V4tf5P

Escaneen el código QR y observen el video llamado "De la concepción al nacimiento".



[FIG. 147]

Gestación y desarrollo

Una vez producida la implantación del blastocisto en la pared del útero (endometrio) comienza la **gestación** o **embarazo**, que tiene una duración de nueve meses.

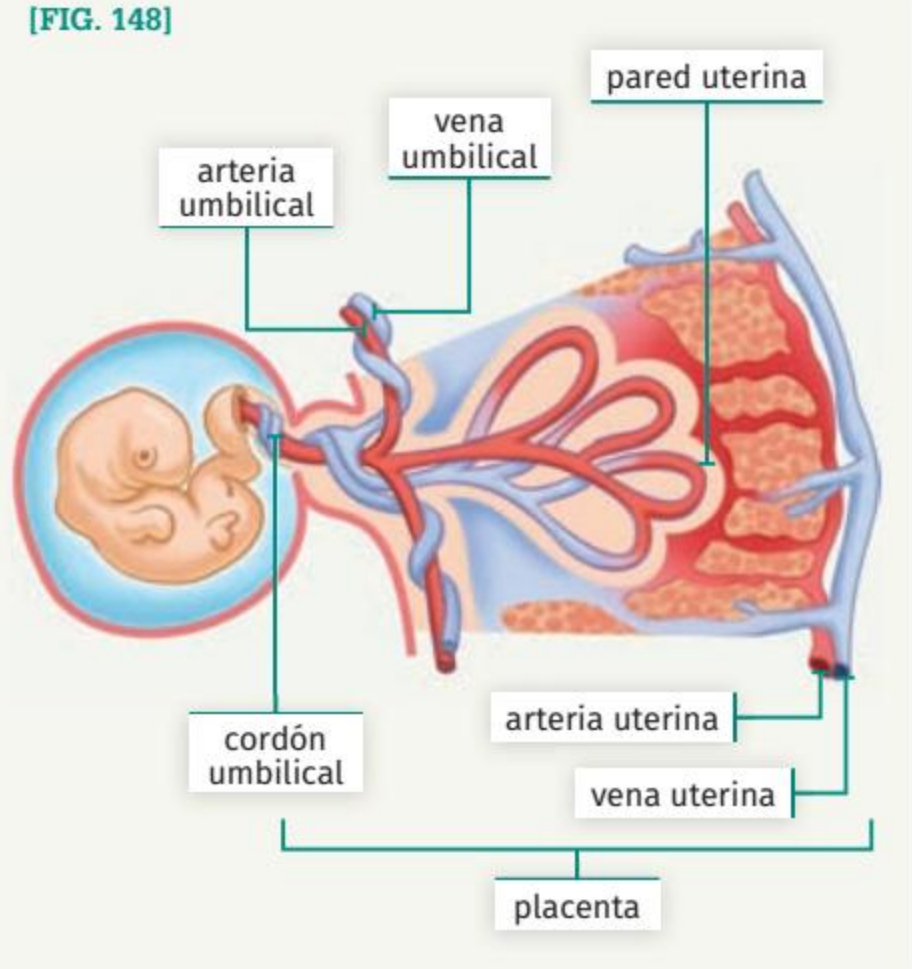
En el período de gestación, el embrión crece y se desarrolla dentro del cuerpo materno en una región denominada **cavidad amniótica**. Además se encuentra rodeado por una membrana denominada **saco amniótico** o **amnios** y por una sustancia conocida como **líquido amniótico**.

Por fuera del amnios se encuentra el **corion**, que rodea todas las estructuras y permite el intercambio gaseoso. Las funciones de estas tres estructuras en relación con el embrión son:

- protección frente a los cambios de temperatura;
- amortiguación de los movimientos maternos y externos;
- prevención de la desecación o deshidratación.

Posteriormente, el individuo en gestación desarrolla el **cordón umbilical** [FIG. 148], estructura mediante la cual intercambia sustancias con la madre, como el oxígeno, los nutrientes y los desechos.

[FIG. 148]



A su vez, el cordón umbilical se encuentra conectado con un tejido denominado **placenta**, término que deriva del latín y significa 'torta plana', ya que hace referencia a la forma que presenta. Este tejido se forma a partir de la interacción del revestimiento interno del útero con el corion extraembrionario. Los intercambios se producen por medio de difusión simple, facilitada, transporte activo y pasivo.

El embarazo transcurre en nueve meses que se pueden dividir en tres etapas de igual duración.

PRIMER TRIMESTRE

- Se forman los primeros vasos sanguíneos.
- El corazón comienza a latir.
- Se inicia el desarrollo de extremidades y esbozos de ojos, nariz, oídos y boca.
- Comienzan a diferenciarse algunos órganos.

SEGUNDO TRIMESTRE

- Se completa el desarrollo de la cara, extremidades y varios órganos.
- Aparece un vello fino que cubre todo el cuerpo, que será reemplazado por pelo en la cabeza y en las cejas.
- El cuerpo se cubre con una capa de grasa que lo protege.
- La madre puede sentir los movimientos del feto.

TERCER TRIMESTRE

- Se completa el desarrollo de los órganos (pulmones listos para respirar en el exterior).
- El sistema nervioso está casi maduro.
- El feto aumenta de peso.
- La piel se hace más gruesa y puede abrir los ojos.

Parto y alumbramiento

El **parto**, proceso por el cual el bebé sale a través de la vagina, está determinado por señales mecánicas y químicas u hormonales (progesterona y estrógenos).

El parto comienza con leves contracciones rítmicas de las paredes musculares del útero, que con el paso del tiempo se intensifican hasta empujar al feto hacia el exterior. Estas contracciones producen la dilatación del cuello del útero y la ruptura del corion y el amnios que permite la salida del líquido amniótico. Generalmente se conoce este último proceso como "ruptura de bolsa".

Luego de la salida del bebé ocurre el **alumbramiento** o *expulsión de la placenta*. Este proceso también se produce como consecuencia de las contracciones de los músculos del útero.

Guía de estudio

1. ¿Dónde ocurren los procesos de fecundación y de implantación? ¿En qué se diferencian?

2. ¿Por qué se considera que la placenta es un órgano efímero? ¿Se desarrolla en todas las especies de animales?

La sexualidad y la salud sexual

La sexualidad es una construcción social que tiene en cuenta las características anatómicas y psicológicas de las personas. Recibir acceso a una Educación Sexual Integral es un derecho amparado por ley. Los métodos anticonceptivos evitan que se produzca el embarazo, además los preservativos evitan el contagio de infecciones de transmisión sexual (ITS). Veamos...

Sexualidad humana

La **sexualidad** suele definirse a partir de rasgos y aspectos físicos vinculados con la reproducción. Sin embargo, en los seres humanos comprende un complejo comportamiento psicológico expresado por cada individuo inmerso en un determinado contexto sociocultural.

La sexualidad no solo incluye y contempla la función reproductiva y la condición biológica que determina el sexo, sino que requiere de una búsqueda personal, de la exploración del cuerpo, asociadas a vínculos con otras personas y situaciones de bienestar, independientemente de la función reproductiva.

Además, las relaciones sexuales deben ser consentidas, sin imposiciones violentas o situaciones de abuso. Los niños no pueden ser objeto de prácticas sexuales propiciadas por adultos.

La **Convención sobre los Derechos del Niño** señala que niños y adolescentes tienen derecho a decidir, participar y opinar en todos los asuntos que los involucran, entre ellos, la salud sexual y reproductiva [FIG. 149].

En Argentina existen dos leyes que se refieren a los *derechos* vinculados a la sexualidad. En el año 2008 el Ministerio de Educación de la Nación creó el **Programa Nacional de Educación Sexual Integral**, que establece la responsabilidad del Estado de hacer cumplir el derecho de niños y adolescentes a recibir **Educación Sexual Integral**.

La sexualidad puede entenderse de diversas maneras según la época, las etnias y las tradiciones culturales dominantes en cada sociedad. Por lo tanto es importante considerar a la sexualidad como una *construcción social* que se manifiesta en cada etapa de la vida de los seres humanos.

Todos estos factores convergen en la identidad que cada individuo construye influenciado por sus sentimientos y emociones. De este modo, las cuestiones inherentes a la sexualidad involucran interacciones entre las personas, que muchas veces son condicionadas por roles preestablecidos o estereotipados.

Es importante considerar que si bien *sexo* y *sexualidad* son utilizados como sinónimos, refieren a términos diferentes. El **sexo** se encuentra asociado a la *genitalidad*, es decir que se define a partir de los *caracteres sexuales primarios* que permiten visualizar los rasgos distintivos vinculados con los sistemas reproductores, manifestados desde el nacimiento a partir del material genético contenido dentro de las células sexuales. En cambio, la **sexualidad** es un concepto más amplio y abarca las características anatómicas y psicológicas de cada persona.

Otro concepto vinculado a la sexualidad es el **género**. En distintos ámbitos se reproducen modelos que condicionan la sexualidad, estereotipos acerca de cómo debe ser un varón y cómo debe ser una mujer. En estos estereotipos se limita lo que deben o pueden hacer las personas de acuerdo con su sexo, y brindan una imagen simplificada de los seres humanos en lugar de considerar sus particularidades. Además orientan los juicios, las emociones, las valoraciones y la manera de actuar. Esto conduce a situaciones de desigualdad y discriminación relacionadas al género.

La educación sexual no solo es válida para promover la toma de decisiones conscientes que contemplen la salud y el cuidado del cuerpo, sino que también refiere a la procreación de una manera responsable. Si bien la maternidad y la paternidad son una posibilidad biológica, durante la adolescencia aún se continúa con el desarrollo, por lo que se recomienda evitar los embarazos a esta edad.

[FIG. 149] Durante la adolescencia ocurren cambios emocionales que son típicos de esta edad.

https://goo.gl/9c2MCY

Escaneen el código QR y aprendan un poco más acerca de los cambios en la pubertad.

Métodos anticonceptivos

Muchas veces las personas llevan a cabo relaciones sexuales sin considerar la función reproductiva. Para evitar los posibles embarazos existen diversos **métodos anticonceptivos** que, como su nombre lo indica, impiden que se produzca la fecundación.

Una característica a tener en cuenta es que no todos los métodos son igualmente eficaces ni todos impiden el contagio de enfermedades que se transmiten por vía sexual. Es necesaria la consulta al médico especialista para prevenir enfermedades. Existen dos grandes grupos de métodos: los *naturales* y los *artificiales*. Estos últimos a su vez se dividen en **químicos** u **hormonales**, de **barrera** y **quirúrgicos**. Los métodos naturales son los menos efectivos y consisten en la abstinencia periódica según el *calendario menstrual* y en el *coito interrumpido*, la eyaculación fuera del sistema reproductor femenino.

MÉTODOS ANTICONCEPTIVOS ARTIFICIALES	
MÉTODOS QUÍMICOS U HORMONALES	**EJEMPLOS**
Tratamiento hormonal que impide la ovulación o anula la funcionalidad de los espermatozoides. Se administran como pastillas, parches o inyectables.	**Píldora anticonceptiva.** Tratamientos hormonales que impiden la maduración del folículo y la producción del oocito. **Dispositivo intrauterino (DIU).** Dispositivo interno que actúa como cuerpo extraño y estimula la liberación de hormonas que impiden la fecundación o implantación del embrión. Deben ser colocados en el útero por un ginecólogo.
MÉTODOS DE BARRERA	**EJEMPLOS**
Son los métodos que actúan impidiendo el encuentro del oocito con el espermatozoide. El preservativo es eficaz para evitar la transmisión de infecciones sexuales.	**Preservativo.** Funda de látex que cubre el pene. Se debe colocar antes de la penetración, ya que retiene el semen e impide que ingrese a la vagina. También existen preservativos vaginales. **Diafragma.** Es una cubierta semiesférica de goma con mayor espesor que un preservativo, y es introducido en el interior de la vagina. Combinado con cremas espermicidas, evita el paso de los espermatozoides al útero.
MÉTODOS QUIRÚRGICOS	**EJEMPLOS**
Método irreversible. Mediante el empleo de cirugías se cortan y atan los conductos a través de los cuales se desplazan las células sexuales.	**Vasectomía.** Consiste en seccionar los conductos deferentes para evitar que los espermatozoides salgan de los testículos en la eyaculación. **Ligadura de trompas de Falopio.** El objetivo es bloquear las trompas de Falopio para impedir que el oocito se encuentre con el espermatozoide.

Infecciones de transmisión sexual

En 1998 la Organización Mundial de la Salud (OMS) definió las **infecciones de transmisión sexual** (ITS), al considerar que el término infección hace referencia a que un agente externo ingresó en el organismo pero que aún no se manifestaron los síntomas.

Sin las medidas adecuadas, muchas de las infecciones de transmisión sexual pueden devenir en enfermedades.

Las ITS se clasifican según el *agente externo* que provoque la infección.

- **Hongos.** Los genitales son ambientes favorables para el desarrollo de los hongos. Por ello es frecuente que mujeres y hombres presenten irritación y comezón conocida como **candidiasis**, ocasionada por la levadura *Candida albicans*.
- **Protozoos.** La infección más frecuente es la **tricomoniasis**, causada por *Trichomonas vaginalis*. Los síntomas son irritación vaginal y ardor al momento de orinar.
- **Animales.** La **pediculosis** del pubis, generada por artrópodos llamados *ladillas* que se fijan al vello púbico, se alimentan de sangre y provocan irritación.
- **Bacterias.** La **sífilis** es un ejemplo de este tipo de infección. Comienza con una úlcera indolora que luego genera lesiones que afectan el sistema nervioso.
- **Virus.** El **síndrome de inmunodeficiencia adquirida** (SIDA) causado por el *virus de inmunodeficiencia humana* (VIH) se adquiere por contacto sexual, por vías sanguíneas, por la placenta o la lactancia. Una vez que ingresa, afecta el sistema de defensa del organismo. Actualmente existen tratamientos para frenar el avance de la enfermedad pero aún no hay una cura definitiva.

Prevención de las ITS

A excepción del **preservativo**, los métodos anticonceptivos no previenen el contagio de infecciones de transmisión sexual. Su uso es un requerimiento necesario para impedir el contagio de agentes infecciosos, como hongos, virus y bacterias. En efecto, el preservativo es el mejor método para prevenir el contagio del HIV.

La *eficacia* de este método es del 99 % y se debe a que están realizados con un material no poroso que impide el avance de las secreciones vaginales o del esperma.

Guía de estudio

1. ¿Por qué consideran que la Educación Sexual Integral es un derecho?

2. ¿Existe una única vía de transmisión de las ITS? Justifiquen su respuesta.

La reproducción humana y la tecnología

La tecnología aplicada a la medicina posibilitó numerosos avances asociados con el proceso de fertilidad. Las técnicas de fertilización asistida son muy variadas y se agrupan según su complejidad, en baja y alta. Algunos recursos tecnológicos empleados antes, durante y luego del proceso de parto son las ecografías, los estudios genéticos, las cesáreas, las incubadoras y la fototerapia. Veamos...

Tecnología aplicada a la fecundación y fertilidad

En los últimos años, el avance en la tecnología facilitó en múltiples aspectos la vida cotidiana del ser humano. En el área de la medicina aplicada a la reproducción humana, se han producido importantes desarrollos para permitir la paternidad a aquellas parejas que por diversas razones no podían concebir.

Dentro de esta rama se pueden encontrar técnicas que permiten el proceso de *fecundación* y *fertilidad* vinculadas al *cuidado* y *seguimiento* del individuo en desarrollo.

En la actualidad, muchas parejas que eran consideradas estériles lograron concebir hijos por medio del avance de la ciencia y la tecnología en el campo de la fertilidad humana.

La infertilidad se clasifica en **infertilidad primaria** e **infertilidad secundaria**. En el primer caso, refiere a la incapacidad de una pareja de concebir un hijo luego de un período de un año de actividad sexual sin la utilización de métodos anticonceptivos.

La infertilidad secundaria está presente en parejas que han podido concebir al menos una vez, pero que luego no han podido concretar un embarazo.

Algunos de los factores involucrados en la infertilidad se resumen a continuación:

- deficiencia en la calidad o cantidad de espermatozoides en el semen;
- alteraciones en la erección;
- trastornos en la ovulación;
- bloqueo en las vías genitales que impiden la unión de las gametas;
- problemas en la implantación del cigoto;
- desequilibrios hormonales;
- trastornos autoinmunitarios;
- alteraciones en la maduración de los folículos y liberación de los oocitos.

Para estos casos en los que la fecundación, la implantación y el desarrollo del embrión no se logra de manera espontánea, se emplean técnicas de fecundación asistida. Estas técnicas son muy variadas y se reúnen en dos grandes grupos: de *baja* y de *alta complejidad* [FIG. 150].

[FIG. 150]
Es posible reducir los embarazos múltiples generados por técnicas de fecundación asistida, haciendo un seguimiento de los folículos ováricos antes de la inseminación.

TÉCNICAS DE FECUNDACIÓN ASISTIDA			
BAJA COMPLEJIDAD		ALTA COMPLEJIDAD	
La unión entre el oocito y el espermatozoide se produce dentro de la trompa de Falopio.		La unión del oocito con el espermatozoide tiene lugar en el laboratorio. Se deben extraer previamente las células sexuales de los individuos.	
ESTIMULACIÓN OVÁRICA	INSEMINACIÓN ARTIFICIAL O INTRAUTERINA (IIU)	FECUNDACIÓN IN VITRO (FIV)	INYECCIÓN DE UN ESPERMATOZOIDE DENTRO DE UN OOCITO (ICSI)
Mediante la incorporación de hormonas se logra que la mujer genere varios oocitos a los 14 días del ciclo menstrual, para aumentar las probabilidades de lograr el embarazo.	Los espermatozoides (previamente estimulados) se depositan en el útero femenino cuando la mujer se encuentra próxima a la ovulación.	Mediante una punción se capturan los oocitos y se los incuba junto con los espermatozoides por 48 horas. Posteriormente, los embriones generados son transferidos a la cavidad uterina mediante un delgado catéter.	Este procedimiento consiste en la inyección de un único espermatozoide en el interior del oocito. Previamente se extraen las gametas de los progenitores. Una vez formados los embriones, son transferidos al útero.

Tecnología aplicada al nuevo individuo

Antes, durante y después del período de gestación se realizan numerosas prácticas para determinar el estado del individuo [FIG. 151].

[FIG. 151]
Las ecografías emplean el ultrasonido para crear imágenes bidimensionales o tridimensionales.

Las **ecografías** son uno de los tantos avances que se efectuaron en la medicina. Mediante este estudio los médicos ecografistas observan mediante una pantalla al feto, con el objetivo de realizarle un seguimiento detallado. Con la ecografía se puede estimar el tamaño y el peso aproximado del feto, detectar anomalías en su ritmo cardíaco y en otros órganos internos, identificar el sexo, registrar hipertensión materna inducida por el embarazo, e incluso determinar la fecha probable en la que fue concebido y por lo tanto la fecha de parto. El estudio no le causa ningún daño al feto, sin embargo se aconseja realizarlo únicamente tres veces: entre las semanas 6-8, y luego cada 12 semanas.

Otro estudio que se puede llevar a cabo en el período de gestación consiste en la extracción de células fetales presentes en la futura placenta para determinar si hay alteraciones genéticas.

Ciencia actual

Ecografías en todas las dimensiones

La tecnología de imágenes en más de dos dimensiones no solo se aplica en las películas, sino también en las ecografías. Actualmente se pueden realizar cuatro tipos de ecografías: 2D, 3D, 4D y 5D. En la 3D se observa al feto en tres dimensiones, en la 4D también se visualiza en tres dimensiones pero en movimiento. La 5D permite eliminar con mayor facilidad la información que se interpone entre la imagen y la cara del bebé y visualizarlo de manera clara y definida.

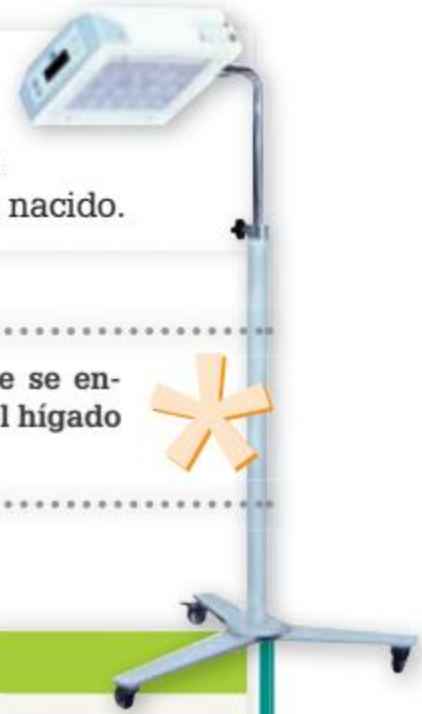
Este método suele realizarse en mujeres embarazadas de avanzada edad, ya que presentan mayor probabilidad de alteración genética.

En el momento del parto, puede suceder que el médico obstetra deba recurrir a una intervención quirúrgica llamada **cesárea**.

Esto implica que el bebé no saldrá por el canal de parto sino mediante una incisión en la pelvis y en el útero. En aquellos casos en que el bebé nace prematuramente, debe continuar su crecimiento en una **incubadora** [FIG. 152]. Este aparato genera un ambiente aislado con la temperatura necesaria para que el bebé continúe con su desarrollo.

[FIG. 152]
Algunos bebés son colocados en incubadoras por su bajo peso al nacer o por presentar respiración irregular.

Por último, puede suceder que el bebé presente un color amarillento en su piel debido a una alta concentración de bilirrubina* en sangre. Uno de los posibles tratamientos para disminuir la elevada concentración es la **fototerapia** [FIG. 153]. Este método consiste en exponer al recién nacido a una luz de espectro verde y azul, que produce la descomposición de la bilis en sustancias que pueden ser eliminadas por el bebé.



[FIG. 153]
La lámpara de la fototerapia debe ser colocada a 30-40 cm de distancia de la superficie corporal desnuda del recién nacido.

bilirrubina. Pigmento de color amarillo que se encuentra en la bilis, sustancia producida en el hígado que se asocia a funciones digestivas.

Guía de estudio

1. ¿Por qué creen que se denominan técnicas de fecundación asistida?

2. ¿Únicamente se utiliza la tecnología cuando el desarrollo del embrión es anómalo? Justifiquen su respuesta con ejemplos.

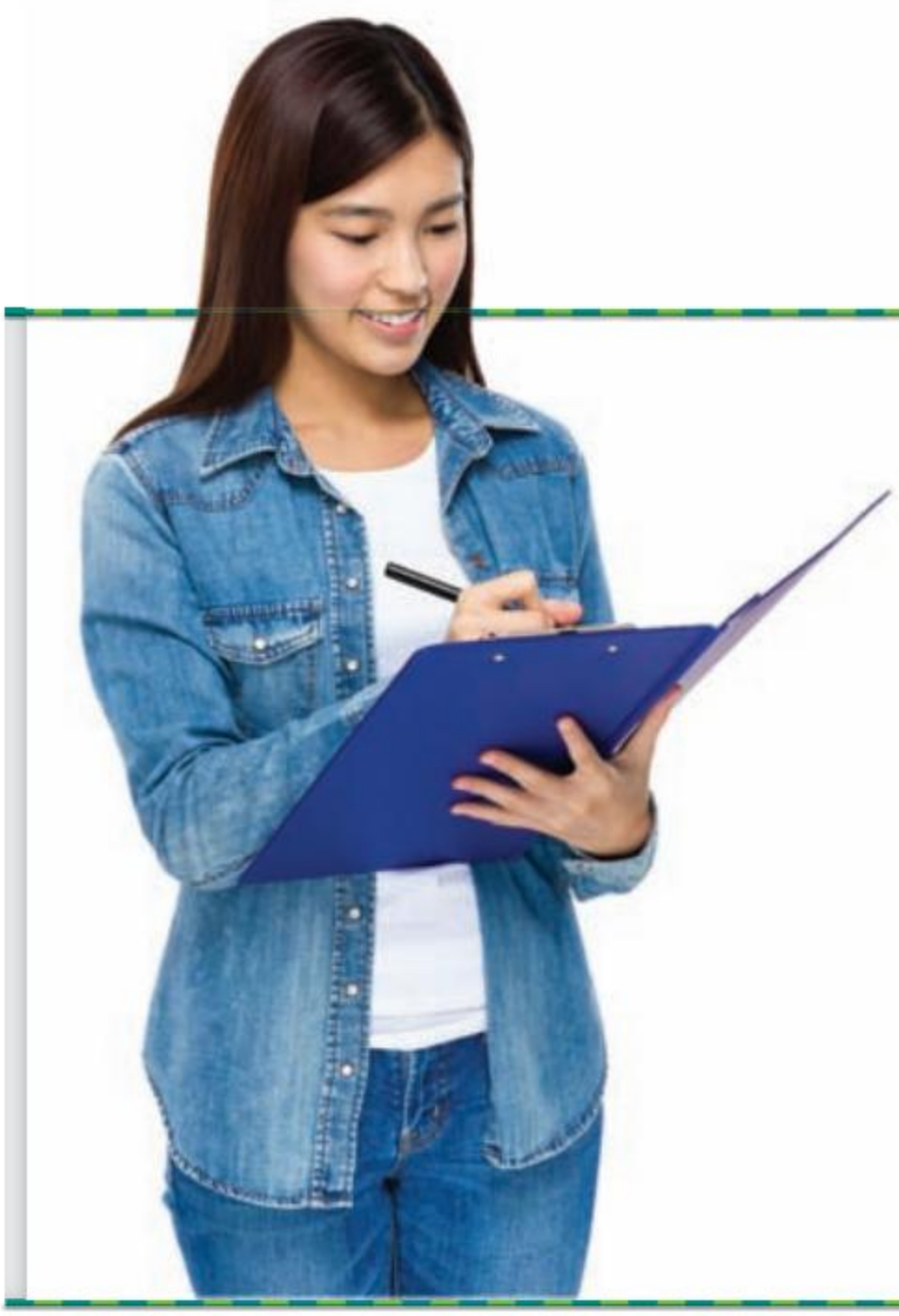
Experiencia en acción y...

La reproducción: mitos y verdades

Como se explicó en el capítulo, la reproducción humana engloba numerosas áreas, desde disciplinas biológicas, médicas, culturales, sociales, entre otras. Por ello, les proponemos que realicen un cuestionario y una posterior entrevista.

Materiales

- Cuaderno
- Birome
- Bibliografía



Procedimiento

a. Elijan uno de los siguientes temas: gestación y desarrollo, métodos anticonceptivos, infecciones de transmisión sexual, fecundación.

b. En función del tema elegido busquen más información.

c. Una vez que profundizaron su conocimiento, armen una lista de diez preguntas. Tengan en cuenta que esas preguntas no deben ser contestadas por sí o no solamente, sino que la persona debe desarrollar la respuesta.

d. Entrevisten a cinco personas de distinta edad, sexo y ámbito. De ser posible, consulten directamente a un profesional del área de medicina.

e. A partir de las respuestas de los entrevistados armen un informe en donde incluyan, si es pertinente, imágenes, gráficos y tablas.

Observaciones y conclusiones

1. ¿Observan diferencias notorias en las respuestas de los entrevistados?

2. Si comparan los resultados obtenidos con los compañeros que eligieron el mismo tema, ¿encuentran diferencias?

3. ¿Consideran que las personas están informadas sobre Educación Sexual? ¿Cómo harían para difundir lo que aprendieron? Elaboren un proyecto de divulgación en el que compartan sus conocimientos con sus familias y miembros de la comunidad educativa.

...revisión final.

- **Lean el siguiente texto y resuelvan las actividades.**

Las docentes de un colegio decidieron hacer una semana de actividades escolares para cada área. Esta semana corresponde al área de biología, por lo que los alumnos, junto con los docentes de la materia, deben preparar diversas actividades para recibir a los familiares y amigos dispuestos a aprender sobre distintos temas. A la clase de segundo año le tocó el tema: "Reproducción humana". La profesora decidió dividir a los cuarenta alumnos en cinco grupos, de manera tal que cada uno se encargue de realizar distintas actividades.

1. La consigna realizada por los estudiantes del primer grupo fue la siguiente: "Determinen si las siguientes afirmaciones son verdaderas (V) o falsas (F)".

☐ **a.** El estro es una etapa del ciclo menstrual en la cual la hembra se encuentra receptiva al macho.
☐ **b.** Las principales hormonas sexuales de las mujeres son el estrógeno y la progesterona.
☐ **c.** Los términos ciclo estral y menstrual involucran el proceso de formación de gametas femeninas.
☐ **d.** En ambos ciclos, estral y menstrual, se produce una expulsión de sangre que presenta el mismo origen.

2. El segundo grupo armó un cuadro comparativo entre el sistema reproductivo femenino y el masculino, de manera tal que las personas contesten únicamente con sí y no.

CARACTERÍSTICA	SISTEMA REPRODUCTIVO	
	FEMENINO	MASCULINO
GAMETA MÓVIL		
1 GAMETA MENSUAL		
MILLONES DE GAMETAS		
TROMPA DE FALOPIO		
MENARCA		

3. El tercer grupo realizó la siguiente actividad: "Marquen con una X la opción correcta para cada una de las siguientes oraciones".

a. Una vez que sale del ovario, el oocito se dirige hacia...

○ el útero.
○ la vagina.
○ el otro ovario.

