

Biología

Evolución, Ecología y Ambiente

**Programa de Estudio
Tercer Año Medio**

Formación Diferenciada



GOBIERNO DE CHILE
MINISTERIO DE EDUCACION

Presentación

El programa de Biología para la Formación Diferenciada de 3º Medio se centra en el estudio de tres temas: a) el origen de la vida y la evolución biológica, b) la evolución humana y c) los flujos de materia y energía, entre los seres vivos y el medio ambiente.

En la Unidad 1 se presenta el problema del origen de la vida desde la perspectiva de la ciencia y se examinan las grandes transiciones de la evolución biológica. Es importante mostrar que la ciencia se ha preocupado de este problema y que se han elaborado hipótesis. Estas hipótesis se basan en el conocimiento sobre los sistemas vivos actuales y sobre las posibles condiciones ambientales en la Tierra primitiva. Se espera que los estudiantes razonen y apliquen sus conocimientos para apreciar la naturaleza de los procesos que probablemente originaron a las primeras células hace aproximadamente 3,500 millones de años. También, se los debe orientar para comprender la naturaleza científica de las preguntas que permanecen no resueltas.

La historia de la evolución biológica muestra que han ocurrido grandes transiciones en la forma de manejar la materia y la energía, así como en las formas de organizar la información genética y en los modos de reproducción y de organización entre células. Estas transiciones deben considerarse en su conjunto, incluyendo su relación con las condiciones geológicas y atmosféricas, para lograr una comprensión del fenómeno de la vida. El principio de la selección natural se aplica nuevamente como determinante en la diversificación y adaptación de los organismos.

Los aspectos evolutivos plantean interesantes problemas de relaciones ancestrales y linajes que no pueden resolverse sólo por la paleontología. En este sentido, se resalta el aporte de la biología molecular para establecer o verificar relaciones filogenéticas. Especies alejadas filogenéticamente pueden evolucionar de manera convergente hacia fenotipos similares, mientras que especies estrechamente emparentadas pueden divergir. La tipificación de las macromoléculas provee información sobre la historia evolutiva, revelando tanto relaciones ancestrales comunes como divergencia evolutiva.

En la Unidad 2 se aborda el problema del origen y evolución del ser humano desde la perspectiva biológica. Se hace énfasis en el significado del proceso de hominización y en el hecho que han existido numerosos grupos de homínidos, pero sólo uno ha llegado hasta nuestros días. La biología considera el problema del origen de la especie humana como uno de los problemas de la evolución de las especies, en este caso como producto de la evolución del orden primates. Por lo tanto, primero se estudian las relaciones filogenéticas que ubican a los seres humanos en el linaje de los primates para apreciar por qué nuestros parientes más cercanos son los simios y monos. Se debe aclarar que no derivamos de los monos sino que compartimos un ancestro común hace unos 5,5 millones de años. Luego se examinan los rasgos de hominización que aparecieron en la evolución del linaje homínido, separando esta rama definitivamente de los otros primates, aunque compartamos con ellos ciertos rasgos anatóni-

cos y funcionales y un acervo genético similar. En el contexto de la hominización se resalta el significado del bipedismo, el aumento del tamaño del cerebro y el desarrollo del lenguaje. Además, se examina la importancia del reemplazo de los ciclos estrales en la fertilidad de las hembras por menstruaciones, que permiten una sexualidad mantenida, no estacional, y la reducción en el tiempo de gestación. Esto produce un neonato prematuro, que requiere mayor cuidado parental y una prolongada niñez. A lo largo de estas transiciones aparece el uso de herramientas y surge el lenguaje, gramatical y simbólico, asociado a una sociabilidad cada vez más compleja.

Atendiendo al hecho que el lenguaje es la característica única más importante que distingue a los seres humanos de otras especies animales, varias actividades están dedicadas a examinar lo intrigante de su aparición y su potencial como agente de comunicación y pensamiento. El lenguaje probablemente surgió como producto del aumento de la capacidad intelectual y de una compleja conducta social. La capacidad de emitir un enorme rango de sonidos se asocia a cambios anatómicos, como particularidades morfológicas de la laringe, que nos distinguen de los simios y al parecer también de otros homínidos, y a cambios funcionales cerebrales aún no aclarados. El lenguaje ha hecho posible nuevos fenómenos tales como la reflexión y la conciencia, la descripción de sí mismo y su circunstancia, y expresiones creativas tales como el arte, la ciencia y la tecnología. Es decir, ha expandido los dominios de la experiencia más allá de lo inmediato y contingente. Para profundizar estos conceptos se invita a establecer actividades de análisis conjunto con las asignaturas de lenguaje, música y arte.

Los conocimientos sobre evolución adquiridos anteriormente permitirán establecer discusiones sobre los datos de registros fósiles de

nuestros antecesores homínidos. La historia evolutiva de los humanos, como la de otras especies, está marcada por la diversidad. Al ilustrar algunos árboles filogenéticos sobre los posibles orígenes e historia evolutiva de la especie humana se enfatiza su carácter hipotético y algunas veces controvertido. El tema se presta especialmente para establecer debates en base a información de documentos presentados en los Anexos del programa. La polémica que se ha mantenido acerca de las interrelaciones entre los homínidos más modernos y los Neandertales, cuya documentada co-existencia durante miles de años ha sugerido variadas interpretaciones acerca de estas interrelaciones, se presenta en forma de resultados y documentos de análisis. Es importante que los estudiantes aprecien el curso de las discusiones y el tipo de evidencia utilizada en el debate sobre estos intrigantes momentos de nuestra historia evolutiva.

En la Unidad 3 se examinan los seres vivos como sistemas abiertos desde el punto de vista termodinámico, enfatizando que como tales necesitan continuamente del aporte energía y materia para mantener su estructura y organización. Es decir, los conocimientos que los alumnos y alumnas han adquirido anteriormente sobre el tema se refuerzan desde una perspectiva conceptual más profunda y abstracta.

En su funcionamiento, los seres vivos llevan a cabo procesos no espontáneos que deben acoplarse a fuentes externas de energía. La principal de estas fuentes es la energía solar que hace posible la formación de compuestos orgánicos a partir del dióxido de carbono y agua durante la fotosíntesis. Los alumnos y alumnas analizarán los cambios que la atmósfera ha experimentado en tiempos evolutivos, desde la aparición de la fotosíntesis y los cambios más recientes derivados de la actividad humana. Al examinar los ciclos biogeoquímicos se reitera la constante utilización de componentes fun-

damentales para la mantención de la vida desde su origen. Es necesario enfatizar que estos procesos pueden ser interrumpidos o estimulados por la actividad humana.

El flujo de la energía en los ecosistemas y el concepto de productividad se tratan haciendo énfasis en su distribución en las cadenas tróficas y en el hecho que el ser humano, al ocupar una determinada posición en las cadenas tróficas, experimenta de las mismas restricciones respecto a la limitación de las fuentes energéticas. Esto lo ha llevado a inventar formas de intervenir en los sistemas para aumentar su fuente de entradas a través de cultivo y ganadería y disminuir las pérdidas, economizando y distribuyendo mejor los recursos. El consumo humano de recursos naturales lleva a un aumento de desechos, incluyendo gases, sustancias tóxicas y materia orgánica. Como resultado, se ha hecho necesario que la humanidad estudie y legisle sobre los diversos aspectos del manejo de los recursos y la disposición de desechos sin dañar los sistemas, con el fin de lograr un “desarrollo sustentable”. El tema se trata de manera que pueda adquirirse mayor conciencia y apreciarse que la protección de la naturaleza es una preocupación actual preponderante, porque su daño tiene graves consecuencias que se extenderán por tiempos evolutivos

En el tratamiento de estos temas aparecen nuevas oportunidades para apreciar la ciencia como una forma de conocimiento que se caracteriza por su criterio empírico, argumentación lógica y revisión escéptica. Las actividades promueven la formulación de preguntas, el razonamiento, la comunicación de argumentos científicos y la planificación y conducción de investigaciones alrededor de un problema. Además, promueven el trabajo en equipo y las presentaciones orales de los trabajos de indagación.

Los temas de las dos primeras unidades se deben aprovechar para estimular las actividades de discusión distinguiendo hechos y conjeturas, puesto que tratan sobre temas que presentan controversia. Además, se prestan para apreciar las relaciones entre ciencia y sociedad, ya que las ideas científicas sobre el origen de la vida y la evolución del hombre tienen un impacto cultural más allá de los límites de ciencia. El problema de la evolución humana aporta también oportunidades para un tratamiento transversal de ciertas materias, tales como el desarrollo del lenguaje, la organización de comunidades humanas y las migraciones, que pueden ser elaboradas más completamente en conjunto con otras asignaturas. En la última unidad se debe propender a que los estudiantes tomen conciencia sobre los efectos de la actividad humana en el ambiente.

La estrategia central de enseñanza debe ser la indagación a partir de preguntas originadas desde las experiencias de los estudiantes. Se entrega información y conceptos sencillos como puntos de inicio para involucrarlos en experiencias de indagación científica que exigen capacidades cognitivas más elaboradas y un mayor desarrollo de la autonomía en las distintas facetas del aprendizaje (gestión del tiempo de estudio, investigación, trabajo grupal, etc.). Es necesario estimular a los estudiantes a discutir y debatir sus propias interpretaciones y a participar activamente en el análisis de conceptos y explicaciones con base científica, para lograr un aprendizaje activo y una positiva experiencia.

Objetivos Fundamentales

Los alumnos y las alumnas desarrollarán la capacidad de:

1. Apreciar el problema del origen de la vida y su posterior diversificación.
2. Apreciar la dimensión biológica de la especie humana y su proceso evolutivo.
3. Distinguir las dependencias entre organismos respecto del flujo de la energía y la materia en el ecosistema y valorar su importancia para la vida.

Contenidos Mínimos

1. Origen y evolución
 - a. Origen y diversificación de la vida: análisis de las innovaciones biológicas, formas intermedias y sus momentos de aparición en el tiempo. Periodos geológicos.
 - b. Evolución divergente y convergente.
 - c. Aporte del análisis de secuencia de genes homólogos para determinar relaciones evolutivas.
2. Teoría y mecanismos de la evolución del hombre
 - a. El lugar del hombre dentro de la clasificación y períodos de evolución de los organismos.
 - b. Investigación y análisis de la relación entre estructura y función de los cambios evolutivos en el linaje de los homínidos.
 - c. Valoración de la aparición y desarrollo del lenguaje en la evolución cultural del hombre.
3. Flujo y procesamiento de energía y materia en los sistemas biológicos
 - a. Flujo y eficiencia de la transferencia de energía y materia en el ecosistema, profundizando en los ciclos del carbono y nitrógeno.
 - b. Descripción cuantitativa de las cadenas alimentarias, utilizando pirámides de números y de biomasa.
 - c. Fundamentos del manejo de la producción de alimentos para mejorar la eficiencia en la transferencia de energía.
 - d. Desechos de materia y energía de origen humano como principales contaminantes de los sistemas biológicos (por ejemplo, cambio climático global).
 - e. Investigación y debate sobre los efectos de la deforestación en los recursos de agua, suelo y aire.

Objetivos Fundamentales Transversales y su presencia en el programa

El programa de Formación Diferenciada de Biología de Tercer Año Medio refuerza algunos OFT que tuvieron presencia y oportunidad de desarrollo en la Formación General de Primero, Segundo y Tercer Año Medio y adicionan otros propios de las nuevas unidades.

- a. en el ámbito crecimiento y autoafirmación personal, se refuerza el OFT referido al cuidado, respeto y valoración de la vida y el cuerpo humano a través de la comprensión de la complejidad de los procesos que originaron la vida y de los cambios y la evolución experimentada por el ser humano en su desarrollo evolutivo. Asimismo, el programa en su conjunto promueve la realización de los OFT de formar y desarrollar el interés y la capacidad de conocer la realidad, apreciar las relaciones entre ciencia y sociedad, ya que las ideas científicas tienen un impacto cultural más allá de los límites de la ciencia, y utilizar el conocimiento y la información.
- b. todos los OFT del ámbito desarrollo del pensamiento son una dimensión central de los aprendizajes, contenidos y actividades del programa. En este marco, tienen especial énfasis las habilidades de investigación y el desarrollo de formas de observación, razonamiento y de proceder características de una actitud científica, así como las de exposición, comunicación, discusión, debate y argumentación de resultados de actividades experimentales o de indagación. Por sobre todo las Unidades 1 y 2: Origen y Evolución, pretenden que los estudiantes comprendan la necesidad de revisar planteamientos a la luz de nuevas evidencias, interpretaciones y perspectivas y suspendan juicios en ausencia de información suficiente.
- c. en el plano de la formación ética se refuerza a través de todo el programa el valorar el carácter único de la especie humana; respetar las interpretaciones, ideas y creencias distintas, reconociendo el diálogo como fuente permanente de superación de diferencias y de acercamiento a la verdad.
- d. en relación a los OFT del ámbito persona y su entorno, el programa conduce a la comprensión de la relación que existe entre el sistema de comunicación lingüística y las conductas y las formas de organización humana, lo que ha hecho posible la reflexión y la conciencia, y ha expandido los dominios de la experiencia más allá de lo inmediato y contingente. La Unidad 3 del programa refuerza el OFT relacionado con la protección del entorno natural y sus recursos como contexto de desarrollo humano, a través de comprender y adquirir mayor conciencia de la necesidad de estudiar y legislar sobre los diversos aspectos del manejo de los recursos y la disposición de desechos sin dañar los sistemas, ya que podrían tener graves consecuencias en la humanidad por muchas generaciones.
- e. además, el programa se hace cargo de los OFT de Informática incorporando en diversas actividades y tareas la búsqueda y selección de información a través de redes de comunicación y el empleo de software.

