

CONOCIMIENTOS FUNDAMENTALES DE

BIOLOGÍA

VOLUMEN II



Luis Felipe Jiménez (Coordinador)

PEARSON
Educación®

COLECCIÓN CONOCIMIENTOS FUNDAMENTALES



Conocimientos
Fundamentales de Biología. Vol. II

JIMÉNEZ, LUIS FELIPE et al.
Conocimientos Fundamentales de Biología. Vol. II

PEARSON EDUCACIÓN, México, 2007

ISBN: 978-970-26-1179-0
Área: Bachillerato

Formato: 21 × 27 cm

Páginas: 240

Programa Conocimientos Fundamentales para la Enseñanza Media Superior

Coordinación general: Dra. Rosaura Ruiz Gutiérrez y Dr. Arturo Argueta Villamar

Coordinación operativa: Dr. Alfredo Arnaud Bobadilla

Coordinación editorial: Lic. Rosanela Álvarez Ruiz

La Coordinación agradece la colaboración de la Escuela Nacional Preparatoria, el Colegio de Ciencias y Humanidades, el Consejo Académico del Bachillerato, la Facultad de Filosofía y Letras, la Facultad de Ciencias, la Facultad de Química, el Instituto de Ecología, el Instituto de Geografía, el Instituto de Investigaciones Filosóficas, el Instituto de Matemáticas, el Instituto de Física, el Instituto de Investigaciones en Materiales, el Centro de Ciencias Físicas, la Dirección General de Servicios de Cómputo Académico, la Coordinación de Universidad Abierta y Educación a Distancia, la Dirección General de Actividades Cinematográficas, la Dirección General de Divulgación de la Ciencia, la Dirección General de Televisión Universitaria y la Dirección de Literatura. Se agradece también a la Academia Mexicana de Ciencias.

Imagen de portada: Miguel Marín

Conocimientos Fundamentales de Biología. Vol. II
1ª edición, 2007
Colección Conocimientos Fundamentales
D. R. UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
Secretaría de Desarrollo Institucional
Cd. Universitaria, 04510, México, D.F.
ISBN 978-970-32-4637-3

PRIMERA EDICIÓN, 2007

D.R. © 2007 por Pearson Educación de México, S.A. de C.V.
Atlacomulco No. 500 – 5º piso
Col. Industrial Atoto
53519, Naucalpan de Juárez, Edo. de México

Cámara Nacional de la Industria Editorial Mexicana. Reg. Núm. 1031.

Reservados todos los derechos. Ni la totalidad ni parte de esta publicación pueden reproducirse, registrarse o transmitirse, por un sistema de recuperación de información, en ninguna forma ni por ningún medio, sea electrónico, mecánico, fotoquímico, magnético o electroóptico, por fotocopia, grabación o cualquier otro, sin permiso previo por escrito del editor.

ISBN 10: 970-26-1179-2
ISBN 13: 978-970-26-1179-0

Impreso en México. *Printed in Mexico.*

1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 - 10 09 08 07



Colección Conocimientos Fundamentales

Conocimientos Fundamentales de Biología. Vol. II

Dr. Luis Felipe Jiménez García
(Coordinador)

Dra. Rosaura Ruiz Gutiérrez
Dr. Arturo Argueta Villamar
Dr. Juan Núñez Farfán
M. en C. Eduardo Adolfo Delgadillo Cárdenas
Biól. Irene Quiroz Amenta
M. en C. María del Refugio Saldaña García
Dra. María Cristina Hernández Rodríguez
Dr. Ricardo Noguera Solano
M. en C. María Josefina Segura Gortares



Universidad Nacional Autónoma de México
México, 2007



México • Argentina • Brasil • Colombia • Costa Rica • Chile • Ecuador
España • Guatemala • Panamá • Perú • Puerto Rico • Uruguay • Venezuela



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Dr. Juan Ramón de la Fuente
RECTOR

Lic. Enrique del Val Blanco
SECRETARIO GENERAL

Mtro. Daniel Barrera Pérez
SECRETARIO ADMINISTRATIVO

Dra. Rosaura Ruiz Gutiérrez
SECRETARIA DE DESARROLLO INSTITUCIONAL

Mtro. José Antonio Vela Capdevila
SECRETARIO DE SERVICIOS A LA COMUNIDAD

Mtro. Jorge Islas López
ABOGADO GENERAL

Mtra. María de Lourdes Sánchez Obregón
DIRECTORA GENERAL DE LA ESCUELA
NACIONAL PREPARATORIA

Mtro. Rito Terán Olguín
DIRECTOR GENERAL DEL COLEGIO
DE CIENCIAS Y HUMANIDADES

Dra. Lidia Ortega González
COORDINADORA DEL CONSEJO ACADÉMICO
DEL BACHILLERATO

Dr. Alejandro Pisanty Baruch
DIRECTOR GENERAL DE SERVICIOS
DE CÓMPUTO ACADÉMICO

Dr. Francisco Cervantes Pérez
COORDINADOR DE UNIVERSIDAD
ABIERTA Y EDUCACIÓN A DISTANCIA

Lic. Néstor Martínez Cristo
DIRECTOR GENERAL DE COMUNICACIÓN SOCIAL

Colección Conocimientos Fundamentales

Esta colección es parte de un programa de la UNAM orientado a la producción de libros y materiales digitales para el bachillerato.

Índice

Presentación	IX
Prefacio	XI
Acerca de los autores	XIII
Introducción	XV
Módulo 4. Evolución.....	1
Introducción	1
Tema 1. El cambio de las especies a través del tiempo.....	2
1.1 ¿Qué es la evolución biológica?.....	2
1.2 Evidencias de la evolución	4
<i>La evolución como un hecho y como una teoría</i>	4
<i>El registro vivo de la evolución: proteínas y ADN</i>	6
1.3 Evolución de la vida en la Tierra.....	8
<i>Precámbrico: arqueano y proterozoico</i>	11
<i>Paleozoico</i>	11
<i>Mesozoico</i>	12
<i>Cenozoico</i>	14
Resumen.....	17
Conceptos fundamentales	17
Actividades de aprendizaje	17
Autoevaluación.....	19
Tema 2. El evolucionismo.....	20
2.1 Antecedentes	20
2.2 Charles Robert Darwin.....	21
<i>El origen de las especies</i>	24
2.3 Alfred Russel Wallace.....	25
2.4 Después de Darwin y Wallace	26
2.5 Síntesis moderna	27
Resumen.....	30
Conceptos fundamentales	30
Actividades de aprendizaje	30
Autoevaluación.....	31
Tema 3. Variación en la naturaleza.....	32
3.1 El significado evolutivo de la variación.....	32
3.2 Expresión de la variación.....	35
<i>Variación fenotípica</i>	35
<i>Variación genética</i>	37
<i>Variación geográfica</i>	39
3.3 Fuentes de la variación	41
<i>Mutación</i>	41
<i>Recombinación genética</i>	42
Resumen.....	42
Conceptos fundamentales	43
Actividades de aprendizaje	43
Autoevaluación.....	44