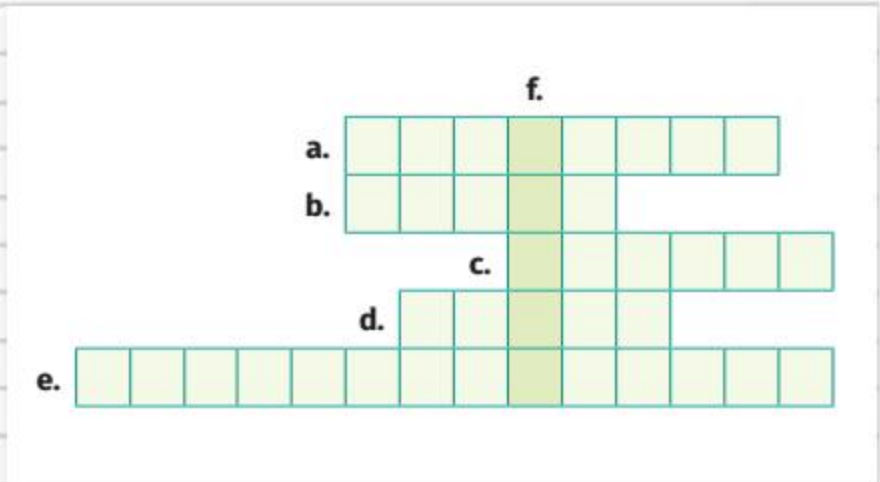
b. Los espermatozoides o gametas masculinas se producen en...

○ los conductos deferentes.
○ los túbulos seminíferos.
○ los conductos eyaculadores.

4. El cuarto grupo determinó que los participantes debían ordenar los siguientes pasos (del 1 al 5) asociados con el desarrollo embrionario.

☐ Formación de la mórula
☐ Fusión de las células sexuales
☐ Liberación de las gametas
☐ Implantación del blastocito
☐ Formación de la cigota

5. El quinto grupo armó un afiche en el cual estaba el siguiente acróstico.



a. Infección de transmisión sexual causada por bacterias.
b. Sinónimo de cigoto.
c. Conducto por el cual viajan la orina y los espermatozoides.
d. Nombre que recibe el conjunto de órganos externos femeninos.
e. Gameta o célula sexual masculina.
f. Célula sexual femenina madura.

Capítulo 08

La reproducción y la evolución

Todos los seres vivos presentan estrategias reproductivas (K o r) definidas por la cantidad de crías y su cuidado, las habilidades competitivas, el tamaño corporal, entre otros parámetros. Algunas especies realizan ciertas actividades que les permiten atraer a individuos del sexo contrario. Estos comportamientos son muy diversos y se asocian al apareamiento. El cuidado parental puede ocurrir antes y/o después del nacimiento de las crías.

Secuencia de contenidos:

- La evolución de la reproducción
- Las estrategias de supervivencia
- Las claves para el éxito reproductivo
- La reproducción y la supervivencia
- El cuidado de las crías

- ¿Creen que hay alguna relación de parentesco entre los individuos de la misma especie? Estos seres vivos, ¿tendrán la misma cantidad de crías a lo largo de su vida?
- ¿Conocen organismos que realicen actividades para llamar la atención del sexo opuesto y que tengan como finalidad la reproducción? ¿Cuáles? ¿Qué hacen?

La evolución de la reproducción

Los seres vivos se perpetuan mediante la función reproductiva. Si bien no es una función vital para los individuos, es fundamental para la especie, ya que garantiza la permanencia de los organismos a lo largo del tiempo. La reproducción sexual lleva a la acumulación de cambios o mutaciones en el material genético y posibilita el origen de nuevas especies. Veamos...

Origen de la variabilidad

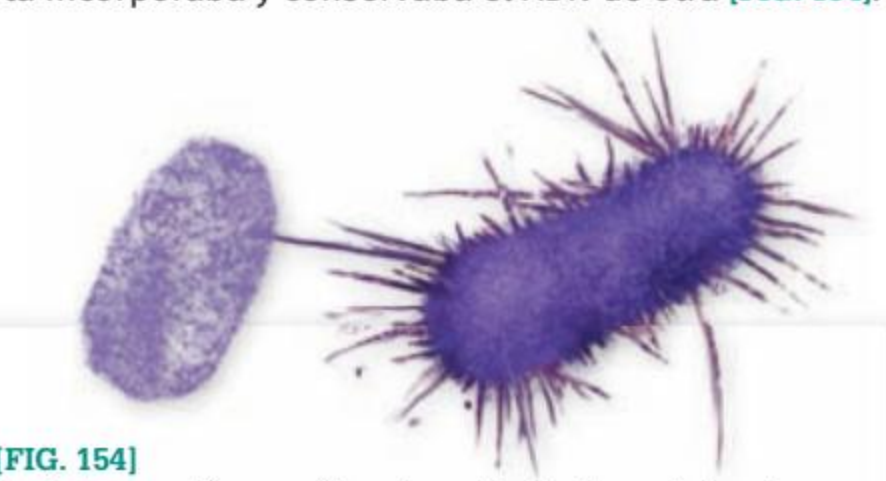
Hace millones de años las condiciones de la Tierra eran desfavorables para la vida tal como se la conoce en la actualidad. La ausencia de una atmósfera capaz de filtrar las radiaciones solares aumentó la probabilidad de que el ADN o material genético de las primeras células sufriera alteraciones, llamadas **mutaciones**.

Estas modificaciones genéticas provocaron variaciones en las características determinadas por el ADN y fueron las responsables de la aparición de las distintas formas de vida.

Inicio de la reproducción sexual

La hipótesis más aceptada sobre el origen del sexo contempla que la primera forma de reproducción fue la **reproducción asexual** entre organismos procariotas.

Posteriormente, un grupo de bacterias dio origen a la **reproducción sexual** mediante un proceso, conocido como **conjugación**, que consiste en la transferencia de genes de una bacteria a otra. Si bien este tipo de reproducción no implica la unión de gametas, permitió que estas formas primitivas de vida pudieran reparar daños en su material genético debido a que una célula procariota incorporaba y conservaba el ADN de otra [FIG. 154].



[FIG. 154]
La información genética transferida beneficia a la bacteria aceptora y puede, por ejemplo, otorgarle resistencia a antibióticos o brindarle la capacidad de utilizar nuevas sustancias.

Por otro lado, algunos científicos sugieren que la escasez de nutrientes podría haber llevado a una forma de **canibalismo**, en donde una bacteria digería parcialmente a otra, incorporaba su material genético y habría originado así una nueva variante de reproducción.

Otra hipótesis reconocida postula que la reproducción sexual favorece la *resistencia contra los parásitos*. Esto es posible si los individuos sufren cambios o mutaciones favorables como consecuencia de la combinación del material genético que ocurre durante el sexo. Este proceso no solo sucede en los organismos "húesped", sino que se produce una *coevolución* con los parásitos que habitan en ellos. Esta hipótesis es conocida como la **hipótesis de la Reina Roja** y propone que las especies están en continuo cambio y evolución para mantenerse donde están, es decir, sobrevivir [FIG. 155].

[FIG. 155]
El término Reina Roja fue tomado de la novela de L. Carroll *A través del espejo y lo que Alicia encontró allí*. Los habitantes del país de la Reina Roja deben correr lo más rápido que puedan para mantenerse donde están.

Los cambios que se producen en los genes de los seres vivos se deben a "errores" ocurridos durante la formación de las gametas. Estos errores pueden resultar perjudiciales si afectan características fundamentales para el normal desarrollo de las funciones vitales, o pueden ser beneficiosos si les proveen de una modificación que les permita estar mejor adaptados al ambiente en el que viven. Por lo tanto, la reproducción es el proceso por el cual las especies no solo perduran en el tiempo, sino que además posibilita la aparición en el material genético de *modificaciones* que conducirán al desarrollo de nuevas especies.

Guía de estudio

1. ¿Por qué la reproducción no es una función vital para un individuo y sí para la especie?

2. ¿Es correcto afirmar que una modificación en la información genética es siempre beneficiosa?

Las estrategias de supervivencia

Los seres vivos compiten por recursos (alimento, agua, refugio, pareja) y por el espacio que habitan. Aquellos organismos que puedan hacerlo con éxito y mantener su espacio lograrán sobrevivir y permanecer en ese hábitat. Los distintos tipos de competencia dependen de cómo la selección natural ha actuado en cada especie. Veamos...

Distintas estrategias reproductivas

Aquellas especies que fueron seleccionadas de forma positiva resultan mejor adaptadas a un determinado ambiente.

La descendencia hereda de sus progenitores las características representativas de cada especie. A su vez, no solo los rasgos anatómicos son heredados sino que también existen distintos comportamientos que pueden transmitirse a través de las generaciones, y proporcionan estrategias que favorecen su supervivencia y optimizan su capacidad de reproducirse.

No todas las especies tienen las mismas habilidades para competir y dispersarse. Existe un *modelo teórico* en el cual los seres vivos se clasifican en función de las estrategias reproductivas y su relación de costo y beneficio. Según este modelo se clasifican en dos tipos: *estrategas r* y *estrategas K*.

Estrategas r

Los **estrategas r** son aquellas especies que tienen un gran número de hijos, que presentan un tamaño pequeño, y no invierten energía en el cuidado de sus crías. El número de individuos en la población se mantiene constante hasta que las condiciones cambian, y en consecuencia la población desciende bruscamente. Cuando logran estabilizarse pueden colonizar rápidamente debido a que son malos competidores y a su alta tasa de reproducción. Algunos ejemplos de este tipo de estrategas lo constituyen los microorganismos, los insectos, los anfibios y las tortugas [FIG. 156].

[FIG. 156]
Corte transversal de la arena, donde se ve cómo las crías de la tortuga marina eclosionan de sus huevos y se dirigen hacia el mar. Solo unas pocas lograrán convertirse en adultos.

Estrategas K

Los **estrategas K** presentan un gran tamaño, suelen tener pocos hijos y dedican mucho tiempo al cuidado de sus crías. Su crecimiento poblacional es más lento, son buenos competidores y tienden a vivir por un período de tiempo mayor.

Este es el caso de algunas plantas que poseen una sola semilla de gran tamaño, como ocurre con el durazno, en la que se almacenan reservas nutritivas que serán utilizadas por la nueva planta durante su desarrollo. Otro ejemplo lo constituye el comportamiento reproductivo de las ballenas, que presentan una tasa de reproducción muy baja ya que producen un oocito cada dos años [FIG. 157].

[FIG. 157]
Los cetáceos presentan un cuidado parental de alrededor de un año; algunas especies pueden llegar a vivir hasta 90 años.

Existen excepciones a la regla, como el pulpo gigante del Pacífico Norte, cuya hembra incuba alrededor de 100 mil huevos. Su cuidado materno incluye agitar las aguas que están en contacto con las hileras de huevos, con el objetivo de mantener el nivel de oxígeno, ahuyentar depredadores y dispersar desechos [FIG.158].

Cabe destacar que las estrategias reproductivas se dan a nivel específico, es decir a *nivel de especies*. Esto significa que todos los organismos que pertenecen a una misma especie presentarán la misma estrategia reproductiva.

[FIG. 158]
El pulpo gigante del Pacífico Norte es el pulpo que más tiempo vive, alrededor de cuatro años.

https://goo.gl/2Xpfwa

Entren al link para observar cómo una hembra pulpo gigante del Pacífico Norte cuida sus huevos.

Ventajas y desventajas

Al observar distintas especies es posible diferenciar que algunas dejan un número de descendientes mucho mayor que otras. La **densidad poblacional*** se ve afectada según la estrategia reproductiva de cada especie y está estrechamente relacionada con la tasa de reproducción y de mortalidad de las poblaciones.

Sobre la base de ambas estrategias, es posible analizar las ventajas y desventajas a las que se enfrentan los distintos organismos. Presentar un gran tamaño implica contar con mayor habilidad competitiva frente a otros organismos de la misma especie, defenderse de los depredadores y producir descendientes más grandes [FIG. 159]. Sin embargo, un tamaño considerable presenta desventajas, como ser visible para los depredadores (lo que representa un riesgo para su supervivencia), así como requerir mayor cantidad de recursos para cumplir con las funciones vitales.

[FIG. 159]
Las hembras de los osos polares dan a luz durante el invierno. Por varios meses se refugian en cuevas y se encargan de amamantar a las crías sin alimentarse.

Por el contrario, tener un tamaño reducido, un tiempo de vida corto y un desarrollo veloz, posibilita la rápida colonización de este tipo de organismos. Sin embargo, carecer de habilidades competitivas y habitar ambientes inconstantes conducen a que su densidad poblacional fluctúe en el tiempo.

Es importante tener en cuenta que *ninguna de las estrategias reproductivas es más ventajosa que la otra*, sino que ambas existen en la naturaleza y fueron seleccionadas positivamente por la selección natural.

En el siguiente cuadro se comparan las estrategias reproductivas, en cada par de características se representan extremos hipotéticos. La situación en la que se encuentran las distintas poblaciones depende de las presiones selectivas a las que estén sometidas, las competencias intra e interespecíficas, y las características propias del medio ambiente que habitan.

densidad poblacional. Medida que representa el número de individuos de una población por unidad de área o volumen.

CARACTERÍSTICAS	ESTRATEGAS r	ESTRATEGAS K
INDIVIDUO	Ciclo de vida corto, en general menor a un año. Desarrollo rápido. Madurez precoz. Un solo evento reproductivo durante el ciclo de vida. Tamaño pequeño	Ciclo de vida largo, generalmente más de un año. Desarrollo lento. Madurez retrasada. Varios eventos reproductivos repetidos de forma cíclica. Mayor tamaño
AMBIENTE	Variable o impredecible	Casi constante o predecible
MORTALIDAD	Episodios catastróficos de gran mortalidad que afectan a todos los individuos, independientemente de la densidad poblacional	Depende de la densidad de la población
TAMAÑO DE LA POBLACIÓN	Variable en el tiempo, sin equilibrio y con recolonizaciones	Muy constante o casi constante a lo largo del tiempo
COMPETENCIA	Variable, en general poco intensa	Muy intensa
CUIDADO PARENTAL	Nulo o leve. Descendencia numerosa	Intensa. Descendencia poco numerosa

Muchas especies se encuentran en situaciones intermedias, como es el caso del pulpo gigante del Pacífico Norte, o algunas especies de estrellas de mar que producen un gran número de huevos pero sus ciclos de vida son largos. Algunos animales definidos estrategas r, como las chinches acuáticas cazadoras, presentan una suerte de cuidado parental; esta es una conducta poco frecuente en los insectos, sin embargo de este modo garantiza mayores probabilidades de que la descendencia sobreviva [FIG. 160].

[FIG. 160]
Los machos de las chinches acuáticas portan sobre su dorso los huevos que fueron depositados por la hembra luego del apareamiento.

Guía de estudio

1. Si en un ecosistema los recursos son muy abundantes, no hay depredadores y el espacio es suficiente, ¿cómo crecerán las poblaciones de los organismos pertenecientes a ambas estrategias?

2. ¿Cómo afecta la mortalidad a la densidad poblacional en cada tipo de estrategia?

Las claves para el éxito reproductivo

La reproducción sexual ocurre entre individuos de una misma especie y comienza por el reconocimiento entre los organismos. Los machos y las hembras poseen características que los distinguen y diferencian entre sí. El éxito reproductivo se relaciona estrechamente con la elección de la pareja más afín, elegida dentro de la variedad de individuos presentes en la población. Veamos...

Reconocimiento y dimorfismo sexual

La búsqueda y reconocimiento de la pareja incluye un conjunto de señales visuales, auditivas y químicas. Estas últimas suelen ser **feromonas**, sustancias que se liberan en la orina o al aire y pueden ser detectadas incluso a varios kilómetros de distancia. Este mensaje tiene la capacidad de influenciar a otro individuo, generalmente de la misma especie, y es captado mediante el olfato.

Se denomina **dimorfismo sexual** al conjunto de diferencias externas que surgen en alguna etapa de la vida y que caracterizan a machos y hembras. En muchas especies afecta al tamaño, pero también se evidencia en **caracteres sexuales secundarios**, no asociados de manera directa a la reproducción. La araña *Argiope trifasciata* presenta un marcado dimorfismo sexual, la hembra es considerablemente más grande que el macho [FIG. 161].

[FIG. 161] El veneno de *Argiope trifasciata* no es perjudicial para el ser humano.

En la mayoría de los animales la determinación de los sexos es genética, pero en algunas especies el *ambiente* condiciona el sexo del organismo. La temperatura en la cual se incuban los huevos suele ser el factor más influyente. En anfibios, peces y reptiles, las hembras y los machos se desarrollan de acuerdo con un límite de temperatura específico [FIG. 162]. En condiciones de cambio climático se produce un desequilibrio en las proporciones de sexo de las poblaciones, y este mecanismo se convierte en una desventaja. Además, algunos herbicidas y plaguicidas pueden actuar como contaminantes sobre los ecosistemas y favorecer el desarrollo de hembras.

Competencia y selección sexual

Por lo general, las hembras son las encargadas de optar por el macho que consideran más adecuado y el macho es el que realiza la mayor cantidad de acciones. La consecuencia de este **comportamiento diferencial** entre sexos es que los individuos presentan una gran variación en su *éxito reproductivo*, medido sobre la base del número de hijos o crías.

En algunos casos los machos presentan estructuras muy llamativas, emiten olores o cantos que son percibidos por las hembras. Estas características no suelen responder a la selección natural sino que la selección es realizada por competidores sexuales o parejas potenciales del sexo opuesto [FIG. 163].

[FIG. 163] Los machos de las aves *Euplectes* poseen una cola extraordinariamente larga. Este carácter probablemente ha evolucionado como consecuencia de la preferencia de las hembras por aparearse con estos machos.

La selección realizada por las parejas se denomina **selección sexual**. Este término fue acuñado por Darwin en el libro *El origen de las especies...*

Existen dos mecanismos por medio de los cuales opera la selección sexual, y pueden ocurrir de manera simultánea.

- **Selección intrasexual.** Es aquella selección en la cual individuos de un mismo sexo (en general machos) compiten por el sexo opuesto para aparearse.
- **Selección intersexual o epigámica.** Mecanismo en el cual un sexo, en general la hembra, selecciona activamente su pareja y favorece determinados atributos del sexo opuesto.

[FIG. 162] Las iguanas verdes alcanzan la madurez sexual a los 16 meses y el número de crías por nidada es de 13 a 30.

Cortejo y apareamiento

Cada especie tiene un comportamiento específico para atraer a sus parejas: regalos nupciales, exhibición de partes del cuerpo, cantos y danzas. Estos *rituales* comienzan antes del apareamiento y son característicos de cada especie, luego de los cuales copulan o liberan las gametas al exterior, de acuerdo con el tipo de fecundación que tengan.

En muchos casos, el cortejo implica competencia entre los machos de especies polígamas. El ganador se convierte en el *macho alfa* o dominante y tiene exclusividad para aparearse con varias hembras.

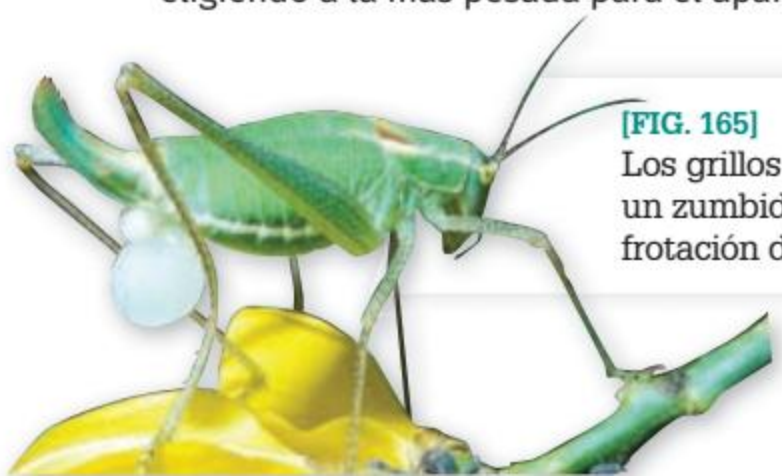
Los *regalos nupciales* suelen ser una estrategia muy utilizada para conquistar a las hembras; pueden consistir en *refugios*, *nidos*, *alimentos*, entre otros. Algunos regalos pueden ser más exóticos, como ocurre en el caso del ave collalba negra: el macho destina mucha energía a acumular piedras cerca del nido, lo que le permite a la hembra estimar su fortaleza.

En las moscas de patas largas, la duración de la cópula varía en función del tamaño del regalo. Por lo tanto a mayor duración del acto sexual, mayor es la cantidad de oocitos que podrán ser fecundados.

Conseguir los regalos nupciales no es fácil y hay machos que se hacen pasar por hembras para robarlos. En algunos casos, los machos no solo se "disfrazan" de hembras sino que también se comportan como ellas con el objetivo de poder acercarse y aparearse, como ocurre con el *Philomachus pugnax*, también llamado combatiente macho [FIG. 164].

[FIG. 164]
El combatiente macho presenta mayor tamaño corporal con relación a la hembra.

En algunas especies de grillos, el tamaño de la hembra se correlaciona con la cantidad de oocitos que produce. Los machos entregan como regalo nupcial su paquete de esperma (espermatóforo), que en parte es comido por la hembra [FIG. 165]. Como la generación del paquete es costosa, el macho selecciona a la hembra "pesándola" durante el cortejo, es decir, dejándose montar por ella y eligiendo a la más pesada para el apareamiento.



[FIG. 165]
Los grillos machos generan un zumbido provocado por frotación de las alas entre sí.

La rana llorona es un pequeño anfibio que mide entre 25 y 40 mm. Flota en el agua durante el cortejo y presenta un *canto* muy característico por la frecuencia de emisión, ya que recuerda a un llanto [FIG. 166].

Además, en algunos anfibios, como así también aves, el canto es utilizado por los machos en la *defensa del territorio*. Por esta razón, el canto podría haber evolucionado por selección intra e intersexual.

[FIG. 166]
La rana llorona genera un nido de espuma donde coloca los huevos transparentes.

Los machos de diferentes especies, desde insectos a mamíferos, han desarrollado penes que actúan como "cepillos limpiatubos" con modificaciones similares a espinas. Su función consiste en remover el posible esperma competidor, antes de liberar el propio dentro de la hembra.

Frecuentemente se suele pensar que los animales buscan reproducirse y permanecer en el tiempo, pero en la naturaleza hay suficientes ejemplos para contradecir esta afirmación. Uno de los más conocidos es el caso de los insectos sociales, como las hormigas y abejas, cuyas poblaciones están constituidas por una única pareja sexualmente activa y el resto de las castas se ocupa de colaborar con la supervivencia de la colonia [FIG. 167].

[FIG. 167]
Las hormigas se desarrollan por metamorfosis, las larvas son alimentadas y cuidadas por la casta de hormigas trabajadoras.

https://goo.gl/Mqsi1F
Escaneen el código QR para ver cómo baila un ejemplar macho de la araña pavo real.

Guía de estudio

1. ¿En qué se asemejan y en qué se diferencian la selección natural y la selección sexual?
2. ¿Por qué la hembra suele ser la que elige a la pareja reproductiva?
3. ¿De qué forma se relaciona el dimorfismo sexual con el cortejo y el apareamiento?

La reproducción y la supervivencia

Todos los individuos de una población presentan diferencias, y así las probabilidades de sobrevivir en un ambiente variable son mayores. De este modo, la reproducción sexual es fuente de diversidad dada por la variabilidad genética que ocurre en el proceso reproductivo. Como consecuencia de la reproducción sexual, en algunas plantas se forman semillas que protegen los embriones. Veamos...

Polinización: coevolución entre flores y polinizadores

La **coevolución** es un proceso de evolución conjunta entre dos especies distintas. La **polinización** es un ejemplo contundente de este proceso, en el cual los organismos *polinizadores* y las *plantas con flores* se han beneficiado mutuamente. Por un lado, los animales les ofrecen a las plantas un medio efectivo para reproducirse, dado que el 90 % de las especies de plantas requiere de la polinización para transportar los granos de polen; y por el otro lado, estas les aportan a los polinizadores el alimento necesario para la subsistencia.

La polinización mediada por *insectos* surgió cuando aparecieron en la Tierra las *plantas con flores*. Si una flor ofrece su néctar en un lugar al que solo acceden insectos con una lengua muy larga, únicamente los que presenten esa adaptación podrán conseguir su alimento. Debido a que este cambio es favorable, el insecto que, por azar, posea una lengua más larga podrá acceder a mucho más néctar y como consecuencia podrá sobrevivir y dejar descendencia que heredará esta característica [FIG. 168].

[FIG. 168] La polilla que poliniza a las orquídeas de la especie *Angraecum sesquipedale* presenta una larga lengua que le permite ingresar al largo espolón de la flor.

https://goo.gl/t7hrVq

Escaneen el código QR para ver cómo los murciélagos polinizan.

Las plantas con flores presentan adaptaciones muy variadas: *colores*, *formas atractivas* y *olores intensos*. Dentro de los polinizadores más populares se encuentran los abejorros, las abejas y el colibrí [FIG. 169].

Algunas especies de murciélago son importantes polinizadores de plantas tropicales. Debido a que vuelan grandes distancias, los murciélagos colaboran con la dispersión vegetal. La especie *Glossophaga soricina* se nutre del néctar por medio de unos pelos modificados que posee en la lengua. Estos incrementan su tamaño debido al aumento de la irrigación sanguínea, y le permiten al animal absorber su alimento.

[FIG. 169] Generalmente los colibríes polinizan flores rojas, de forma tubular y sin olor.

Algunas especies de moscas actúan como polinizadores de la orquídea *Satyrium pumilum* [FIG. 170]. La planta atrae a estos insectos mediante la liberación de sustancias que poseen un aroma similar al olor de la carne en descomposición. Además no produce néctar, por lo que utiliza el engaño para ser polinizada.

[FIG. 170] La orquídea *Satyrium pumilum* habita en arenas húmedas de Sudáfrica.

Ciencia actual

Insectos robóticos

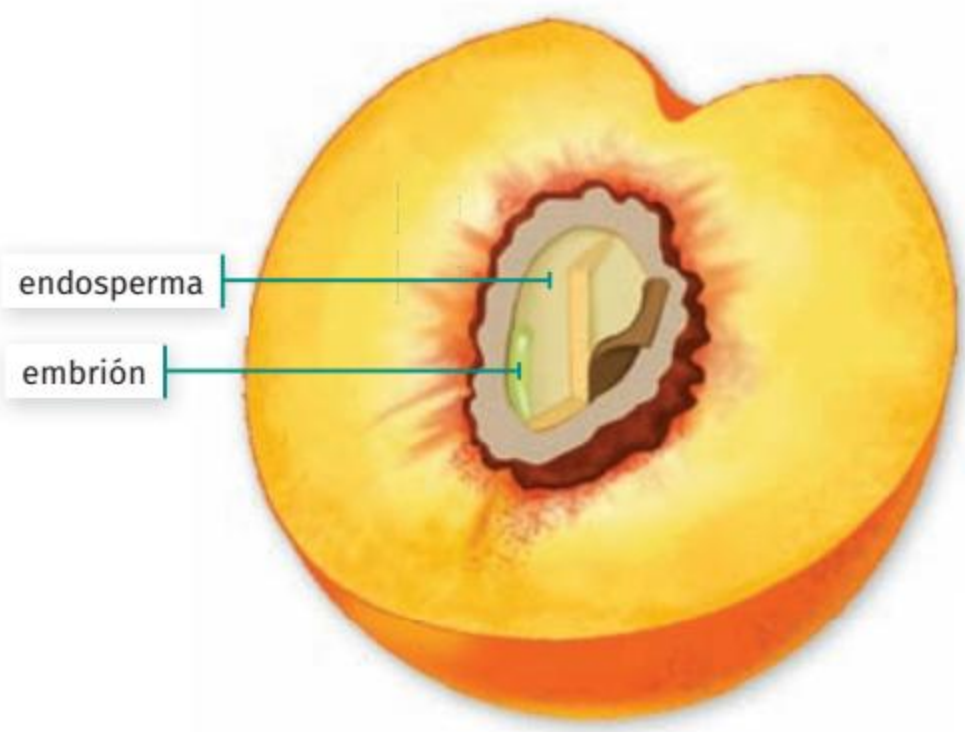
Investigadores de la Universidad de Harvard han diseñado una abeja robot con capacidad de volar. Estas abejas presentan tamaño real y sus alas pueden aletear hasta 120 veces por segundo. Se cree que estas abejas robóticas, llamadas Robobee, podrían ser utilizadas como polinizadores artificiales.

Primeras etapas en el desarrollo de las plantas

Las plantas que se reproducen sexualmente forman una estructura que le brinda protección al embrión: la **semilla**.

Esta estructura se origina dentro del ovario y se forma luego de que las gametas masculinas desarrolladas a partir del grano de polen fecundan a las gametas femeninas contenidas en el óvulo. Como consecuencia de la fecundación, el cigoto comienza a dividirse y constituye el embrión, que se alimentará del **endosperma**, tejido formado por un conjunto de células de la semilla que proporciona el alimento al embrión [FIG. 171]. A medida que el óvulo madura, su membrana se endurece y forma una cubierta que encierra tanto al embrión como al endosperma. De este modo se constituye la semilla, que al germinar dará lugar a una nueva planta con flor, y se retomará el ciclo nuevamente.

[FIG. 171]
La semilla del durazno se encuentra en el interior del carozo.



El *número de semillas* que produce una planta y su *tamaño* afectan la capacidad de supervivencia y perpetuación de la especie. Las plantas que producen muchas semillas pequeñas se diseminan en forma más amplia y tienen más oportunidades de encontrar un sitio favorable para germinar y crecer. Las semillas pequeñas tienen menor resistencia a las distintas condiciones ambientales, y al ser tantas se garantiza que algunas sobrevivan y la especie se conserve. Por el contrario, las semillas grandes se producen en menor número y se dispersan a distancias más cortas, pero cuentan con mayor cantidad de recursos para iniciar su crecimiento.