Unidades y distribución temporal

Cuadro sinóptico

UNIDADES		
1	2	3
Origen de la vida y evolución	Evolución humana	Flujo y procesamiento de energía y materia en los sistemas biológicos
Distribución temporal		
10-12 semanas	14-15 semanas	11-13 semanas

Unidad 1

Origen de la vida y evolución

Orientaciones didácticas

En esta unidad se da una idea general sobre el problema del origen de la vida desde la perspectiva de la ciencia y se hace énfasis en las grandes transiciones de la evolución biológica. Durante su desarrollo se aconseja estimular actividades que se presten para practicar la especulación, el debate y la argumentación dirigida al análisis de preguntas y problemas específicos, aprovechando los múltiples aspectos que no han sido aclarados por la ciencia.

Aunque no se tiene una explicación completa del origen de la vida es importante mostrar que la ciencia se ha preocupado constantemente de este problema. Se han propuesto hipótesis científicas en base al conocimiento sobre los sistemas vivos actuales y se han realizado experimentos para intentar reproducir las supuestas condiciones iniciales y ensayar la creación abiótica de moléculas orgánicas.

Es importante que los alumnos y alumnas establezcan discusiones acerca de la complejidad de los procesos que debieron ocurrir para dar origen a los sistemas vivos. Debe estimularse el raciocinio acerca de los requerimientos que debieron ser solucionados para que se originaran las primeras células, aplicando el conocimiento previo sobre su organización, composición y comportamiento. De esta manera, se reforzará el significado de la vida como fenómeno biológico y se apreciarán las grandes incógnitas que aún quedan por resolver. Los siguientes aspectos deben resaltarse: a) los experimentos de Miller lograron generar moléculas tales como aminoácidos a partir de metano, amoníaco, agua y energía eléctrica, pero dejan sin explicar cómo podrían haberse producido los polímeros biológicos o macromoléculas que conocemos actualmente. Se ha planteado que estos polímeros biológicos podrían haberse originado no en solución sino en superficies cargadas; b) después de la síntesis de las primeras moléculas orgánicas en condiciones abióticas deben haberse producido membranas y polímeros. Respecto de las membranas, se deberán recuperar los conceptos sobre sus propiedades para comprender la función que pudieron haber jugado en la formación de compartimentos. También deben comprender por qué se piensa que algunos polímeros debieron tener propiedades replicativas por templado y otras propiedades autocatalíticas. Un ejemplo notable es la capacidad del RNA de autocopiarse sin la participación de enzimas; c) membranas y polímeros, en base a sus propiedades químicas e interactivas, podrían haber evolucionado hacia una organización en unidades discretas o compartimentos, que llevaron a la aparición de los procariontes ancestrales.

Luego se examina el significado de las grandes transiciones en la evolución biológica. Entre éstas se destacan; a) la fotosíntesis y la respiración aeróbica como innovaciones en el manejo de la energía y la materia necesarias para la mantención de los sistemas vivos; b) la reproducción sexual y la multicelularidad; c) la colonización del ambiente terrestre por plantas y animales. Al analizar el significado de estas transiciones evolutivas es importante apreciar sus relaciones con los factores geológicos y ambientales que por selección natural fueron determinantes en la diversificación y adaptación de los organismos.

Otro aspecto que se resalta es el aporte de la biología molecular para establecer o verificar relaciones filogenéticas, especialmente cuando las limitaciones de la paleontología no lo permiten.

Aprendizajes esperados

Alumnos y alumnas saben y entienden que:

- existen teorías científicas sobre el origen de la vida, que suponen la formación abiótica de macromoléculas orgánicas en un ambiente escaso de oxígeno y su posterior organización en sistemas compartimentalizados, que conducen a la aparición de los primeros procariontes, hace aproximadamente 3,500 millones de años. La historia del origen de la vida y la evolución orgánica están ligadas a las condiciones geológicas y atmosféricas;
- los modelos celulares (procariontes y eucariontes) que aparecieron tempranamente en la evolución se han mantenido hasta ahora;
- en la evolución han ocurrido grandes innovaciones en la manera de manejar la materia, la energía (anaerobiosis, fotosíntesis y respiración aeróbica), la organización de la información genética (procariontes y eucariontes), la reproducción (sexual), y la organización celular (multicelularidad);
- la vida se originó y evolucionó inicialmente en el ambiente acuático y, por lo tanto, la colonización de los ambientes terrestres debió acompañarse de adaptaciones en la respiración, resistencia a la deshidratación, reproducción y locomoción (en animales);
- especies alejadas filogenéticamente pueden evolucionar de manera convergente hacia fenotipos similares, mientras que especies estrechamente emparentadas pueden divergir;
- la secuencia de las macromoléculas proveen información sobre la historia evolutiva, revelando tanto relaciones ancestrales comunes como divergencia evolutiva.

Los alumnos y alumnas mejoran sus habilidades de:

- informarse y debatir acerca de datos científicos;
- distinguir hipótesis, hechos y controversias científicas;
- utilizar terminología científica;
- aplicar conocimiento científico;
- desarrollar la capacidad de trabajo en equipo.

Actividades

Actividad 1

Explicar y debatir sobre las hipótesis científicas acerca del origen de la vida.

Ejemplo

- El docente presenta diferentes hipótesis sobre el origen de la vida explicando sus fundamentos y limitaciones, centrándose especialmente en los experimentos de Miller. Luego se estimulará un debate sobre el significado de estos experimentos para la explicación del origen de la vida.

INDICACIONES AL DOCENTE:

Enfatizar que las teorías sobre el origen de la vida tienen grandes puntos de controversia, aunque se acepta que debe haber ocurrido inicialmente una evolución puramente química. En esta evolución deben haber jugado un papel importante las condiciones ambientales relativamente dramáticas en términos de energía calórica, radiación y descargas eléctricas. El enfriamiento de la Tierra debe haber sido crucial en la posibilidad de formar moléculas más complejas.

Es importante iniciar la actividad explicando que la cuestión del origen de la vida no ha sido resuelta pero las hipótesis de Oparin (1924) y Haldane (1929) y los experimentos realizados por Miller y Harold Urey (1953) tienen gran importancia porque muestran que es factible la creación de moléculas orgánicas en condiciones abióticas que remedan las características del ambiente primitivo.

Oparin y Haldane sugirieron independientemente que con las fuentes de energía que existían en el ambiente primitivo y si la atmósfera hubiera sido reductora se podrían haber originado moléculas orgánicas como las que observamos en los seres vivos. Miller trató de simular estas supuestas condiciones de la Tierra primitiva con el montaje experimental que se muestra en la figura. Los componentes que utilizó son CH_4 y NH_3 que deberían haber estado presentes en una atmósfera reductora, además de agua. Descargas eléctricas entre dos electrodos simulaban la condición de relámpagos que presumiblemente eran muy abundantes en la era prebiótica. El resultado de este experimento fue asombroso ya que se formaron varios tipos de amino ácidos. Los resultados de Miller parecían apoyar la idea de que la vida podría haber surgido a partir de sencillas reacciones químicas en la “sopa primordial”.

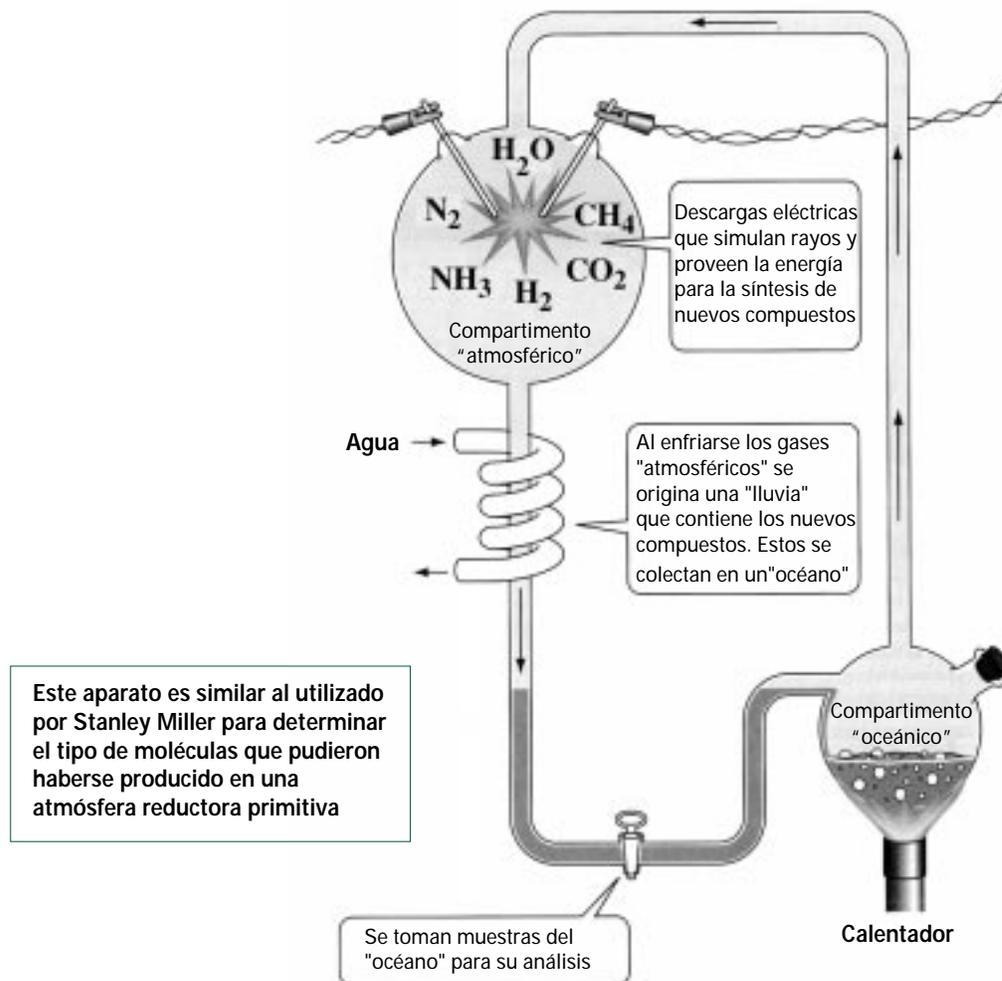
Debe guiarse al curso a discutir qué otras etapas habrían sido necesarias para la formación de las primeras células. En el debate es importante apreciar la complejidad de los procesos que deben haber ocurrido desde la formación de las primeras moléculas orgánicas hasta la aparición de las primeras células. Para esto se deben recuperar primero los conocimientos sobre la composición,

catálisis enzimática y reproducción celular, y las bases genéticas de la herencia. Los siguientes aspectos son importantes de considerar: 1) el origen de macromoléculas y la importancia de las propiedades autocatalíticas y autogenerativas para la multiplicación de componentes. Explicar las propiedades autocatalíticas y autoreplicativas del RNA; b) el problema del origen de los lípidos y su importancia por sus propiedades de autoensamblaje en membranas; c) Las ventajas de formar compartimentos con membranas limitantes donde pueden concentrarse las reacciones químicas; b) el problema del transporte a través de una membrana límite; d) el origen de los cromosomas y del DNA.

Resaltar que los eventos precisos son tema de controversia y especulación y que el valor científico de las hipótesis se debe a que están restringidas por consideraciones termodinámicas y químicas aplicables a las formas de vida actuales.

Proveer a los estudiantes con el texto del artículo "En el principio" de John Horgan, en Investigación y Ciencia. Vol.75: páginas 80-90 (1991). Discutir estas ideas en un foro con el curso. Utilizar videos de la colección los "Ciclos de la vida" para ilustrar varios aspectos que se relacionan con el tema.

Figura 1: Esquema del experimento de síntesis abiótica de moléculas orgánicas simulando las condiciones atmosféricas primitivas



Actividad 2

Examinar las innovaciones biológicas y su significado en relación al calendario geológico y a las condiciones ambientales.

Ejemplo

- Considerar como innovaciones biológicas la aparición de la fotosíntesis, la respiración aeróbica, los eucariontes, la sexualidad, las algas y la pluricelularidad.
- El curso se divide la tarea de investigar sobre estas innovaciones biológicas. Expone e ilustra sus resultados en un esquema que incluye el calendario geológico, rotulando los momentos de aparición de cada innovación. Reflexionan y discuten sobre los siguientes aspectos: a) el orden en que aparecieron en el calendario geológico; b) su relación con las condiciones ambientales y c) sus consecuencias en la evolución y diversidad de la vida.

INDICACIONES AL DOCENTE:

Es importante destacar lo siguiente: a) las consecuencias del aumento del oxígeno en la atmósfera en la evolución de la respiración aeróbica. Explicar que el hecho que el oxígeno sea altamente reactivo daña los compuestos orgánicos y por lo tanto las nuevas formas de vida debieron tener un mecanismo antioxidante para protegerse de este efecto. Mencionar también el efecto pantalla de la capa de ozono que deriva del oxígeno y que protege de la radiación ultravioleta.; b) las diferencias en los niveles de complejidad entre procariontes y eucariontes; c) el incremento de la variación genética que implica la reproducción sexual y su importancia en la evolución; d) las nuevas propiedades que aparecen en los organismos como producto de la pluricelularidad.