Tema 4. Procesos evolutivos	46
4.1 Selección natural	46
<i>Selección natural en acción</i>	47
<i>Modo de acción de la selección natural</i>	48
<i>La selección sexual</i>	50
4.2 Endogamia	51
4.3 Migración	52
4.4 Deriva génica	53
4.5 Especiación.....	55
<i>Las especies</i>	55
<i>Modelos de especiación</i>	56
<i>Modelo alopátrico</i>	57
<i>Modelo simpátrico</i>	58
<i>Efecto Wallace</i>	59
4.6 Adaptación.....	60
4.7 Coevolución	61
Resumen.....	62
Conceptos fundamentales	63
Actividades de aprendizaje	63
Autoevaluación.....	65
Módulo 5. Ecología	71
Introducción	71
Tema 1. ¿Qué es ecología?	72
1.1 Definición.....	72
1.2 Niveles de estudio de la ecología	73
1.3 Historia	73
Resumen.....	75
Conceptos fundamentales	75
Actividades de aprendizaje	76
Autoevaluación.....	76
Tema 2. El ambiente	77
2.1 Caracterización del ambiente.....	77
2.2 Adaptación al ambiente	77
2.3 Variación en el ambiente.....	77
<i>Cambios temporales y espaciales</i>	78
2.4 El nicho ecológico	80
Resumen.....	82
Conceptos fundamentales	82
Actividades de aprendizaje	82
Autoevaluación.....	84
Tema 3. Las poblaciones	86
3.1 Distribución espacial	87
<i>Distribución homogénea</i>	88
<i>Distribución heterogénea</i>	89
3.2 Crecimiento poblacional.....	89
Resumen.....	94
Conceptos fundamentales	95
Actividades de aprendizaje	95
Autoevaluación.....	97
Tema 4. Comunidades	99
4.1 Estructura.....	100
4.2 Diversidad	101
<i>Riqueza de especies</i>	101
4.3 Patrones ambientales.....	101

4.4 Organización.....	102
<i>Cadenas y redes tróficas</i>	102
<i>Sucesión ecológica</i>	105
4.5 Interacciones entre especies.....	107
<i>Competencia</i>	108
<i>Depredación</i>	109
<i>Mutualismo</i>	114
<i>Comensalismo</i>	116
<i>Amensalismo</i>	116
Resumen.....	116
Conceptos fundamentales	117
Actividades de aprendizaje	117
Autoevaluación.....	118
Tema 5. Ecosistemas	121
5.1 Flujo de energía	121
5.2 Productividad primaria y secundaria	122
<i>Productividad primaria</i>	122
<i>Productividad secundaria</i>	122
5.3 Ciclos biogeoquímicos.....	123
<i>Ciclos atmosféricos</i>	124
<i>Ciclos sedimentarios</i>	129
5.4 Ecosistemas de México.....	132
<i>Ecosistemas terrestres</i>	133
<i>Ecosistemas acuáticos</i>	136
5.5 Ecología urbana.....	137
Resumen.....	140
Conceptos fundamentales	141
Actividades de aprendizaje	141
Preguntas para discusión	142
Autoevaluación.....	142
Módulo 6. Biología y sociedad	149
Introducción	149
Tema 1. Relaciones entre sociedad y naturaleza.....	151
1.1 Diversidad natural y diversidad cultural.....	151
<i>Diversidad natural</i>	151
<i>Diversidad cultural</i>	152
1.2 La domesticación y el desarrollo cultural.....	157
<i>La domesticación vegetal y animal</i>	157
<i>La domesticación actual</i>	162
1.3 Saberes ambientales y diálogo de saberes.....	163
Resumen.....	166
Conceptos fundamentales	166
Actividades de aprendizaje	167
Autoevaluación.....	169
Tema 2. Ambiente y desarrollo sustentable	171
2.1 Cambio ambiental global	171
<i>Contaminación atmosférica</i>	171
<i>Contaminación de las aguas continentales</i>	172
<i>Contaminación de los océanos</i>	173
<i>Contaminación del suelo</i>	173
<i>Contaminación auditiva</i>	174
2.2 La agenda ambiental del planeta.....	177
<i>La preocupación por la sustentabilidad de la especie humana en el planeta</i> <i>(Río de Janeiro, 1992)</i>	178
<i>Los acuerdos internacionales</i>	179
<i>Cumbre Mundial sobre Desarrollo Sostenible (CMTS) (Johannesburgo, 2002)</i>	180
Instituciones, información y acciones para la conservación	182

2.3 Desarrollo sustentable y educación ambiental.....	183
<i>Desarrollo sustentable</i>	183
<i>Educación ambiental</i>	184
Resumen.....	185
Conceptos fundamentales	186
Actividades de aprendizaje	186
Autoevaluación.....	188
Tema 3. Biología, tecnología y sociedad	190
3.1 ¿Qué es el enfoque <i>ciencia, tecnología y sociedad</i> ?.....	190
3.2 La biomedicina y el proyecto Genoma humano.....	191
3.3 La biotecnología y los alimentos transgénicos	194
Resumen.....	198
Conceptos fundamentales	199
Actividades de aprendizaje	199
Autoevaluación.....	201
Bibliografía	211
Respuestas a los ejercicios de autoevaluación	215
Apéndice.....	217

Presentación

El saber, entendido como fuerza que impulsa de manera determinante al desarrollo, tanto individual como social, constituye una condición necesaria para el crecimiento, la democracia, la equidad y la libertad.

En el contexto de la sociedad del conocimiento, la formación media superior se ha convertido en un tema de atención prioritaria para las instituciones educativas. Sus nuevas tendencias, oportunidades y posibilidades, su función de enlace entre los niveles básico y profesional y su situación estratégica en el proceso formativo, dotan al bachillerato de un gran potencial.

El libro que tienes en tus manos es producto de un muy estimable esfuerzo hecho por la Universidad Nacional Autónoma de México para fortalecer al bachillerato. Forma parte de la **Colección Conocimientos Fundamentales** para la enseñanza media superior, concebida bajo la visión de que los acelerados cambios y transformaciones de las últimas décadas en los diversos campos del saber y del quehacer humano, deben reflejarse en los contenidos educativos del siglo que inicia. En tal sentido, este ciclo de estudios está siendo objeto de un profundo análisis.

Entre los aspectos que sin duda impulsarán al bachillerato, están su articulación orgánica con las etapas educativas posteriores; el establecimiento de estrategias de atención a requerimientos pedagógicos específicos; la modificación curricular sustentada en el perfil de egreso y en los conocimientos relevantes y pertinentes que requiere el estudiante; el mejoramiento de la docencia, y la incorporación de nuevas tecnologías a la enseñanza-aprendizaje en esta etapa.

Con base en lo anterior, la Secretaría de Desarrollo Institucional, en colaboración con la Escuela Nacional Preparatoria, el Colegio de Ciencias y Humanidades y el Consejo Académico del Bachillerato de la UNAM, ha emprendido un programa conducente a replantear los contenidos temáticos de las disciplinas que se imparten en este nivel de estudios.

Los libros y materiales de la **Colección Conocimientos Fundamentales** para la enseñanza media superior son el punto de partida para establecer los cimientos de una formación que, efectivamente, te proporcione una cultura general interdisciplinaria y de capacidades específicas para que puedas responder a las exigencias de un entorno cada vez más complejo y demandante. Dichos conocimientos, además de las habilidades y valores correspondientes, deben prepararte también para el aprendizaje a lo largo de tu vida.

La Colección cuenta con la participación de destacados académicos de la Universidad, en el marco de un programa institucional destinado a rendir sus mejores frutos en beneficio de los jóvenes del bachillerato en México y en América Latina.

Dr. Juan Ramón de la Fuente
Rector de la Universidad Nacional Autónoma de México

Prefacio

La Secretaría de Desarrollo Institucional, en colaboración con la Escuela Nacional Preparatoria, el Colegio de Ciencias y Humanidades y el Consejo Académico del Bachillerato de la UNAM, emprendió la tarea de reflexionar sobre los contenidos temáticos de las disciplinas que se imparten en el bachillerato, bajo la premisa de que la enseñanza media superior tiene como objetivos principales la formación de estudiantes que continúen sus estudios en la licenciatura y el posgrado, con posibilidades reales de incorporarse a la vida laboral con un claro compromiso social.