Dispersión de las semillas

Las semillas viajan, llegan a diversos ambientes y en algunos encuentran las condiciones viables para su crecimiento. De este modo, si la semilla cae en un terreno fértil desarrollará una nueva planta, mientras que si las condiciones ambientales no son las adecuadas, algunas morirán. Ciertas semillas desarrollan estructuras rígidas y resistentes que les permiten permanecer latentes ("dormidas") hasta que las circunstancias sean óptimas para germinar y crecer. Las plantas pueden dispersarse por diversos medios: *aire*, *agua*, *animales* o *explosión*.

- **Dispersión por aire.** Estas semillas suelen ser pequeñas, livianas, aplanadas y con apéndices plumosos o alados, que les permiten maximizar sus posibilidades de vuelo y llegar más lejos [FIG. 172] y [FIG. 173].
- **Dispersión por agua.** Si las semillas caen sobre el agua, flotan hasta alcanzar tierra firme. Esta flotabilidad se logra por medio de cubiertas impermeables que son resistentes a la inmersión.
- **Dispersión por animales.** Los animales ingieren el fruto y expulsan en las heces las semillas intactas. Otras semillas poseen pequeños "ganchos" que se adhieren a la piel, pelos o plumas de los animales, y se desprenden en algún sitio por donde se desplace el animal.
- **Dispersión por explosión.** Algunas plantas poseen vainas que explotan cuando están maduras y lanzan las semillas muy lejos.

[FIG. 172]
El panadero (o diente de león) posee una inflorescencia amarilla que se convierte en una esfera blanca que aloja en sus "pelos" pequeños frutos uniseminados, que son esparcidos por el viento.

[FIG. 173]
La diseminación aporta la ventaja de evitar la competencia con la planta madre.

Guía de estudio

1. ¿Con qué sustancia se alimenta el embrión vegetal? ¿Quién lo produce?
2. ¿Por qué es importante que las semillas germinen lejos de la planta madre?

El cuidado de las crías

Algunos animales no se limitan a intercambiar su material genético sino que destinan tiempo y recursos en asegurar que la cría alcance la adultez. Por lo general, este comportamiento es llevado a cabo por la hembra, aunque a veces el macho cuida a los hijos o, como ocurre en unas pocas especies, ambos padres protegen a su camada. Veamos...

Desarrollo y crecimiento

Las gametas femenina y masculina presentan notorias diferencias. El oocito es el que aporta los nutrientes al embrión y en consecuencia, su tamaño es exageradamente superior. Por ejemplo, el oocito de las vacas es 50.000 veces más grande que un espermatozoide de la misma especie.

Sin embargo en muchas especies, esta desigualdad respecto de los recursos destinados para la producción de células sexuales es despreciable frente a la inversión que implica el cuidado de las crías luego del nacimiento.

El **cuidado parental** es una *adaptación evolutiva* que se relaciona con la *protección de la descendencia*. Como resultado de este comportamiento, las crías incrementan su tamaño y completan el desarrollo de sus cuerpos.

Las formas de cuidado parental pueden ser muy diversas, e incluyen comportamientos previos al nacimiento de la cría. Estos abarcan la formación de un nido, una madriguera, o la defensa de un área, y por lo general suele ser el macho el que realiza estas actividades previas. Los futuros padres pueden aportar *regalos nupciales*, como su propio espermatóforo que constituye la base de nutrientes empleados en la formación de los huevos, o incluso pueden brindar su propio cuerpo como alimento para la hembra [FIG. 174].

[FIG. 174]
La mantis religiosa emplea el canibalismo sexual en el transcurso de la cópula.

Muchas especies carecen de cuidado parental luego de la liberación al medio de los huevos fecundados. La evolución del cuidado parental está directamente ligada a las estrategias reproductivas que las especies llevan a cabo, aunque siempre existen excepciones.

Las aves y los mamíferos tienen la capacidad de generar calor corporal a partir de su propio metabolismo, y así mantienen su temperatura en rangos muy estrechos, a pesar de las variaciones de la temperatura ambiental. Esta característica fisiológica se llama **endotermia** y es distintiva de estos vertebrados. Los peces, anfibios y reptiles, por carecer de esta regulación de temperatura, se denominan **ectotermos**.

Frecuentemente los animales *endotermos* ejercen cuidado parental durante la gestación y posteriormente al nacimiento, al propiciar un medio favorable para el desarrollo de la descendencia. Una de las condiciones es brindar a los huevos o embriones una temperatura constante y superior a la del ambiente, dentro de los límites de tolerancia para la especie. Esto se evidencia en la construcción y mantenimiento de un ambiente agradable para el desarrollo embrionario y postnatal, favorecido por la creación de nidos o conductas como el agrupamiento que permiten evitar la pérdida de calor.

La mayoría de los *ectotermos* no invierte energía y ni recursos en proteger a sus hijos, aunque en la naturaleza siempre existen excepciones. La **incubación** suele ser la estrategia más utilizada en vertebrados ectotermos como la serpiente pitón real, ya que evita la desecación de los huevos. En ambientes acuáticos, los peces abanican sus huevos y así incrementan el acceso a oxígeno y la remoción de microbios [FIG. 175]. El sapo partero común, *Alytes obstetricans*, empieza a cantar en el inicio de la primavera para atraer a las hembras. Luego de la cópula, las hembras liberan los huevos, que son protegidos durante un mes entre las patas traseras del macho [FIG. 176].

[FIG. 175]
El pez payaso habita conjuntamente con las anémonas de mar, y al abanicar las aguas protege a los huevos.

[FIG. 176]
El sapo partero común mide alrededor de 5 cm.

Comportamiento parental

Una vez nacidas las crías, estas necesitan recursos materiales para completar su desarrollo pero también otros cuidados, como protección frente a depredadores y riesgos presentes en el ambiente.

Algunas formas de **cuidado parental** pueden incluir la *protección del individuo* o del conjunto de descendientes llamado *camada*. En el primer caso, los recursos materiales, generalmente alimento, destinados por los padres a un solo hijo no son suficientes para otro [FIG. 177].

[FIG. 177]
El pingüino emperador macho incuba las crías mientras la hembra busca alimento.

Si los progenitores protegen una camada, el esfuerzo se destina a cuidar a todas las crías por igual [FIG. 178]. La vigilancia y la defensa contra los depredadores constituyen un ejemplo típico de este comportamiento.

Cuando el cuidado parental se dirige a la camada, el número de crías influye relativamente poco en los beneficios que recibe cada una. Sin embargo el cuidado disminuye si se incrementa notablemente el número de descendientes.

Aquellas especies que poseen fecundidad restringida y producen pocas crías suelen presentar este comportamiento protector. Por lo tanto, la formación de la familia es estacional y limitada, y la duración está condicionada a los tiempos de madurez de los descendientes.

El abastecimiento de los alimentos puede darse por la captura de otros seres vivos. Muchas aves cazan insectos que luego regurgitan en la boca de sus pichones. También puede basarse en los recursos producidos por la misma hembra, como es el caso de la leche que secretan las mamas de los mamíferos.

[FIG. 178]
Las leonas enseñan a sus cachorros a cazar en manada.

Es frecuente que en la mayoría de las especies de aves los miembros de la pareja participen de la construcción del nido, de la incubación y del cuidado de los huevos. Las hembras solo incuban huevos propios que reconocen por la forma y el color [FIG. 179].

[FIG. 179]
El monarca nuquinegro pone tres huevos en un nido en forma de copa. Se alimenta de insectos que caza mientras vuela.

El transporte de huevos es utilizado como forma de cuidado parental. Algunas especies de ranas trasladan sus huevos dentro de bolsas especializadas, y en el caso de los peces cíclidos, conducen los huevos en el interior de sus bocas. Esta estrategia ofrece mayores ventajas que el cuidado estacionario, ya que los progenitores pueden escapar de situaciones peligrosas con mayor facilidad.

Las crías también pueden ser transportadas luego del nacimiento o eclosión. Algunas especies trasladan a la prole de forma externa, como suele suceder en los escorpiones y en la mayoría de los mamíferos. Otros animales, como los canguros, lo hacen de manera interna en unas bolsas especializadas llamadas *marsupios* [FIG. 180].

[FIG. 180]
Las crías de canguros permanecen en promedio 8 meses en los marsupios de sus progenitoras.

El cuidado de las crías maduras luego de la independencia nutricional es un comportamiento poco frecuente y queda restrigido a unos pocos primates, como los bonobos y el ser humano.

Guía de estudio

1. **¿Qué relación existe entre el cuidado parental y la ectotermia? ¿Y con la endotermia? Justifiquen su respuesta.**

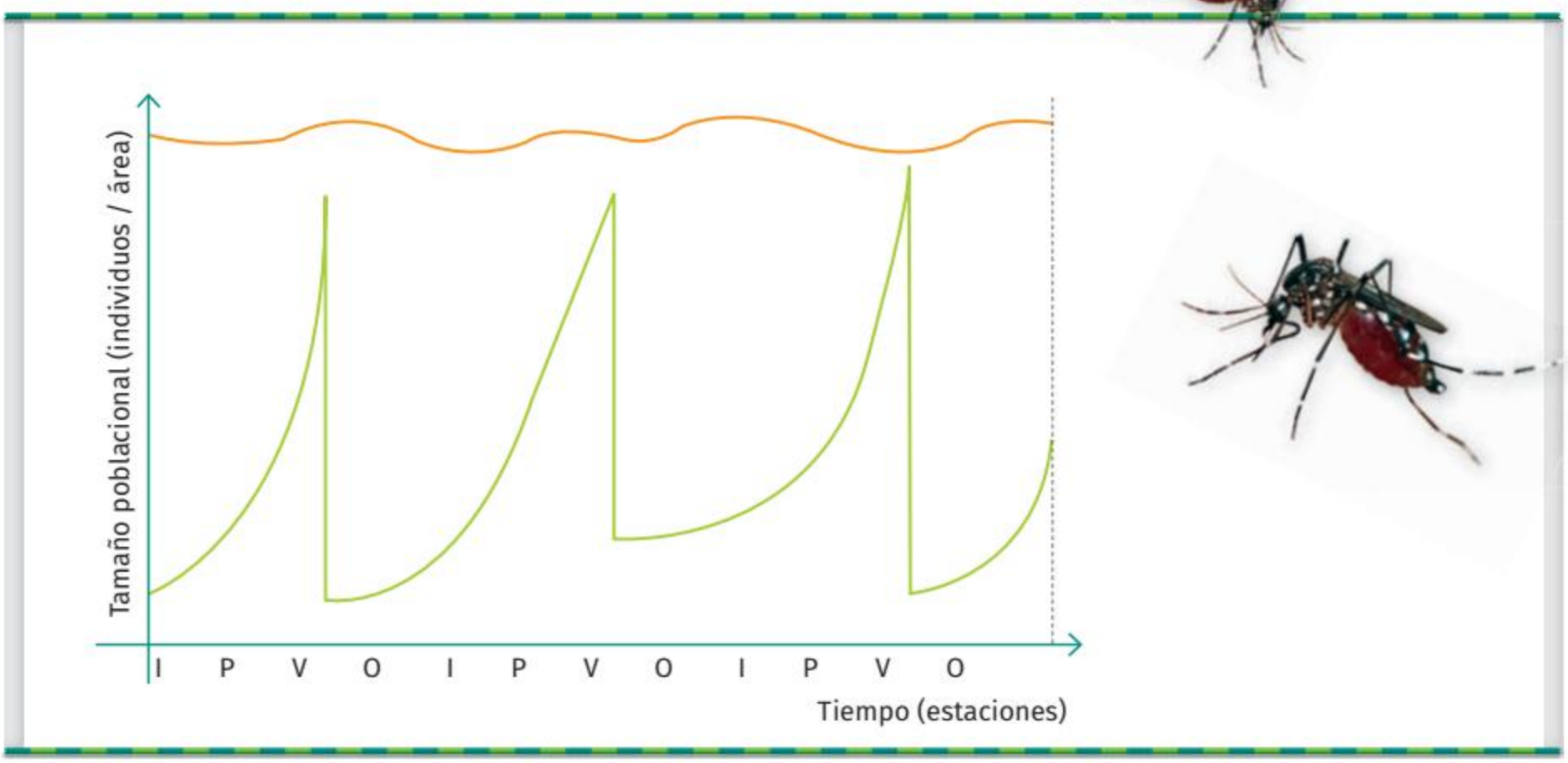
2. **Busquen cinco especies que no realicen cuidado parental, ¿qué tipo de estrategia reproductiva ejercen?**

Experiencia en acción y...

El comportamiento reproductivo

Un grupo de científicos llevó a cabo una serie de investigaciones con el objetivo de comprender los comportamientos reproductivos del mosquito *Aedes aegypti*, agente transmisor del dengue. Este insecto se alimenta de la sangre de seres humanos y de este modo los infecta. Como el mosquito deposita sus huevos en aguas estancadas, los investigadores decidieron recolectar agua de recipientes abandonados, lagos de parques y ríos, y contar la cantidad de huevos encontrados de esta especie. A su vez, durante un año compararon la densidad poblacional de *Aedes aegypti* con la humana para evaluar el impacto de la enfermedad.

En un descuido, uno de los científicos traspapeló los resultados y ahora tiene que identificar en el gráfico cuál curva representa el tamaño poblacional de los habitantes de una ciudad argentina, y cuál corresponde a la cantidad de huevos de *Aedes aegypti* encontrados en ese lugar.



Observaciones y conclusiones

1. Identifiquen en el gráfico qué curva representa al tamaño poblacional humano y cuál al de mosquitos. ¿Cómo se dieron cuenta?

2. ¿Por qué una de las curvas cambia a lo largo del tiempo? Relacionen esta pregunta con las estrategias reproductivas.

3. ¿Qué tipo de estrategia reproductiva llevan a cabo los mosquitos? ¿En qué basaron su elección? ¿Todas las especies de mosquitos se reproducirán igual?

4. Observando el gráfico: ¿creen que la presencia de la enfermedad está alterando el número de personas de la ciudad estudiada? ¿Esto puede llegar a modificarse? ¿Se les ocurre cómo?

5. A partir de las observaciones realizadas, los científicos decidieron que era conveniente fumigar con plaguicidas los cuerpos de agua de la ciudad. ¿Creen que esto puede provocar modificaciones en el desarrollo de otras especies que depositan sus huevos sobre el agua, como peces y anfibios? Justifiquen su respuesta.

...revisión final.

- **Lean el siguiente texto y resuelvan las actividades.**

Los chicos de 2° año se fueron de excursión a la reserva natural con la profesora de naturales. La docente les propuso que con mucha cautela observaran y analizaran los comportamientos de los distintos animales protegidos.
Tomás y Lucas usaron los binoculares que habían llevado para ver con más detalle los nidos presentes en las ramas de los árboles. Rocío y Camila hallaron una lagartija solitaria que caminaba por el sendero. A Mariana le llamó la atención un sonido que parecía salir de abajo del agua, cuando se acercó descubrió que entre la vegetación y las algas había ranas. Y Sebastián volvió al micro a descansar porque le dio un ataque de alergia causado por el polen de las plantas del lugar. Luego de un rato, la docente les preguntó si habían detectado algún comportamiento reproductivo en alguna especie del lugar.

1. ¿Qué respondieron los chicos a la pregunta de la profesora? Marquen con un ✓ la opción correcta.

- ○ **a.** No, los comportamientos reproductivos solo se ven cuando nacen las crías.
- ○ **b.** Sí, los machos ranas utilizan los cantos para atraer a las hembras y así poder reproducirse.
- ○ **c.** Sí, el polen que le provocó la alergia a Sebastián es la estrategia que usan todas las plantas para reproducirse.

2. Tomás le comenta a Lucas que el ave de colores llamativos corresponde al macho. ¿Cómo se dio cuenta?

3. Completen el texto con las palabras faltantes.

Las hembras seleccionan a los machos más vistosos. Esto se llama selección ..... y el mecanismo por el cual se lleva a cabo es la selección ..... Este proceso puede llegar a ser independiente de la selección ....., ya que muchas veces las características seleccionadas por las hembras son perjudiciales o afectan funciones importantes del macho.

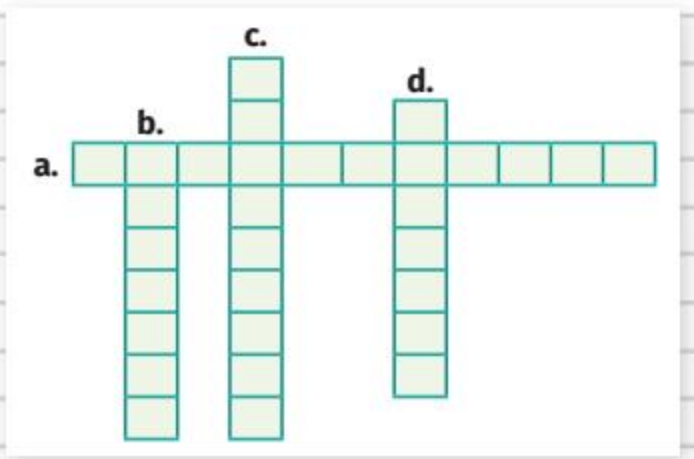
4. La profesora les pidió que hicieran una lista de todas las especies observadas en la visita. Unan con flechas e indiquen si son estrategas K o r.

	lagartija
estrategas K	jacarandá
	abejorro
estrategas r	ave
	rana
	árbol de palta

5. Determinen si las siguientes afirmaciones son verdaderas (V) o falsas (F).

- ☐ **a.** Las semillas que se dispersan por aire suelen estar dentro de frutos de colores y olores llamativos.
- ☐ **b.** La coevolución entre húesped y parásito es una hipótesis sobre la aparición de la reproducción sexual.
- ☐ **c.** Los estrategas K suelen tener muchos hijos y no ejercen cuidado parental.
- ☐ **d.** Las abejas son los únicos agentes polinizadores de plantas con flor.
- ☐ **e.** Los regalos nupciales, cantos y danzas forman parte del cortejo de distintas especies.

6. Resuelvan el siguiente acróstico basándose en lo que aprendieron en este capítulo.



a. Competencia sexual entre individuos de una misma especie.
b. Nombre del regalo asociado al cortejo.
c. Señales químicas producidas para atraer a parejas reproductoras.
d. Estructura que le brinda protección al embrión vegetal.

BLOQUE IV

Los mecanismos de la herencia

CAPÍTULO 09
Las leyes de la herencia genética

- La información hereditaria: el ADN
- Los primeros experimentos de Mendel
- El último experimento y las leyes de Mendel
- Los genes y los cromosomas
- La herencia

CAPÍTULO 10
La meiosis y la diversidad

- La reproducción sexual y la variabilidad
- La meiosis y la formación de gametas
- Las alteraciones cromosómicas
- Los factores que determinan el fenotipo

CAPÍTULO 11
La manipulación de la información genética

- La selección artificial
- La biotecnología
- La ingeniería genética
- Las nuevas técnicas en la medicina

A partir de la *reproducción*, los progenitores transmiten a sus hijos las "instrucciones" que les permiten desarrollarse y cumplir con sus funciones vitales. Estas características heredadas responden a una serie de mecanismos que fueron estudiados por *Gregor Mendel* en el siglo XIX.

Las leyes de Mendel sentaron las bases para el desarrollo de la **genética** y permitieron dilucidar por qué ciertos rasgos desaparecen y reaparecen a través de las generaciones.

La *información hereditaria* está presente en cada célula del organismo y se transmite como consecuencia de la *división celular* de la célula madre. Cuando un individuo se desarrolla, incrementa su número de células por medio de una **división mitótica.** Este proceso también es realizado por los organismos unicelulares eucariotas para reproducirse.

Por otro lado, las células sexuales llamadas *gametas* se producen en el interior de órganos sexuales o *gónadas* mediante **divisiones meióticas**.

El ser humano ha desarrollado **técnicas de manipulación de la información genética** con el objetivo de mejorar la *producción de ciertos alimentos*, *tratar enfermedades genéticas* o distintas *problemáticas vinculadas con la fertilidad*.

1. En la imagen se observa una pareja de gemelas, ¿habrá diferencias en su material genético? ¿Son clones?
2. ¿Podrían explicar las similitudes que hay entre nietos y abuelos?
3. ¿Las células de los tejidos se reproducen de la misma manera que las células sexuales? Justifiquen su respuesta.
4. ¿Escucharon hablar en los medios de comunicación sobre manipulación genética? ¿Consideran que la información que circula es suficiente? Discutan en clase y en sus hogares el impacto de la ciencia actual en la vida cotidiana.

Capítulo 09

Las leyes de la herencia genética

Gregor Mendel fue pionero en analizar los caracteres externos de las plantas para estudiar los mecanismos de la herencia. A partir de tres grupos de experimentos realizó las dos leyes conocidas como leyes de Mendel. Varios años después, los científicos incrementaron los conocimientos acerca de la genética y sus posibles aplicaciones que incluyen el reconocimiento de parentesco por medio de estudios genéticos.

Secuencia de contenidos:

- La información hereditaria: el ADN
- Los primeros experimentos de Mendel
- El último experimento y las leyes de Mendel
- Los genes y los cromosomas
- La herencia

- ¿Creen que los tres chicos de la imagen son hermanos o amigos? Si fueran parientes, ¿cómo se darían cuenta?
- ¿Existen algunos parámetros que les sirven para determinar si dos personas son parientes?
- ¿Por qué piensan que a veces algunos hijos se parecen a sus padres y otras veces no?
- ¿Qué parámetros sirven para determinar si dos personas son parientes?

La información hereditaria: el ADN

La información hereditaria se encuentra en la molécula de ADN, localizada en el núcleo de la célula. El ADN está asociado a proteínas, de manera que se enrolla constituyendo la cromatina, o se compacta en forma de cromosomas. Cada especie presenta un número determinado de pares de cromosomas homólogos. Los genes son fragmentos de ADN que contienen la información para una determinada característica. Veamos...

ADN, cromatina y cromosomas

La **información hereditaria**, ubicada en la molécula de ADN, determina todas las características y funciones de las células y se transmite de generación en generación.

En las células *eucariotas* el ADN es *lineal* y se encuentra dentro del **núcleo**, asociado a proteínas *histonas*, conformando la **cromatina**. En la interfase, la cromatina se presenta de forma *laxa*, como si fuese una maraña de hilos delgados. Sin embargo durante la división celular, la cromatina se vuelve compacta y densa. En este estado el ADN constituye los **cromosomas**, que solo son visibles durante la división celular [FIG. 181].

Al examinarlos con detalle durante la mitosis, se observa que los cromosomas presentan una forma y un tamaño característicos. Además se organizan de a *pares* cuyos miembros poseen los mismos genes, aunque pueden presentar distintas variantes. Estos cromosomas similares se llaman **homólogos** y al presentarse de a pares la célula se conoce como **diploide**.

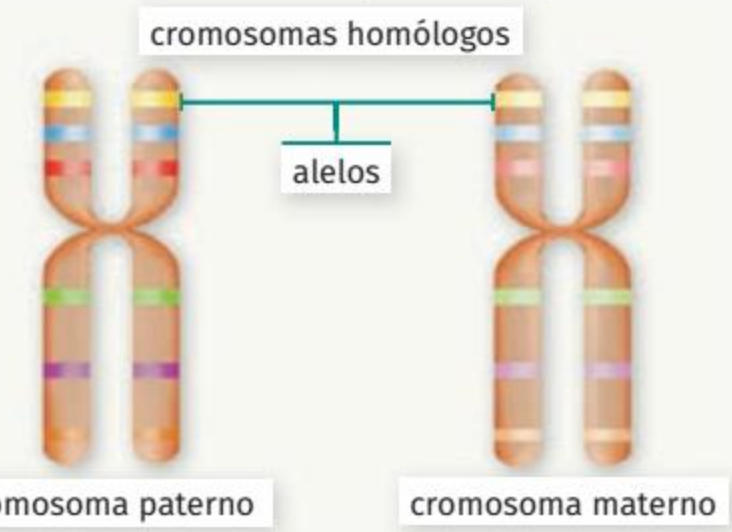
El número de cromosomas varía según la especie y se mantiene constante. Por ejemplo el ser humano, que es un organismo diploide, presenta 23 pares de cromosomas homólogos (es decir 46), de los cuales 23 se *heredan* de la madre y los otros 23 del padre. Cada par de cromosomas contiene una información determinada que será distinta a la de otro par de cromosomas.

Los **genes** son *porciones de ADN, de variada longitud, que presentan la información para producir o sintetizar proteínas o moléculas de ARN funcionales, que participan en las características y funciones biológicas.*

Los genes no se encuentran de manera continua sino que están separados por otras regiones de ADN.

Los organismos diploides cuentan con dos copias de genes, presentes en cada cromosoma homólogo heredado de los progenitores, para cada característica (por ejemplo para determinar el color de ojos); cada copia se denomina **alelo** [FIG. 182].

[FIG. 182]
Par de cromosomas homólogos (paterno y materno) formados por un conjunto de genes (bandas de color). Los alelos son los pares de genes de igual color.



Guía de estudio

1. Si los perros presentan 39 pares de cromosomas, ¿cuántos son de origen materno y cuántos paternos? ¿Cuántos pares de cromosomas homólogos presenta la especie?

[FIG. 181]
Esquema general del ADN, desde la doble hélice hasta la estructura del cromosoma formado por la cromatina condensada.

Los primeros experimentos de Mendel

Gregor Mendel fue un monje católico naturalista reconocido por sus estudios sobre la transmisión de los caracteres hereditarios a partir de plantas de arvejas. Realizó tres grupos de experimentos de los cuales dedujo las dos leyes de herencia. Para ello tomó en cuenta determinados caracteres de la flor y de la semilla. Veamos...

Inicios de Mendel

Johann Mendel nació en 1822 en Austria y adoptó el nombre Gregor luego de ingresar como fraile agustino al monasterio. Allí se interesó sobre la inmensa variedad de colores y formas que presentan las flores y las semillas, y fue entonces cuando se dedicó al estudio de *la transmisión de los caracteres hereditarios*. El trabajo realizado por Mendel, que marcó el comienzo del estudio de la genética, fue ignorado durante veinte años después de su muerte.

En sus investigaciones demostró que las características heredadas se encuentran en *unidades discretas* que se redistribuyen a lo largo de las *generaciones*.

A cada una de estas *unidades*, actualmente denominadas **genes**, Mendel las llamó *elemento*.

Para realizar sus trabajos eligió plantas de arveja de la especie *Pisum sativum*, que fueron autofecundadas para constituir *líneas puras*, es decir obtuvo plantas cuyos caracteres se mantenían constantes entre generaciones. Esta planta es fácil de cultivar y crece rápido, lo que le permitió realizar la experiencia repetidas veces para obtener sus conclusiones. Comenzó sus estudios con 32 variedades diferentes pero luego seleccionó solo siete características [FIG. 183], cada una de las cuales tenía dos variantes, entre ellas el color de la flor y de la semilla.

Primer grupo de experimentos

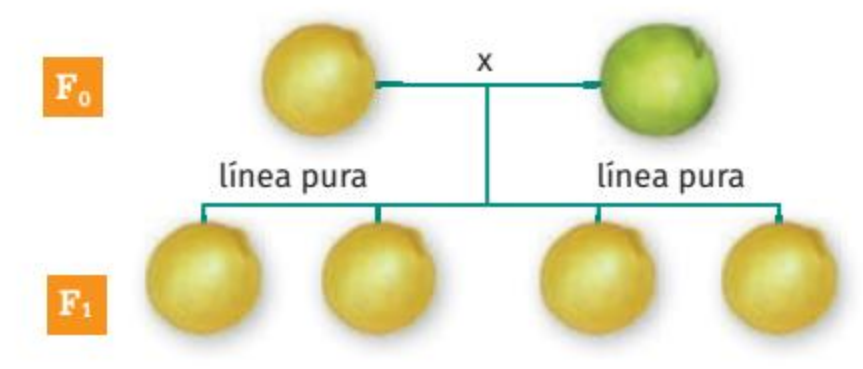
Para sus primeros experimentos, Mendel consideró una única característica por vez y tomó varias *plantas progenitoras* a las que denominó **generación parental** (P). A todas ellas, las cruzó consigo mismas con el fin de obtener plantas que solo presentaran la característica que él elegía. A estas plantas autofecundadas las llamó **líneas puras** (F_0).

Luego cruzó distintas líneas puras que presentaban variantes de la misma característica. De manera controlada colocó el polen de plantas de semillas amarillas sobre los estigmas de las plantas de semillas verdes y las cubrió con un lienzo para evitar que otro polen no seleccionado por él pudiera fecundar la planta.

Transcurrido el tiempo necesario, encontró que en la descendencia o **primera generación filial** (F_1) todos los miembros mostraban solo una de las dos variantes: semillas amarillas, mientras que la otra desaparecía [FIG. 184]. A estas variantes que aparecían en la F_1 Mendel las denominó **dominantes.**

[FIG. 184] Primer experimento de Mendel

Al cruzar dos líneas puras distintas, la descendencia presenta solo la característica dominante.



[FIG. 183]

Segundo grupo de experimentos

Luego de realizar el primer grupo de experimentos la inquietud acerca de qué había ocurrido con la variante "desaparecida" lo llevó a elaborar hipótesis que fueron probadas en una segunda etapa de experimentos.

Una característica que presenta la planta de arvejas *Pisum sativum* es que suele autofecundarse debido a que en el mismo individuo se encuentran los órganos sexuales femeninos y masculinos. A su vez, la flor presenta una morfología cerrada, lo que impide la llegada de agentes polinizantes como los insectos.

Mendel aprovechó esta característica para realizar la segunda serie de experimentos y permitió que las plantas de la F_1 se **autopolinizaran**. Tanto en el primer grupo de experimentos como en el segundo, Mendel analizó un caracter a la vez (de los siete que había elegido).

Luego de la fecundación y transcurrido un tiempo de crecimiento de la planta, Mendel observó que la variante que había desaparecido en la primera generación *reapareció* en la **segunda generación filial** (F_2).