Actividad 3

Ilustrar y analizar los principales eventos evolutivos en la conquista de los ambientes terrestres por plantas y animales.

Ejemplo

- El curso se divide en grupos que abordarán el tema centrándose unos en las plantas y otros en animales. Los diferentes grupos presentarán sus trabajos mediante ilustraciones y materiales audiovisuales e incluirán una síntesis sobre las relaciones más evidentes entre los eventos evolutivos y el medio ambiente.

Figura 2: Ejemplos de órganos homólogos y análogos

Ala de murciélago**Ala de Ave****Ala de Insecto**

Las estructuras de las alas pueden ser homólogas o análogas. Por ejemplo, la estructura de soporte de las alas de murciélagos y de aves derivan de un ancestro común y son homólogas. En cambio, las alas de los insectos, aunque también se utilizan para volar, evolucionaron de manera independiente y su sistema de soporte no es homólogo con las alas óseas de murciélagos y aves; son análogas.

INDICACIONES AL DOCENTE:

El docente explicará que luego de 2.500.000.000 años de vida acuática los organismos empezaron a colonizar ambientes terrestres hace 500.000.000 años. Guiará a los estudiantes para que busquen información sobre las innovaciones evolutivas relacionadas específicamente con la respiración, la reproducción, la resistencia a la desecación, tanto en plantas como animales. Deben reconocer que las variaciones del medio terrestre, incluyendo la estacionalidad, en comparación a la constancia del medio acuático, significaron nuevos elementos de selección natural que llevaron a nuevas adaptaciones.

Deben notar que el modelo de las plantas no lleva consigo el ambiente de los mares originarios, en cambio, los animales reproducen un medio interno similar al acuático original. Además, deben apreciar las semejanzas y diferencias en las estrategias evolutivas. En animales, deben considerar la respiración pulmonar, la reproducción fuera del agua, la locomoción y la homotermia. Las plantas, al no necesitar otra cosa que dióxido de carbono y sales en solución para su supervivencia, permanecieron estacionarias. En cambio, los animales, al requerir alimentos vivos, tenían que moverse y desarrollaron músculos, estructuras esqueléticas y órganos de los sentidos para encontrar su comida. También desarrollaron un sistema nervioso para la coordinación de los impulsos desde los órganos de los sentidos hasta los músculos, para elaborar respuestas adecuadas a los estímulos.

Es importante que el profesor o profesora guíe en el análisis de las modificaciones en los órganos homólogos en animales, utilizando los esquemas de la figura. Hacer notar que los insectos también colonizaron la Tierra y que su evolución llevó al desarrollo de órganos análogos, de igual función pero distinto origen embrionario.

Hacer notar que las primeras plantas y los primeros animales en ambientes terrestres aún necesitaron agua para el movimiento de sus espermios hacia los óvulos, tal como ocurre en anfibios, en musgos y helechos actuales. Con la formación de gránulos de polen conteniendo los espermios y óvulos conteniendo los huevos, la fertilización (polinización) en las plantas pudo tomar lugar en ambientes secos. En animales, la fertilización interna y el encierro del embrión dentro de un cascarón de huevo posibilitaron la vida en ambientes terrestres. Los mamíferos mejoraron este sistema reteniendo los huevos fertilizados dentro del cuerpo de la madre. La colonización terrestre de las plantas se acompañó de la aparición de la semilla, adaptación en la que el embrión está deshidratado, lo cual permite la colonización de nuevos espacios alejados del agua.

Actividad 4

Deducir el concepto de convergencia evolutiva.

Ejemplo:

- El docente presentará ejemplos de formas equivalentes que se encuentran en especies alejadas taxonómicamente, tales como las de mamíferos placentados (marsupiales) y no-placentados, especies de América del Norte y América del Sur, el matorral chileno y el chaparral californiano (convergencia en la forma externa de los arbustos). Los estudiantes comparan las estructuras en relación con sus funciones y proponen un mecanismo en base a sus conocimientos de evolución y selección natural (convergencia evolutiva).

Figura 3:
a) Ejemplos de convergencia en plantas

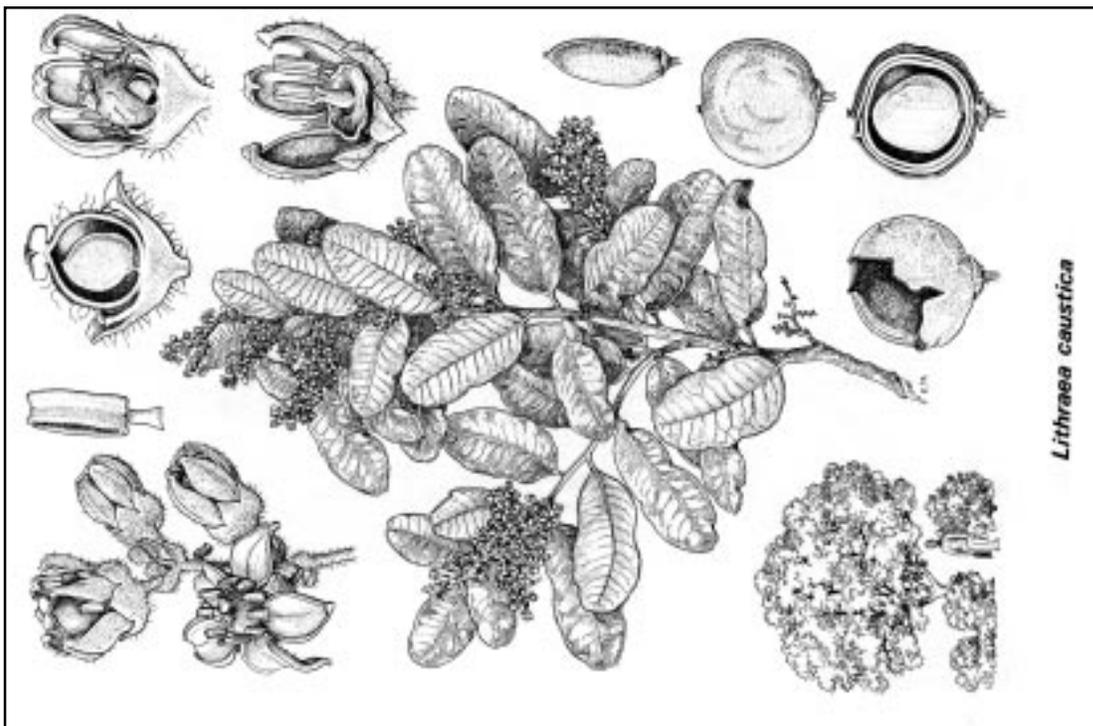
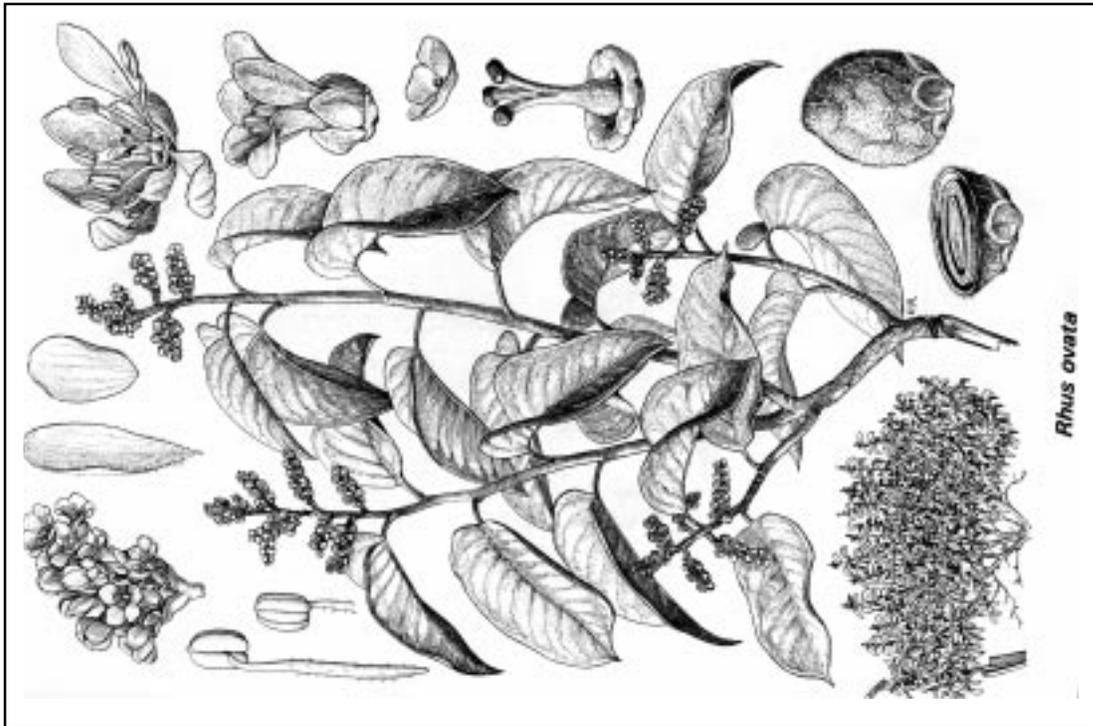
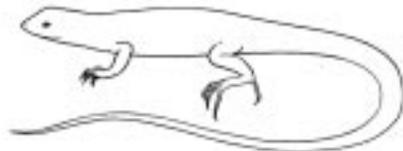


Figura 3:
b) Ejemplos de convergencia en animales

ESPECIES CHILENAS



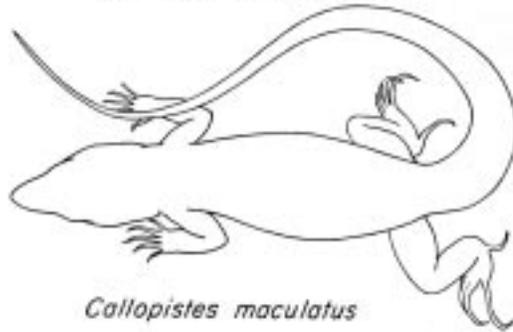
Liolaemus chilensis



Liolaemus tenuis



Urostrophus torquatus

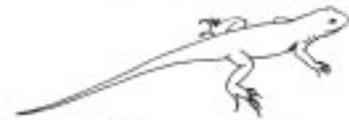


Callopietes maculatus

ESPECIES CALIFORNIANAS



Phrynosoma coronatum



Uta stansburiana



Sceloporus orcutti



Eumeces skiltonianus



Gerrhonotus multicarinatus



Cnemidophorus tigris

INDICACIONES AL DOCENTE:

Guiar la discusión para llegar a la conclusión que los organismos bajo presiones ambientales similares, o cuando cumplen una función similar en el nicho ecológico, evolucionan hacia formas similares.

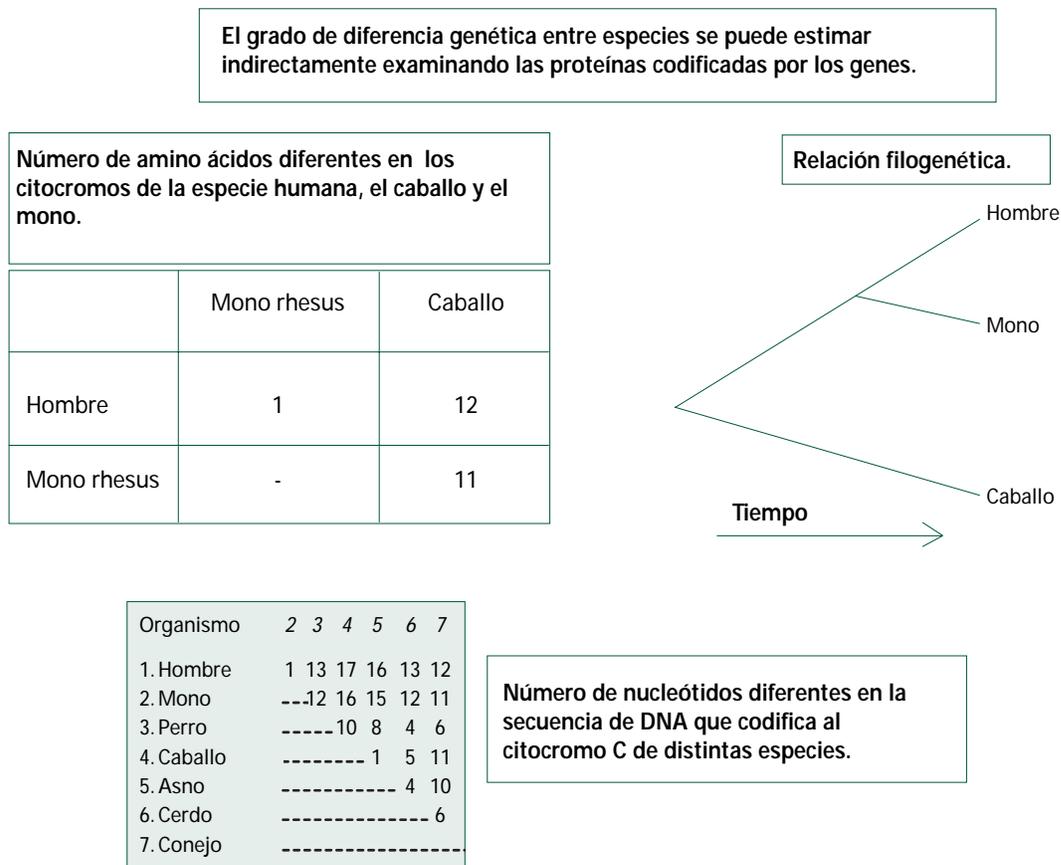
Actividad 5

Establecer relaciones filogenéticas comparando secuencias de material genético y proteínas.