Las disciplinas elegidas para trabajar en una primera etapa fueron: biología, filosofía, física, geografía, matemáticas, literatura y química. Se formaron grupos de trabajo integrados por profesores del bachillerato, la licenciatura y el posgrado, que definieron los conocimientos fundamentales de cada disciplina, en función de su desarrollo reciente, de su pertinencia en el marco de la enseñanza media superior y del impulso a la interdisciplina.

La definición de los conocimientos fundamentales tiene como fin el determinar los saberes básicos e imprescindibles con que los estudiantes deben contar al término del ciclo del bachillerato y proporcionar a los alumnos una cultura general de la disciplina, que les permita estar preparados para incursionar en nuevos espacios del saber.

Una vez establecidos tales conocimientos, se integraron grupos de trabajo más amplios para elaborar los contenidos de los libros, de los discos compactos y de la página Web, que son los tres materiales de apoyo a tu formación que incluye este programa. Éstos se insertan en el marco de la **Colección Conocimientos Fundamentales** para que puedas usarlos con la orientación y apoyo de tus profesores.

La definición y la producción de los materiales de esta Colección, contó con la amplia participación de la Escuela Nacional Preparatoria, el Colegio de Ciencias y Humanidades, el Consejo Académico del Bachillerato, la Facultad de Filosofía y Letras, la Facultad de Ciencias, la Facultad de Química, el Instituto de Ecología, el Instituto de Geografía, el Instituto de Investigaciones Filosóficas, el Instituto de Matemáticas, el Instituto de Física, el Instituto de Investigaciones en Materiales, el Centro de Ciencias Físicas, la Dirección General de Servicios de Cómputo Académico, la Coordinación de Universidad Abierta y Educación a Distancia, la Dirección General de Actividades Cinematográficas, la Dirección General de Divulgación de la Ciencia, la Dirección General de Televisión Universitaria y la Dirección de Literatura. También contribuyó en la tarea un selecto grupo de miembros de la Academia Mexicana de Ciencias, quienes hicieron sugerencias para mejorar los materiales. A todos ellos, nuestro reconocimiento y gratitud.

El Programa de Fortalecimiento del Bachillerato, del que forma parte la **Colección Conocimientos Fundamentales** es una iniciativa de la UNAM destinada a apoyar y fortalecer los estudios de bachillerato en lengua española.

Con esta primera serie de libros y materiales para siete disciplinas, dirigidos a los maestros y estudiantes del nivel medio superior, nuestra Universidad inicia esta Colección que habrá de enriquecerse con una serie de nuevos títulos, realizados con la calidad y el profesionalismo propios de nuestra casa de estudios.

Dra. Rosaura Ruiz Gutiérrez
Secretaria de Desarrollo Institucional

Acerca de los autores

Dr. Luis Felipe Jiménez García

Profesor titular “C” de la Facultad de Ciencias, UNAM.
Biólogo, maestro y doctor en Ciencias, UNAM.
Posdoctorado en el laboratorio Cold Spring Harbor, Nueva York.
Investigador nacional y miembro de la Academia Mexicana de Ciencias.
Distinción Universidad Nacional, Docencia en Ciencias Naturales 1998.
Presidente de la Sociedad Iberoamericana de Biología Celular.

Dra. Rosaura Ruiz Gutiérrez

Profesora titular de la Facultad de Ciencias, UNAM.
Investigadora nacional y miembro de la Academia Mexicana de Ciencias.
Bióloga, maestra y doctora en Ciencias, UNAM.
Actualmente vicepresidenta de la Academia Mexicana de Ciencias.

Dr. Arturo Argueta Villamar

Profesor de la Facultad de Ciencias de la UNAM.
Biólogo, maestro y doctor en Ciencias, UNAM.
Miembro del grupo “Estudios filosóficos, históricos y sociales de la ciencia”.

M. en C. Eduardo Adolfo Delgadillo Cárdenas

Profesor titular, Escuela Nacional Preparatoria, plantel 4, UNAM.
Distinción Universidad Nacional, Docencia en Ciencias Naturales 1999.

Biól. Irene Quiroz Amenta

Profesora titular, Escuela Nacional Preparatoria, plantel 4, UNAM.
Premio Universidad Nacional 2005.

Dr. Juan S. Núñez Farfán

Investigador titular, Instituto de Ecología, UNAM.
Investigador nacional y miembro de la Academia Mexicana de Ciencias.

M. en C. María del Refugio Saldaña García

Profesora asociado, Colegio de Ciencias y Humanidades-Azcapotzalco.
Distinción Universidad Nacional 2005.

Dra. María Cristina Hernández

Profesora de la Facultad de Ciencias de la UNAM.
Bióloga, maestra y doctora en Ciencias, UNAM.
Miembro del grupo “Estudios filosóficos, históricos y sociales de la ciencia”.

Dr. Ricardo Noguera Solano

Profesor de la Facultad de Ciencias de la UNAM.

Biólogo, maestro y doctor en Ciencias, UNAM.

Miembro del grupo “Estudios filosóficos, históricos y sociales de la ciencia”.

M. en C. María Josefina Segura Gortares

Profesora titular de la Escuela Nacional Preparatoria, plantel 6, UNAM.

Los autores agradecemos a la Coordinación de Publicaciones Digitales de la Dirección General de Servicios de Cómputo Académico de la UNAM —Mtra. Clara López Guzmán, Act. Guillermo Chávez Sánchez, Lic. Miguel Ángel Mejía Argueta, L.D.G. Lizbeth Luna González, el D.C.V. Daniel Haro Gómez, Lic. en Letras Hispánicas Julieta Sánchez Morales y el L.D.G. Salvador Silva—, que contribuyó al desarrollo del proyecto.

Asimismo, hacemos un reconocimiento a las siguientes personas por los comentarios y la revisión técnica de este volumen: M. en C. Aquiles Bernal Moreno y Dra. María de Lourdes Segura Valdez, Facultad de Ciencias, UNAM; Dr. Francisco Barba, Colegio de Ciencias y Humanidades, plantel Sur; M. en C. José de Jesús Moncayo Sahagún y la M. en C. Luz del Carmen Gómez Salazar, del Colegio de Ciencias y Humanidades, plantel Oriente.

Agradecemos a Dante Bucio por su apoyo con algunas de las fotografías de esta obra y a Raúl Cruz por la elaboración de varias ilustraciones y de los mapas que ilustran este volumen.

La inclusión de muchas de las imágenes de este libro se debe a la solidaria contribución de las siguientes personas: Dr. Agustín Carmona; Dra. Gabriela Castaño, Facultad de Ciencias, UNAM; Dr. Joaquín Cifuentes Blanco, Facultad de Ciencias, UNAM; Dr. Juan Luis Cifuentes Lemus, Facultad de Ciencias, UNAM; M. en C. Montserrat Gispert, Facultad de Ciencias, UNAM; Dra. Alma González Esquinca, Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas; M. en C. Helvia Jiménez, Facultad de Ciencias, UNAM; M. en C. Carlos Juárez, Facultad de Ciencias, UNAM; Mtra. Rebeca Kobelkowsky; Dr. Abraham Landa, Facultad de Medicina, UNAM; M. en C. Alejandro Martínez Mena, Facultad de Ciencias, UNAM; Dr. Adolfo Navarro, Facultad de Ciencias, UNAM; Dr. José Palacios, Facultad de Ciencias, UNAM; Dra. Sara Quiroz, Facultad de Ciencias, UNAM; Dra. Lourdes Segura, Facultad de Ciencias, UNAM; M.V.Z. Mario Soriano; Dr. Francisco Sour, Facultad de Ciencias, UNAM.