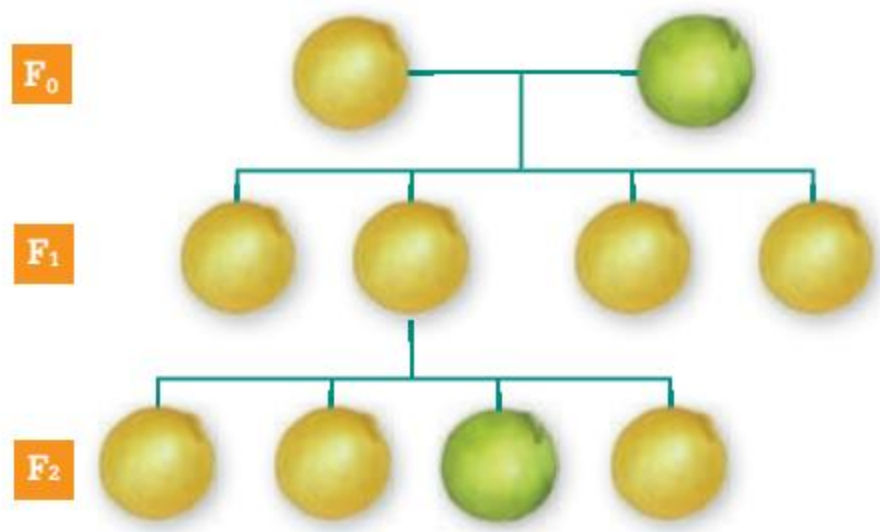
A las variantes que están presentes en la generación progenitora y que reaparecen en la generación F_2 las llamó **recesivas**.

Las variantes dominantes y recesivas aparecen en la F_2 en una relación **3:1**, lo que significa que, en promedio, de cada cuatro plantas que se obtienen, tres presentan semillas amarillas y una posee semillas verdes [FIG. 185]. De este modo, el carácter amarillo de la semilla corresponde a la variante dominante, y el color verde es la forma recesiva de esta característica.

Actualmente se sabe que estos caracteres heredables están determinados por factores discretos que se presentan de a pares y se los denomina **genes**.

[FIG. 185] Segundo experimento de Mendel

En el segundo grupo de experimentos, Mendel dejó que la F_1 se autofecundara y obtuvo una F_2 con una relación 3:1.



Tablero de Punnett

Mendel propuso que un carácter estaba determinado por *dos factores* provenientes de los progenitores.

Al estudiar el color de la semilla, llamó **dominante** al rasgo amarillo que aparecía en toda la F_1 y **recesivo** al que no se manifestaba pero retornaba en la F_2, es decir al color verde.

De este modo, es posible predecir las características que presentará la descendencia por medio de un gráfico llamado **tablero de Punnett** [FIG. 186]. La información genética que presentará un organismo se encuentra en el ADN de las gametas que lo originarán. Así, el tablero de Punnett expone las posibles combinaciones de gametas, que contienen las variantes de un gen. Por convención, los caracteres dominantes se representan con letras mayúsculas mientras que los recesivos con minúsculas.

gametas	A	a
A	AA	Aa
a	Aa	aa

[FIG. 186]

A las gametas que llevan el elemento (alelo) de carácter dominante (semillas amarillas) se las representa con la letra **A**. Se dice que un organismo es **homocigota** cuando presenta las mismas variantes o alelos de un gen.

Por lo tanto las plantas tienen el alelo A en sus dos cromosomas homólogos y se las llama **AA** u **homocigota dominante** y entonces solo generan gametas de tipo A.

Lo contrario ocurre con las progenitoras de semillas verdes: la planta es **homocigota recesiva aa** y por lo tanto solo puede generar gametas de tipo **a**. Al cruzar estas dos plantas se obtienen individuos heterocigotas **Aa** y homocigotas **AA** y **aa**, ya que heredan de cada progenitor una gameta distinta.

Guía de estudio

1. ¿Por qué algunos caracteres no aparecen en la primera generación filial (F_1)?

2. ¿Es lo mismo relación fenotípica y relación genética? Justifiquen su respuesta.

Palabras clave: herencia **fecundación cruzada** autofecundación

El último experimento y las leyes de Mendel

En el tercer y último experimento, Mendel analizó dos caracteres de forma simultánea. A partir de las conclusiones obtenidas de sus experimentos, propuso dos postulados conocidos como las leyes de Mendel. Por otro lado, existen variantes a las leyes de Mendel: dominancia incompleta y codominancia. Veamos...

Tercer grupo de experimentos

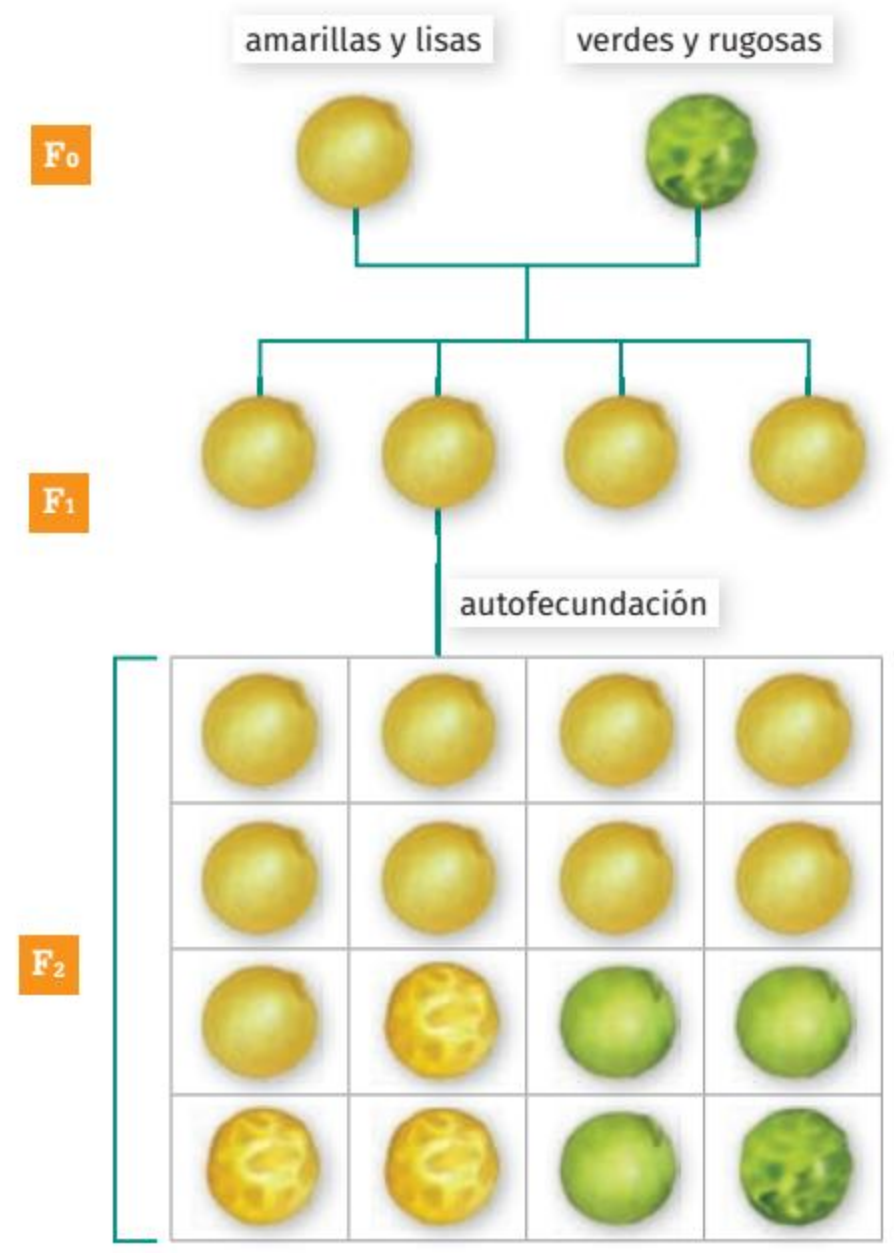
En los primeros dos experimentos Mendel consideró el comportamiento hereditario de una única característica. Por ello, en el **tercer grupo de experimentos** Mendel decidió estudiar qué ocurría cuando se analizaban *dos caracteres de manera simultánea*. Para ello cruzó dos líneas puras de plantas de arveja para dos caracteres, una con *semillas amarillas* (A) y *lisas* (B) y otra con semillas *verdes* (a) y *rugosas* (b).

Al igual que en el primer experimento, todas las semillas de la F_1 fueron amarillas y lisas (Aa y Bb). Luego de la autofecundación, en la F_2 obtuvo plantas con todas las combinaciones posibles y siempre en una misma relación, **9:3:3:1**. Esto significa que, en promedio, de cada 16 semillas, nueve eran amarillas y lisas (Aa y Bb), tres eran amarillas y rugosas (Aa y bb), tres eran verdes y lisas (aa y Bb), y una era verde y rugosa (aa y bb) [FIG. 187].

Por lo tanto, el color amarillo y el aspecto liso corresponden a los caracteres dominantes, y el color verde y la textura rugosa a los recesivos. Repitió el experimento con otros caracteres, como el largo del tallo y el color de la flor, y siempre obtuvo la misma proporción.

[FIG. 187] Tercer experimento de Mendel

Mendel observó que las características siempre se distribuían en una proporción 9:3:3:1.



Leyes de Mendel

A partir de cada uno de los tres grupos de experimentos realizados, Mendel concluyó dos leyes que rigen la herencia de los caracteres, conocidas actualmente como las leyes de Mendel.

- **Primera ley de Mendel o ley de la segregación de los caracteres en la F2.** Establece que cada individuo presenta un par de factores hereditarios para cada característica. Los miembros que constituyen el par (alelos) se separan o segregan durante la formación de las gametas de manera azarosa.
- **Segunda ley de Mendel o principio de distribución independiente.** Explica que durante la formación de gametas cada par de alelos se separa o segrega independientemente de los otros pares. Esto significa que los factores hereditarios para cada característica se distribuyen de manera independiente uno del otro.

Variantes de las leyes de Mendel

Los avances en el estudio de la genética mostraron que los patrones hereditarios no siempre son tan sencillos y directos. Las leyes de Mendel predicen los cruzamientos simples, pero muchas veces las variantes dominantes y recesivas no son tan claras como las siete características de la planta de arveja estudiadas por Mendel.

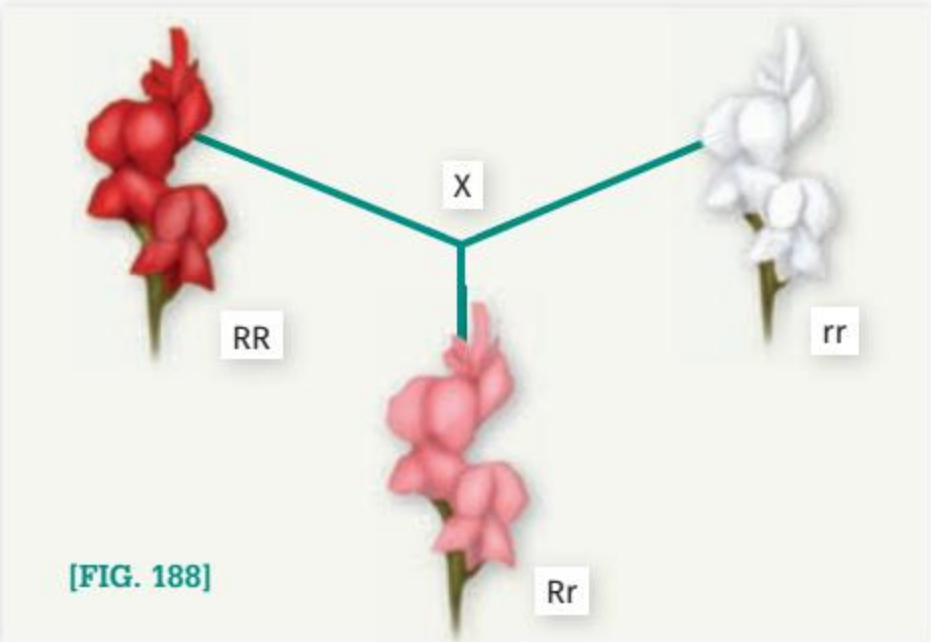
Existen variaciones de las proporciones fenotípicas esperadas por las leyes de Mendel, en aquellos casos en que la *descendencia no cumple con las proporciones* de 3:1 y de 9:3:3:1.

En estos casos, denominados *dominancia incompleta* y *codominancia*, las interacciones entre los alelos de un gen no son de dominancia o recesividad completa. Estas variaciones siempre se expresan en los individuos heterocigotas. Además, la mayoría de los rasgos son influidos por más de un gen, así como muchos genes se encuentran involucrados en la expresión de más de una característica.

Dominancia incompleta

En la **dominancia incompleta**, la variante dominante no enmascara por completo la expresión de la variante recesiva, sino que se genera una **forma intermedia.**

Un ejemplo de esta forma intermedia ocurre en la planta *Antirrhinum*, conocida como conejito. Al cruzar una planta de flores rojas con otra de flores blancas, el color de las flores que presenta la descendencia es rosado, un aspecto intermedio [FIG. 188]. Por lo tanto, esta última planta es *heterocigota*, para el color de la flor y el rasgo es determinado por un alelo que no domina por completo al otro.



[FIG. 188]

Cabe destacar que un organismo puede presentar dos alelos distintos para un caracter, es decir ser *heterocigota*, pero para otras características como el color de la semilla, puede ser *homocigota* y tener el mismo alelo en sus dos *cromosomas homólogos*.

Codominancia

La **codominancia** es una variación de las proporciones mendelianas, donde los descendientes expresan ambos alelos, es decir las *dos características en simultáneo*.

Los cuatro grupos sanguíneos (A, B, AB y 0) son un ejemplo de codominancia. En este caso, a los alelos que determinan dichos grupos se los conoce como **alelos múltiples**: **A**, **B** y **0**.

Los grupos sanguíneos son determinados a partir de una estructura específica llamada *antígeno*, ubicados sobre la superficie de los *glóbulos rojos* de la sangre. El grupo 0 no posee estos antígenos, de modo que un individuo que presente este grupo sanguíneo posee en sus cromosomas homólogos el alelo 0 (y por lo tanto es homocigota para el alelo 0). Si el grupo sanguíneo de una persona es A o B, puede deberse a que ambas copias del alelo son A o B (AA o BB) o que los individuos sean heterocigotas (A0 o B0). De este modo el alelo 0 es recesivo frente a A y a B.

Sin embargo, existen organismos cuyo grupo sanguíneo es AB. En este caso, los alelos A y B se expresan en simultáneo, ya que son **codominantes** [FIG. 189]. Por lo tanto, los individuos AB siempre son *heterocigotas* para esta característica.

GRUPO SANGUÍNEO	ALELOS DE LOS ANTÍGENOS	ANTÍGENO
0	00	
A	AA - A0	
B	BB - B0	
AB	AB	

[FIG. 189]

Guía de estudio

1. ¿A qué llamó Mendel variantes dominante y recesiva?
2. Expliquen cuáles son las diferencias entre los términos: *codominancia* y *dominancia incompleta*.
3. ¿Por qué creen que Mendel eligió repetir numerosas veces cada uno de los experimentos?
4. ¿La información de las gametas es azarosa?

Los genes y los cromosomas

Luego de los experimentos realizados por Mendel, los genetistas Sutton y Morgan determinaron que los genes se localizan en los cromosomas. Además, Morgan definió que existe un par de cromosomas llamados sexuales, que no son homólogos, por lo que no presentan los mismos genes. El conjunto de todos los genes se denomina genotipo y el fenotipo es la expresión del genotipo y su interacción con el ambiente. Veamos...

Teoría cromosómica de la herencia

Cuando Mendel llevó a cabo sus experimentos aún se desconocía la función del núcleo y su relación con la herencia. A pesar de esto, Mendel logró demostrar que las características hereditarias se transmitían de generación en generación mediante factores independientes que denominó *elementos* [FIG. 190].

Por no contar con la aprobación de sus colegas, sus descubrimientos fueron ignorados hasta principios del siglo XX. A partir de ese momento muchos científicos se dedicaron a estudiar la ubicación de los *elementos*, para lo cual investigaron las células sexuales: oocitos y espermatozoides. Al contrastar las diferencias existentes entre estas células y luego de analizar diversos aspectos, los científicos concluyeron que el núcleo era la región de la célula que contenía la información hereditaria.

Con el avance de la microscopía, los estudios que realizaron los genetistas *Walter S. Sutton* y *Thomas H. Morgan* resultaron de gran importancia. Gracias a sus aportes en 1902 se formuló la **teoría cromosómica de la herencia**, que sostiene que los *elementos* descriptos por Mendel, hoy llamados **genes**, se encuentran en los **cromosomas** y que los **alelos** son las distintas variantes de los genes ubicados en los **cromosomas homólogos**.

[FIG. 190] Estatua de Gregor Mendel (1822-1884), ubicada en el jardín del Museo de Genética (*Muzeum Genetiky*) de República Checa.

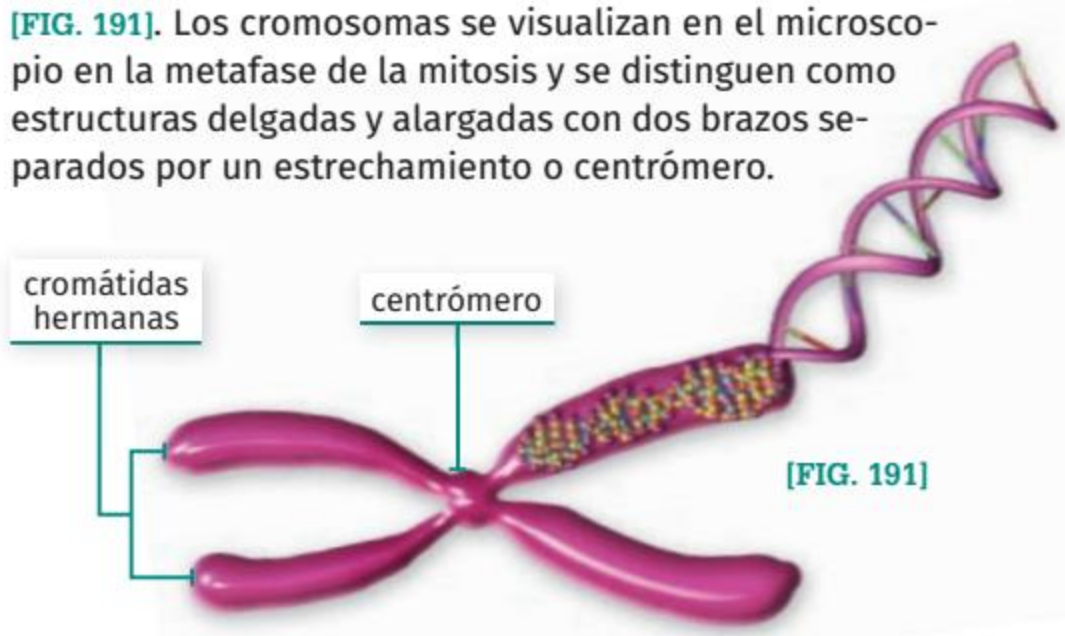
Además, a partir de esta teoría se dedujo que en el proceso de formación de las gametas los cromosomas homólogos se separan. De este modo, cada gameta presenta solo 23 cromosomas y luego de la fecundación, los cromosomas homólogos provenientes del oocito y del espermatozoide se aparean y se forman *nuevas combinaciones* de *alelos*.

Actualmente se sabe que los alelos que corresponden a genes diferentes se distribuyen independientemente, siempre y cuando estén alejados uno de otro o situados en pares de cromosomas distintos.

En algunos casos puede ocurrir que dos genes estén *ligados*, es decir ubicados muy cerca en un mismo cromosoma. Como consecuencia de esto, los alelos no se separan de manera independiente.

Estructura del cromosoma

Durante la división celular la **cromatina** se compacta o condensa y se visualizan los **cromosomas**. Estos están formados por dos **cromátidas hermanas** que presentan el mismo ordenamiento de genes y se encuentran unidas mediante una estructura denominada **centrómero** [FIG. 191]. Los cromosomas se visualizan en el microscopio en la metafase de la mitosis y se distinguen como estructuras delgadas y alargadas con dos brazos separados por un estrechamiento o centrómero.



[FIG. 191]

Los cromosomas humanos presentan tres morfologías distintas que se identifican por la longitud de los brazos y la posición del centrómero: *metacéntricos*, *submetacéntricos* y *acrocéntricos*.

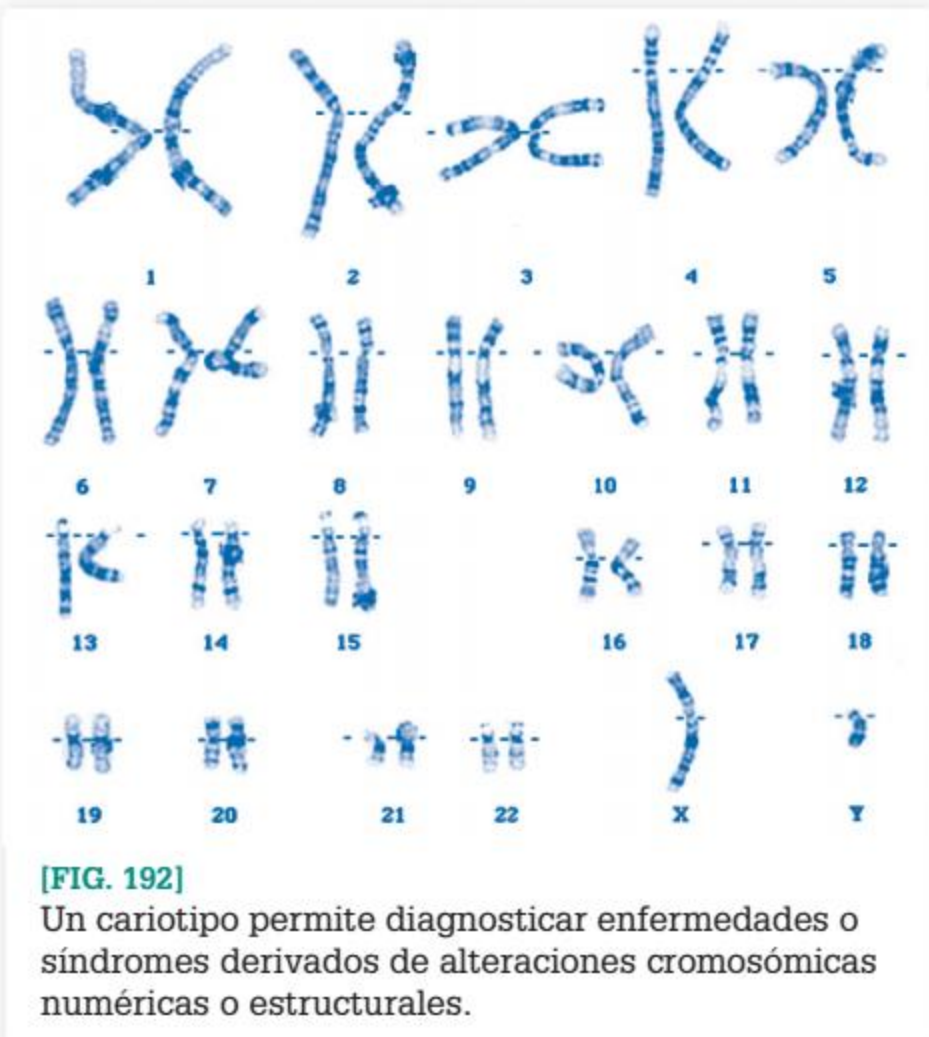
Cada especie presenta un número específico y constante de cromosomas. De este modo, todas las células del cuerpo humano poseen 46 cromosomas homólogos (23 maternos y 23 paternos).

Los genes se distribuyen en los distintos cromosomas y se presentan de a pares, y cada uno recibe el nombre de *alelo*. El lugar que un gen ocupa en el cromosoma se denomina **locus** (en plural loci).

Cariotipo

Los seres humanos poseen aproximadamente 21.000 genes distribuidos en 23 pares de cromosomas, de los cuales 22 pares se conocen como **cromosomas somáticos** o **autosomas** y un par corresponde a los **cromosomas sexuales**. Los humanos tienen dos clases de cromosomas sexuales, X e Y. De este modo, las mujeres poseen dos cromosomas X y los hombres uno X y otro Y.

El **cariotipo** es el conjunto de cromosomas de una célula, un individuo o una especie ordenados por pares de cromosomas homólogos. Cada par de cromosomas homólogos se identifica en el microscopio a partir de *patrones de bandas* que aparecen como consecuencia de tinciones específicas [FIG. 192].



[FIG. 192]
Un cariotipo permite diagnosticar enfermedades o síndromes derivados de alteraciones cromosómicas numéricas o estructurales.

Concepto de gen

Los **genes** son porciones del material genético o ADN que forman los cromosomas y contienen la información necesaria para cada una de las características biológicas que se heredan de los progenitores.

Cada gen sirve de molde para la fabricación de una molécula de ácido ribonucleico (ARN), cuya información es igual a la de una de las dos hebras del ADN. Este ARN, llamado *ARN mensajero*, transmite la información del gen al citoplasma para fabricar una proteína. Ambos procesos están muy regulados en los distintos tipos celulares y momentos de vida de un organismo.

Expresión genética

Se denomina **genotipo** al *conjunto de genes que posee un individuo* (heredado de sus progenitores), que puede o no expresarlos pero que serán transmitidos a su descendencia. A su vez, se denomina **fenotipo** al conjunto de *características visibles físicas* y *conductuales*, que se expresan a partir del genotipo y se relacionan con el medio ambiente. El fenotipo, entonces, es la expresión del genotipo en un ambiente determinado.

La información genética heredada a partir de los dos progenitores no se expresa todo el tiempo en todas las células del nuevo individuo. La expresión fenotípica de un gen determinado no solo depende de los alelos heredados sino también de otros genes y del ambiente.

Algunas veces puede ocurrir que una característica esté determinada por dos o más genes diferentes, lo que puede generar un fenotipo nuevo. Un ejemplo de esto son los cuatro tipos de crestas de las gallinas, que dependen de la interacción de los alelos de dos genes [FIG. 193].

El *genotipo* puede ser modificado cuando ocurren cambios en el material genético llamados **mutaciones**. Los eventos que pueden causarlas son muy variados, e incluyen radiaciones solares, exposiciones a rayos X o sustancias tóxicas, entre otros. Generalmente, estas mutaciones suelen aparecer en algunas células del cuerpo, pero si ocurren en las células madre de las gametas o en las mismas gametas, las alteraciones van a ser heredadas por los descendientes.

[FIG. 193]
La variedad de crestas de gallina se debe a la combinación de los alelos de dos genes diferentes.

Guía de estudio

1. ¿Qué factores influyen en la expresión de un gen? ¿Las mutaciones siempre son perjudiciales?
2. ¿Por qué los cromosomas homólogos presentan alelos de un mismo gen?
3. En una mujer, ¿los cromosomas sexuales, XX, son genéticamente idénticos entre sí?

La herencia

La reproducción hizo posible la continuidad de la vida desde hace 3.800 millones de años. A través de las generaciones los progenitores transmitieron a sus hijos la información o "instrucciones" que les permitieron desarrollarse y sobrevivir. Con el estudio del ADN se pueden reconstruir lazos familiares y restituir la identidad de las personas. Veamos...

Herencia ligada al sexo

El estudio de la **genética** se basa en cómo se transmite la información hereditaria generación tras generación y cómo se traduce esa información en las características particulares de cada individuo.

Los cromosomas de un organismo **diploide** (2n) se organizan de a pares llamados *autosomas*, y se encuentran presentes en ambos sexos. Algo diferente ocurre con los cromosomas *sexuales*, ya que difieren entre machos y hembras.

En el ser humano, al igual que en todos los mamíferos y en algunos insectos como la mosca, las hembras tienen dos cromosomas X, uno proveniente de la madre y otro del padre, mientras que los machos tienen un cromosoma X heredado de la madre y uno Y proveniente del padre. Así, los cromosomas sexuales X e Y difieren en la estructura y en la información genética contenida.