Ejemplo

- El curso se divide y toma como objeto de análisis la secuencia de distintas proteínas o DNA en la escala filogenética. Exponen sus ejemplos indicando el grado de divergencia en las distintas especies analizadas. Un ejemplo de esto aparece en la siguiente figura, que ilustra la evolución de citocromo c con el árbol filogenético resultante.

Figura 4: Comparación de secuencias génicas para establecer relaciones filogenéticas



INDICACIONES AL DOCENTE:

Es importante resaltar la potencialidad de la comparación de secuencias génicas en la detección de relaciones que pueden estar ocultas en los registros fósiles. Explicar el concepto de mutaciones neutras y de relojes moleculares, y las ventajas de utilizar el DNA mitocondrial o el genómico en las comparaciones (ver Anexo).

Evaluación

Objetivo de evaluación:

Verificar y aplicar conocimientos.

Ejemplo 1:

Las innovaciones biológicas que se indican a continuación tuvieron un orden de aparición en el tiempo. Ordénelas según sus conocimientos y deducciones y justifique su elección (por ejemplo, la respiración aeróbica debió aparecer cuando la concentración de oxígeno alcanzó un nivel suficiente para permitirla. El oxígeno se incorporó a la atmósfera como consecuencia de la fotosíntesis).

- Vegetales terrestres
- Moluscos
- Reptiles
- Algas unicelulares
- Anfibios
- Aves
- Primeros animales pluricelulares
- Procariontes
- Mamíferos
- Eucariontes unicelulares
- Respiración aeróbica
- Fotosíntesis

Ejemplo 2:

¿Qué condiciones de la Tierra primitiva habrían favorecido la aparición de las primeras moléculas orgánicas y qué otras etapas debieron suceder en el origen de las primeras células?

Ejemplo 3:

Cuando se lograron sintetizar abiogénicamente algunos amino ácidos se creyó que se estaba a un paso de crear vida. ¿Qué comentario haría Ud. a esa suposición?

Unidad 2

Origen y evolución humana

Orientaciones didácticas

En esta unidad se aborda el problema del origen y evolución del ser humano desde la perspectiva biológica. Los conocimientos sobre evolución adquiridos anteriormente permitirán establecer discusiones sobre los numerosos hallazgos y datos de registros fósiles de nuestros antecesores homínidos. Aunque éste es el más completo de los registros existentes, persisten interpretaciones distintas respecto a las relaciones filogenéticas entre los distintos homínidos, sus interacciones y posibles mezclas génicas.

Es interesante llamar la atención sobre el hecho que han existido numerosos grupos de homínidos y sólo uno ha llegado hasta nuestros días. La historia evolutiva de los humanos, como la de otras especies, está marcada por la diversidad. El origen de la especie *Homo sapiens* es oscuro pero se piensa que tuvo su cuna en Africa hace unos 150.000 a 200.000 años. Es necesario iniciar el análisis de la historia evolutiva humana examinando la clasificación del *Homo sapiens* para apreciar por qué nuestros parientes más cercanos son los simios y monos. Debe aclararse que no derivamos de los monos sino que en realidad compartimos un ancestro común muy alejado en el tiempo, hace unos 5,5 millones de años. La separación del linaje homínido se inició después que el grupo ancestral primate había colonizado los árboles. Por lo tanto, una parte de las características que presentan los homínidos corresponden a adaptaciones de los primates a la vida arbórea, incluyendo la oposición del pulgar, uñas y no garras, escasa descendencia y visión frontal estereoscópica. El desarrollo posterior del ser humano está íntimamente ligado al bipedismo, condición que liberó las manos de la marcha, permitiendo su uso en el transporte de objetos y una conducta de recolectores. Además, elevó la altura de la mirada, facilitando la detección de depredadores y eventuales presas. Los homínidos fueron los únicos primates que adoptaron esta posición erguida.

Para comprender la evolución humana se requiere considerar otras transiciones que ocurrieron a distintos ritmos a lo largo de varios millones de años. Entre las más notables están el aumento del volumen cerebral, una conformación dental particular asociable a una alimentación omnívora, pero principalmente en base a semillas y nueces, y el reemplazo de los ciclos estrales en la fertilidad de las hembras por menstruaciones, con el desarrollo de una sexualidad mantenida, no estacional, y un enfrentamiento de los rostros en la cópula. Particular atención merece la reducción en el tiempo de gestación, lo cual produce un neonato prematuro, que requiere mayor cuidado parental y una prolongada niñez.

A lo largo de estas transiciones aparece el uso de herramientas y surge el lenguaje, gramatical y simbólico, asociado a una sociabilidad cada vez más compleja. Llama la atención el patrón esporádico de las innovaciones que se observan en las herramientas al comienzo, con saltos en su elaboración alejados por cerca de un millón de años. El patrón de progreso continuado, junto con las expresiones artísticas que caracterizaron el surgimiento humano, se asocian al aumento del volumen cerebral. El lenguaje probablemente surgió como producto del aumento de la capacidad intelectual y de una compleja conducta social. En esta conducta destacan las estrechas y afectivas relaciones interpersonales, asociadas a recolectar y compartir alimentos. La aparición del lenguaje simbólico está relacionada con la capacidad de emitir un enorme rango de sonidos gracias a particularidades morfológicas de la laringe, que nos distinguen de los simios y al parecer también de otros homínidos.

Es importante ilustrar algunos árboles filogenéticos sobre los posibles orígenes e historia evolutiva de la especie humana, enfatizando su carácter hipotético y algunas veces controvertido. Es claro que la especie humana proviene de alguno de los grupos de australopitecos que existieron hace unos 3 millones de años, aunque la línea ancestral se ha trazado con cierta controversia hasta fósiles de 4 millones de años. De los australopitecos derivaron varias especies del género *Homo*. Las evidencias indican una co-existencia de diversos grupos de homínidos durante largos períodos de tiempo. No se sabe por qué sobrevivió un solo grupo, el *Homo sapiens*, que prosperó como especie única en la Tierra desde hace unos 25.000 años, libre de competencia con otros homínidos. El tema se presta especialmente para establecer debates en base a información de diversos documentos presentados en los Anexos, incluyendo la polémica que se ha mantenido acerca de las interrelaciones entre los homínidos más modernos y los Neandertales, cuya documentada co-existencia durante miles de años ha sugerido variadas interpretaciones acerca de sus interrelaciones. Los neandertales desaparecieron hace 30.000 años por causas aún controvertidas. También es tema de controversia el nivel de desarrollo cultural de los neandertales y su contribución al acervo de genes de los humanos modernos. En los Anexos se incluyen documentos científicos con los argumentos que sustentan las distintas posiciones. De estos documentos y de material entregado en las actividades se deben distinguir las evidencias y argumentos que sustentan las distintas interpretaciones de las relaciones entre neandertales y *H.sapiens*. Es importante que los estudiantes aprecien el curso de las discusiones y el tipo de evidencia utilizada en el debate sobre estos apasionantes aspectos de nuestra historia evolutiva.

Aprendizajes esperados

Los alumnos y alumnas saben y entienden que:

- la biología considera el problema del origen de la especie humana como uno de los problemas de la evolución de las especies, en este caso como producto de la evolución del orden primates;
- la especie humana es un mamífero primate homínido (de la familia Hominidae). Sus parientes vivos más cercanos son los antropoides de la familia Pongidae; el chimpancé, el gorila y el orangután. Juntos forman la superfamilia antropoide y comparten ancestros comunes de hace 5,5 millones de años;

- existen varias especies extintas de homínidos fósiles: *Homo erectus* (Africa y Asia, hace un millón de años); *Homo habilis* (Africa, hace dos millones de años) y por lo menos seis especies de *Australopithecus* (Africa, entre 2 y 3 millones de años). Los australopitecos tenían adaptaciones distintivas para bipedalismo, son los precursores más directos del linaje humano y se piensa que le habrían dado origen;
- los humanos presentan rasgos distintivos que se relacionan con su historia evolutiva, tales como estructuras esqueléticas adaptadas para la marcha bípeda, una laringe apropiada para la vocalización, y una masa encefálica que es la más desarrollada en la evolución de los organismos. La locomoción bípeda libera las manos para la manipulación de objetos y su transporte mientras se camina. También eleva la altura de los ojos, permitiendo observar predadores y presas por sobre la vegetación. Entre las conductas resaltan la manufactura y uso de herramientas, una sociabilidad acentuada y basada en la colaboración y coordinación, la invención del lenguaje y una cultura simbólica;
- el lenguaje es la característica única más importante que distingue a los seres humanos de otras especies animales. Es un sistema de relación y comunicación de tal complejidad, flexibilidad y rango de expresión que ha sido capaz de modificar sustancialmente las conductas y las formas de organización humana. Ha hecho posible nuevos fenómenos tales como la reflexión y la conciencia, la descripción de sí mismo y su circunstancia, y las expresiones creativas tales como el arte, la poesía, la literatura, la ciencia y la tecnología. Es decir, ha expandido los dominios de la experiencia más allá de lo inmediato y contingente;
- la especie humana *Homo sapiens* probablemente se originó en Africa hace 150.000 a 200.000 años y, luego, de migrar varias veces fuera de este continente, co-existió durante miles de años con los Neandertal que vivieron hace 200.000 y 30.000 años atrás en Europa y otras regiones. Las interrelaciones y las causas de extinción de los neandertal son controversias no resueltas. Desde hace 25.000 años el *Homo sapiens* quedó como único representante del linaje homínido, conquistando sin mayor competencia los más diversos ambientes terrestres.

Los alumnos y alumnas mejoran sus habilidades de:

- informarse y debatir acerca de datos científicos;
- distinguir hipótesis, hechos y controversias científicas;
- utilizar terminología científica;
- aplicar conocimiento científico;
- desarrollar la capacidad de trabajo en equipo.

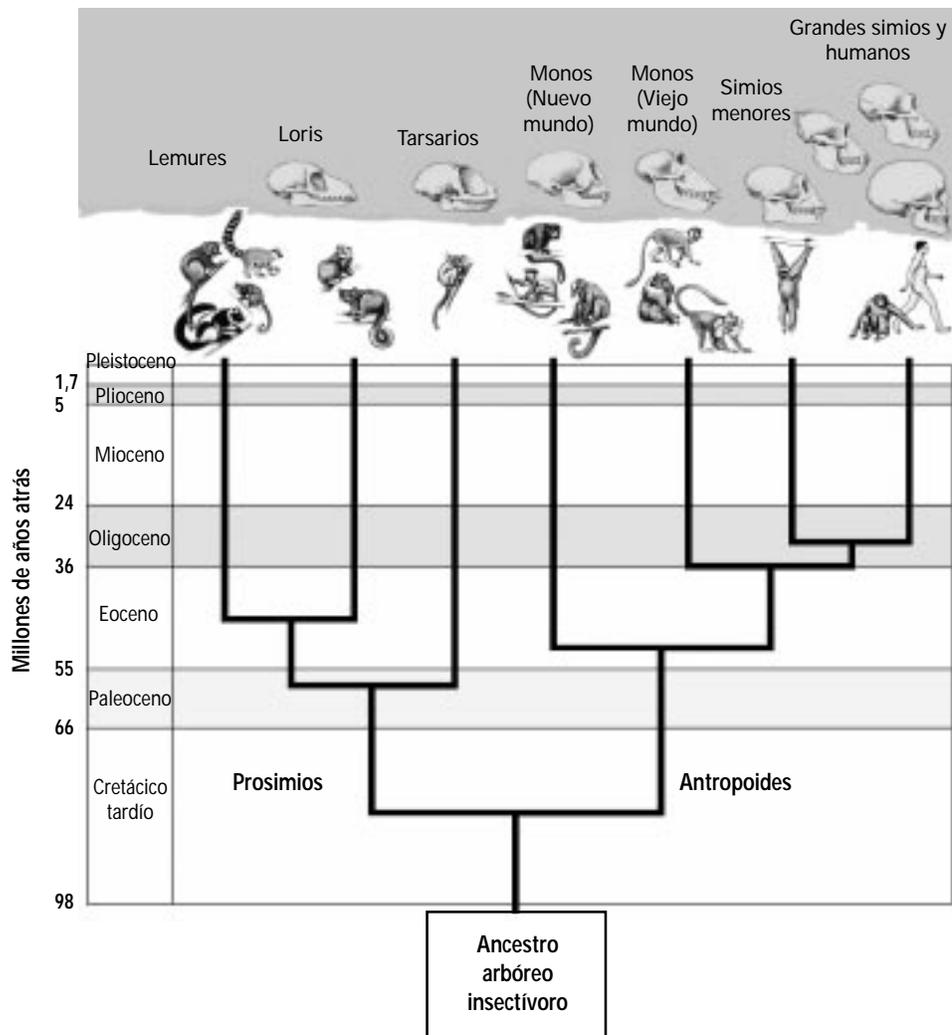
Actividad 1

Examinar la taxonomía de los mamíferos y la aparición de los primates y su radiación, incluyendo el linaje humano.