Finalmente, nuestra gratitud a Rosanela Álvarez y Mariana Mendía, por su invaluable trabajo editorial.

Introducción

Este libro tiene como propósito apoyar tu formación como alumno de bachillerato en el tema de la Biología. Los materiales que lo conforman son una invitación a que te acerques a nuestra disciplina con una actitud abierta y reflexiva, para pensar y repensar los maravillosos aspectos de la vida y los seres vivos. Te sugerimos que tomes distancia de las visiones acumulativas y memorísticas, para que analices lo que la Biología puede decirte sobre el mundo actual, tu país y tu vida cotidiana.

Está dirigido a estudiantes de Educación Media Superior de la Universidad Nacional Autónoma de México y fue realizado por un grupo compuesto por profesores, tanto del Colegio de Ciencias y Humanidades como de la Escuela Nacional Preparatoria, así como por profesores e investigadores que tienen actividad docente en licenciatura y posgrado.

Se ha elaborado en el marco de un proyecto muy ambicioso: repensar la Biología que se enseña en el nivel medio superior de nuestra universidad. Pensar y repensar la Biología no sólo desde la propia disciplina, sino también desde una reflexión más amplia respecto al proceso de tu formación como bachiller, en la que te vemos no sólo como futuro estudiante de licenciatura y posgrado (en fin, como profesionista de la biología o disciplinas afines), sino además como ciudadano y ser humano crítico y transformador, que vive en un mundo cada vez más complejo y dinámico, que implica grandes retos y que exige un nuevo tipo de formación y compromiso con la vida, el ambiente y la sociedad.

Para la definición de los conocimientos fundamentales de Biología, el grupo de trabajo analizó los actuales planes y programas de estudio del bachillerato de la UNAM, es decir, de la Escuela Nacional Preparatoria y del Colegio de Ciencias y Humanidades; el documento “Núcleos de Conocimiento y Formación Básicos” del Consejo Académico del Bachillerato; los planes y programas actuales de los Centros de Estudios Científicos y Tecnológicos (CECYT) del IPN, así como la información directa proporcionada por profesores de enseñanza media superior y licenciatura. Adicionalmente, se consultaron una gran cantidad de textos editados por diversas casas editoriales y sitios de Internet de los programas sobre educación media superior de diferentes países.

El libro contiene elementos del enfoque constructivista con un sólido componente histórico. Nos propusimos, además, que los conocimientos fundamentales abordados fueran pertinentes, actuales, que fomentaran la interdisciplina y que buscaran la transversalidad de los temas.

Sabemos que en tus estudios de primaria y secundaria tuviste contacto con diversos temas que forman parte de la disciplina de la Biología, pero en este nivel del bachillerato queremos que nos permitas introducirte de manera formal en diversos conocimientos fundamentales de la misma. La Biología está hoy presente en nuestra vida cotidiana a través de muchos materiales de divulgación de excelente calidad, así como conferencias, libros, cine, teatro, museos, viveros, jardines botánicos, zoológicos, áreas protegidas, exposiciones, etcétera.

Los módulos que proponemos como conocimientos fundamentales de la Biología para la enseñanza media superior, son los siguientes: 1) *La Biología como ciencia*, 2) *Biología celular, molecular y bioquímica*, 3) *Genética*, 4) *Evolución*, 5) *Ecología*, y 6) *Biología y sociedad*. En el primer volumen se trataron los tres primeros temas. Este segundo comprende los módulos de *Evolución*, *Ecología* y *Biología y sociedad*.

En el módulo 4, *Evolución*, se analiza la teoría más unificadora de la Biología, considerando aspectos de su desarrollo como pensamiento que plantea la transformación de las especies a través del tiempo. Asimismo, se estudian las evidencias y los mecanismos de la evolución; se plantea un panorama integral de este campo de conocimiento, y se analizan las principales características de los seres vivos, así como las distintas formas de abordar su estudio. Presentamos una reconstrucción histórica para que conozcas cómo esta teoría ha llegado a convertirse en uno de los paradigmas de la Biología como ciencia.

En el módulo 5, *Ecología*, se revisan los conceptos generales de la ecología, resaltando, entre otros aspectos, la parte formal matemática y los tipos de ecosistemas.

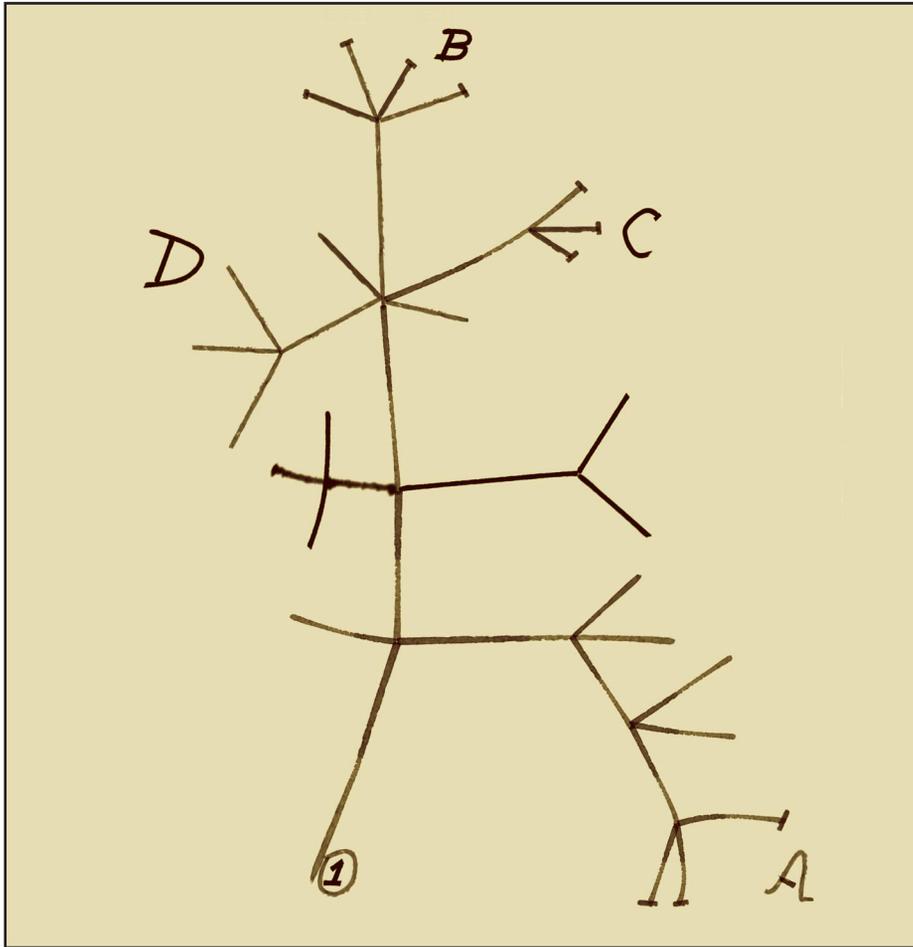
En el módulo 6, *Biología y sociedad*, se analiza la manera como la sociedad obtiene y utiliza el conocimiento biológico de diferentes maneras, en el contexto de la biodiversidad, y cómo ésta es afectada por la influencia humana.

Este libro está acompañado de un CD en el que encontrarás, a través de hipervínculos, materiales complementarios que te permitirán profundizar y enriquecer los temas de tu interés, además de términos fundamentales, pequeñas biografías, ejercicios, imágenes y animaciones. De igual manera, conocerás breves extractos de textos de autores imprescindibles que recomendamos que leas y que deseamos sean una invitación para que consultes sus trabajos completos en las bibliotecas y hemerotecas de materiales impresos o las bibliotecas digitales y virtuales a las que tengas acceso.