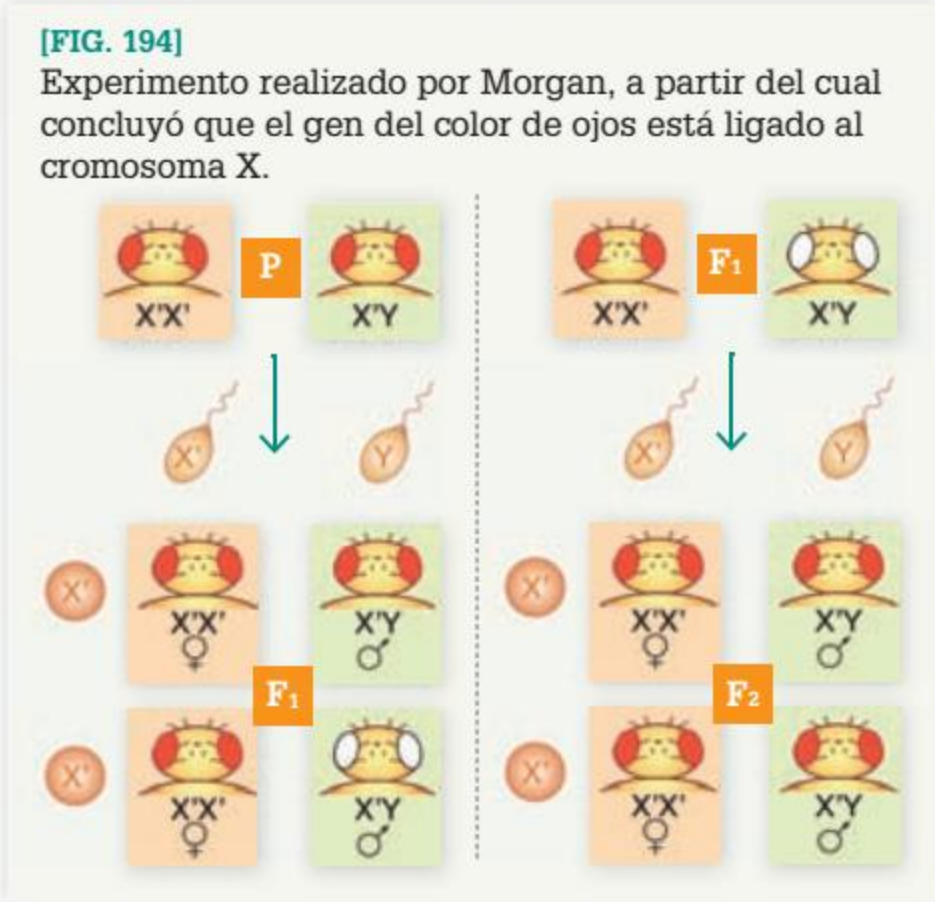
La mayoría de los animales y las plantas presentan variaciones entre los sexos en cuanto a forma, tamaño, coloración y diversos comportamientos en el caso de los animales. Esta serie de características que difieren entre machos y hembras se conoce como *dimorfismo sexual*.

El sexo de los individuos y las características asociadas a este se encuentran determinados por genes presentes en los cromosomas sexuales. La herencia de estos genes se conoce como **herencia ligada al sexo**.

Thomas H. Morgan fue uno de los primeros científicos en recolectar evidencias sobre este tipo de herencia usando moscas de la fruta como modelo experimental. Al igual que Mendel, Morgan pretendió emplear al insecto para replicar los experimentos realizados a partir de la planta de arvejas. De este modo, cruzó una mosca hembra de ojos rojos con un macho de ojos blancos, y observó que la descendencia F_1 heredó la coloración roja y blanca en una relación 3:1. Cuando cruzó una hembra F_1 de ojos rojos con un macho F_1 de ojos blancos, obtuvo una F_2 de ojos rojos. Estos experimentos introdujeron el concepto de *características ligadas al sexo*, que es importante en la genética de muchas especies.

Morgan concluyó que el color de ojos en las moscas era una *característica recesiva* y que se encuentra en el *cromosoma X*. Las hembras de la F_2 tienen ojos rojos debido a que son heterocigotas, en cambio los machos de la F_2 no heredan el cromosoma X que presenta el color blanco proveniente del padre **[FIG. 194]**.

[FIG. 194]
Experimento realizado por Morgan, a partir del cual concluyó que el gen del color de ojos está ligado al cromosoma X.



Dentro de las enfermedades y características humanas ligadas al **cromosoma X** se encuentran la *hemofilia* y el *daltonismo*. La hemofilia es una enfermedad recesiva sanguínea asociada con la imposibilidad de coagulación de la sangre. El daltonismo impide la capacidad de distinguir determinados colores. Las **enfermedades** ligadas al **cromosoma Y** se dan únicamente en los hombres, ya que las mujeres no poseen dicho cromosoma. Enfermedades asociadas a este tipo de herencia son poco comunes ya que el cromosoma Y posee menor cantidad de genes respecto del cromosoma X.

Ciencia actual

Daltonismo y terapia génica

La terapia génica consiste en la inserción de genes funcionales en el genoma de un individuo con el objetivo de tratar una enfermedad. En este sentido, se han realizado investigaciones en monos adultos para restaurar la visión de color, lo que convertiría esta terapia en una posible cura para el daltonismo.

ADN y Abuelas de Plaza de Mayo

En 1976, el golpe de estado al mando del teniente Jorge Rafael Videla derrocó el gobierno de María Estela Martínez de Perón. El terrorismo de Estado ejercido por los militares hasta 1983 provocó que miles de opositores y disidentes políticos resultaran exiliados, desaparecidos, torturados y asesinados.

En ese contexto 30.000 personas fueron secuestradas y retenidas en centros clandestinos, donde cientos de mujeres embarazadas fueron torturadas y forzadas a dar a luz en condiciones inhumanas. Los bebés recién nacidos fueron apropiados por los represores y muchos de ellos, hoy adultos, todavía desconocen su verdadera identidad.

En 1977, plena dictadura militar, fue creada la organización **Abuelas de Plaza de Mayo**, que agrupaba a aquellas abuelas, madres de desaparecidos, que buscaban a sus nietos secuestrados por los militares.

En 1979, las Abuelas de Plaza de Mayo leyeron en el diario una noticia que explicaba que un hombre había sido sometido a un estudio con el fin de determinar si era o no el padre de un niño. A partir de esta noticia, las abuelas se esperanzaron con la posible utilización de la **genética** para *identificar a los nietos desaparecidos*.

Así, viajaron por numerosos destinos internacionales en busca de científicos que pudieran ayudarlas, ya que las técnicas desarrolladas hasta el momento requerían del material genético de los padres. En 1982 visitaron en Washington la **Comisión Internacional de Derechos Humanos** y luego se pusieron en contacto con un médico genetista argentino exiliado en Nueva York, *Victor Penchaszadeh* [FIG. 195]. El científico les explicó que la ciencia podía ayudarlas, pero al ser un caso inédito en el mundo todavía no se contaba con el conocimiento necesario para hacer un análisis de parentesco entre nietos y abuelos. Por ello, el genetista argentino contactó a las abuelas con los científicos *Mary Claire King* y *Cristián Orrego* que colaboraron en el desarrollo del **índice de abuelidad**.

[FIG. 195]
El Dr. Penchaszadeh jugó un papel central en la creación del Banco Nacional de Datos Genéticos.

El ADN es la molécula hereditaria que se transmite de padres a hijos. Este se encuentra en el núcleo de todas las células y contiene la información para todas las características de un individuo. Sin embargo, dentro de las células existen organelas que poseen material genético: las **mitocondrias**. El **ADN mitocondrial** se transmite por la *línea materna*, ya que el oocito aporta las organelas en la formación del cigoto. Entonces, a diferencia del ADN nuclear, que es una combinatoria del ADN de los cuatro abuelos, el ADN mitocondrial se hereda de la madre, y esta lo hereda de la suya, es decir de la abuela materna.

A mediados de los años 80, las abuelas impulsaron la creación de un banco para almacenar sus perfiles genéticos y garantizar la identificación de sus nietos.

En 1987, los integrantes del Congreso de la Nación votaron de manera unánime la ley de creación del **Banco Nacional de Datos Genéticos** (BNDG), que funciona en dependencias del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva de Argentina. En él se almacena una gran cantidad de material genético de las familias que denunciaron la desaparición de niños. Las muestras de los familiares de víctimas de la última dictadura serán guardadas hasta el año 2050. Sin embargo, las abuelas apuestan a una mejora del análisis que permita a los bisnietos poder recuperar su identidad, en el caso de que sus padres no lo hayan hecho [FIG. 196].

Este avance en la genética no solo fue una herramienta esencial para las Abuelas de Plaza de Mayo, sino que también fue utilizado en países como Croacia y Etiopía con el objetivo de determinar la identidad de personas asesinadas en los genocidios ocurridos en esos países.

[FIG. 196]
La identidad es un derecho y todavía faltan cientos de personas que desconocen sus orígenes.

https://goo.gl/780NIM
Escaneen el código QR para ver el programa *99,99 % La ciencia de las Abuelas*.

Guía de estudio

1. ¿En qué se basó Morgan para determinar que el gen que define el color de los ojos se encuentra en el cromosoma X?

2. ¿Qué contribuciones a la ciencia impulsaron las Abuelas de Plaza de Mayo?

Experiencia en acción y...

El ADN de una cebolla

Como se desarrolló en el capítulo, todos los seres vivos presentan ADN en sus células. En aquellos que son eucariotas este ADN se encuentra encerrado en el núcleo. Si siguen el procedimiento del siguiente experimento, podrán extraer el ADN de una verdura cotidiana como la cebolla.

Materiales

- Colador pequeño
- Licuadora de mano
- Una cebolla
- Un cuchillo
- Agua destilada
- Jugo de ananá
- Sal
- Tres vasos de vidrio
- Una varilla de vidrio
- Alcohol doméstico

Procedimiento

a. Corten el centro de la cebolla en cuadraditos. Para eso, primero deben cortar los laterales.

b. Viertan el agua destilada en el vaso hasta cubrir un tercio de su volumen. Luego, agreguen una cucharada de sal y tres cucharadas de detergente.

c. Rellenen el espacio restante con agua destilada. Tengan cuidado de que no se vuelque.

d. En el otro vaso coloquen las cebollas cortadas y la mezcla que recién prepararon.

e. Trituren con la licuadora o procesadora de mano por 30 segundos.

f. Cuelen la mezcla en el tercer vaso y agréguenle tres cucharadas de jugo.

g. Inclinen el tercer vaso y viertan una cantidad de alcohol equivalente a la que presenta el vaso. Tengan en cuenta que el alcohol no debe mezclarse con la preparación anterior, por lo que debe ir pegado a la pared.

h. Dejen reposar unos minutos.

Observaciones y conclusiones

1. Una vez pasado el tiempo de reposo, podrán observar que ascendieron hebras de un color blanquecino que podrán tomar con la varilla de vidrio. ¿Se les ocurre qué podrá ser? ¿Será idéntico en todas las plantas de cebolla?

2. ¿Qué función cumplen estas hebras?

3. Determinen en qué estado se encuentran, ¿cromosoma o cromatina?

...revisión final.

- **Lean el siguiente texto y resuelvan las actividades.**

Una mujer embarazada fue a hacerse una ecografía junto a su esposo e hijo de 12 años para ver al bebé en camino. Luego de observarlo y de que el médico les explicara que estaba en perfecto estado, el niño le preguntó al médico si su hermanito menor podría ser daltónico como él. Después de que el médico le respondió, el niño quiso saber por qué él era rubio y sus padres morochos.

1. Determinen si las siguientes afirmaciones son verdaderas (V) o falsas (F).

☐ **a.** El daltonismo es una enfermedad que únicamente se expresa en el hombre.
☐ **b.** El padre de los niños sí o sí expresa el gen del daltonismo.
☐ **c.** El niño es rubio porque sus padres son homocigotas respecto del gen de color de cabello.

2. Marquen con un ✓ la respuesta del médico en referencia al daltonismo del niño en camino.

○ **a.** Es seguro que tu hermano sea daltónico.
○ **b.** Existe cierta posibilidad de que tu hermano sea daltónico.
○ **c.** Puede ser que cuando nazca no sea daltónico, pero cuando crezca seguro lo será.
○ **d.** No hay ninguna posibilidad de que sea daltónico.

3. El médico le explicó al niño que él podía ser rubio (homocigota recesivo) porque sus padres eran heterocigotas con respecto al color de pelo. ¿Cuál es la probabilidad de que el bebé en camino sea rubio?, ¿y la probabilidad de que sea morocho?

4. Subrayen la o las opciones correctas para completar la frase.

a. Si el niño es rubio, es *homocigota recesivo* / *homocigota dominante* / *heterocigota* respecto del color de pelo.

b. En el mapeo cromosómico se observa que el gen del color de pelo está en *un único par de cromosomas homólogos* / *al menos dos pares de cromosomas homólogos* / *todos los pares de cromosomas homólogos.*

5. Completen el texto con los conceptos faltantes de manera que quede correcta.

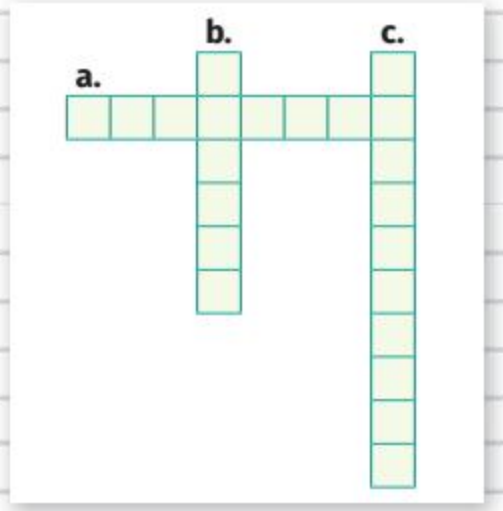
Los cromosomas son estructuras de ADN (..... .....) que se encuentran de manera condensada. En un organismo ..... hay dos copias de cromosomas, mientras que los haploides presentan una única copia. Los ..... son porciones de ADN que forman el cromosoma y cada uno presenta la información necesaria para determinadas características. El genotipo es el conjunto de todos los genes de un organismo, mientras que el ..... corresponde a la expresión externa del conjunto de genes.

6. Completen las oraciones con los siguientes términos: dominancia completa o codominancia.

a. Un ejemplo de ..... es la obtención de un individuo de cuerpo blanco con manchas negras a partir del cruzamiento de dos animales, uno de color negro y el otro de color blanco.

b. Un caso de ..... es aquel que se observa con el color de ojos en los seres humanos. El hijo de una pareja presenta ojos marrones ya que el hombre tiene ojos marrones y la mujer ojos celestes (ambos homocigotas).

7. Completen el siguiente acróstico.



a. Alelo que no se expresa en presencia del alelo dominante.
b. Científico que estudió la expresión de ciertas características en las plantas de arvejas.
c. Organismo que presenta la misma característica para determinado gen.

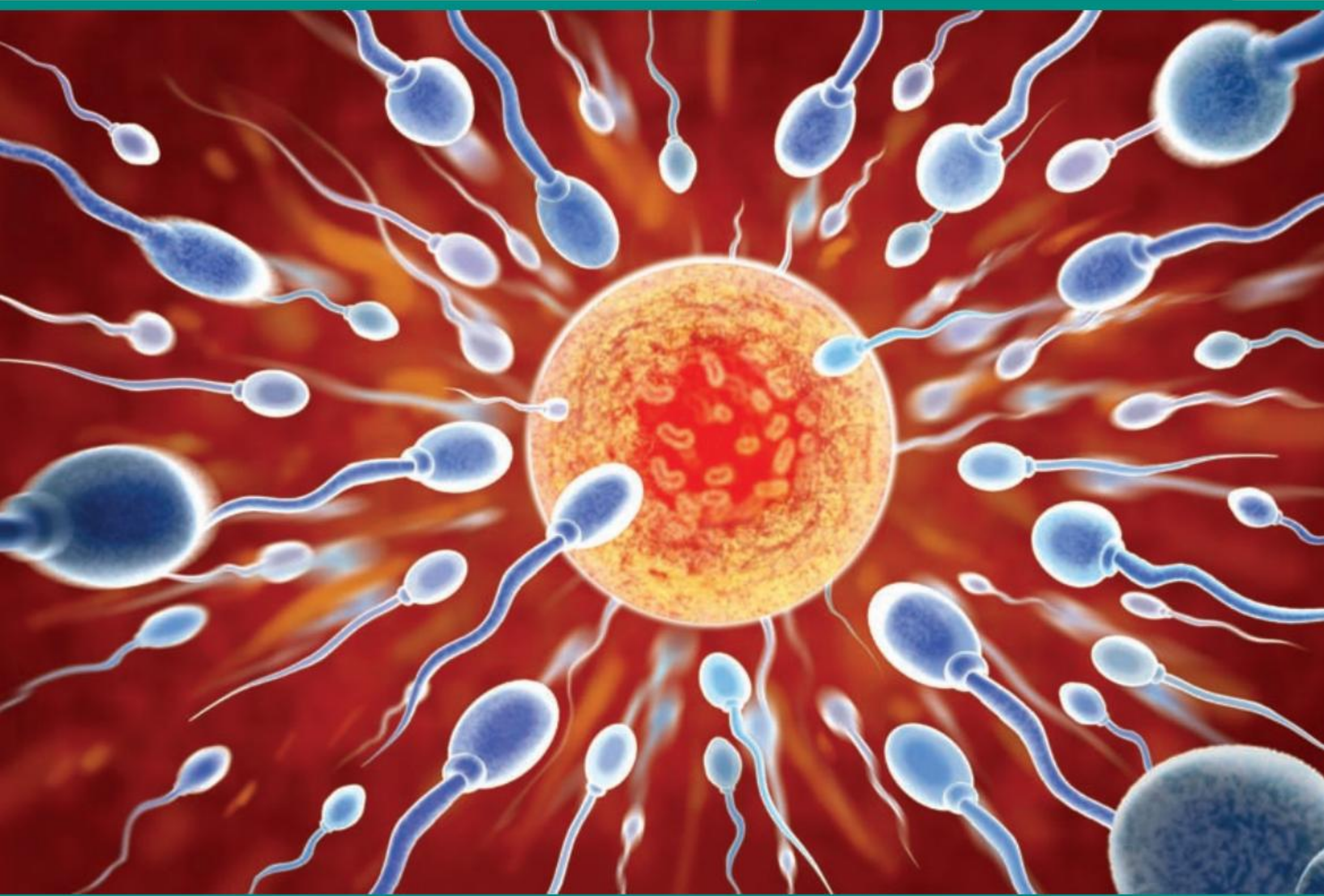
Capítulo 10

La meiosis y la diversidad

Los genes contienen la información para todas las características de los seres vivos y son segmentos del material genético o ADN. Los organismos que se reproducen sexualmente presentan diferencias que contribuyen a la variabilidad genética de la especie. Esta última se debe en parte, a la separación independiente de los cromosomas durante la meiosis y del entrecruzamiento de cromosomas homólogos.

Secuencia de contenidos:

- La reproducción sexual y la variabilidad
- La meiosis y la formación de gametas
- Las alteraciones cromosómicas
- Los factores que determinan el fenotipo



- ¿Qué tipos de células reconocen en la imagen? ¿Son todas iguales? Mencionen las diferencias observadas.
- ¿Creen que el material genético es propio de cada persona? ¿Cómo explicarían el parecido entre padres e hijos?
- ¿Consideran que existen factores que influyen sobre la variabilidad de una especie? ¿Cuáles?
- ¿El ambiente influye sobre el aspecto y/o el comportamiento de un individuo? ¿Por qué?

La reproducción sexual y la variabilidad

La reproducción sexual implica la unión de dos gametas originadas a partir de meiosis. Involucra a dos individuos de la misma especie y de sexos opuestos. La fecundación, la separación al azar de los cromosomas y el entrecruzamiento (intercambio genético entre cromosomas homólogos) contribuyen a la variabilidad que permite la evolución de las especies. Veamos...

Fuentes de variabilidad

Casi todos los organismos eucariotas pluricelulares se reproducen de manera **sexual**. En la mayoría de los casos participan *dos progenitores de la misma especie* y de *distinto sexo*. La reproducción sexual siempre involucra dos procesos: **meiosis** y **fecundación**.

En la reproducción sexual, cada uno de los progenitores provee una **gameta** o célula sexual *haploide* que se origina mediante meiosis y que posee la información genética hereditaria.

La fecundación es la unión de las células sexuales, y su resultado depende de cuáles sean las gametas que se fecunden y de la información que transporten. Además, existen cuatro características fundamentales presentes en todas las especies que se reproducen sexualmente:

- las gametas se reconocen químicamente;
- solo un espermatozoide fecundará al oocito;
- como consecuencia de la unión de gametas se fusiona su material genético;
- se forma una célula diploide llamada **cigoto**, que se desarrolla de forma correcta si existe *compatibilidad genética* entre ambas gametas, es decir si presentan cromosomas homólogos y el mismo número de cromosomas totales en cada célula.

En aquellas especies con reproducción sexual se reconocen **dos fuentes de variabilidad genética**: la *meiosis* y la *fecundación*.

La **meiosis** es un tipo de división nuclear que permite la formación de las células sexuales, que se caracterizan por presentar la *mitad de la información hereditaria* respecto de la célula progenitora.

La información genética será distinta en cada gameta, como consecuencia de la separación o **segregación al azar de los cromosomas** durante la meiosis que formó las gametas de los progenitores. Por lo tanto el azar influye en el genotipo del nuevo individuo, ya que depende de qué gametas masculinas y femeninas se fusionaron y de qué cromosomas homólogos presenten las gametas.

Importancia del número par de cromosomas

Para que ocurra la fecundación las células sexuales que se fusionan deben ser compatibles, y para que ello suceda, las gametas deben ser generadas por ejemplares de la misma especie y de sexo opuesto.

Se define *especie* como el conjunto de individuos de una población que pueden reproducirse entre sí y dar descendencia fértil. Existen casos en los que dos especies distintas se reproducen y generan individuos saludables pero infértiles. Un ejemplo conocido es la *mula*, que se origina a partir del cruzamiento de un burro (62 cromosomas) con una yegua (64 cromosomas). La mula desciende de dos individuos de distinta especie y por lo tanto es un *híbrido* completamente estéril, ya que sus órganos sexuales no se desarrollaron. Sin embargo el organismo puede crecer con normalidad porque la división mitótica no se encuentra afectada. La mula presenta un número impar de cromosomas (63), los cromosomas homólogos no pueden aparearse en la meiosis y las gametas no se producen [FIG. 197].

[FIG. 197]
En 2003, investigadores de Estados Unidos encontraron una manera de reproducir mulas: clonarlas.

https://goo.gl/559ovC
Escaneen el código QR y aprendan más sobre variabilidad genética.

Guía de estudio

1. **Enumeren las características fundamentales de la reproducción sexual.**
2. **¿Qué procesos contribuyen a la variabilidad genética? ¿Por qué es importante que existan variaciones entre individuos?**

Palabras clave: gametogénesis ovogénesis **crossing over**

La meiosis y la formación de gametas

La meiosis es un mecanismo de división nuclear por el cual se forman las gametas o células sexuales. Estas son haploides ya que presentan la mitad de la información genética con respecto a la célula madre. Los mecanismos de formación de gametas son: espermatogénesis y ovogénesis. Estos difieren según el sexo y como resultado se obtienen las células sexuales. Veamos...

Ciclo celular y meiosis

Las células presentan un **ciclo celular** que comprende dos fases: **interfase** y **división celular**. Este último proceso cumple un papel fundamental en el mantenimiento del ser vivo. La división celular puede ser una *división mitótica* o *meiótica*, y a su vez involucra dos procesos: la **división nuclear** seguida de la **división citoplasmática**, proceso conocido como *citocinesis*.

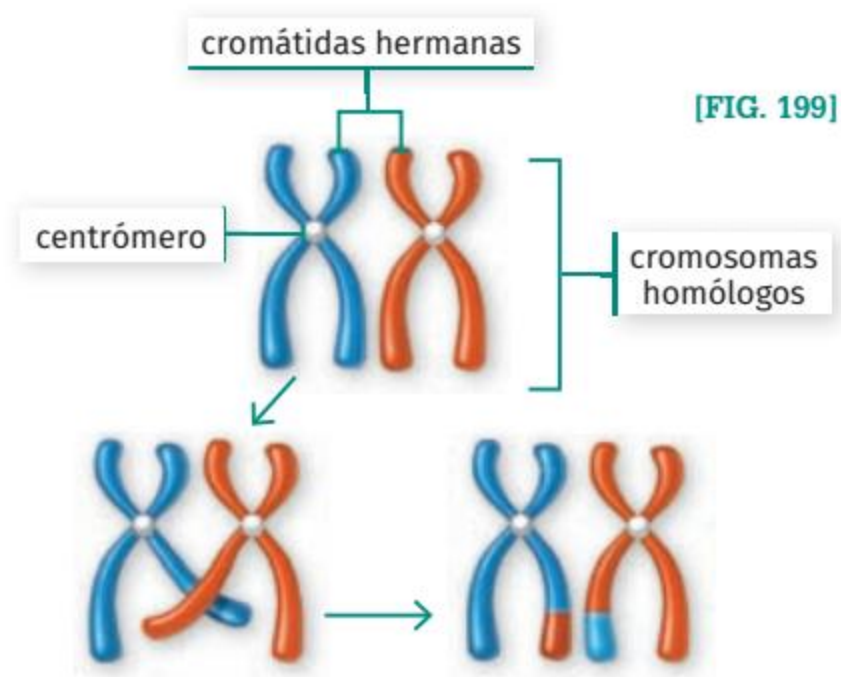
Existen dos tipos de división celular en los eucariotas: **mitosis** y **meiosis**.

La meiosis consiste en **dos divisiones nucleares** sucesivas que forman *cuatro células hijas*. Cada célula hija tiene la *mitad* del *número* de *cromosomas* respecto de la progenitora, ya que recibe solo *un* miembro de cada *par de cromosomas homólogos*. Durante la interfase, los cromosomas se duplican y se forman las cromátidas, hermanas idénticas unidas por el centrómero.

La meiosis se divide en ocho fases, ordenadas en **meiosis I** y **meiosis II**, de 4 fases cada una [FIG. 198].

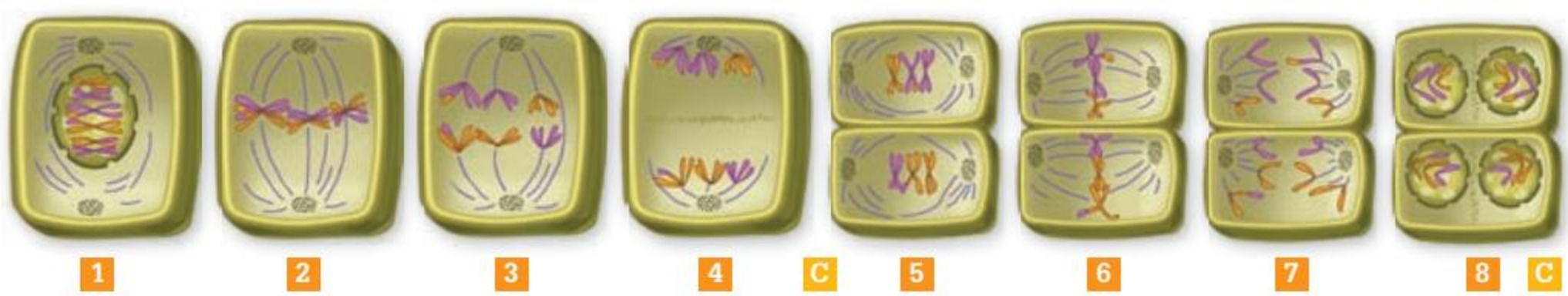
En la meiosis I los cromosomas homólogos se aparean y luego se separan; en la meiosis II se separan las cromátidas de cada homólogo. Al finalizar cada meiosis, ocurre la citocinesis.

En la meiosis I ocurre un proceso de recombinación de la información genética entre cromosomas homólogos. Este proceso se denomina **entrecruzamiento** o ***crossing over*** y como resultado, las células hijas presentan modificaciones en sus cromosomas respecto de los cromosomas de la célula original [FIG. 199].



[FIG. 199]

[FIG. 198] División celular: meiosis



[1] **Profase I**. Se compacta el ADN y se forman los cromosomas. Se desintegran el nucleolo y la envoltura nuclear y se extienden los microtúbulos del huso. Ocurre el *entrecruzamiento*.

[2] **Metafase I.** Los pares de cromosomas homólogos se alinean en el plano ecuatorial.

[3] **Anafase I.** Se separan los miembros de cada par de cromosomas homólogos y se mueven hacia los polos.

[4] **Telofase I.** Los cromosomas homólogos se ubican en los polos.

[5] **Profase II.** Las envolturas nucleares se desintegran y comienzan a aparecer nuevas fibras del huso.

[6] **Metafase II.** Los cromosomas se ordenan en el plano ecuatorial y las fibras del huso se asocian con los centrómeros.

[7] **Anafase II.** Las cromátidas hermanas de los cromosomas se separan y cada una se dirige al azar hacia cada uno de los polos.

[8] **Telofase II.** Los microtúbulos del huso desaparecen y se forma una envoltura nuclear alrededor de cada conjunto de cada cromátida ahora llamada cromosoma. Como consecuencia, se obtienen cuatro núcleos haploides con el mismo número de cromosomas.

[C] **Citocinesis.** División del citoplasma.

Gametogénesis

Las células sexuales llamadas *gametas* intervienen en el proceso de reproducción sexual. Se originan mediante división meiótica por **gametogénesis**. En animales vertebrados, este proceso ocurre en las **gónadas** u órganos reproductores: *testículos* y *ovarios*.

A su vez, la gametogénesis se clasifica en función del tipo de gameta que elabore. El proceso que origina las gametas masculinas o espermatozoides se denomina *espermatogénesis*, mientras que las gametas femeninas u oocitos se originan por *ovogénesis*.