Ejemplo

- El docente muestra un diagrama de la clasificación taxonómica de los mamíferos y promueve mediante preguntas un análisis de los elementos anatómicos que distinguen al orden primate. Luego, utiliza la siguiente figura para apreciar la ubicación de la especie humana en el orden primate. Describen las características morfológicas comunes, discutiendo su valor adaptativo.

Figura 5: Probable filogenia de los primates



INDICACIONES AL DOCENTE:

Guiar la discusión para establecer los principales rasgos que distinguen a los primates de otros mamíferos; sus adaptaciones a la vida en los árboles. Estas incluyen manos diestras con oposición del pulgar, que pueden empuñar ramas y manipular alimentos, uñas en vez de garras, ojos frontales que dan mejor percepción de profundidad y tercera dimensión, y muy poca descendencia. Llamar la atención sobre el hecho que el linaje de los primates se dividió en dos ramas principales tempranamente en su historia evolutiva; los prosimios y los antropoides. Los antropoides incluyen los monos, simios y humanos, y evolucionaron de un ancestro común primate alrededor de 5,5 millones de años atrás.

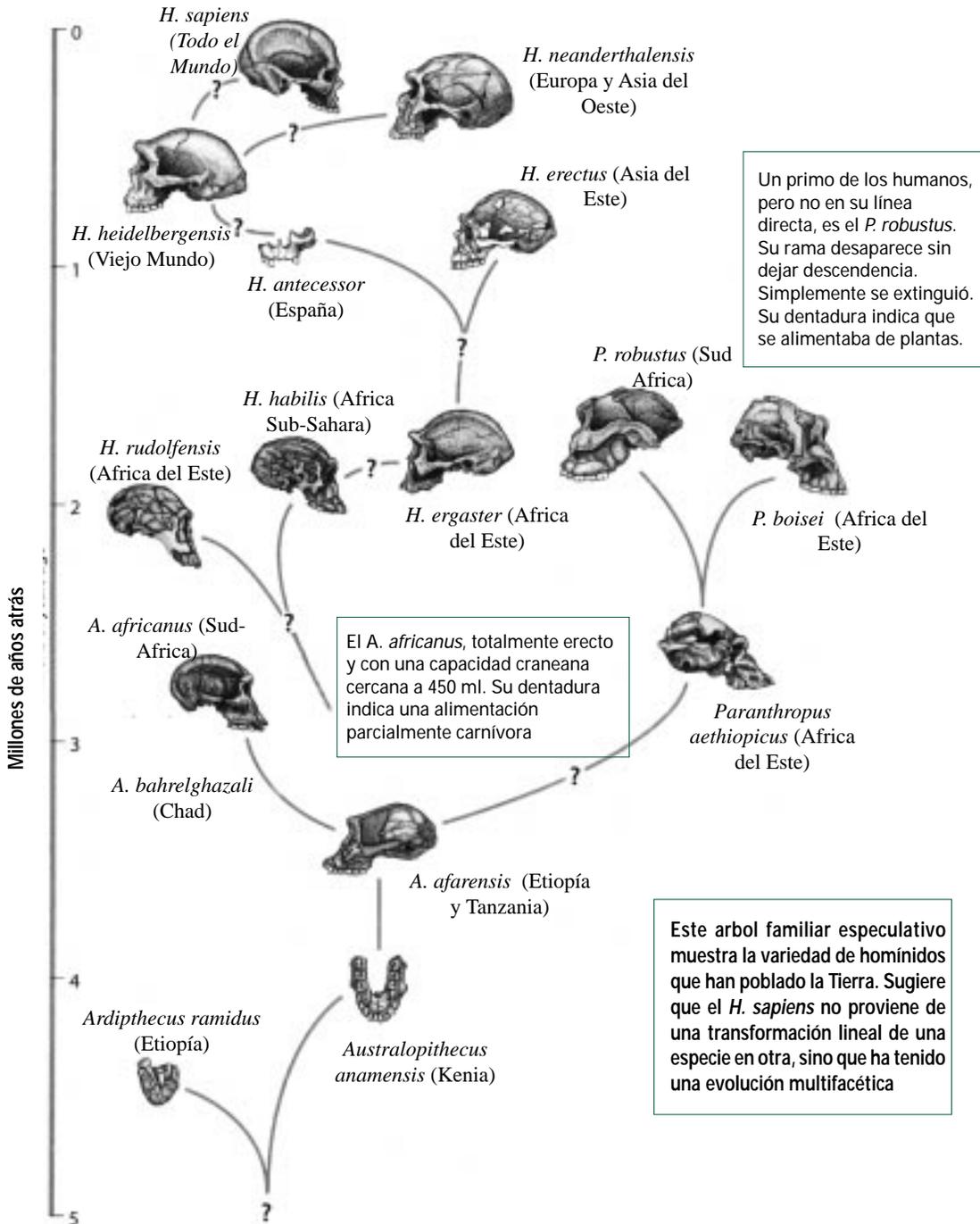
Actividad 2

Describir posibles relaciones filogenéticas en el linaje homínido y las teorías del origen de los humanos modernos.

Ejemplo

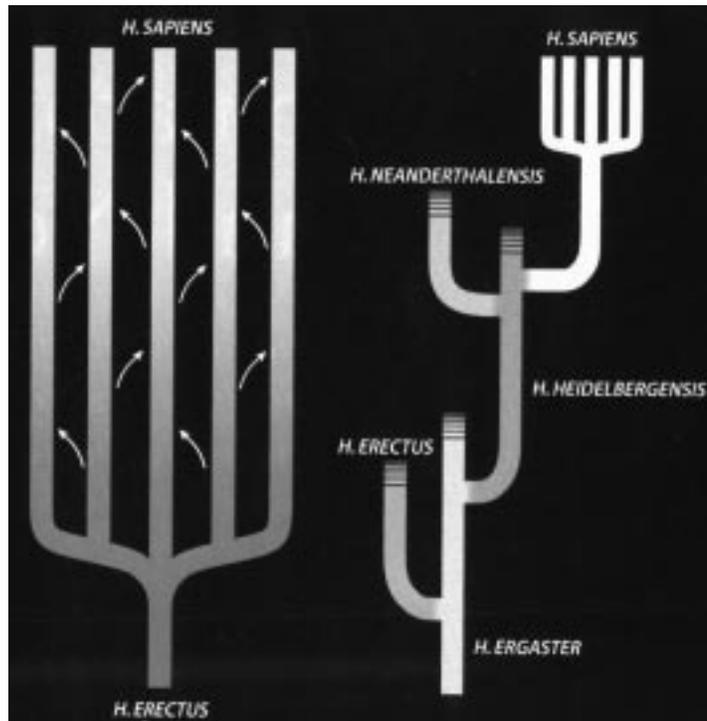
- En las figuras aparecen árboles filogenéticos especulativos de los distintos homínidos para los que existe registro fósil. Discutir sobre las bases que podrían apoyar las relaciones filogenéticas propuestas en este esquema y sobre el significado de su existencia en tiempos y espacios similares. Explicar algunas de las teorías del origen de los humanos modernos y sus controversias utilizando las figuras que siguen.

Figura 6: Posibles relaciones evolutivas de los homínidos



Un cambio en la dentadura nos informa acerca de la aparición de criaturas distintas de los simios pertenecientes al linaje que llevó a los humanos. Los grandes caninos que clausuran de cierta manera la boca de los simios, desaparecen en el Ramapithecus, una criatura que existió alrededor de 14 millones de años atrás (mioceno-plioceno). El Ramapithecus marca la cercanía de una ramificación ancestral hacia el linaje homínido. Se considera un ancestro de los homínidos. Después de él se produce un vacío en el registro fósil de más o menos 5-10 millones de años. En este período debe haber ocurrido la separación del linaje homínido y del de los simios modernos. En esta figura se ilustran miembros del linaje homínido en los últimos 5 millones de años.

Figura 7: Alternativas sobre posibles relaciones filogenéticas en la evolución humana

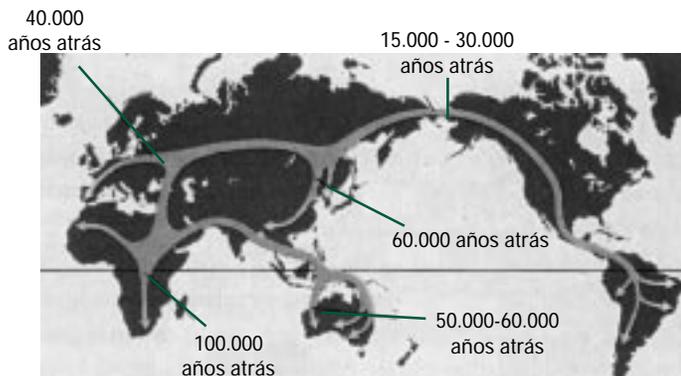


En este diagrama se contrastan dos teorías sobre el origen del hombre moderno. Según la teoría de "continuidad regional", todas las poblaciones humanas modernas tienen su origen en el *H. erecto*. Cada población habría evolucionado siguiendo una trayectoria distinta, pero intercambiando suficientes genes entre ellas (ilustrado por las flechas) como para permanecer dentro de la misma especie. Todas estas poblaciones evolucionaron hacia el *H. sapiens*. En cambio, la teoría del "origen único" postula que el *H. sapiens* descende de una sola población ancestral que emergió en un solo lugar, probablemente en África.

Teoría de la "continuidad regional"

Teoría del "origen único"

Figura 8: Supuestas migraciones del Homo Sapiens desde África al resto del mundo



La teoría del origen único del *H. sapiens* propone que éste habría surgido en África y reemplazado a otras poblaciones de homínidos en el resto del Mundo.

INDICACIONES AL DOCENTE:

Explicar que una de las teorías evolutivas del *Homo sapiens* más aceptadas es que se habría originado hace relativamente poco tiempo en Africa, hace unos 100.000 años atrás, como una especie distinta de otras homínidos pre-existentes, tales como los Neandertales, y desde ahí migró a otras partes de la Tierra, reemplazando a las otras especies de homínidos. Otra teoría, llamada multiregionalismo, propone que los humanos surgieron en Africa hace unos 2 millones de años y evolucionaron como una simple especie poblando el Viejo Mundo e interrelacionándose por intermedio de entrecruzamientos e intercambios culturales. La primera teoría ha recibido enorme soporte debido a estudios con técnicas de biología molecular de las secuencias del DNA mitocondrial. Explicar que el DNA mitocondrial se hereda de la madre y por lo tanto sus variaciones genéticas se originan sólo por mutaciones (en contraste con las variaciones del DNA genómico que provienen predominantemente de la recombinación durante la meiosis). La fecha de los DNAs mitocondriales ancestrales se puede calcular asumiendo que las mutaciones ocurren al azar y que se acumulan a una frecuencia constante. Este reloj molecular ha indicado que el ancestro común de los homínidos existió hace unos 200.000 años en Africa. Sin embargo, debe considerarse que la suposición de una frecuencia de mutación constante podría no ser correcta. La teoría del origen multiregional ha recibido apoyo fundamentalmente en base a registros fósiles. El tema es controvertido y será discutido más detalladamente en la Actividad 5.

Respecto a la posible filogenia humana recalcar los siguientes aspectos. Los australopitecinos son los precursores más directos del linaje humano. Se piensa que el género *Homo* derivó de la evolución de los *Australopithecus* que tenían adaptaciones distintivas para bipedalismo. La locomoción bípeda libera las manos para la manipulación de objetos y su transporte mientras se camina. También eleva la altura de los ojos, permitiendo observar predadores y presas por sobre la vegetación. Ambas ventajas probablemente fueron importantes para los primeros australopitecinos.

El primer fósil australopitecino se encontró en Africa del sur el año 1924 (*Australopithecus africanus*). Luego prosperaron los hallazgos fósiles de este género. El más viejo y más completo de estos fósiles es de aproximadamente 3,5 millones de años. Se encontró el año 1974 en Etiopía, y corresponde al esqueleto fósil de una mujer, conocida mundialmente como Lucy, que causó gran impacto por encontrarse muy completo y bien preservado. Lucy pertenece a la especie *Australopithecus afarensis* y al parecer tenía sólo 1 metro de altura. Del *A. afarensis* evolucionaron varias especies de *Australopithecus*. Los más robustos (40 kg) están representados por dos especies que desaparecieron hace cerca de 1,5 millones de años. Los otros eran los *A. africanus*, más pequeños y al parecer menos abundantes que las otras especies puesto que dejaron escasos registros fósiles. Se piensa que los *A. afarensis* u otra especie muy relacionada dio origen al género *Homo* hace alrededor de 2,5 millones de años. Los primeros miembros de la rama *Homo* vivieron al mismo tiempo con los australopitecinos por cerca de 500.000 años.

En las figuras que muestran las alternativas filogenéticas se debe hacer notar el carácter especulativo de los diagramas y apreciar su distinto significado en la historia evolutiva. Es importante enfatizar que distintos grupos convivieron en el tiempo y espacio.