Esperamos que aprendas y disfrutes de la lectura del libro que tienes en tus manos. Éste completa los temas tratados en el primer volumen. Ambos reúnen lo que proponemos como conocimientos fundamentales de Biología para la enseñanza media superior.

Para finalizar, queremos agradecer a la Secretaría de Desarrollo Institucional la oportunidad de colaborar en este proyecto que promueve el impostergable y necesario proceso de reflexión colectiva alrededor de la enseñanza en el bachillerato de nuestra universidad. Esperamos que tú también participes en él con críticas, comentarios y sugerencias que serán bienvenidos en la página Web de esta colección.

Los autores



MÓDULO **4**

Evolución

Introducción

La biología evolutiva moderna inicia con la publicación en 1859 de *El origen de las especies*, de Charles Darwin. En la actualidad, el estudio de la **evolución** es muy complejo e involucra diversas teorías, las cuales han conformado un gran programa de investigación: el **evolucionismo**, que estudia y explica cómo se transforman los organismos a través del tiempo, y constituye el paradigma central y unificador de la biología debido a que sus planteamientos ofrecen el hilo conductor que vincula el estudio de los seres vivos. Los conceptos y teorías evolutivos constituyen el fundamento para comprender todos los aspectos inherentes a los organismos biológicos.

En este módulo trataremos algunos temas relacionados con estos aspectos para que comprendas en qué consiste el proceso de evolución biológica; conozcas las **evidencias** y razonamientos en los que se basan los biólogos para afirmar la existencia de la evolución; estudies las distintas teorías propuestas para explicarla, y analices los conceptos fundamentales que permiten entender cómo se transforman los organismos en el tiempo, así como algunos procesos evolutivos relevantes, como la **selección natural**, la **deriva génica**, la **migración** y la **especiación**, entre otros.

Tema 1. El cambio de las especies a través del tiempo

1.1 ¿Qué es la evolución biológica?

Desde que surgió la especie humana (*Homo sapiens*) hace más de 100 000 años, hombres y mujeres nos hemos preguntado cómo aparecieron ésta y las demás especies. No tenemos evidencia directa de que desde nuestros orígenes nos hayamos hecho tales preguntas, pero podemos suponerlo, por ejemplo, a partir de los testimonios que los primeros grupos humanos dejaron en sus ideas mágicas y religiosas, además de que una característica del *Homo sapiens* es la curiosidad. Hombres y mujeres queremos entender el cómo y el por qué de todo lo que nos rodea: ¿por qué llueve?, ¿cómo se forman las nubes?, ¿por qué solamente se ve el Sol de día y no por las noches?, ¿por qué los peces pueden respirar en el agua?, ¿cómo aparecieron los seres vivos y los seres humanos?

Primero a través del arte, la religión y la filosofía, y posteriormente también con la ciencia, los humanos han intentado dar respuesta a estas preguntas. Obras de arte como las esculturas o las pinturas que nuestros antepasados plasmaron en las cuevas para representar animales y otros objetos naturales, muestran su interés por temas de importancia permanente para la humanidad.

En nuestra época de grandes descubrimientos científicos es común pensar que la Tierra es sólo un punto perdido en la inmensidad del universo, pero las verdaderas dimensiones cósmicas y las causas naturales que explican el origen del universo y de los seres vivos, incluyendo a los humanos, se descubrieron hace apenas entre 150 y 160 años, muy poco tiempo comparado con toda la historia del hombre.

Muchos pueblos de la antigüedad pensaban que la Tierra no se extendía más allá de las regiones en las que habitaban; también creían que el cielo, con todos sus astros, se encontraba apenas por encima de las nubes. No tenían idea alguna sobre la edad del mundo y sólo podían afirmar que se había formado algunos cientos, quizá miles de años atrás, en épocas de las que ya no tenían memoria.

Los humanos trataron de entender la naturaleza a partir de sus concepciones religiosas, y creyeron que sólo la acción de uno o varios seres omnipotentes pudo crear a todos los seres vivos en un único evento. De ello dan cuenta mitologías como la egipcia o la griega, y tradiciones religiosas como la judeocristiana. Algo tuvieron en común estas concepciones: los seres vivos fueron creados por dioses y se mantenían tal y como éstos los concibieron.

Pasó mucho tiempo para que las creencias sobre la génesis divina del universo y de los seres vivos dieran paso a las explicaciones científicas. Hasta finales del siglo XVIII y principios del XIX empezaron a desarrollarse teorías basadas en fundamentos racionales que planteaban la transformación de las especies y el origen natural de todos los seres vivos.

Una **creencia** es una proposición dada por cierta aunque no haya sido demostrada. Una **teoría científica**, por el contrario, es un planteamiento lógico que explica los fenómenos naturales basado en la aplicación de diversas metodologías que le dan un grado considerable de certeza; es decir, no son ideas arbitrarias sino explicaciones provisionales, demostradas y confrontadas con los hechos, en espera de nuevas confirmaciones o de su refutación. De este modo, aunque las creencias, al igual que las teorías científicas, son valiosas como expresiones humanas, no tienen la misma validez como interpretaciones sobre el mundo.

Durante este periodo, las explicaciones históricas fundamentales para los naturalistas que planteaban la evolución de los seres vivos, se convirtieron en un tema esencial. En esos años se transformó la visión estática del mundo al introducirse la idea del **cambio**, a través de largos periodos, tanto en la Tierra como en los seres vivos.

A mediados del siglo XIX se argumentó con suficiente claridad la evolución de los seres vivos y se anticiparon reflexiones sobre este proceso. En 1858, tanto Charles Darwin (1809-1882) como Alfred Russel Wallace (1823-1913), publicaron sus escritos sobre la transformación de las especies; un año después, Darwin publicó *El origen de las especies*, donde expone la teoría de la evolución por **selección natural**. Esta teoría está constituida por tres ideas básicas: 1) todos los individuos de una especie son diferentes, es decir, al interior de toda especie hay **variación**; 2) en la naturaleza los recursos necesarios para que los individuos sobrevivan son limitados, y 3) la escasez de recursos desencadena una **lucha entre los organismos** por su obtención. En esta competencia, los que presentan variaciones que los favorecen tienen mayores probabilidades de sobrevivir y reproducirse. A esta **sobrevivencia y reproducción diferencial** se le denomina *selección natural*.

A partir de estas ideas, la biología y todas sus ramas modificaron sus conceptos y contribuyeron al desarrollo de la biología evolutiva. Actualmente contamos con un gran programa de investigación fundamentado en la denominada *teoría sintética de la evolución*, que con base en conocimientos de biogeografía, ecología, biología molecular, biología del desarrollo, bioquímica, paleontología, botánica, zoología y genética, entre otros, ha contribuido con significativos avances en temas que no podían responderse en tiempos de Darwin. De acuerdo con esta teoría, la **evolución** tiene lugar en varios niveles: la selección natural puede ocurrir entre moléculas bioquímicas, entre organismos e incluso entre especies; es el proceso fundamental que orienta la evolución al conservar las variantes (en los diferentes niveles evolutivos) con mayor adecuación, pero sólo puede ocurrir si existe variación hereditaria, que surge de las **mutaciones** y de la **recombinación genética**.