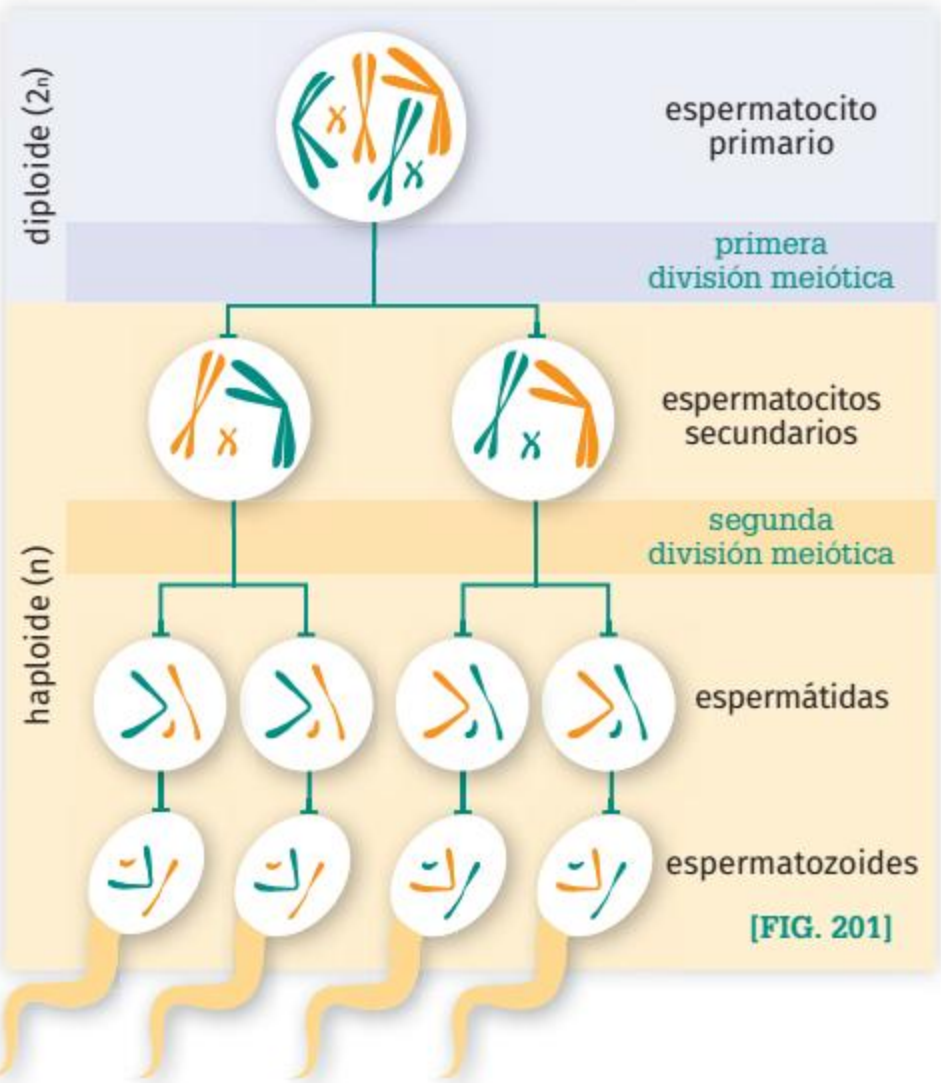
Espermatogénesis

La **espermatogénesis** es el proceso de formación de los *espermatozoides* y ocurre en los *testículos* [FIG. 200].

Los **espermatocitos primarios** son células diploides que sufren una *meiosis I* y originan dos **espermatocitos secundarios**. Luego, la *meiosis II* ocurre en cada uno de los espermatocitos secundarios, y da como resultado dos **espermátidas** haploides. Las espermátidas maduran y se transforman en **espermatozoides** [FIG. 201].

Los espermatozoides, a diferencia de las espermátidas, presentan menor contenido citoplasmático y una estructura móvil denominada cola o *flagelo*.

[FIG. 200]
Los testículos se encuentran 3 °C por debajo de la temperatura corporal. Esto permite que los espermatozoides maduren.



[FIG. 201]

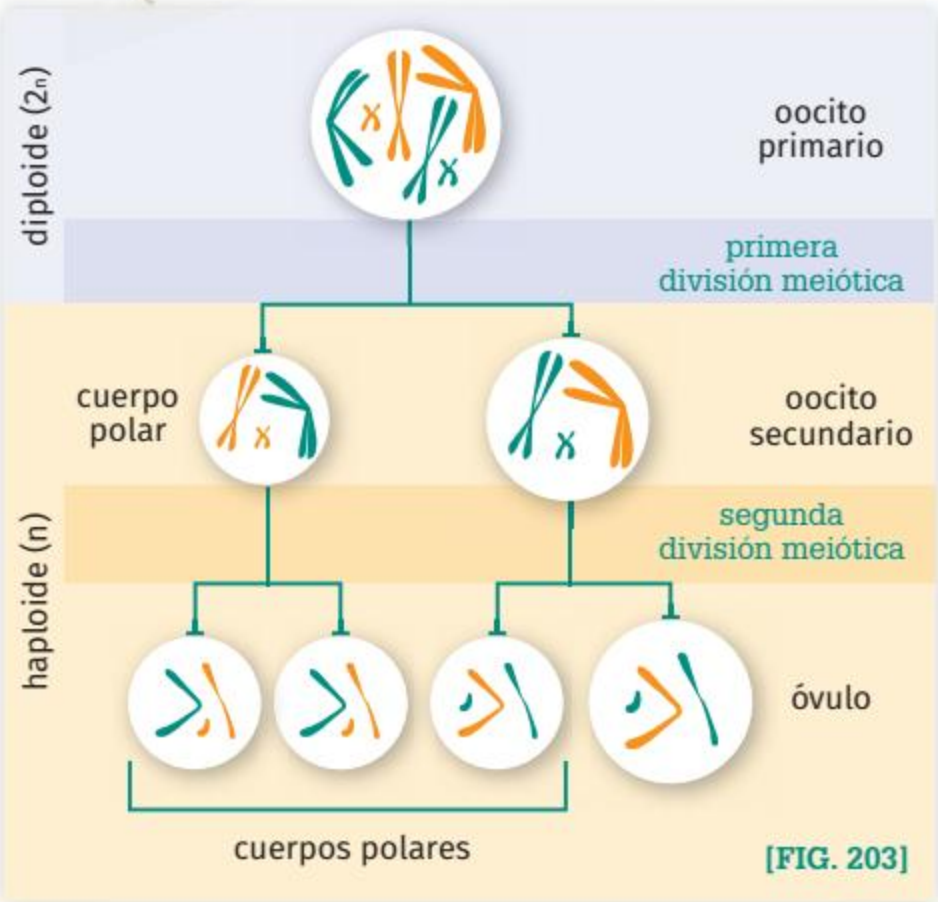
Ovogénesis

La producción de gametas femeninas u *oocitos* se da mediante un proceso denominado **ovogénesis,** llevado a cabo en los *ovarios* [FIG. 202].

Los **oocitos primarios** son células dipoides que crecen y acumulan sustancias nutritivas. Sufren una *meiosis I* que origina dos células de tamaños muy diferentes: la mayor se denomina **oocito secundario**, mientras que la pequeña se llama **primer corpúsculo polar**. Luego, el **oocito secundario** culmina la *meiosis II* y origina una pequeña célula haploide, denominada **segundo corpúsculo polar**, y una célula haploide más grande: el **óvulo**. Por otro lado, los corpúsculos polares habitualmente se desintegran [FIG. 203].

La meiosis I comienza durante el desarrollo fetal de la mujer y queda detenida en profase I hasta que se produce la ovulación. La meiosis II no ocurre hasta que el espermatozoide penetra en el oocito secundario.

[FIG. 202]
A lo largo de su vida fértil una mujer produce alrededor de 400 oocitos.



[FIG. 203]

Guía de estudio

1. Expliquen las diferencias y similitudes de la espermatogénesis y la ovogénesis.
2. ¿Por qué es importante el entrecruzamiento?
3. ¿Cuántas células se obtienen por meiosis?

Las alteraciones cromosómicas

Las alteraciones cromosómicas son un tipo de mutación originado en la división nuclear: meiosis o mitosis. Ocurren en los cromosomas sexuales y en los autosomas y afectan el número o la estructura de estos. Pueden alterar la viabilidad, la fertilidad de un organismo, o mantenerse como parte de la variabilidad genética de la población. Veamos...

Generalidades de las mutaciones

Las **mutaciones génicas** son cambios en la secuencia del ADN de una célula. Un tipo muy estudiado de mutaciones son las alteraciones **cromosómicas**: si los cambios afectan la estructura de los cromosomas se denominan *mutaciones cromosómicas estructurales* y si alteran la cantidad, se las conoce como *mutaciones cromosómicas numéricas*. Las mutaciones que ocurren en las gametas o en sus células madre situadas en las gónadas se transmiten a la descendencia. Las que se producen en las células del cuerpo son heredadas solo por un grupo de células hijas del adulto y se llaman mutaciones **somáticas**.

El exceso o la deficiencia del material cromosómico puede generar embriones o fetos no viables que sufren abortos espontáneos. En aquellos embarazos que llegan a término, las anomalías cromosómicas pueden generar individuos con diversas patologías. La aparición de las mutaciones es importante para el proceso evolutivo, ya que es una fuente de nuevas variaciones sobre las que opera la selección natural.

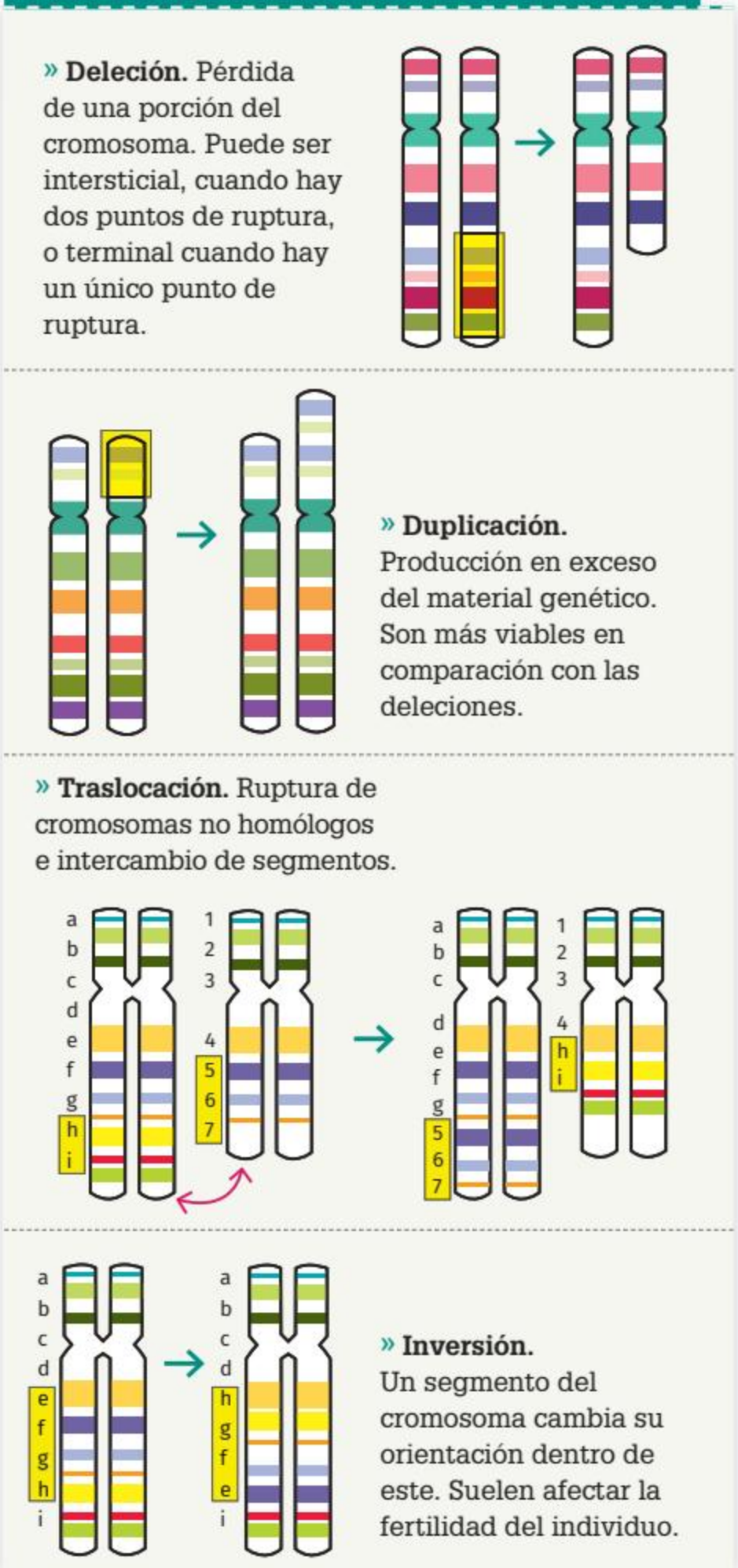
Alteraciones cromosómicas *estructurales*

Las **alteraciones cromosómicas estructurales** ocurren en aquellos casos en los que los cromosomas sufren *rupturas* y, en consecuencia, se pierden o se intercambian fragmentos entre cromosomas no homólogos. Si bien existen mecanismos de reparación que reúnen los segmentos, en ocasiones fallan y se producen anomalías.

En general, las mutaciones pueden generarse de manera *espontánea* o ser inducidas por *agentes mutagénicos*, que incrementan la probabilidad de que ocurran. Estos pueden ser físicos, biológicos o químicos. La temperatura, las radiaciones y el ultrasonido son agentes mutagénicos físicos; una variedad de compuestos químicos provocan mutaciones como el óxido nitroso, y algunos virus pueden afectar el material genético de su hospedador.

Entre las mutaciones cromosómicas estructurales más frecuentes se encuentran *deleciones*, *duplicaciones*, *traslocaciones* e *inversiones* [FIG. 204].

[FIG. 204] Tipos de mutaciones estructurales

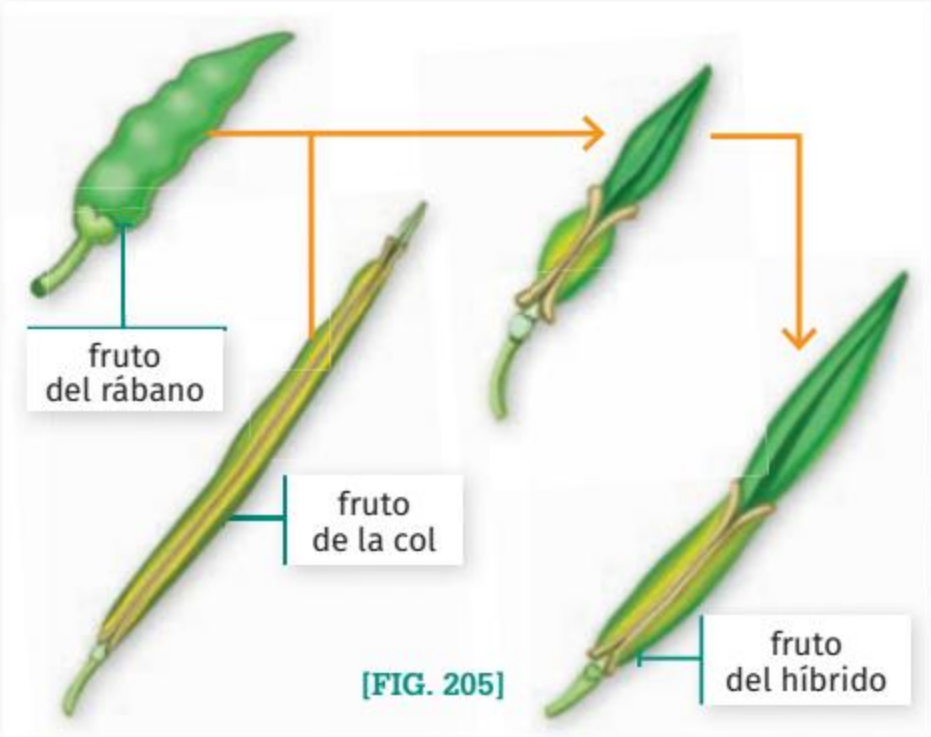


Alteraciones cromosómicas *numéricas*

Las **alteraciones cromosómicas numéricas** en general se producen por una *falla en la migración* de los *cromosomas* hacia los polos y pueden generarse tanto en la *meiosis* como en la *mitosis*.

Pueden involucrar una o más dotaciones completas de cromosomas (haploide, n) y en consecuencia generar individuos poliploides (triploide, 3n; tetraploide, 4n; pentaploide, 5n; etcétera).

La poliploidía es típica en plantas, como por ejemplo el híbrido tetraploide entre la col y el rábano [FIG. 205].



[FIG. 205]

Las alteraciones cromosómicas numéricas con mayor frecuencia en los seres humanos son las **aneuploidías**. Estas incluyen las *monosomías*, o ausencia de un cromosoma, y las *trisomías*, cuando existen tres cromosomas homólogos. La aneuploidía es el cambio en el número cromosómico y puede dar lugar a enfermedades genéticas. Las alteraciones de cromosomas sexuales no suelen afectar la superviviencia del individuo, pero si ocurren en cromosomas no sexuales, las consecuencias dependerán de qué cromosoma esté afectado.

Monosomías

En el ser humano las monosomías suelen ser letales en el período intrauterino. La única excepción es la ausencia de uno de los cromosomas del *par sexual*, donde el individuo presenta solo un crosomosoma: el *X*. Este tipo de alteración numérica, conocida como **síndrome de Turner**, da lugar a mujeres que presentan rasgos característicos: baja estatura (1,45 cm aproximadamente), cuello corto, alteraciones en las gónadas, ausencia de menstruación y esterilidad, entre otros. Se estima que esta patología afecta a una de cada 3.000 mujeres.

Trisomías

Las trisomías suelen aparecer con más frecuencia que las monosomías y afectan tanto a los *cromosomas sexuales* como a los *autosomas*.

Uno de los ejemplos más conocidos de las trisomías en los autosomas son: la trisomía 13 o **síndrome de Patau**, la trisomía 18 o **síndrome de Edwards** y la trisomía 21 o **síndrome de Down**. Las tres alteraciones cromosómicas se caracterizan por la presencia de malformaciones congénitas y retraso mental. Los números que se emplean en su denominación hacen referencia al par cromosómico que presenta la trisomía.

Dentro de las trisomías que afectan a los cromosomas sexuales se encuentran el **síndrome de triple X** (con un total de 47 cromosomas, XXX), el **síndrome de la doble Y** (47 cromosomas, XYY) y el **síndrome de Klinefelter** (47 cromosomas, XXY).

Este último síndrome da lugar a hombres con testículos no funcionales y diversas malformaciones. Un caso conocido es el del rey de España Carlos II del siglo XVII [FIG. 206]. Se lo apodó *el Hechizado* debido a su aspecto físico y a su incapacidad de dejar descendencia. Actualmente, se sospecha que el rey habría padecido del síndrome de Klinefelter, debido fundamentalmente a los sucesivos matrimonios endogámicos de sus antepasados.

El avance en la genética ha permitido diagnosticar este tipo de alteraciones cuando el bebé aún se encuentra en el cuerpo materno, aunque todavía no se encontró un tratamiento.

[FIG. 206]
El rey Carlos II no logró dejar descendencia, y cuando murió comenzó una guerra por la sucesión (1701).

Guía de estudio

1. Armen un cuadro comparativo entre los distintos tipos de alteraciones cromosómicas.
2. ¿Es correcto decir que todas las alteraciones estructurales son viables biológicamente? Justifiquen mediante la utilización de ejemplos.
3. Investiguen qué es la endogamia. ¿Por qué puede incrementar las probabilidades de que la descendencia tenga enfermedades genéticas?

Palabras clave: edad gen entorno materno

Los factores que determinan el fenotipo

El fenotipo de un individuo es la expresión del genotipo combinada con factores tanto internos como externos. Dentro de los factores internos del individuo se encuentran la edad y el sexo, mientras que los factores externos involucran la gestación materna, el ambiente y la alimentación. Veamos...

Genotipo, fenotipo y medio

El **genotipo** es el conjunto de genes que presenta un individuo, mientras que el término **fenotipo** (del griego *faneros*, 'visible') refiere a la expresión de la información hereditaria y su interacción con el ambiente.

A su vez, puede ocurrir que algunos genes no se expresen nunca en un determinado tejido o que lo hagan en momentos puntuales.

Es importante considerar que el fenotipo no es exclusivamente una expresión del genotipo, sino que existen ciertos factores que lo afectan o alteran. El fenotipo incluye la apariencia externa y otras características observables de un organismo, como rasgos morfológicos, fisiológicos, comportamentales, o de desarrollo.

Sin embargo, existen muchas biomoléculas que no son observables, pero pueden ser detectadas por medio del empleo de algún instrumento o procedimiento. Los grupos sanguíneos son un ejemplo de característica no observable a simple vista. La diferencia entre estos radica en una molécula expuesta en la superficie de los glóbulos rojos, que determina que los grupos A, B, AB y 0 correspondan a distintos fenotipos.

Distintos factores como la *edad*, el *sexo*, la *gestación*, el *ambiente* y la *alimentación* influyen de modo directo sobre el fenotipo. Ciertas enfermedades como la anemia ferropénica o algunos tipos de retrasos mentales, se deben a la ausencia de nutrientes durante el desarrollo.

Ciencia actual

Software predictivo

Un grupo de investigadores de los Estados Unidos desarrolló un programa de computación mediante el cual se puede predecir cómo será el rostro de una persona con el paso del tiempo. Se puede aplicar para personas que se encuentren en un rango de edad desde los 3 a los 80 años. Estiman que esta tecnología podría emplearse para la búsqueda de personas extraviadas.

Factores internos

Un individuo a lo largo de su vida pasa por distintas etapas determinadas por su genotipo, en las que experimenta modificaciones asociadas con el crecimiento, el desarrollo y la madurez. Estos procesos son acompañados de cambios fenotípicos que se encuentran influenciados por factores internos como la *edad* y el *sexo*.

Edad. Existen numerosas enfermedades asociadas con la edad adulta, entre ellas las vinculadas al sistema cardiovascular (aumento de probabilidades de accidentes cardiovasculares) y a los órganos de los sentidos (como la pérdida de audición o de visión) [FIG. 207]. La edad repercute en la fisiología de los organismos a nivel celular, de órganos y sistemas.

[FIG. 207]
En las cataratas, el cristalino del ojo se nubla y afecta la nitidez y el brillo de la vista.

Sexo. Otro factor que puede afectar las características fenotípicas de un individuo es el **sexo**, ya que individuos de una misma especie pero de distinto sexo pueden variar en color, tamaño y forma. Estas diferencias constituyen el *dimorfismo sexual* entre los sexos de una especie, como es el caso de la melena en los leones ausente en las hembras [FIG. 208]. En algunos casos los genes presentes en los cromosomas sexuales afectan la expresión de una determinada característica. La información genética puede encontrarse en ambos sexos pero se expresa únicamente en uno. En otras situaciones la información genética está en ambos sexos pero es más frecuente que se exprese particularmente en uno. La calvicie es más habitual en hombres que en mujeres y en la mayoría de los casos es una condición heredada de la madre.

[FIG. 208]
En los leones el macho presenta mayor tamaño y abundancia de su melena, característica que lo diferencia de las hembras.

Factores externos

El crecimiento y el desarrollo del individuo dependen de su genotipo y de factores internos y externos, cuyas variantes imponen ventajas y restricciones para la vida. Dentro de los factores externos se encuentran el período de gestación, la variación de la temperatura, la intensidad de la luz y la disponibilidad de alimento, entre otros.

Entorno materno. En el ser humano, al igual que en otros mamíferos, el entorno materno tiene una gran influencia en el desarrollo de las crías. El consumo de alcohol, el tabaquismo y el uso de drogas durante el embarazo pueden traer como consecuencia que, luego del nacimiento, el bebé presente bajo peso, retardo en el crecimiento y desarrollo, dificultades cognitivas, entre otras complicaciones.

Agentes ambientales. Los factores ambientales que afectan con mayor incidencia el fenotipo de un ser vivo son la **temperatura** y la **luz solar**. Por ejemplo, la variación de la temperatura ambiental produce cambios de coloración en las alas de las mariposas. Estas diferencias observadas entre verano e invierno ocurren por cambios hormonales durante la etapa larvaria. De este modo, el fenotipo de invierno muestra colores oscuros mientras que el de verano colores claros [FIG. 209].

[FIG. 209]
Los colores oscuros de las alas ayudan a aumentar la temperatura corporal durante el invierno.

En las plantas, la luz es un recurso y una condición para la vida, ya que a partir de esta pueden llevar a cabo el proceso de *fotosíntesis*. En aquellos lugares donde la luminosidad es escasa, los tallos son más largos y amarillentos y las hojas más pequeñas.

Alimentación. Los seres vivos necesitan alimentarse para cumplir sus funciones vitales, y la carencia o el exceso de nutrientes puede influenciar su crecimiento y desarrollo. Un ejemplo de ello es la anemia causada por la deficiencia de hierro, elemento imprescindible para la *hemoglobina*, molécula transportadora de oxígeno de los glóbulos rojos.

Otro ejemplo de la influencia de la alimentación se observa en las abejas. Aquellas larvas que son alimentadas con jalea real por períodos cortos se convierten en obreras sin ovarios funcionales. En cambio, las abejas reina, que consumen jalea real durante todo su desarrollo, presentan ovarios funcionales y se convierten en reinas. La jalea real es una sustancia secretada por glándulas de abejas obreras jóvenes [FIG. 210].

[FIG. 210]
Las abejas reina viven en promedio tres años, mientras que las obreras 46 días.

La alimentación suele asociarse a rasgos fenotípicos de los individuos. El exceso de peso se encuentra vinculado con el consumo de alimentos ricos en grasas y azúcares, mientras que los cuerpos delgados se relacionan con una alimentación sana. Es importante resaltar que las correlaciones que se hacen en torno a la alimentación y el fenotipo muchas veces son infundadas, al no considerar el componente genético. Además, se crean prejucios o ideas sesgadas que se reproducen en los medios de comunicación o en dibujos animados, como ocurre en *Popeye el marino* [FIG. 211], personaje caracterizado por consumir espinaca. Si bien la espinaca contiene hierro, las lentejas y el repollo presentan mayor cantidad de este elemento. De este modo, muchas veces se generan confusiones acerca de los hábitos alimentarios y el aporte nutricional de los alimentos.

[FIG. 211]
Al consumir espinaca, Popeye obtiene una fuerza sobrehumana.

Guía de estudio

1. ¿Cuál es el error en la siguiente expresión: "Si se afecta el fenotipo de un individuo por factores externos sí o sí se modificará el genotipo"? Justifiquen.

2. ¿Las modificaciones fenotípicas son irreversibles? Ejemplifiquen para justificar su respuesta.

Experiencia en acción y...

El genotipo y el fenotipo probables

Como se mencionó en el capítulo, el fenotipo es la expresión del genotipo y su interacción con el ambiente. Sin embargo, a modo general, a veces se puede determinar el genotipo de una persona al analizar su fenotipo. Para esto es importante contemplar qué caracteres son recesivos y cuáles son dominantes. En algunos casos los alelos se separan de manera independiente, mientras que otras veces ocurre lo contrario. Para poner en práctica la segregación independiente, realicen el siguiente ejercicio.

Materiales

- Cuaderno u hojas de carpeta
- Birome

+

?

→

Problema

Una mujer de ojos negros y cabello rubio tiene dos hijos. El mayor presenta ojos celestes y cabello rubio, mientras que el menor tiene ojos y cabello marrones. En los seres humanos, se sabe que el color de ojos celeste es recesivo, mientras que los marrones son dominantes. Además, se determinó que el color de cabello rubio es recesivo frente al castaño oscuro. ¿Se podría suponer o plantear una hipótesis acerca del color de ojos y de cabello del padre?

Observaciones e hipótesis

1. Determinen los fenotipos de la madre y de los dos hijos.
2. Tengan en cuenta aquellos alelos dominantes y recesivos, e intenten definir el genotipo de la madre y de los hijos.
3. Habiendo analizado los fenotipos y genotipos del resto de los integrantes de la familia, ¿pueden suponer el fenotipo del padre, para el color de ojos y de cabello? ¿Y el genotipo?
4. Esquematicen el cruzamiento entre el padre y la madre y la descendencia posible. Utilicen la letra mayúscula para el dominante y la minúscula para el recesivo.
5. ¿El hijo de ojos marrones será homocigota o heterocigota para el alelo *color de ojos*?

...revisión final.

- **Lean el siguiente texto y resuelvan las actividades.**

Lara decidió irse de vacaciones sola, ya que sus amigas habían armado planes con sus familias; como destino eligió la playa. Una vez allí, le tocaron días soleados aunque bastante húmedos. Luego de estar una semana disfrutando de sus vacaciones, llamó a su amiga, Flopi por videochat.
Flopi —¡Hola Lari! ¿Cómo estás? Te veo re cambiada, tenés el pelo mucho más rizado de lo común y además la piel está mucho más bronceada. ¿Qué te hiciste?
Lara —¡Hola Flopi! Muy bien, re contenta con el viaje. Estuve paseando y yendo a la playa. ¿Vos qué estuviste haciendo?
Flopi —Yo recién vengo del campo de mi tío, pero me volví porque él tenía que hacer muchas cosas. Resulta que hubo un período de sequía extrema y todo lo que había sembrado se echó a perder.
Lara —Uy, pero esto nunca le había pasado.
Flopi —Claro, porque antes cultivaba mayor variedad de plantas. Pero este año decidió cosechar solo una especie en particular. Como todas las plantas eran exactamente idénticas, ninguna sobrevivió a las condiciones climáticas actuales.

1. Subrayen la opción correcta.

Los cambios físicos que notó Flopi sobre el aspecto del pelo y de la piel de Lara se deben a cambios en el *genotipo / fenotipo*, que son *irreversibles / reversibles*.
El factor que alteró el color de la piel y el rizado del pelo fue *ambiental / sexual*. Si en lugar de haber viajado a un lugar soleado y húmedo hubiera elegido para sus vacaciones un destino frío y seco, los cambios físicos experimentados habrían sido *los mismos / distintos*.

2. Marquen con un ✓ la opción correcta.

La pérdida de la cosecha del tío de Flopi se debió a la falta de riego y a...

- ○ que todas las plantas eran de una misma especie.
- ○ que había variabilidad genética.
- ○ que la variabilidad genética era muy grande.

3. Respondan las siguientes preguntas.

a. ¿Cuáles son las tres fuentes de variabilidad genética?

b. ¿Cuál de estas está asociada con la meiosis?

c. ¿Ocurre en la primera o en la segunda divisón del núcleo?

d. ¿En qué fase?