Actividad 3

Comparar y cuantificar semejanzas y diferencias en la estructura cromosómica y secuencias de DNA de humanos y póngidos, para establecer su cercanía filogenética.

Ejemplo A:

- En este ejercicio se construyen modelos físicos de secuencias parciales del gen para hemoglobina en varios primates superiores y se comparan cuantitativamente. Dividir el curso en grupos que sintetizarán las distintas secuencias que aparecen en la tabla 1. Utilizan clips de distintos colores que representen cada una de las cuatro bases del DNA (azul= adenina; gris = guanina; turquesa = timina; colorado =citosina) y los ordenan según la siguiente secuencia. Comparan la secuencia del DNA humano con las del chimpancé haciendo coincidir las hebras base por base. Cuentan el número de bases diferentes y anotan el resultado en una tabla. Repiten lo mismo para las secuencias del humano y del gorila. Finalmente, evalúan el significado del número de bases diferentes entre el DNA humano, del chimpancé y gorila. Debaten acerca del origen de las diferencias morfológicas entre estas especies, considerando su notable grado de homología genética.

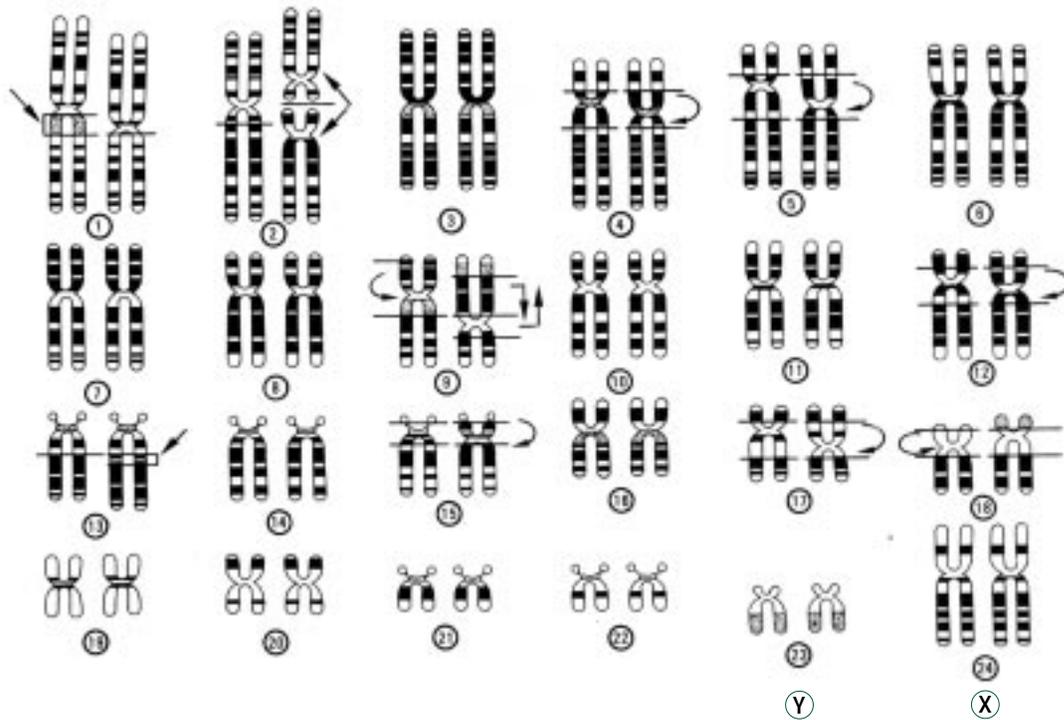
Tabla 1: Comparación de una secuencia parcial del gen hemoglobina de distintas especies antropoides

Origen	Secuencia parcial del gen hemoglobina
Humano	A-G-G-C-A-T-A-A-A-C-C-A-A-C-C-G-A-T-T-A
Chimpancé	A-G-G-C-C-C-C-T-T-C-C-A-A-C-C-G-A-T-T-A
Gorila	A-G-G-C-C-C-C-T-T-C-C-A-A-C-C-A-G-G-C-C

Ejemplo B:

- Comparan cariotipos del hombre y del chimpancé. Identifican en la figura anexa algún dúo de cromosomas exactamente homólogos, o casi homólogos, en su forma y patrón de bandas. Los cromosomas a la izquierda de cada dúo son humanos. La numeración corresponde al cariotipo humano. Explicar que dos cromosomas son homólogos cuando presentan el mismo patrón de bandas G (teñidas con colorante Giemsa), en el sentido citogenético. Elaborar un explicación para las homologías y diferencias observadas, considerando que ambas especies provienen de algún ancestro común.

Figura 9: Homologías en los cariotipos del hombre y del chimpancé



La comparación entre un cariotipo humano y el de un chimpancé muestra numerosas similitudes. Sus diferencias son apenas alrededor de una docena de cambios estructurales, que aparecen indicados por flechas. El cromosoma de la izquierda de cada par es el humano. Las bandas revelan homologías en 13 cromosomas. Otros cromosomas, que incluyen los cromosomas 4, 5, 12, 15, y 17, difieren sólo por la inversión de un segmento alrededor del centrómero o por la adición de un segmento (cromosoma 1, 13 y 18). Los cromosomas 9 y 15 presentan modificaciones estructurales más complejas. El cromosoma 2 humano corresponde a la unión de dos cromosomas de chimpancé.

Ejemplo 3

- Comparar en la tabla siguiente las secuencias parciales del gen de la enzima NAD-deshidrogenasa, en cinco grupos de primates. Colorear de amarillo suave los segmentos homólogos. Cuantificar el porcentaje de homologías entre los diferentes grupos y ordenarlos en una tabla. Hacer una pequeña descripción de estas observaciones discutiendo el significado de la magnitud de las homologías en términos de cercanía filogenética.

Tabla 2: Comparaciones de secuencia del gen de la enzima NAD deshidrogenasa en cinco grupos de primates

HUMANO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	
CHIMPANCÉ	ATA	ACC	ATG	CAC	ACT	ACC	ATA	ACC	ACC	CTA	ACC	CTG	ACT	TCC	CTA	ATT	CCC	CCC	ATC	CTT	ACC	ACC	
GORILA	ATA	ACC	ATG	TAT	ACT	ACC	ATA	ACC	ACC	TTA	ACC	CTA	ACT	CCC	TTA	ATT	CTC	CCC	ATC	CTC	ACC	ACC	
ORANGUTAN	ACA	GCC	ATG	TTT	ACC	ACC	ATA	ACT	GCC	CTC	ACC	TTA	ACT	TCC	CTA	ATC	CCC	CCC	ATT	ACC	GCT	ACC	
GIBÓN	ATA	GCA	ATG	TAC	ACC	ACC	ATA	GCC	ATT	CTA	ACG	CTA	ACC	TCC	CTA	ATT	CCC	CCC	ATT	ACA	GCC	ACC	
	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45
CTC	GTT	AAC	CCT	AAC	AAA	AAA	AAC	TCA	TAC	CCC	CAT	TAT	GTA	AAA	TCC	ATT	GTC	GCA	TCC	ACC	TTT	ATT	
CTC	ATT	AAC	CCT	AAC	AAA	AAA	AAC	TCA	TAT	CCC	CAT	TAT	GTG	AAA	TCC	ATT	ATC	GCG	TCC	ACC	TTT	ATC	
TTC	ATC	AAT	CCT	AAC	AAA	AAA	AGC	TCA	TAC	CCC	CAT	TAC	GTA	AAA	TCT	ATC	GTC	GCA	TCC	ACC	TTT	ATC	
CTC	ATT	AAC	CCC	AAC	AAA	AAA	AAC	CCA	TAC	CCC	CAC	TAT	GTA	AAA	ACG	GCC	ATC	GCA	TCC	GCC	TTT	ACT	
CTT	ATT	AAC	CCC	AAT	AAA	AAG	AAC	TTA	TAC	CCG	CAC	TAC	GTA	AAA	ATG	ACC	ATT	GCC	TCT	ACC	TTT	ATA	

Las secuencias están numeradas según los tripletes para facilitar su comparación. Los tripletes marcados en gris son idénticos o tienen mínimas variaciones.

INDICACIONES AL DOCENTE:

Es importante guiar los estudiantes a considerar estas semejanzas como cercanía de parentesco. Mientras mayores son las diferencias más sería la distancia respecto de los ancestros comunes. Debe aclararse que la clasificación taxonómica no siempre coincide con las relaciones evolutivas que se hacen aparentes del análisis molecular.

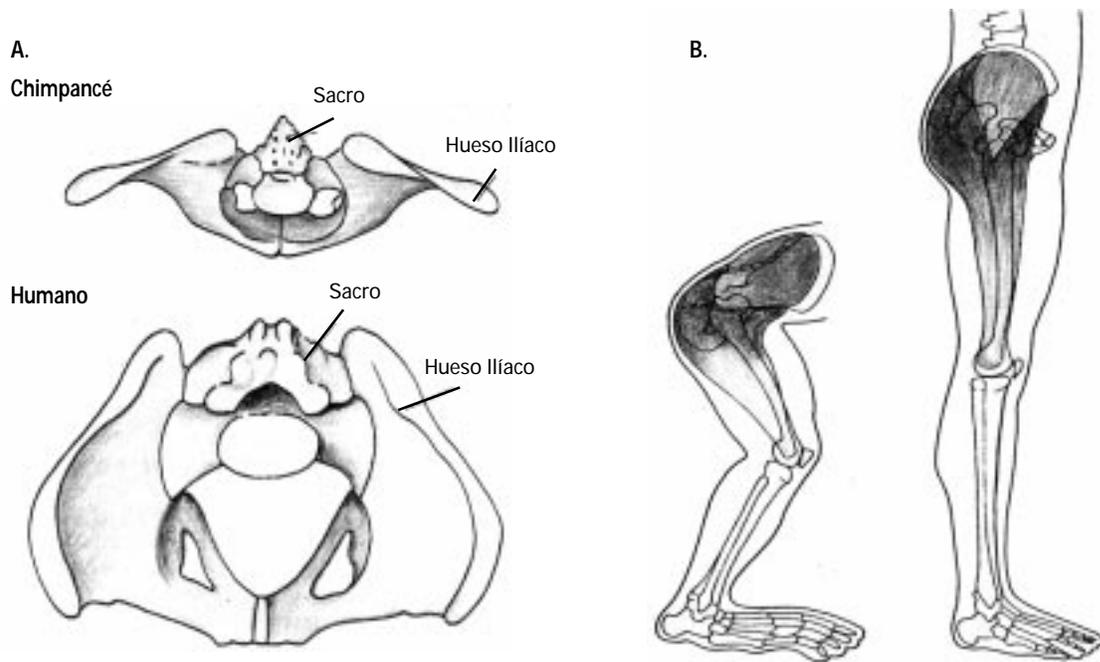
Actividad 4

Examinar características anatómicas y funcionales relacionados con la evolución humana.

Ejemplo

- En base a ilustraciones como las que se presentan a continuación, el curso discute sobre el valor adaptativo y evolutivo de las siguientes observaciones; a) los huesos comprometidos en la posición bípeda de la marcha tienen distinta forma anatómica en homínidos y primates; b) el volumen de la caja craneana de diferentes homínidos y la complejidad de los utensilios que utilizaban están relacionados. A partir de fotografías como las que aparecen a continuación, o material de internet, y gráficos de volumen craneano, el curso analiza y cuantifica la magnitud del incremento del volumen de la caja craneana entre los distintos ancestros humanos en la historia evolutiva. Luego, observan las imágenes de los objetos que utilizaban en la caza para apreciar la relación de la cefalización progresiva y la complejidad en la manufactura y uso de estos objetos.