La selección natural es uno de los mecanismos más importantes de la evolución y explica los procesos de cambio en la historia de los seres vivos, su estructura y funcionamiento, el surgimiento y extinción de especies y otros procesos, resultado de la adaptación a las condiciones ambientales cambiantes. Para sobrevivir, los seres vivos deben adecuarse al ambiente donde habitan: branquias para respirar en el agua, garras y colmillos para cazar, flores atractivas para lograr la polinización, espinas y venenos para protegerse de los depredadores, etcétera. La selección natural ejerce una presión sobre las poblaciones para el mejoramiento de la adaptación; actúa —a través de parásitos, factores climáticos, depredadores y competidores— discriminando entre formas alternativas o favoreciendo a los individuos (genes, organismos o especies) con las características más favorables para sobrevivir en un determinado tiempo y lugar, a la vez que elimina a los que carecen de ellas.

La selección natural no tiene un propósito ni opera de acuerdo con un plan preconcebido. Por el contrario, es un proceso puramente natural que resulta de la interacción entre entidades fisicoquímicas y biológicas; es simplemente consecuencia de la multiplicación diferencial de los seres vivos. Puede dar cierta apariencia de poseer un propósito, pues está condicionada por el ambiente —los organismos que se reproducen más eficazmente son aquellos que tienen variaciones útiles en el medio donde viven—, pero no anticipa los ambientes del futuro ni produce tipos predeterminados de organismos, sino únicamente aquellos adaptados a sus ambientes actuales. La selección de características depende de qué variaciones están presentes en un tiempo y lugar dados. Esto, a su vez, obedece al proceso aleatorio de la mutación, así como de la historia previa de los organismos,

es decir, de la composición genética, de la conformación de su anatomía, características bioquímicas, entre otros, que posean como consecuencia de su evolución previa. Así, la selección natural es un proceso oportunista. Las variables que determinan la dirección que seguirá son el ambiente, la constitución preexistente de los organismos y las mutaciones que surjan al **azar**.

El azar, por tanto, es parte integral del proceso evolutivo; es decir, las mutaciones que producen variaciones hereditarias surgen independientemente de que sean beneficiosas o perjudiciales para sus portadores. Pero este proceso aleatorio es contrarrestado por la selección natural, que conserva lo útil y elimina lo perjudicial. Sin mutación, la evolución no podría ocurrir, pues no habría variaciones que pudieran ser seleccionadas. Pero sin selección natural el proceso de mutación resultaría desorganizado y la mayor parte de las especies tenderían a la extinción, ya que la mayoría de las mutaciones es desventajosa. Mutación y selección produjeron, conjuntamente, el maravilloso proceso que comenzó con organismos microscópicos y dio lugar a orquídeas, aves y humanos.

La biología evolutiva tiene dos objetivos complementarios: analizar el proceso histórico que ha permitido la existencia de todas las especies vivas o extintas y explicar cuáles son sus mecanismos. En el estudio histórico de la evolución se infieren acontecimientos del pasado a partir del registro fósil (paleontología) y de las **relaciones de parentesco** entre las especies (relaciones filogenéticas), que a su vez se deducen de los estudios de la taxonomía, sistemática y genética molecular. La teoría sintética de la evolución explica fenómenos como la **diversidad**, la **adaptación**, la **extinción**, el origen de novedades morfológicas y fisiológicas, la formación de nuevas especies (especiación) y el porqué de la unidad de todos los seres vivientes.

En suma, las explicaciones sobre la evolución manifiestan el azar y la necesidad, simultáneamente intrincadas en el proceso de la vida. El azar y el determinismo contribuyen a un proceso natural que da lugar a las más complejas, diversas y hermosas entidades en el universo: los organismos que pueblan la Tierra, incluyendo a los humanos, quienes dotados de voluntad propia y poderes creativos son capaces de analizar el proceso de evolución mismo que les dio existencia. Éste es el descubrimiento fundamental de Darwin: hay un proceso que es creativo, aunque no consciente; y ésta es la revolución conceptual a la que le dio forma: todas las realidades naturales, incluyendo el origen de los seres vivos, pueden ser explicadas por procesos materiales gobernados por leyes naturales. Tal es la visión fundamental que cambió para siempre la manera de cómo el género humano se percibe a sí mismo y concibe su lugar en el universo.

1.2 Evidencias de la evolución

La evolución como un hecho y como una teoría

Actualmente, la evolución de los organismos es una conclusión científica que se acepta con tanta confianza como el hecho de que la Tierra es redonda o que los planetas se mueven alrededor del Sol.

Pero, ¿qué pruebas muestran que los seres vivos evolucionan? ¿En qué se basan los biólogos evolucionistas para afirmar que la evolución es un hecho?

Antes de contestar estas preguntas, es menester considerar que para los científicos los hechos son eventos o procesos que suceden en la naturaleza y que están suficientemente probados. Esta certeza, entendida como un conocimiento seguro y evidente sobre algo, va más allá de toda duda razonable. Esto significa que hay muchas pruebas de la existencia de ciertos eventos y sería poco razonable dudar de ellas. Las teorías científicas, por otra parte, son las

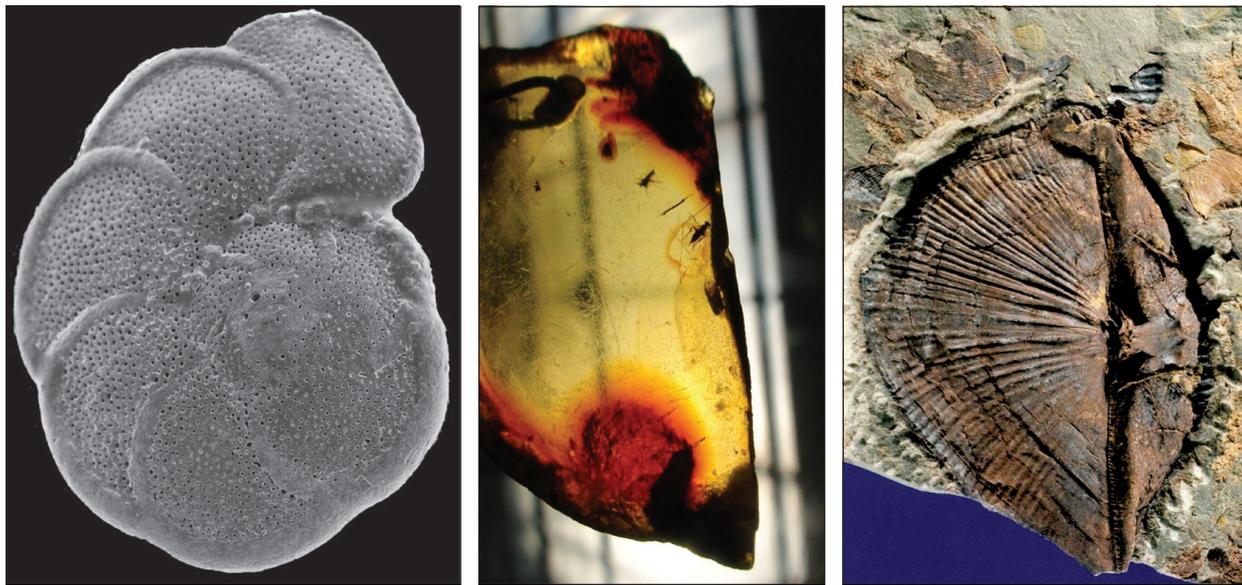


Figura 1. Ejemplos de fósiles de a) foraminíferos (cortesía de Ana Luisa Carreño, Instituto de Geología, UNAM), b) insectos en ámbar y c) bivalvos (cortesía de Francisco Sour y Sara Quiroz, Facultad de Ciencias, UNAM).

explicaciones e interpretaciones que se dan sobre estos hechos, los cuales no se esfuman, aun cuando los científicos no se pongan de acuerdo para dilucidarlos, ya que existen independientemente de dichas discusiones.