4. Determinen si las siguientes afirmaciones son verdaderas (V) o falsas (F).

- ☐ **a.** Los seres humanos presentan 23 cromosomas.
- ☐ **b.** Los únicos cromosomas homólogos entre sí son los sexuales.
- ☐ **c.** Las alteraciones cromosómicas únicamente son aquellas que implican un cambio en la estructura de los cromosomas.
- ☐ **d.** Mediante la espermatogénesis se obtienen cuatro espermatozoides.
- ☐ **e.** Mediante la ovogénesis se obtienen cuatro oocitos.

5. A cada una de las descripciones de alteraciones cromosómicas estructurales adjudíquenle su término correspondiente.

a. Pérdida de una porción del cromosoma:

b. Ruptura de cromosomas no homólogos que luego intercambian segmentos entre sí:

c. Producción en exceso del material genético, generalmente son más viables que las deleciones:

Capítulo 11 La manipulación de la información genética

En las últimas décadas, el ser humano ha desarrollado diversas técnicas que le permitieron ubicar a la ciencia en un lugar fundamental para la sociedad. Investigaciones sobre la cura de distintas enfermedades, la incorporación de herramientas biotecnológicas en la industria alimentaria y agrícolo-ganadera, y distintas estrategias para controlar problemáticas ambientales son algunos de los aportes logrados por las técnicas de manipulación genética.

Secuencia de contenidos:

- La selección artificial
- La biotecnología
- La ingeniería genética
- Las nuevas técnicas en la medicina

- En la imagen se observa a la oveja Dolly, famosa por haber sido el primer mamífero clonado a partir de una célula adulta. ¿Cómo es la información genética en los distintos clones?
- ¿Existirán diferencias entre los hermanos gemelos y los clones? Justifiquen su respuesta.
- ¿Por qué consideran que la clonación humana representa un problema ético?

La selección artificial

A lo largo de la historia los seres humanos han elegido determinados atributos o propiedades de las especies que les resultaban de interés. La selección artificial es el procedimiento mediante el cual se eligen determinados ejemplares en función de sus características, y posteriormente se los reproduce entre sí por sucesivas generaciones. Veamos...

Generalidades

La **selección artificial** es un procedimiento empleado por los seres humanos desde la Antigüedad, mediante el cual a partir de diversas técnicas se obtienen animales y plantas con determinadas características [FIG. 212].

Así el hombre *selecciona* los organismos que desea cruzar en función de sus características externas. Esta reproducción se realiza de manera sucesiva durante varias generaciones, con el propósito de obtener ejemplares con las características deseadas. De este modo, el ser humano orienta la evolución de las especies de acuerdo con sus necesidades.

Para explicar la evolución de las especies, *Charles Darwin* planteó el mecanismo de **selección natural**: *si un organismo presenta características que le resultan más favorables en un determinado ambiente, tiene más posibilidades de subsistir que aquellos que no las poseen y, como consecuencia, deja mayor descendencia.* En este mecanismo el **ambiente** ejerce una presión selectiva sobre la población de individuos mejor adaptados.

[FIG. 212]
Las variedades de *coles* se lograron por selección artificial.

Una gran *diferencia* entre ambos mecanismos reside en el *agente que influye selectivamente*: en la selección artificial el ser humano es el que selecciona los especímenes individuales de plantas o animales a reproducir, mientras que en la selección natural el medio ambiente influye sobre la supervivencia de los organismos.

La selección artificial suele ser un motivo de debate en la sociedad, dado que tiene implicancias éticas como consecuencia de que el ser humano selecciona características y modifica así la selección natural [FIG. 213].

[FIG. 213]
El dogo argentino, obtenido luego de 25 años de cruzamientos, es la única raza autóctona de perros en Argentina. Fue desarrollada con el objetivo de conseguir perros aptos para la cacería.

Tipos de selección artificial

La selección artificial permite que los cultivos y los animales domésticos obtenidos tengan ciertas características deseadas por el ser humano y que presenten determinada utilidad.

La selección artificial se puede clasificar en cuatro grupos en función de las *características del proceso* que se realiza. Estas son: consciente, incosciente, positiva y negativa.

Aquella selección artificial que presenta una planificación previa se denomina **consciente**. En contraparte, la selección **insconsciente** se desarrolla sin la necesidad de un plan previo. Si la selección implica que un organismo se reproduzca y genere descendencia se denomina **positiva**, mientras que si lo impide se llama **negativa**.

Guía de estudio

1. Redacten un texto y desarrollen las diferencias y las similitudes entre la selección natural y la selección artificial.

2. Justifiquen si la siguiente frase les parece correcta: "Mediante la utilización de ciertas técnicas el hombre direcciona las características de las especies".

3. Mencionen ejemplos cercanos a su vida cotidiana de organismos seleccionados artificialmente.

La biotecnología

La biotecnología es un conjunto de técnicas que aprovecha a los seres vivos para producir desarrollos tecnológicos. En la biotecnología moderna pueden modificarse genes de un organismo y transferirse a otro, lo que origina un organismo transgénico o genéticamente modificado. Se emplea en diversas industrias: agrícola, farmaceútica, alimentaria, textil, entre otras. Veamos...

Definición e historia

La **biotecnología** es un conjunto de técnicas y procesos con los cuales se obtienen productos beneficiosos para el ser humano, a partir de la utilización de la "maquinaria biológica" o *actividad metabólica* de otros seres vivos.

La biotecnología no es una disciplina nueva, ya que se originó junto con culturas ancestrales hace más de 7.000 años. Estos pueblos utilizaban la *fermentación* para obtener alimentos o para uso medicinal. Aunque no tenían el conocimiento necesario para comprender los fundamentos, empleaban estas técnicas con fines utilitarios. La **fermentación** se basa en la utilización de microorganismos para la obtención de determinados alimentos. Dentro de los alimentos fermentados, los de mayor consumo en la actualidad son el pan, los lácteos como el queso y el yogur, y las bebidas alcohólicas, entre las que se encuentran la cerveza y el vino [FIG. 214].

Estas actividades realizadas desde hace muchos años, en la actualidad se consideran parte de la **biotecnología tradicional**. Por otro lado, las novedosas prácticas actuales comprenden la **biotecnología moderna**, que incluye varias disciplinas científicas, como la biología, genética, agronomía, ingeniería y veterinaria.

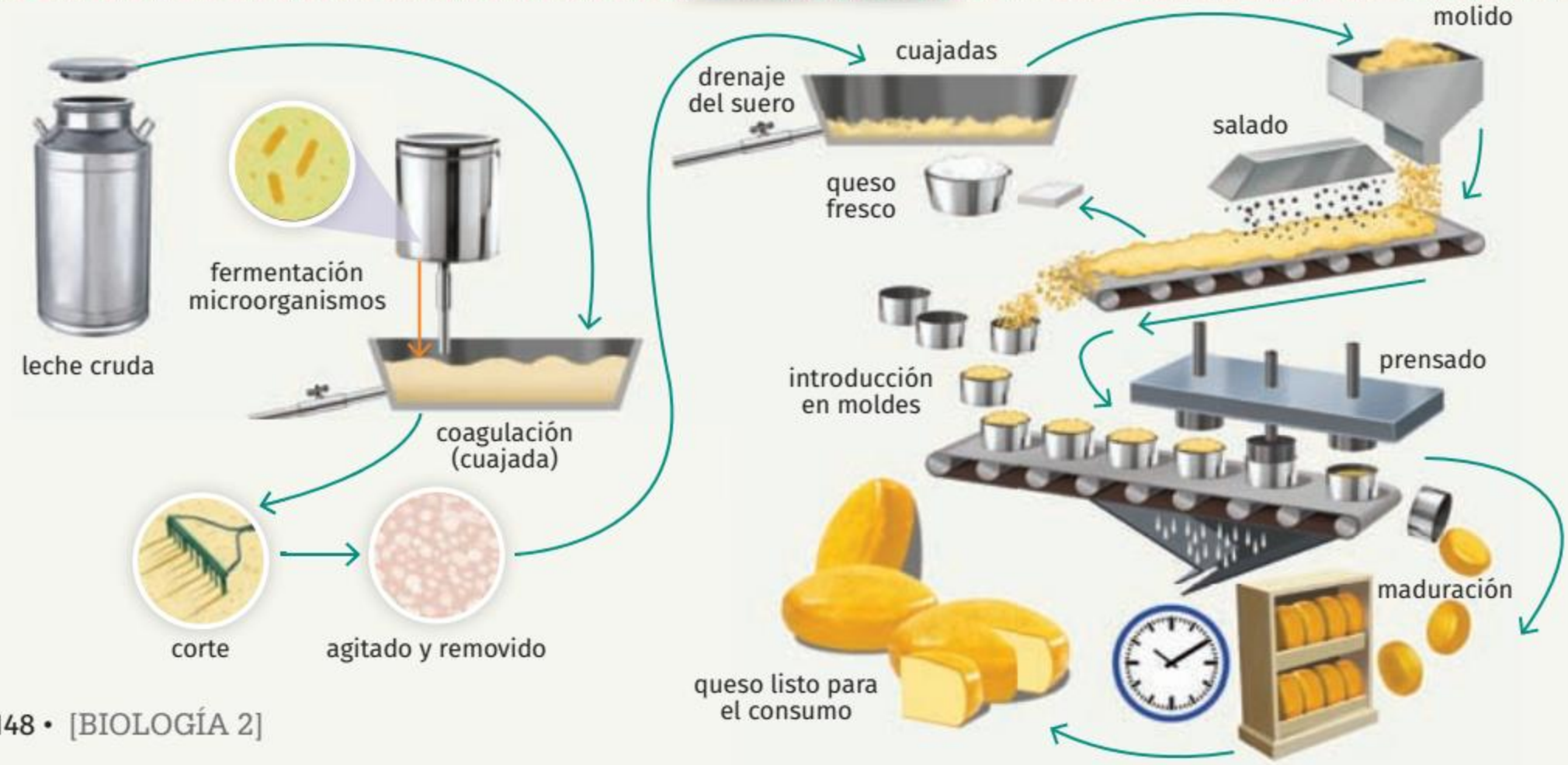
De este modo, la biotecnología moderna integró nuevos conocimientos sobre el funcionamiento de los seres vivos y así fue como los científicos comenzaron a dirigir sus investigaciones a nivel genético, es decir se orientaron en la búsqueda, modificación y transferencia de genes involucrados con alguna característica de interés.

A partir del siglo XX el conocimiento biológico se incrementó notablemente por medio del descubrimiento de los antibióticos y de la determinación de la estructura del ADN.

La elaboración de quesos se desarrolla por medio de técnicas biotecnológicas. La leche se emplea como materia prima junto con bacterias que influyen en la textura y el sabor del queso, ya que convierten los azúcares de la leche en ácido láctico [FIG. 215].

[FIG. 214] Los microorganismos que realizan la fermentación alcohólica son unicelulares y anaeróbicos.

[FIG. 215] **Proceso de producción de queso**



Aplicaciones de la biotecnología

En la actualidad, la biotecnología es utilizada en áreas muy diversas: medioambiente, agropecuaria, alimentaria y farmacéutica.

- **Biotecnología ambiental.** Es muy frecuente el uso de microorganismos para controlar los problemas de contaminación ambiental como la depuración de aguas residuales, la biorremediación para la limpieza de lugares contaminados, el tratamiento de residuos y la biodegradación de materiales [FIG. 216].

[FIG. 216]
El hongo *Pestalotiopsis microspora* se utiliza para la biorremediación, ya que es capaz de degradar plástico.

- **Biotecnología agropecuaria.** La modificación genética tanto en plantas como en animales es de gran importancia en el rubro agropecuario. Se utiliza para generar plantas resistentes a insectos y a virus, y para realizar mejoras nutricionales de los alimentos que se cultivan, entre otras aplicaciones.
- **Biotecnología alimentaria.** La fermentación es el proceso más desarrollado, que se lleva a cabo en bebidas alcohólicas, lácteos y panificación.
- **Biotecnología farmacéutica.** Consiste en la producción de antibióticos, sueros y vacunas considerados de *nueva generación*. Un ejemplo de gran importancia es la modificación de las levaduras para la producción de la vacuna contra la hepatitis B. Además se destaca la obtención de proteínas recombinantes, como la insulina humana, a partir de bacterias modificadas genéticamente [FIG. 217]. Esta es una hormona que se produce naturalmente en el páncreas del ser humano. Cuando esta no se genera en cantidad suficiente, la persona padece de diabetes y como tratamiento debe inyectarse insulina externa. La primera insulina fabricada para uso humano se produjo en 1982, a partir de la extracción del gen de producción de insulina y su posterior introducción en bacterias.

[FIG. 217]
No todas las personas que sufren de diabetes deben inyectarse insulina. Los que no son insulino-dependientes pueden controlarlo con una dieta específica.

Ventajas y riesgos de la biotecnología

Entre las principales *ventajas* de la utilización de la biotecnología se destaca el *incremento del rendimiento* en los **cultivos**, en cuanto a cantidad y calidad obtenidas. Esto se debe en parte al desarrollo de la tecnología para disminuir la pérdida por plagas, enfermedades o condiciones ambientales adversas.

Otro avance dentro de la industria alimenticia se da en la **ganadería**, actividad en donde se observa una mejora en las *características nutricionales de los alimentos*. Un ejemplo de ello es la leche, en la que se aumenta la composición proteica o se eliminan los componentes que pueden resultar nocivos para determinadas personas, como es el caso de los individuos intolerantes a la lactosa [FIG. 218].

Dentro de los *riesgos* generados a partir del uso de la biotecnología, se encuentran la *alteración del equilibrio de un ecosistema* y la *potencial transmisión de toxinas, virus o bacterias* que significarían un peligro para la salud del ser humano. Por lo tanto, es necesario un estricto control de los organismos estatales competentes.

[FIG. 218]
La intolerancia a la lactosa se produce cuando el intestino no genera la enzima lactasa en cantidad suficiente para degradar la lactosa, azúcar de la leche.

Ciencia actual

Vacas transgénicas

En la Argentina, en el año 2003 se desarrolló una ternera obtenida por clonación y manipulación genética, capaz de producir en su leche la hormona de crecimiento humano. En la vaca la hormona humana no tiene efecto y se acumula en la leche, de modo que su obtención resulta sencilla y podría emplearse en distintas enfermedades humanas que presenten defectos en el crecimiento.

Guía de estudio

1. ¿Cuál es la diferencia entre la biotecnología tradicional y la moderna?

2. Investiguen sobre cuáles de los productos que consumen habitualmente son producidos a partir de técnicas biotecnológicas.

La ingeniería genética

La tecnología de ADN recombinante o ingeniería genética es una herramienta útil para la biotecnología, ya que permite estudiar los genes de un organismo y transferirlo a otro. De este modo se generan organismos genéticamente modificados. La clonación es la técnica que tiene como objetivo obtener individuos idénticos entre sí, denominados clones. Veamos...

Definición y aplicación

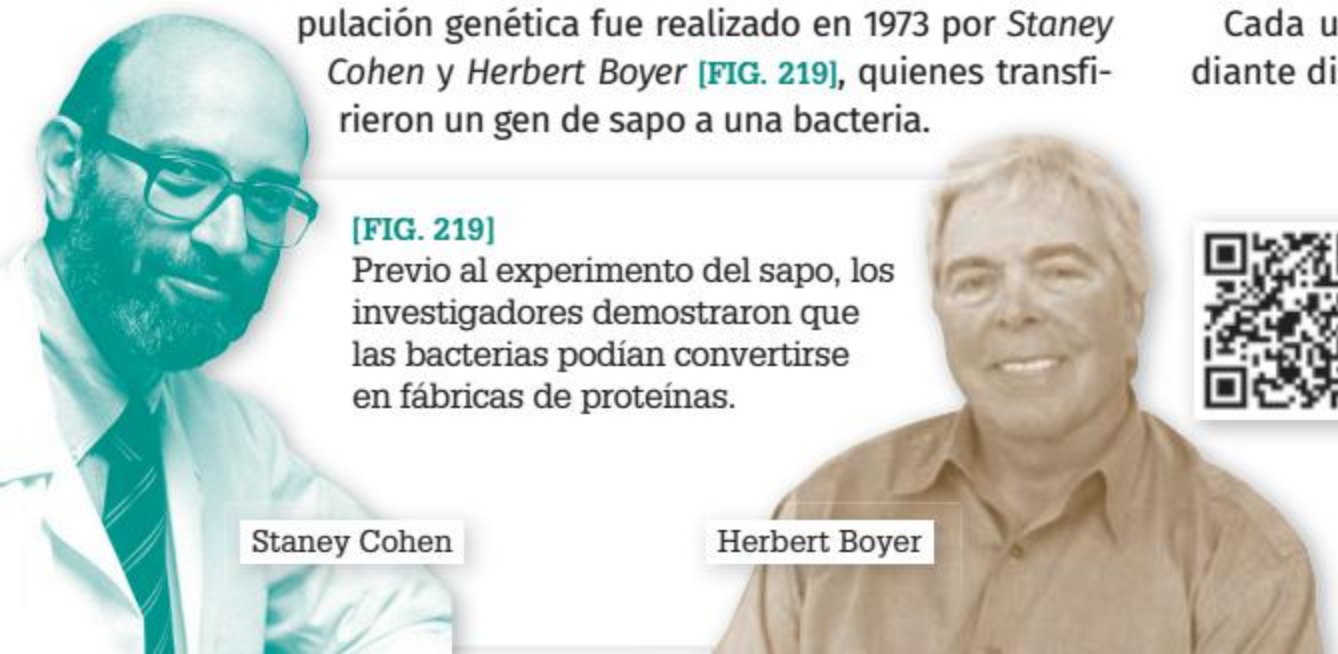
El avance en el estudio de la información genética llevó a que científicos desarrollaran técnicas para manipular los genes con el objetivo de generar beneficios para la sociedad. La **ingeniería genética** es la *tecnología del control y transferencia del ADN de un organismo a otro*. Esto posibilita la corrección de defectos genéticos y la creación de nuevos individuos de los cuales obtener productos más eficientes.

La ingeniería genética aporta nuevas herramientas para hacer frente a ciertas enfermedades hereditarias o el cáncer, pero también introduce nuevos problemas, tanto técnicos como éticos. A medida que se fue incrementando el desarrollo de las técnicas de manipulación genética, han ido aumentando las críticas o los cuestionamientos éticos sobre su utilización. Por ello, en varios países se crearon comités para discutir el uso y la aplicación de estas técnicas, integrados por científicos y por representantes de distintos sectores de la sociedad.

El procedimiento que se debe llevar a cabo para aplicar técnicas de ingeniería genética comprende:

- Identificación de la **posición** que ocupa cada **gen** dentro de los cromosomas.
- *Extracción* del gen mediante la utilización de **enzimas de restricción**.
- *Inserción* del gen aislado en células de otros individuos denominados **transgénicos**, que pueden ser de la misma especie o distinta.

El primer experimento que incluyó técnicas de manipulación genética fue realizado en 1973 por *Staney Cohen* y *Herbert Boyer* [FIG. 219], quienes transfirieron un gen de sapo a una bacteria.



[FIG. 219]
Previo al experimento del sapo, los investigadores demostraron que las bacterias podían convertirse en fábricas de proteínas.

Los **organismos genéticamente modificados** (OGM) son aquellos individuos cuyo material genético ha sido alterado por medio de técnicas de ingeniería genética.

Los OGM posibilitan la producción a gran escala de moléculas orgánicas como la insulina. A su vez, también se desarrollan modificaciones de las características propias del individuo transgénico, como es el caso de incrementar la resistencia al ataque de los insectos en plantas. En la actualidad, existe una gran variedad de organismos transgénicos en los distintos grupos (bacterias, hongos, plantas y animales). Uno de los alimentos transgénicos más reconocidos es la soja, aunque no es el único [FIG. 220].

[FIG. 220]
La soja transgénica es tolerante al glifosato, herbicida de amplio espectro que es absorbido a través de las hojas y no por las raíces.

Clonación

El término **clon** deriva del griego y significa 'retoño o rama', y se emplea para hacer referencia a una copia exacta. La técnica de **clonación** se realiza para obtener *nuevos individuos idénticos al progenitor* a partir de una célula o del núcleo de una célula somática, es decir de cualquier célula del organismo excepto las sexuales.

Existen *tres tipos de clonaciones* en función del resultado buscado.

- **Clonación molecular.** Permite obtener múltiples copias de ADN mediante técnicas de biología molecular.
- **Clonación celular.** Es un proceso de multiplicación de células genéticamente idénticas.
- **Clonación de organismos completos.** Se generan plantas o animales idénticos, es decir que presentan la misma información genética.

Cada uno de estos tipos de clonación se realiza mediante distintos procedimientos.

http://goo.gl/bQYwW0

Escaneen el código QR y vean un video interactivo sobre la manipulación del ADN.

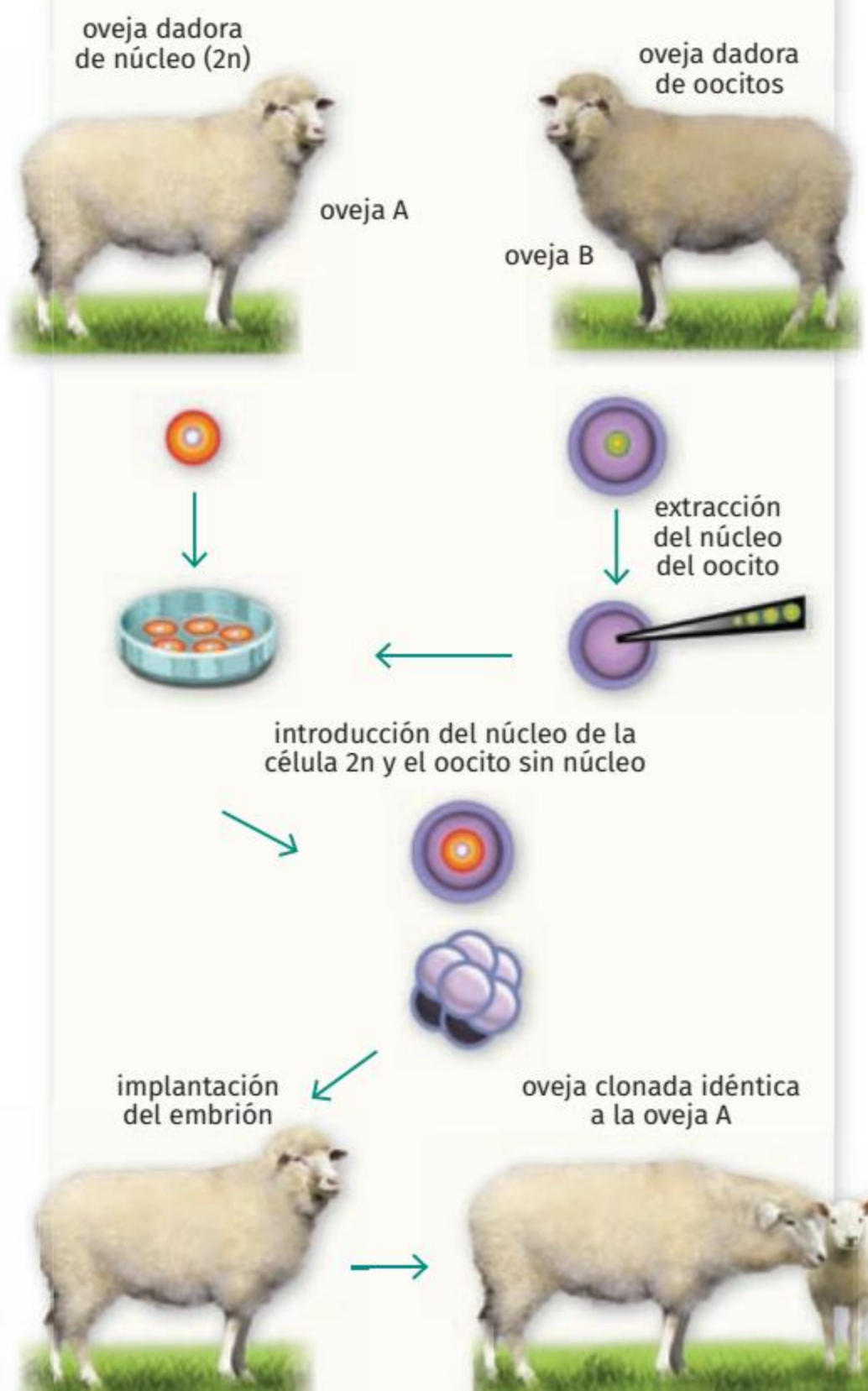
Clonación en *animales*

La clonación en **animales** es una técnica mediante la cual se obtienen copias idénticas de un organismo por medio de la *reproducción asexual*.

La técnica de **transferencia nuclear** consiste en la introducción del *núcleo de una célula somática* del organismo donante en un *oocito* del cual se eliminó el material cromosómico. Así se obtiene un "embrión reconstituido", en el que el núcleo de la célula donante aporta la información genética. El individuo resultante es *genéticamente idéntico* a aquel que aportó el núcleo con el ADN.

Uno de los experimentos que generó gran impacto en la sociedad fue la creación de la **oveja Dolly**. En 1996, los escoceses *Keith Campbell* y *Ian Wilmut* obtuvieron el primer mamífero clonado a partir de un individuo adulto, al que llamaron Dolly [FIG. 221].

[FIG. 221]

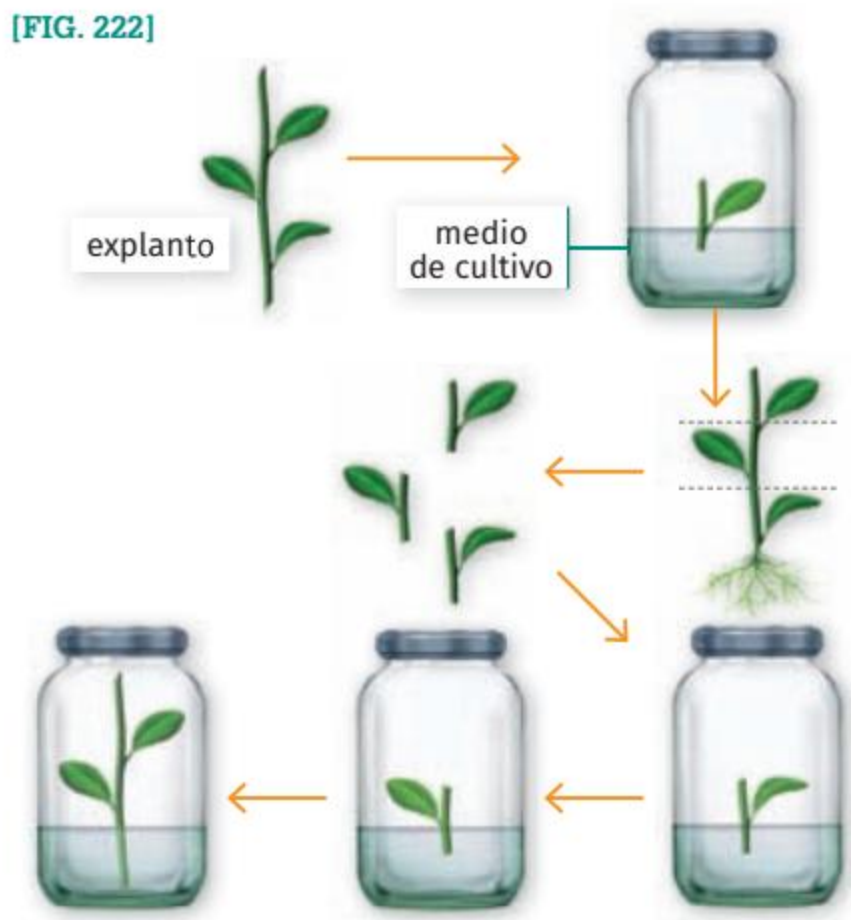


Clonación en *plantas*

El objetivo de la selección artificial en **plantas** es obtener una *población de organismos* que presente una *característica deseada*. Por ello, una vez que se obtiene el vegetal con el carácter de interés, el siguiente paso consiste en realizar la *multiplicación*. Para esto se pueden utilizar los distintos órganos (hojas, tallos o raíces), debido a que las plantas están formadas por células vegetales que tienen la capacidad de transformarse en células especializadas de cualquier órgano. Como resultado de la replicación de las células vegetales se obtienen plantas hijas que son una copia fiel de la planta madre y se denominan **clones**.

La técnica más empleada es la **micropropagación** o propagación vegetativa *in vitro*, que permite clonar en corto tiempo un gran número de ejemplares. El primer paso es conseguir el fragmento de tejido a clonar, denominado **explanto**. A dicho fragmento se lo transfiere a un recipiente de vidrio con un medio de cultivo rico en nutrientes. Una vez que crece se lo retira del cultivo, se lo corta en varios fragmentos y a cada uno se lo ubica en un nuevo recipiente; allí se lo induce a cada fragmento a un tratamiento hormonal para que produzca raíces [FIG. 222].

[FIG. 222]



Guía de estudio

1. ¿Qué diferencia hay entre un organismo transgénico y un clon?

2. Discutan acerca de por qué la clonación humana está cuestionada desde el punto de vista ético.

Las nuevas técnicas en la medicina

El avance de la ciencia y la tecnología influye directamente sobre los tratamientos en medicina y así, novedosas técnicas mejoran la calidad de vida de las personas. La medicina regenerativa emplea células madre para regenerar tejidos. Además, se han perfeccionado intervenciones que posibilitan la concepción de hijos. La terapia génica contribuye a mejorar alteraciones genéticas. Veamos...

Medicina regenerativa

La **medicina regenerativa** o la **ingeniería de tejidos** es una rama de la medicina que *permite la regeneración de tejidos a partir de las propias capacidades de diferenciación de algunos tejidos del cuerpo humano*. Por medio de la combinación de células, métodos de ingeniería, bioquímica y fisicoquímica se mejoran o reemplazan funciones biológicas que se encuentran afectadas por lesiones, enfermedades o traumatismos en los tejidos.