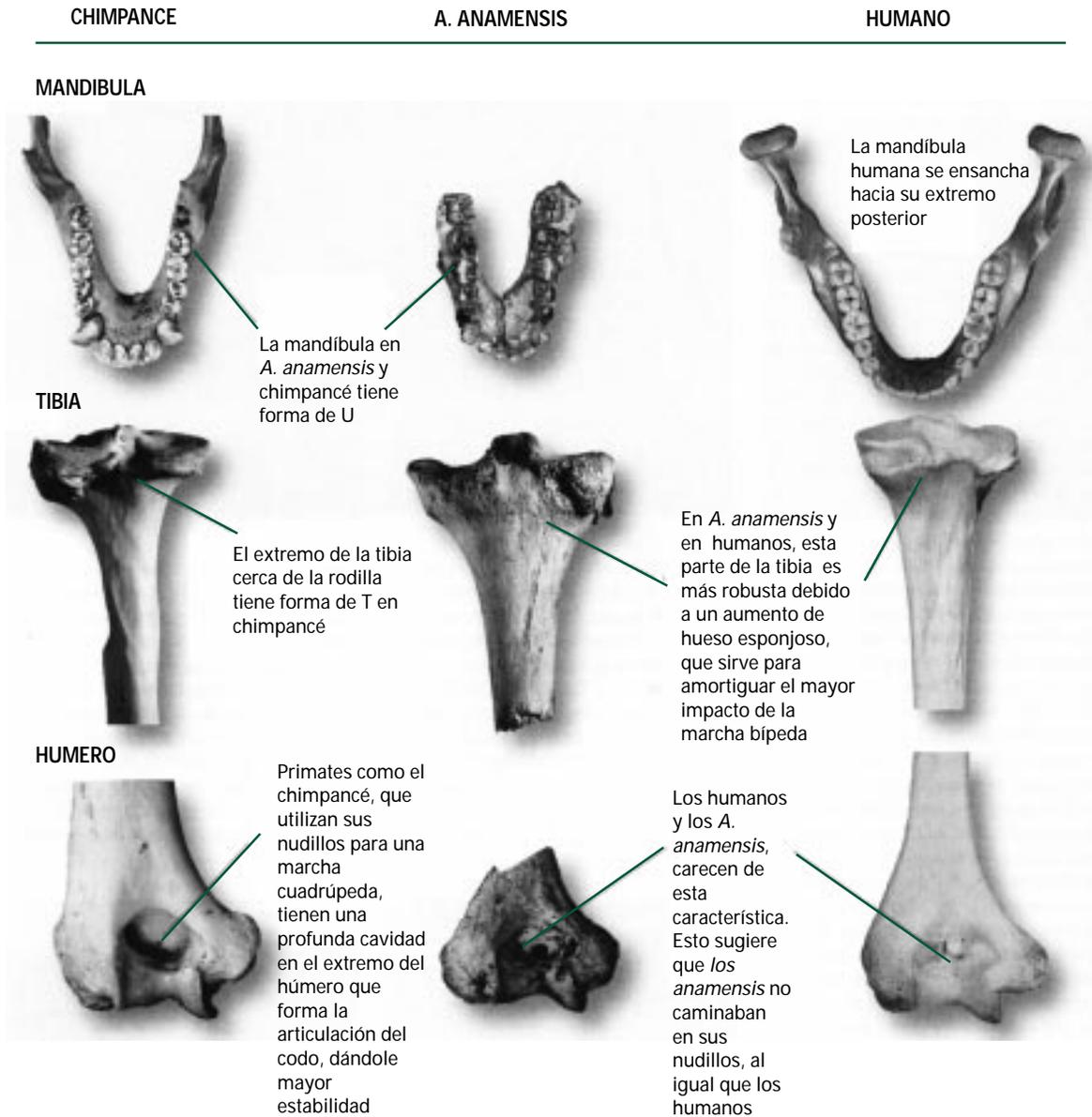
Figura 10: Estructuras esqueléticas relacionadas con el bipedismo



La figura A, muestra los huesos de la cadera del chimpancé y del ser humano. El gran desarrollo del hueso ilíaco en humanos es una de las características que provee mayor superficie de inserción a grandes grupos musculares que participan en la mantención de la postura erecta y en el movimiento de las extremidades inferiores, que se ilustran en la figura B.

Los homínidos han caminado erguidos por al menos tres millones de años. Esta es la edad del *Australopithecus*. La locomoción bípeda no es sólo otra adaptación anatómica de los humanos sino, tal vez, la más fundamental. Todos los bípedos más tempranos tenían un cerebro relativamente pequeño (450 ml).

Figura 10 C: Estructuras esqueléticas relacionadas con el bipedismo



La comparación de fósiles del *Australopithecus anamensis* con huesos de chimpancé, y de humanos actuales, permite establecer similitudes y diferencias entre estas especies y determinar sus interrelaciones. De esta manera se puede trazar la historia evolutiva humana, ya que el linaje de los chimpancés y los humanos divergieron alrededor de 5-6 millones de años atrás.

Figura 11 A: Cráneos de distintos homínidos

Australopithecus: Son los homínidos más antiguos conocidos hasta ahora. Los primeros cráneos provienen de Kenia, África, y se han encontrado diversas especies (ej: *A. africanus*, *A. aferensis*, *A. robustus*), con un registro fósil de casi 7 millones de años (entre 1,9-9 millones de años atrás). El rostro es alargado hacia adelante, los dientes son típicos de una alimentación vegetal en base a granos y raíces, y la bóveda es baja, como en los póngidos. Pero su postura era erecta, bípeda, a juzgar por la posición basal del foramen magno, la articulación de la rodilla y las modificaciones de la pelvis. El volumen craneano es alrededor de 440-530 cc. Sus fósiles no se acompañan de herramientas.



Homo habilis: Es el fósil del género Homo más antiguo conocido. Sus fósiles datan entre 1-1,8 millones de años atrás, encontrándose sólo en África. Debido a su mayor capacidad craneana (700 cc) y a su asociación con herramientas de piedra trabajada (cultura Oldowana) se catalogan dentro del género Homo. Sin embargo, aún mantiene rasgos de los australopitecinos y póngidos, tales como el gran tamaño de los molares y premolares, y el patrón de crecimiento y desarrollo de los dientes que refleja la duración relativa del período de maduración. La bóveda craneana es más alta y la parte posterior del cráneo es más redondeada que la de los australopitecinos.



Homo erectus: Esta especie es claramente ancestral a la humana, extendiéndose su datación a por lo menos 1,7 millones de años atrás. Su capacidad craneana es intermedia entre *H. habilis* y *H. sapiens* (775 y 1.225 cc). El rostro es más corto pero mantiene el desarrollo del arco superciliar. Sus herramientas de piedra son más variadas y sofisticadas. Era muy buen cazador y utilizaba fuego desde hace 1,4 millones de años atrás. El hecho que los especímenes encontrados en Asia sean más bien tardíos sugiere que migró del África hace un 800.000 años, y un poco más tarde hacia Europa. Desaparece del Asia hace unos 200.000 años.



Hombre de Neanderthal: Aparece después de una variedad de especímenes de *H. sapiens* "arcaicos", intermedios y difíciles de clasificar por sus grados variables de modernización. El registro fósil de los Neandertales indica su presencia hace unos 90-30 mil años atrás, ocupando una extensa región geográfica. Su relación evolutiva con los humanos modernos es todavía tema de controversia. Se le ha considerado como una subespecie, *H. sapiens neandertalensis*, hoy extinta y fusionada con los humanos modernos. Pero también se han dado evidencias de que se trataría de una especie distinta *H. neanderthalensis*, que divergiendo del *H. sapiens* hace 600.000 años atrás. En cualquier caso, fue paulatinamente reemplazado por homínidos modernos, en una secuencia temporal hacia el Oeste: hace unos 40.000 años en el Cercano Oriente, después en Europa del Este 35.000 años atrás, y finalmente en Europa Occidental hace unos 30.000 años. El cráneo de los Neandertales tiene todavía marcadas arcadas superciliares y su capacidad es cercana, y aún mayor (1.600 cc), a la de los humanos modernos, con un rostro de gran superficie y una bóveda craneana relativamente aplanada.

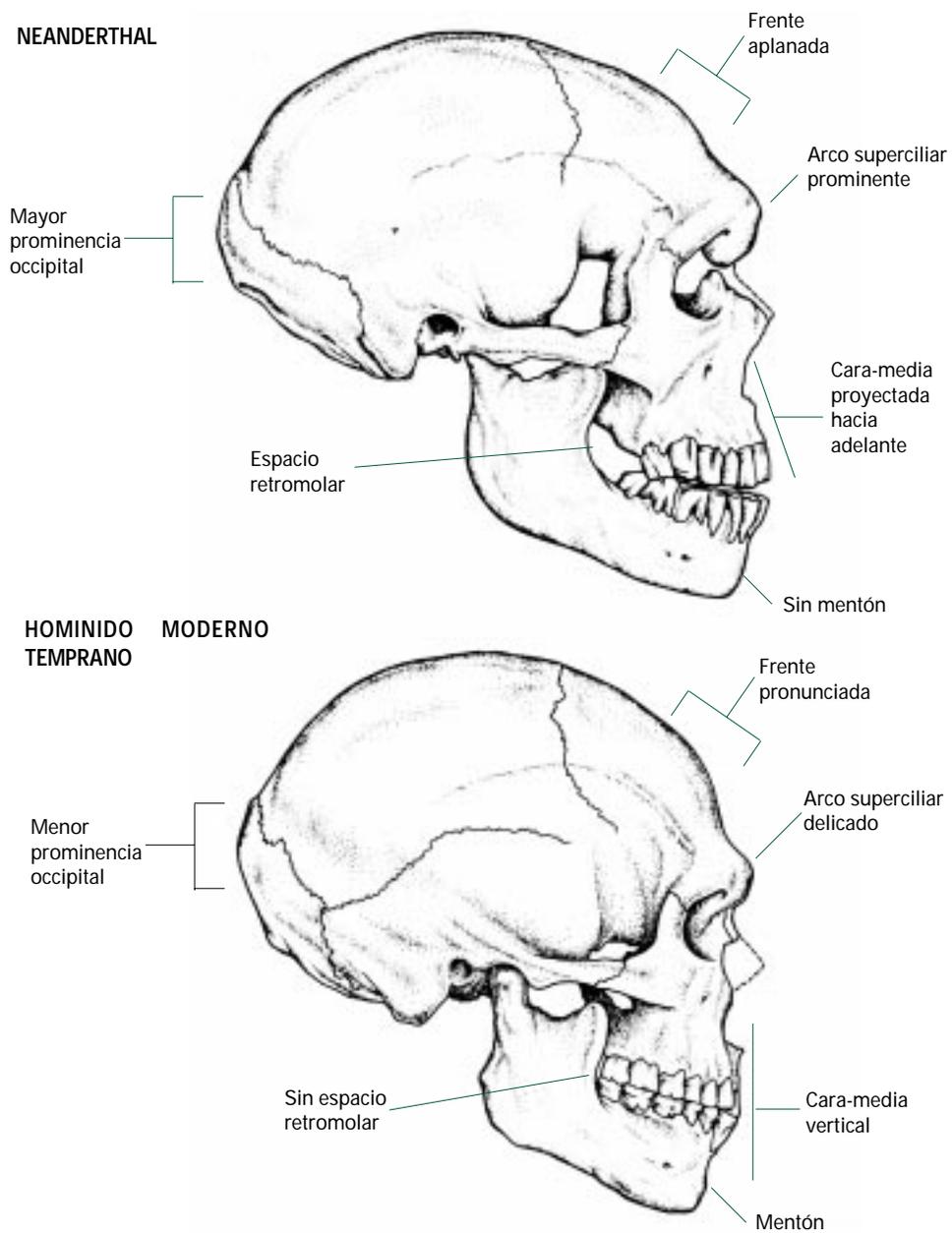


Hombre de Cro-Magnon (*Homo sapiens sapiens*): Este cráneo tiene características que se acercan claramente al de los humanos modernos, con una capacidad craneana de 1.400 cc.



La cabeza es más que una imagen simbólica de los humanos. Es el asiento de la visión y la fuerza que impulsa la evolución cultural. La evolución de la cabeza nos puede dar claves cruciales para entender la evolución humana desde sus ancestros animales. Disponemos de muy pocos cráneos distintos, identificables como etapas evolutivas dentro de los últimos 50 millones de años. Enterradas en el registro fósil deben haber aún muchas otras etapas intermedias.

Figura 11 B: Cráneos de distintos homínidos



Se muestran las diferencias en ciertas características de un espécimen Neandertal (La Ferrassie 1, Francia) y un cráneo de homínido moderno. En comparación con el cráneo homínido moderno, el del Neandertal es más alargado, más bajo y más macizo, y su cara se proyecta hacia adelante, especialmente alrededor de la nariz y la dentadura.

Figura 12 : Gráfico del cambio de volumen craneal de distintos homínidos.