Hasta mediados del siglo xx las disciplinas biológicas que aportaron más y mejores evidencias sobre la evolución biológica e información acerca de la filogenia o historia evolutiva de los organismos fueron la paleontología y la anatomía comparada. En la actualidad, ningún biólogo duda de la evolución, aun cuando algunos no se ponen totalmente de acuerdo sobre cómo ocurre este proceso. Sin embargo, todos tratan de descifrar cómo se formó el árbol de la descendencia evolutiva que relaciona a todos los organismos a través de lazos de parentesco.

El registro fósil indica cómo se han modificado los organismos en el tiempo, evidencia los cambios graduales de los que existieron en el pasado y muestra formas intermedias entre grupos de organismos, por lo que el estudio de los fósiles es clave para reconstruir la historia evolutiva de las formas vivas. (Véase la Figura 1).

También es importante la comparación anatómica de los organismos para evidenciar la evolución de las especies.

Del mismo modo, la embriología ha aportado evidencias a la biología evolutiva al mostrar que el modelo de desarrollo embrionario en un grupo de animales —relacionados evolutivamente— tiene rasgos comunes. (Véase la Figura 2).

A su vez, la base lógica de las inferencias filogenéticas indica que la evolución es un proceso gradual, de manera que organismos que comparten un ancestro común reciente tendrán más similitudes entre sí que aquellos con un ancestro común



Figura 2. Semejanzas entre embriones de peces, aves y mamíferos.

en un pasado remoto. En consecuencia, se utilizan grados de similitud para inferir qué tan reciente es la ascendencia común.

Por su parte, la biogeografía, al estudiar la distribución de los organismos en la Tierra, refleja la adaptación de las especies a los diferentes hábitats y aporta también evidencias de la evolución.

Asimismo, la genética, ciencia que surgió impetuosamente con la llegada del siglo xx, contribuyó de manera significativa a la biología evolutiva y dio mayor profundidad e infinitamente más detalle a este campo.

La bioquímica comparativa también proporciona abundantes evidencias para identificar la unidad molecular de los organismos. De acuerdo con sus presupuestos, las diferentes especies tienen distintas rutas metabólicas según sus fuentes alimenticias, con las que hacen frente a las necesidades celulares energéticas y estructurales. No obstante, en todo el mundo vivo estas rutas convergen formando exactamente los mismos componentes de las proteínas y de los ácidos nucleicos y produciendo energía de la misma manera.

Desde la segunda mitad del siglo xx a la fecha, el desarrollo de disciplinas científicas como la bioquímica, la genética y, de modo sobresaliente, la biología molecular, han permitido ensamblar un conjunto de evidencias contundentes sobre la evolución biológica.

El registro vivo de la evolución: proteínas y ADN

Las proteínas y los ácidos nucleicos —esenciales para los organismos— son macromoléculas informativas que retienen un registro de su historia evolutiva. La información evolutiva está contenida en la secuencia lineal de sus componentes. Al conocer la secuencia de unidades integrantes de una proteína o de un gen determinado es fácilmente cuantificable el número de unidades en que éstos difieren de otro organismo, y todos los organismos, no importa lo diferentes que sean, pueden ser comparados a través de macromoléculas homólogas.

Los ácidos nucleicos son moléculas compuestas por nucleótidos, y las proteínas por aminoácidos. La evolución ocurre típicamente por sustitución de una de estas unidades, de manera que el número de diferencias entre dos organismos indica qué tan reciente es su ancestro común.

La comparación de dos macromoléculas relacionadas establece el número de unidades en que difieren. Un caso paradigmático es una proteína particular involucrada en el transporte celular de electrones llamada citocromo *c*. El número de diferencias entre los aminoácidos del citocromo *c* permite formar el árbol filogenético que sintetiza la historia evolutiva de humanos, monos *Macacus rhesus* y caballos, así como identificar que la única diferencia entre los citocromos del humano y los del mono se debe a la sustitución de un aminoácido por otro en el linaje del hombre. Las diferencias son mayores entre éste y el caballo.

La comparación con una cuarta especie, el pingüino, que divergió de las otras tres especies antes de que éstas lo hicieran entre sí, hace posible distinguir el número de sustituciones que ocurrieron entre el último ancestro común a las tres especies y el del humano y el mono, de aquellas que ocurrieron entre el último ancestro común de las tres especies y el pingüino.

Las moléculas del citocromo *c* son proteínas que evolucionan lentamente; esto es, la tasa de sustitución de aminoácidos por unidad de tiempo es baja. Por tanto, organismos muy distintos como humanos, polillas y el moho *Neurospora* tienen una gran cantidad de aminoácidos en común en sus moléculas de citocromo *c*. Esta conservación molecular evolutiva hace posible estudiar las diferencias genéticas entre organismos remotamente relacionados, a la vez que evidencia nexos filogenéticos entre especies muy diferentes.

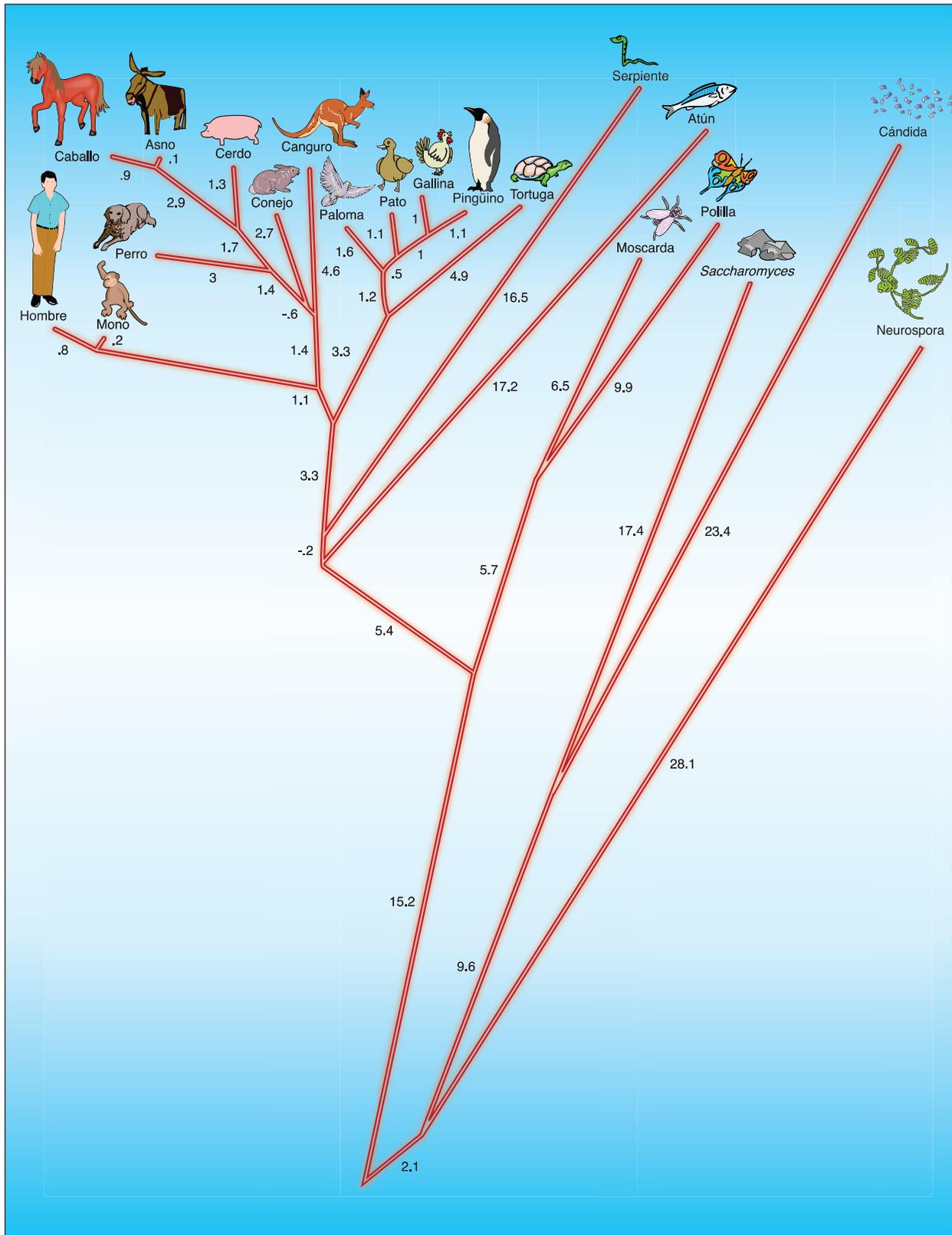


Figura 3. Relaciones entre especies por comparación de secuencias de la molécula de citocromo c.