De modo interdisciplinario, la medicina regenerativa incluye conceptos de distintas ramas como la biología y la robótica, con el objetivo de *crear sustitutos biológicos que conserven, mejoren o restauren la función de órganos y tejidos*.

En la actualidad, la medicina regenerativa no juega un papel predominante dentro de los tratamientos convencionales debido a que su costo es elevado y a que todavía se consideran experimentales.

En los últimos años se han realizado *implantes* de vejigas suplementarias, pequeñas arterias, injertos de piel y cartílago. No obstante, los tejidos de órganos más complejos como el corazón, pulmón o hígado aún no se encuentran listos para ser implantados en pacientes, aunque son de gran utilidad en la investigación, especialmente en el desarrollo de fármacos.

El avance de la tecnología permite que se lleven a cabo investigaciones sobre la generación de componentes anatómicos por medio de impresoras 3D.

Los científicos realizaron impresiones de estructuras del oído que corresponden a los músculos y huesos. Cuando se implantan, las estructuras maduran en tejidos funcionales y desarrollan vasos sanguíneos. En este sentido, los implantes actúan como *molde* para la regeneración de los propios tejidos del cuerpo.

Además, se están realizando investigaciones sobre *prótesis* desarrolladas a partir de impresoras 3D. Este avance permite reducir significativamente los costos de producción de estas extensiones artificiales.

Células madre

Si bien la ingeniería genética y la medicina regenerativa son disciplinas nombradas como sinónimos, existe una importante diferencia entre ellas.

La medicina regenerativa se basa en el estudio de las **células madre** (*stem cells*). Estas células se encuentran en todos los organismos pluricelulares y tienen la capacidad de dividirse por mitosis y diferenciarse en diversos tipos de células especializadas que integrarán los distintos tejidos [FIG. 223]. Además pueden autorrenovarse y producir más células madre.

[FIG. 223]

En el ser humano se han detectado células madre en *estadios tempranos embrionales*, en *tejidos fetales*, en el *cordón umbilical* y en la *placenta*. En el *hígado*, *piel* y *páncreas* también se ha detectado la capacidad de regeneración del órgano luego de una lesión.

Uno de los avances más importantes en el estudio de las células madre se alcanzó luego de que en el año 2006 un grupo de científicos logró obtener **células madre pluripotentes inducidas**, a las que denominaron **IPS**.

Con esta técnica se pueden obtener células madre a partir de células adultas ya diferenciadas por un proceso conocido como *desdiferenciación*, y así se logra evitar la manipulación de embriones.

Inseminación artificial

La **inseminación artificial** es una técnica que consiste en la introducción de una muestra de espermatozoides seleccionados previamente en el interior del sistema reproductor femenino.

En la actualidad, este procedimiento se realiza con mayor frecuencia en los bovinos, en comparación con otros animales. Dentro de las ventajas que presenta se encuentran:

- Reducción de gastos en el mantenimiento de las instalaciones para los toros.
- Utilización al máximo de reproductores de alto valor génico.
- Elevada calidad de semen a bajo costo.
- Limitación de la propagación de enfermedades relacionadas con los órganos reproductivos.

La inseminación artificial se encuentra dentro de las técnicas de fecundación asistida empleadas en el ser humano [FIG. 224]. En ella los espermatozoides pueden provenir de la pareja o de un banco de semen y posteriormente son preparados en el laboratorio.

Para aumentar las probabilidades de embarazo, los ovarios son estimulados hormonalmente y se controla la ovulación para realizar la inseminación en el mejor momento. Generalmente se utiliza este método cuando los espermatozoides son escasos o tienen problemas de movilidad, y en los casos en los que se desconoce la causa de la infertilidad.

En Argentina, en junio de 2013 se aprobó la Ley Nº 26.862 o ley de fertilidad asistida, que establece que los servicios de salud deben incorporar las técnicas de fecundación asistida como prestaciones obligatorias.

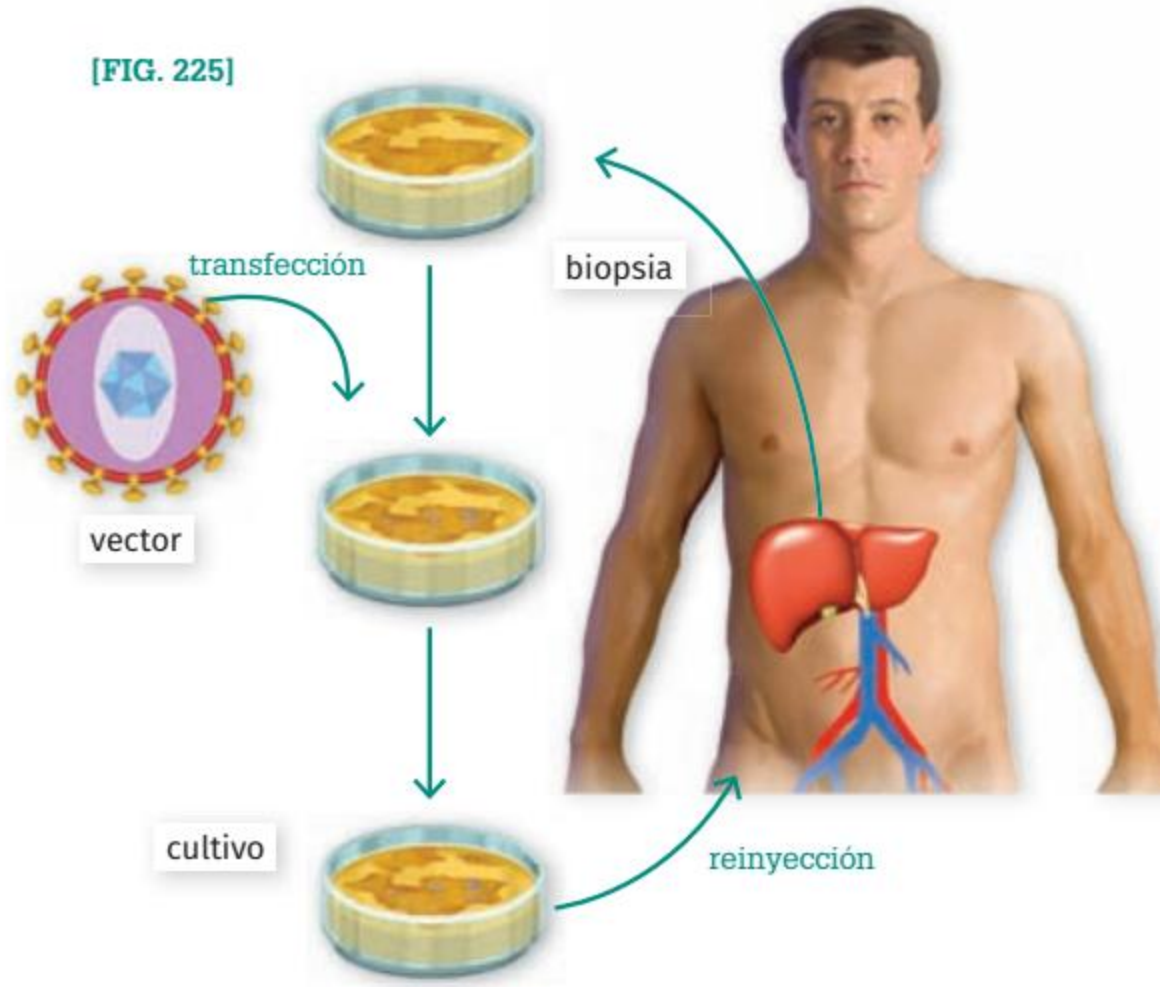
[FIG. 224]
El procedimiento de inseminación artificial lo realiza un especialista mediante el empleo de una jeringa.

Terapia génica

En los últimos años, la ingeniería genética condujo al desarrollo de novedosos tratamientos que permitieron alterar el ADN de las células de individuos que padecen enfermedades genéticas.

La **terapia génica** es una técnica que intenta introducir copias adicionales *sanas* del gen que se encuentra alterado en las células del paciente y de este modo compensar la falta o el defecto en ese gen. La administración del material genético sano se realiza por medio de *vectores*, que consisten en virus modificados que actúan como vehículo para introducir el ADN en el interior del organismo [FIG. 225].

[FIG. 225]



La terapia génica se caracteriza por emplear ADN para detener enfermedades neurodegenerativas, enfrentar infecciones virales, lentificar la progresión de un tumor y corregir enfermedades genéticas. Sin embargo, numerosas dificultades técnicas han retrasado los avances en la aplicación de esta terapia debido a la baja eficiencia de los métodos de administración del ADN en las células blanco, es decir las células afectadas por esta alteración genética.

Guía de estudio

1. ¿Cuál es el procedimiento de regeneración de tejidos a partir de la utilización de las células madre?

Experiencia en acción y...

La elaboración de yogur

El yogur es uno de los alimentos que se produce mediante la fermentación de los microorganismos. La materia prima es la leche, que está formada por azúcares que sirven de alimento para las bacterias.

Materiales

- 1 litro de leche entera
- Siete vasos de vidrio
- Un yogur natural pequeño
- Un recipiente o bol grande
- Una jarra de 1,5 litros
- Agua en cantidad necesaria
- Una cuchara de mango largo
- Una manta

Procedimiento

a. Viertan la leche y el yogur en la jarra. Pueden ayudarse con la cuchara.
b. Batan la mezcla con la cuchara durante dos minutos. Asegúrense de que se hayan fusionado correctamente.
c. Vuelquen el contenido de la jarra en los siete vasos.
d. Llenen el recipiente con agua caliente, hasta que alcance la mitad de la altura de los vasos.
e. Dispongan los vasos en el bol. Tengan cuidado de no volcar el contenido.
f. Cubran el recipiente con la manta y déjenlo reposar toda la noche.
g. A la mañana siguiente, llévenlos a la heladera (ya se pueden comer).

Observaciones y conclusiones

1. ¿Cuál es la técnica empleada en la producción de yogur?
2. Las bacterias que generan la fermentación, ¿de qué fuente provienen?
3. ¿Por qué el agua debe estar caliente y luego lo deben cubrir con la manta?

...revisión final.

- **Lean el siguiente texto y resuelvan las actividades.**

Una profesora de biología decidió llevar a sus alumnos a una excursión: una visita guiada a un tambo lechero en la provincia de Entre Ríos. Una vez que llegaron a destino los recibió uno de los propietarios, quien les explicó que un tambo es un establecimiento de ganado destinado al ordeñe, a la producción y a la venta de leche. Posteriormente, les comentó que además de vender la leche que ellos producen también la utilizan para la producción de los derivados lácteos, como el yogur y el queso.

1. Determinen si las siguientes oraciones son V (verdaderas) o F (falsas).

☐ **a.** Los derivados lácteos son alimentos genéticamente modificados.
☐ **b.** El queso se obtiene mediante la técnica de fermentación.
☐ **c.** En todos los casos las vacas que producen la leche son clones.
☐ **d.** La leche es un producto de la biotecnología tradicional.

2. Marquen con un ✓ la/s opción/es correcta/s. Si las vacas, que son producto de la inseminación artificial, se alimentasen de forrajes y granos modificados genéticamente para ser resistentes a los insecticidas...

○ **a.** las vacas y las plantas serían clones.
○ **b.** las vacas serían animales transgénicos.
○ **c.** las plantas serían organismos híbridos.
○ **d.** las plantas serían transgénicas.
○ **e.** las plantas se denominarían clones e híbridos.

3. Unan con flechas las definiciones con los conceptos de manera que resulten correctos.

biotecnología	Técnica de manipulación en la que se cruzan dos organismos en función de sus características fenotípicas.
selección artificial	Conjunto de técnicas mediante la cual se modifican los genes de un organismo y se transfieren a otro.

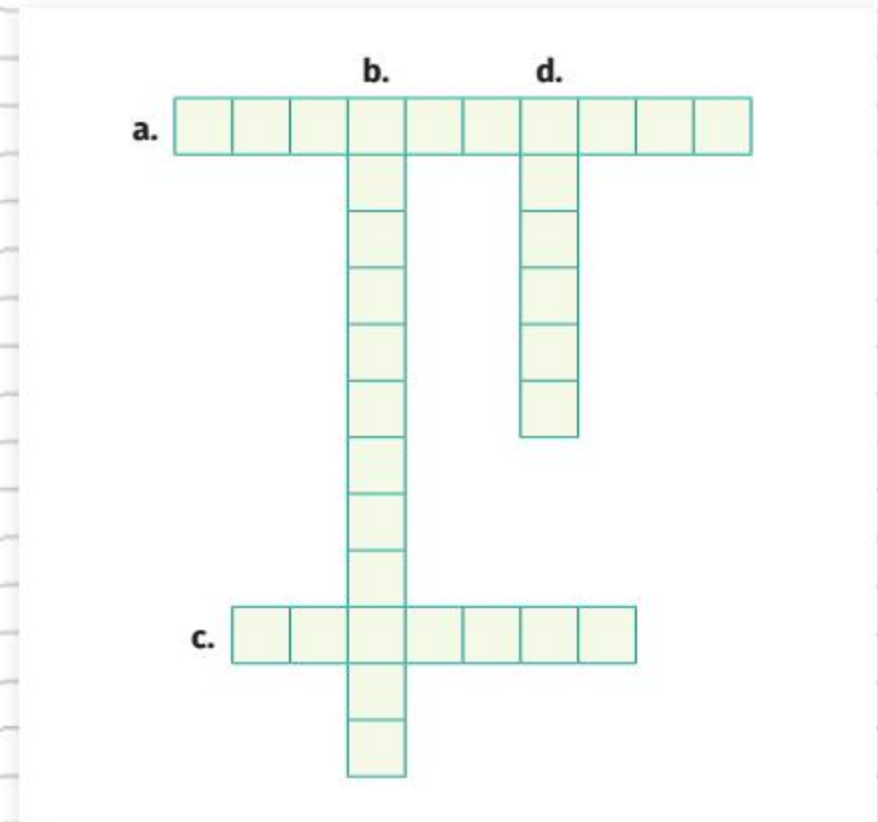
4. Subrayen la o las opciones adecuadas para que el texto quede correcto.

El dueño del tambo les comentó a los chicos que las vacas fueron modificadas (*genéticamente / fenotípicamente*) para así obtener mejor calidad de leche. En consecuencia, las vacas son (*organismos transgénicos / clones*). En cambio, si las vacas fuesen copias exactas entre sí se denominarían (*organismos transgénicos / clones*). Sin embargo, ambos tipos de organismos tienen en común que son consecuencia de la (*biotecnología / inseminación artificial*).

5. Determinen si las siguientes afirmaciones son verdaderas (V) o falsas (F).

☐ **a.** Una célula madre tiene la capacidad de diferenciarse en cualquier célula especializada.
☐ **b.** La micropropagación es una técnica empleada en la clonación de animales.

6. Completen el siguiente acróstico teniendo en cuenta las referencias.



a. Tipo de selección direccionada por el ser humano.
b. Inserción de semen en el sistema reproductor femenino.
c. División nuclear mediante la cual se obtienen cuatro células hijas haploides.
d. Organismos genéticamente idénticos.

Índice alfabético de conceptos

A

Abuelas de Plaza de Mayo 133
Acodo 85
Acrosoma 65
Adaptación
- **conductual** 34
- **funcional** 34, 52, 54, 72
- **morfológica** 34

ADN 11, 21, 45, 46, 52, 55, 56, 60, 61, 66, 67, 74, 75, 76, 83, 84, 86, 87, 111, 124, 125, 127, 131, 132, 133, 134, 135, 136, 138, 140, 148, 150, 151, 153
- **mitocondrial** 65, 133

Alelo 125, 127, 129, 130, 135, 144
Aleta pélvica 91
Alteración cromosómica 82, 140
- **estructural** 140
- **numérica** 140, 141

Alternancia de generaciones 88, 89
Aminoácido 21, 43
Amnios 103
Amplexo 91
Anafase 75, 138
Anaxágoras 43
Anaximandro 25
Androceo 90, 94
Aneuploidía 141
Angiosperma 73, 90
Antera 90
Aparato de Golgi 57, 58, 59, 64, 65
Apareamiento 87, 97, 110, 113, 115
Aristóteles 18, 25, 27, 43
ARN 19, 21, 46, 61
Arrhenius, Svante 43
Atmósfera primitiva 44, 45, 47
Autofecundación 83, 86, 87
Azúcar 58, 149

B

Barrera geográfica 35
Big Bang 44
Biodiversidad 11, 23, 36, 37, 39
Biogeografía 12, 16, 17, 23
Biotecnología 148, 149, 150, 155
- **moderna** 148, 149
- **tradicional** 148, 149, 155

Bipartición 84, 95
Blastema 77
Blastocisto 102, 103, 152
Blástula 76
Bulbo 85, 95

C

Caldo primitivo 42, 45, 46, 47, 48
Callo nupcial 91
Canibalismo 111, 118
Cápsula 56, 87
Carácter sexual
- **secundario** 98, 139
- **primario** 98, 139

Carioplasma 60, 61
Cariotipo 131
Célula 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 69, 71, 72, 74, 75, 76, 83, 84, 85, 86, 88, 89, 92, 99, 109, 111, 125, 130, 131, 137, 138, 139, 140, 150, 151, 152, 155
- **cancerosa** 84
- **eucariota animal** 59
- **eucariota vegetal** 59
- **madre** 152, 153, 155
- **procariota** 56, 66, 67, 69, 74, 111

Centríolo 75
Centrómero 74, 75, 79, 130, 138
Ciclo 70, 74, 79, 84, 88, 89, 97, 99, 100, 102, 106, 109, 113, 117, 138
- **diploide** 88
- **estral** 97, 109
- **haploide** 88, 89, 137, 139
- **haplodiploide** 88, 89
- **menstrual** 97, 99, 100, 102, 105, 106, 109

Cigoto 55, 76, 86, 87, 88, 89, 92, 100, 102, 106, 109, 117, 133, 137
Citocinesis 74, 75, 138
Citoesqueleto 57, 58
Cladismo 20
Claspers 91
Clon 146, 150, 151
Clonación 150, 151, 155
- **en animales** 52, 91, 97, 139, 149, 151
- **en plantas** 35, 68, 85, 90, 149, 150,
- **molecular** 21, 72, 150
- **celular** 48, 49, 52, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 64, 65, 66, 67, 69, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 84, 125, 130, 138, 142, 150

Cloroplasto 57, 66
Coacervado 45, 46, 51
Coevolución 35, 39, 111, 116, 121
Colesterol 62, 64
Colonia 12, 71, 115
Conducto deferente 101
Conjugación 111
Cono 90
- **femenino** 35, 90, 91, 100, 102, 106, 109, 153, 155
- **masculino** 35, 90, 91, 100, 101, 109

Copeland, Herbert 18
Cópula 91, 115, 118
Cordón umbilical 103, 152
Corona radiada 101
Corpúsculo polar 139
Cortejo 115, 121
Creacionismo 26, 27, 39, 43
Cromatida
- **hermana** 39, 51

Cromatina 61, 125, 130, 134
Cromosoma 61, 74, 75 88, 125, 130, 132, 133, 134, 135, 138, 140, 145
- **autosoma** 131
- **homólogo** 88, 125, 138
- **sexual** 31, 57, 82, 83, 85, 86, 87, 88, 90, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 102, 104, 105, 106, 108, 109, 111, 114, 115, 116, 118, 121, 132, 136, 137, 139, 142, 145

Cuidado parental 110, 112, 113, 118, 119, 121
Cuvier 26

D

Daltonismo 132, 135
Darwin, Charles 12, 18, 28, 30
Deleción 140
Densidad poblacional 113, 120
Deriva continental 16, 17, 23
Desarrollo 11, 12, 30, 44, 47, 49, 54, 76, 77, 82, 88, 92, 93, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 111, 112, 113, 114, 117, 118, 119, 120, 133, 139, 142, 143, 149, 150, 152, 153
- **directo** 92, 142
- **indirecto** 92, 95

Dictiosoma 58, 59
Diferenciación 76, 77, 98, 152
Difusión 69, 103
- **facilitada** 63
- **simple** 63

Dimorfismo sexual 114
Diploide 88, 89, 125, 132, 137, 139
División 59, 60, 61, 62, 70, 71, 72, 74, 75, 76, 79, 83, 84, 125, 130, 137, 138, 139, 140, 155
- **celular** 59, 60, 61, 62, 74, 75, 84, 125, 130, 138

Diversidad
- **de ecosistema** 11
- **específica** 11
- **genética** 11

Dolly 151
Duplicación 140

E

Ectotermia 118
Embrión 93, 117
Endocitosis mediada por receptor 64
Endosperma 117
Endotermia 118, 151
Entrecruzamiento 138
Enzima 65, 149
- **de restricción** 150
- **digestiva** 65

Epidídimo 101
Epimorfosis 77
Especiación

- **alopátrica** 35
- **simpátrica** 35

Especie 35
Esperma 139
Espermátida 139
Espermatocito 139
Espermatóforo 87, 115
Espermatogénesis 139
Espermatozoide 86, 87, 98, 139
Espora 89, 90
Esporofito 90
Esporulación 84
Esqueje 85
Estigma 90
Estilo 90
Estolón 85
Estratega
- **K** 112
- **r** 112

Estrato 14
Estro 97
Estrógeno 99
Estroma 66
Estromatolito 47
Evolución 25
Exocitosis 65
Explanto 151
Extinción 36, 37
- **de fondo** 36, 37
- **masiva** 36, 37

F

Fagocitosis 64
Fase
- **folicular** 99
- **lútea** 99

Fecundación 86
- **cruzada** 83, 86, 87
- **externa** 87
- **interna** 87

Fenotipo 142
Fermentación 48
Feromona 114
Fijismo 26
Filamento estaminal 90
Filial 126, 127
Filogenia 20
Fisión binaria 84
Flagelo 86
Folículo 99
Fosfolípido 62
Fosilización 14, 15
Fotosíntesis 48, 66
Fragmentación 83

G

Gameta 83, 88, 89, 99
Gametofito 88, 89, 90
Gástrula 76
Gemación 84
Gen 11, 127, 129, 130, 131, 133, 135, 149, 150, 153
- **estructural** 54, 72

Generación espontánea 27, 43, 50
Genotipo 142
Gimnosperma 90
Gineceo 90
Glándula bulbouretral 101
Gónada 86
Gradiente 63
Grana 66
Grano de polen 90
Grupo sanguíneo 129

H

Haeckel, Ernest 18
Haldane, John 45
Haploide 88, 89
Hemimetábolo 93
Herencia 132
Hermafrodita 86
Heterocigota 127
Híbrido 11
Hipótesis
- **de la Reina Roja** 111
- **de Oparin y Haldane** 45

Histona 125
Holometábolo 93
Homocigota
- **dominante** 127
- **recesivo** 127

Homología 13

I

Imago 93
Implantación 102
Ingeniería genética 150
Injerto 85
Inseminación artificial 153
Interfase 74
Inversión 141
Ión 63

L

Lamarck 27
Larva 93
Leyes de Mendel
- **Primera ley** 128
- **Segunda ley** 128

Linneo, Carl Von 18
Lisosoma 59, 65
Litósfera 14
Loci 130
Locus 130

M

Malthus, Thomas 28
Medicina regenerativa 152
Megaspora 90
Meiosis 138
Menarca 98
Mendel, Gregor 126
Metafase 75, 138
Metamorfosis 93
Micropropagación 151
Microspora 90
Microsporangio 90
Mitocondria 49, 67, 86
Mitosis 74, 75, 76, 89, 125, 130, 138, 140, 152
Molécula orgánica 43
Monosomía 141
Morfógeno 76
Morfolaxis 77
Mórula 76
Multiplicación vegetativa
- **artificial** 85
- **natural** 85

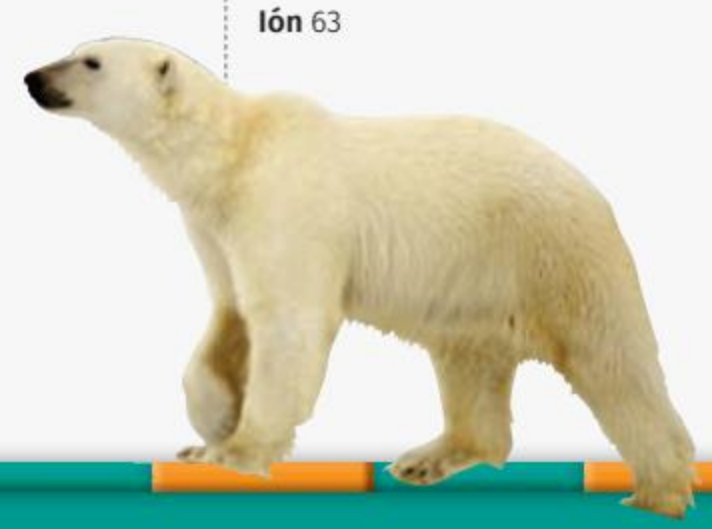
Mutación 111

N

Ninfa 93
Núcleo celular 57, 60, 61
Nucleolo 61
Nucleótido 21
Número
- **diploide** 88
- **haploide** 88

O

Oocito 86, 139
Oparin, Alexander 45
Órgano copulador 91
Ósmosis 63
Ovario 91
Ovíparo 92
Ovogénesis 139



Índice alfabético de conceptos

Ovovivíparo 92
Ovulíparo 92
Óvulo 90, 99, 139
Ozono 45

P

Paleobiogeografía 16
Panspermia 43
Pared celular 59, 66
Partenogénesis 86
Parto 103
Pedipalpo 91
Pene 101
Pentaploide 141
Período geológico 37
Peroxisoma 58
Pili 56
Pinocitosis 64
Pinzones de Darwin 31
Placenta 103
Plástido 59
Pluricelular 71
Polinización 116
Poliploidía 141
Profase 75, 138
Progesterona 99
Proteína 62
Protocélula 46
Protoplasma 66
Pupa 93

R

Ray John 18
Receptor 64
Regeneración 76, 77, 79, 83, 152, 153
- **compensatoria** 77

Reproducción 95
- **anisogámica** 87
- **asexual** 83, 111
- **isogámica** 87
- **oogámica** 87
- **sexual** 83, 111

Respiración celular 67
Retículo endoplasmático 57, 59, 60, 65
- **liso** 58
- **rugoso** 58

Ribosoma 56, 58, 66, 67
Rizoma 85

S

Saco amniótico 103
Saco embrionario
Saco polínico 90
Sedimento 14
Segmentación 76
Selección 24, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 39, 73, 112, 113, 114, 115, 121, 140, 146, 148, 151, 155
- **artificial** 147
- **direccional** 31
- **disruptiva** 31
- **intersexual o epigámica** 114
- **intrasexual** 114
- **normalizadora** 30

Semilla 117
Sinapomorfía 20
Síndrome de
- **doble Y** 141
- **Down** 141
- **Edwards** 141
- **Klinefelter** 141
- **Patau** 141
- **triple X** 141
- **Turner** 141

Síntesis prebiótica 45
Sistemática 19

T

Tablero de Punnett 127
Teca 90
Telofase 75, 138
Teoría
- **cromosómica de la herencia** 130
- **del ancestro común** 29
- **del uniformismo** 28
- **de la generación espontánea** 27
- **de las catástrofes** 28
- **endosimbiótica** 67
- **quimiosintética** 43

Terapia génica 132, 153
Testículo 98, 101
Testosterona 98
Tetraploide 141
Tilacoide 66
Transformismo 25, 26, 27
Transgénico 150
Transportador
- **antiporte** 63
- **simporte** 63
- **uniporte** 63

Transporte 14, 52, 57, 58, 62, 63, 64, 65, 66, 69, 103, 119
- **activo** 63
- **en masa** 64
- **pasivo** 63

Traslocación 140
Triploide 141
Trisomía 141
Trompa de Falopio 100
Tubérculo 85
Tubo polínico 90

U

Unicelular 71
Uretra 100, 101
Útero 100, 102

V

Vacuola 58, 59, 69
Variabilidad 11, 23, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 39, 71, 83, 86, 111, 116, 136, 137, 140, 145
Vesícula seminal 101
Vivíparo 92, 93, 95, 100
Vuelo nupcial 91

W

Wegener, Alfred 16, 17
Whittaker, Robert 18
Woese, Carl 18

Z

Zángano 91

{ Bibliografía }

- Alberts, B.; Lewis, J. y Bray, D., *Biología molecular de la célula,* Barcelona, Omega, 2010.
- Asimov, I., *Breve historia de la biología,* Buenos Aires, Eudeba, 1975.
- Browne, Janet, *La historia del origen de las especies de Charles Darwin,* Barcelona, Debate Editorial, 2007.
- Curtis, H.; Barnes, S.; Schnek, A. y Flores, G., *Biología,* Buenos Aires, Editorial Médica Panamericana, 2000.
- Darwin, C., *Autobiografía,* Buenos Aires, Grupo Editorial Norma, 2006.
- Darwin, C., *El origen de las especies por medio de la selección natural,* Buenos Aires, Librerías Libertador, 2004.
- Margulis, Lynn, *El origen de la célula,* Barcelona, Editorial Reverté, 1986.
- Suzuki, D. T. y McGrawn-Hill S. A., *Genética,* Madrid, Interamericana de España, 2002.

De manera natural, con los materiales a
nuestro alcance los pies
en la tierra este libro se terminó
de imprimir en el mes de octubre de 2016,
en los talleres gráficos de Gráfica Pinter,
Diógenes Taborda 48, Buenos Aires,
Argentina.

Serie

{Llaves}

Biología 2

Origen, evolución y herencia en los seres vivos

manioca

ISBN 978-987-4113-00-9