Las relaciones evolutivas entre especies más cercanamente relacionadas —por ejemplo, humanos y simios— pueden inferirse con el estudio de las secuencias primarias de proteínas que evolucionan rápidamente, como los fibrinopéptidos.

1.3 Evolución de la vida en la Tierra

La evolución de la vida en nuestro planeta es un proceso dinámico y continuo cuyo resultado es la gran diversidad de formas, extintas y vivientes, que la han poblado. Es notable que descendientes de algunos grupos de organismos unicelulares que surgieron hace 3 500 millones de años sobrevivan hasta nuestros días. A la vez, la extinción es inherente al proceso evolutivo, pues se calcula que del total de especies que han habitado el planeta, aproximadamente 99 por ciento ya desapareció, de tal forma que las actuales representan el restante uno por ciento.

Para entender la evolución de la vida es necesario ubicarnos en dimensiones de tiempo que datan de millones de años, así como recurrir al conocimiento de disciplinas como la geología y relacionarlas con estudios paleontológicos, a través del uso de técnicas clásicas y modernas.

Como hemos visto, una de las mejores herramientas para la reconstrucción de la vida en la Tierra es el registro fósil. En él podemos encontrar evidencias de lo que ha sido la vida desde sus orígenes; es decir, aporta información sobre cómo fueron las primeras formas vivientes, cuándo aparecieron, cómo se fueron diversificando y por qué se han extinguido. Es así como paleontólogos, biólogos y geólogos, entre otros estudiosos, han construido un esquema de la historia de la vida en la Tierra.

La naturaleza mantiene un proceso de cambio sujeto a sus infinitas interrelaciones e interacciones entre el mundo físico y el mundo biológico. Estas relaciones se han formado a lo largo de miles de millones de años. Entonces, ¿cómo y cuándo se formó la vida sobre la Tierra?

La preocupación por responder estas preguntas, que son resultado de la conciencia humana y de sus relaciones con el ambiente, es muy antigua. Cuando el humano racionaliza los vínculos que sostiene con la naturaleza, también encuentra formas de manipularla. Así se formaron los primeros agricultores, cazadores y recolectores, y cada uno en su labor pudo percibir y conocer diversos aspectos relacionados con los seres vivos: observaron qué animales daban origen a otros que guardaban parecido con sus progenitores, de la misma manera que las semillas daban flores.

Pero no sólo advirtieron cómo la vida originaba vida, también veían cómo surgían seres vivos aparentemente a partir de materia inanimada —cerca de fuentes de agua, en restos de materia orgánica, etcétera—, percepción que favoreció la idea de que la vida surgía espontáneamente.

Esta visión prevaleció hasta el tercer cuarto del siglo XVII, pero aún en nuestros días podemos escucharla en afirmaciones populares como “salieron gusanos de las frutas” o “se formaron moscas” a partir de aquéllas. A mediados del siglo XIX, Louis Pasteur (1822-1895) en Francia y John Tyndall (1820-1893) en Inglaterra refutaron la idea de la generación espontánea. A pesar de ello, la pregunta de cómo se originó la vida en la Tierra aún no tenía respuesta.

Durante casi medio siglo la pregunta permaneció latente. Finalmente, durante las décadas de 1920 y 1930, Alexander I. Oparin (1894-1980), soviético, y John B. S. Haldane (1860-1936), inglés, plantearon la imposibilidad de que una atmósfera rica en oxígeno, como la conocemos hoy, permitiera la formación espontánea de las complejas moléculas orgánicas necesarias para la vida, ya que las propiedades del oxígeno impedían la formación de moléculas orgánicas complejas por estar éste en continua reacción con otras moléculas.

Entonces, tanto Oparin como Haldane supusieron que la atmósfera primitiva debió contener poco oxígeno y mayores concentraciones de hidrógeno; así, la vida pudo haber surgido de la materia inanimada mediante reacciones químicas ordinarias. A este proceso de evolución química se le conoce como *evolución prebiótica*, es decir, anterior a la existencia de la vida.

La tierra primitiva era muy diferente del planeta que ahora habitamos: su atmósfera no estaba formada por la misma mezcla de gases que conforman el aire que respiramos en la actualidad.

La superficie terrestre registraba temperaturas muy elevadas, pero una vez solidificada la corteza y formados los mares, pudo surgir la vida. Conforme las condiciones del planeta cambiaron, las primeras formas vivas evolucionaron. Se cree que la vida se originó en el planeta hace aproximadamente 3900 millones de años; sin embargo, el registro fósil más antiguo data de hace 3500 millones de años en rocas de Groenlandia y corresponde en su mayoría a organismos procariotas unicelulares semejantes a las cianobacterias actuales, las cuales tenían la capacidad de fotosintetizar. El lapso entre el origen de la vida y las evidencias que prueban la existencia de la fotosíntesis es de “sólo” 800 millones de años; una evolución extraordinariamente rápida si tomamos en cuenta lo complejas que son las células y la fotosíntesis.

La evolución física y biológica en nuestro planeta ha sido un proceso complejo y continuo. Para simplificar su comprensión, los geólogos y paleontólogos dividieron la historia de la vida en la Tierra en etapas, cada una caracterizada por eventos particulares. Como se muestra en el siguiente cuadro, se le llama precámbrico al enorme periodo que va desde el origen del mundo hasta hace aproximadamente 542 millones de años. Esta etapa se divide en dos eones: arqueano y proterozoico. La vida, después de originarse en el arqueano, estuvo representada por microorganismos y organismos pluricelulares que carecían de esqueletos, por lo que las evidencias de fósiles son escasas. El eón restante se denomina *fanerozoico* y se subdivide en tres eras: paleozoica, mesozoica y cenozoica.

Cuadro 1. Algunos eventos de la evolución de la vida en la Tierra.

Eón	Era (en millones de años)	Vida
Fanerozoico	Cenozoica (65 al presente)	Gran éxito de mamíferos, aves y plantas angiospermas (plantas con flor y sin flores); las gramíneas forman grandes praderas. En el mar hay abundancia de corales, moluscos, equinodermos, peces cartilaginosos, peces óseos y mamíferos acuáticos. Vida unicelular: protozoarios y bacterias. Aparecen los homínidos y se inicia la evolución cultural.
	Mesozoica (245 al 65)	Gran diversificación de dinosaurios, ictiosaurios, plesiosaurios y pterosaurios. Aparecen los mamíferos y las aves. Abundantes invertebrados acuáticos, principalmente moluscos (bivalvos, caracoles, amonites y belemnites), erizos de mar y crustáceos. Las principales plantas son gimnospermas (cicadas, ginkgos y coníferas).