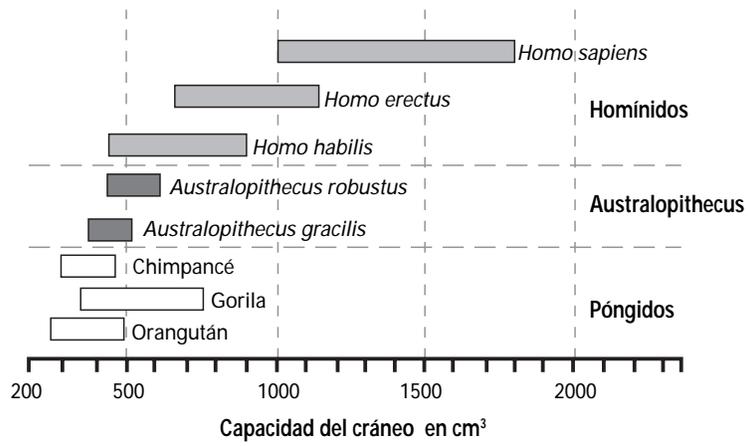
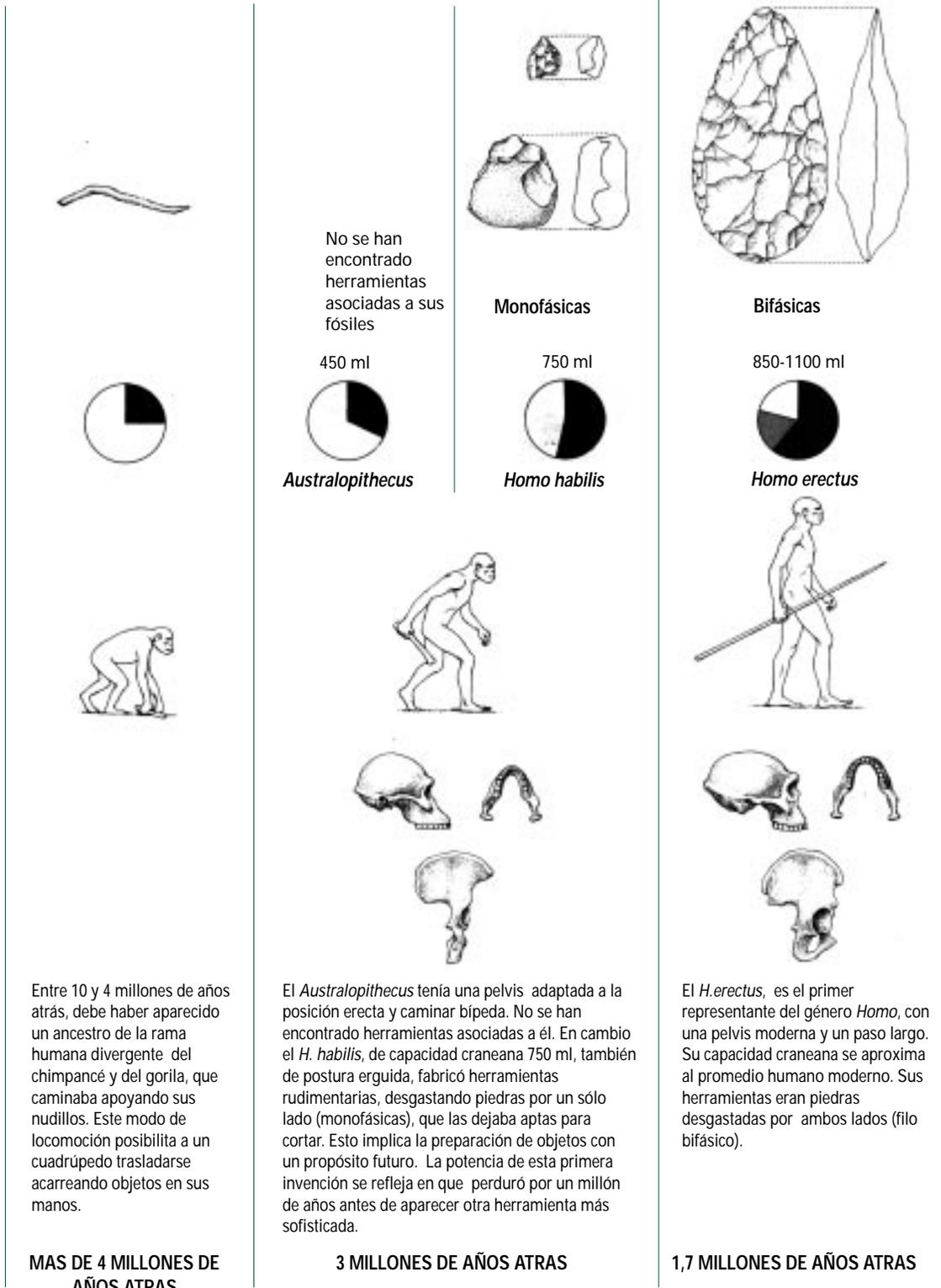
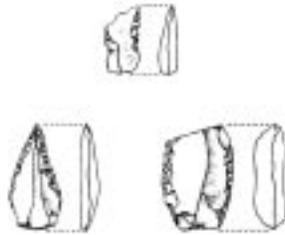


Figura 13: Herramientas de los homínidos y volumen craneal





1600 ml



Neanderthal

No hay cambios significativos en la marcha



No hay diferencias significativas en la mandíbula y la pelvis

El cráneo de los Neandertales, aunque de forma relativamente distinta de los humanos modernos, tenía similar capacidad. Sus herramientas están hechas de lascas más que de piedras redondas.

90.000 AÑOS ATRAS



1400 ml



Homo sapiens

No hay cambios significativos en la marcha



No hay diferencias significativas en la mandíbula y la pelvis

El *H. sapiens* fabricaba no sólo instrumentos y herramientas más finas, hechos de hueso, sino también objetos de adorno, no utilitarios, que reflejan otra sensibilidad. Hace 10.000 años realizó una transición de la caza al cultivo.

60.000-40.000 AÑOS ATRAS

INDICACIONES AL DOCENTE:

Es importante que en esta actividad se discutan los siguientes aspectos: 1) los cambios que deben haber ocurrido en la región de la pelvis como adaptación al bipedismo; 2) los sonidos producidos en la laringe son modificados para formar consonantes y vocales por la forma de la lengua en la faringe. Esto es favorecido en los humanos por la baja posición de la laringe que promueve mayor movilidad de la lengua. Claro está que esto impide respirar y comer o beber al mismo tiempo, como pueden hacerlo los primates. En los neandertales, al parecer la faringe tenía mayores limitaciones para la vocalización por la elevada posición de la laringe, determinando menor movilidad de la lengua. Esto habría permitido sólo un limitado rango de sonidos; 3) Dos cambios mayores acompañaron la evolución desde los australopitecinos hasta el Homo: un aumento del tamaño del cuerpo y duplicación del tamaño del cerebro. Hacer notar el enorme espacio de tiempo que separa las innovaciones de las herramientas fabricadas al principio de la historia evolutiva y contrastarla con el cambio constante que trajo consigo el *Homo sapiens* moderno.

El fósil más viejo que se ha encontrado del género *Homo*, llamado *Homo habilis*, fue descubierto en Olduvai George, Tanzania, y se estima que tiene alrededor de 2 millones de años. Estos homínidos ya usaban utensilios para obtener su alimento. Otra especie del género *Homo* que se conoce y que se extinguió corresponde al *Homo erectus*, que evolucionó en África hace 1,5 millones de años. Los representantes del *Homo erectus* tenían un tamaño similar al de los humanos actuales aunque sus huesos eran más fuertes. El *Homo erectus* utilizaba fuego para cocinar y para cazar grandes animales. Hacía herramientas de piedra que probablemente utilizaba para cavar y extraer raíces, cazar animales pequeños, cortar carne y leña. Su sobrevivencia se extendió hasta hace 250.000 años. El tamaño del cráneo de los primeros *Homo sapiens* superaba a los de sus ancestros y este cambio fue probablemente favorecido por una creciente complejidad en la organización social. La capacidad de comunicarse entre los individuos fue valioso para la cooperación en la caza y recolección, para la división del trabajo, y para mejorar la posición en las interacciones sociales cada vez más complejas.

Actividad 5

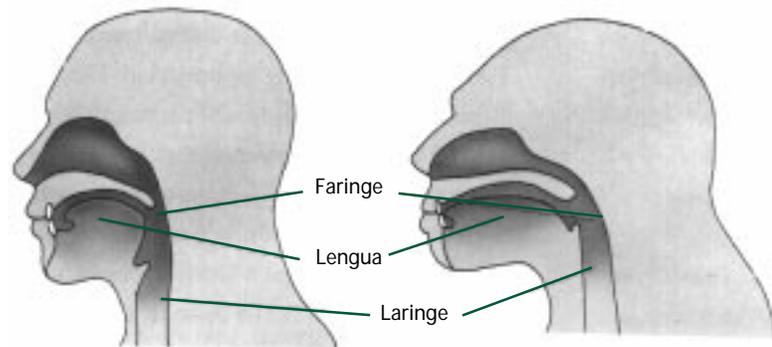
Indagar en la bibliografía sobre los homínidos Neandertales y Cro-Magnon, sus formas de vida, utensilios, expresiones culturales, tiempo y habitat.

Ejemplo

- Divididos en grupos, buscan información sobre estos homínidos en internet y en la biografía disponible. El docente aporta fotocopias de los Anexos correspondientes para que extraigan información y puedan discutir las diferentes posiciones respecto de las cualidades culturales e interrelaciones entre homínidos modernos y Neandertales. Utilizar las fotografías y esquemas que aparecen a continuación para establecer sus semejanzas y diferencias, especialmente en relación al volumen del cráneo y a la región faríngea relacionada con sus capacidades lingüísticas. Explicar que la posición de la

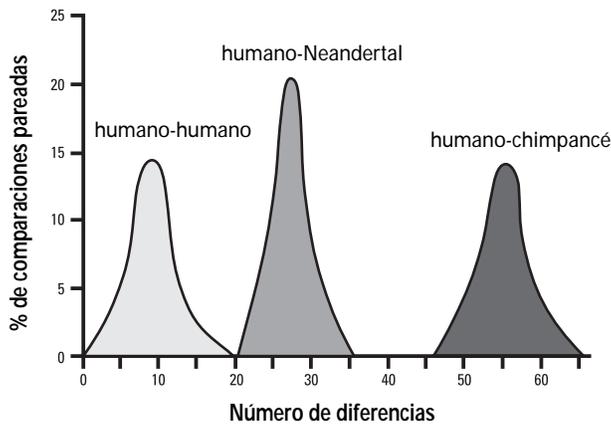
laringe en el Homo sapiens y los neandertal tiene diferencias que inciden en la movilidad de la lengua. Discutir sobre causas de extinción del grupo de Neandertal apreciando los tiempos en que co-existieron ambos grupos.

Figura 14: Comparación de la región laringea entre *Homo sapiens* y Neandertales



Los sonidos producidos en la laringe son modificados para formar consonantes y vocales por la forma de la boca y la faringe. En los Neandertales, la faringe estaba limitada por la alta posición de la laringe, mientras que el tamaño y posición de la lengua restringía el movimiento, permitiendo sólo un limitado rango de sonidos

Figura 15: Diferencias en el DNA mitocondrial de *Homo sapiens*, Neandertales y chimpancé



La figura muestra la distribución de las diferencias en las secuencias del DNA mitocondrial al comparar poblaciones humanas de distintas etnias entre sí, o con un espécimen Neandertal de 30.000-100.000 años atrás, o con secuencias de chimpancé. En el eje X están el número de diferencias y en el eje Y se graficó el porcentaje de comparaciones por pares. La comparación entre los grupos humanos muestra un promedio de 8 diferencias, con un rango de 1-24, mientras que con Neandertal se muestra un promedio de 27 diferencias con un rango de 22-26. Por lo tanto, la secuencia Neandertal queda fuera de las variaciones del DNA mitocondrial humano actual. Esto sugiere que los Neandertales se extinguieron sin contribuir con genes mitocondriales a los humanos modernos, y por lo tanto, que no se mezclaron reproductivamente con los *H.sapiens sapiens* con que coexistieron en la misma época. La comparación entre humanos y chimpancé, que divergieron hace 4-5 millones de años atrás, muestra un promedio de 40 diferencias. Tomando en cuenta este dato se estimó en 500.000 años atrás la divergencia molecular entre humanos y Neandertales, mientras que un ancestro común a los humanos modernos habría existido hace 120.000-150.000 años atrás (Kriings y cols. Cell 90; 19-13. 1999).

Figura 16: Documento de análisis sobre las relaciones entre los Neandertales y los humanos modernos

El niño híbrido de Portugal: En 1998, dos arqueólogos encontraron huesos fósiles de un niño de cuatro años que vivió hace 25.000 años en el valle Lapedo de Portugal central. Al extender la excavación se encontraron evidencias de que el niño había sido enterrado ceremonialmente en un estilo conocido, utilizado por los grupos humanos modernos que poblaban Europa de ese tiempo. En base a la abrupta transición cultural que se observa en los restos arqueológicos de la península Ibérica, es probable que los humanos modernos que llegaron a esa región hace 30.000 años hayan reemplazado rápidamente a los Neandertales nativos que habitaban la región. Por lo tanto, el fósil del niño encontrado, que se ha llamado Lagar Velho 1, se piensa que representa un espécimen humano moderno. El esqueleto relativamente completo de este niño tiene un conjunto de características que lo asemejan predominantemente con otros restos humanos tempranos de Europa. Entre éstas se incluyen un mentón prominente y ciertos detalles de la mandíbula, pequeños dientes frontales, la estrechez del frente de la pelvis y varios otros aspectos de los huesos del hombro y del antebrazo. Sin embargo, es intrigante que también tiene numerosas características de los Neandertales, especialmente en la forma del frente de la mandíbula, que a pesar del mentón tiene una pendiente hacia atrás, y en los huesos cortos de las piernas. De manera que el niño Lagar Velho 1 parece exhibir un mosaico de características pertenecientes a los Europeos tempranos, por un lado, y a los Neandertales, por otro lado. Los fósiles de humanos modernos encontrados en Europa tienen largos huesos en las extremidades inferiores, una característica adaptación a clima tropical que refleja su origen de ancestros Africanos. En cambio, los Neandertales tenían extremidades inferiores cortas, una adaptación al clima frío. La conclusión a la que se llega es que la combinación sólo pudo haberse originado por un cruzamiento entre los Neandertales nativos de la península Ibérica y los humanos modernos que estaban esparciéndose por toda esa región hace más de 30000 años. Como el niño existió varios miles de años después de la época en que los Neandertales desaparecieron, su anatomía probablemente refleja una verdadera mezcla entre estas poblaciones durante el período en que co-existieron. Es necesario someter a este espécimen a un mayor y riguroso estudio por numerosos especialistas debido a las enormes implicaciones que tiene este descubrimiento de una anatomía híbrida entre humanos modernos y Neandertales. Si esta interpretación persiste después de un mayor estudio, se tendría que reconsiderar la teoría de la evolución humana fuera de África. Sería errónea la hipótesis que supone que los humanos modernos que emergieron en África reemplazaron posteriormente a los homínidos en otros lugares. La anatomía del niño Lagar Velho 1 apoya en cambio un escenario que combina la expansión de los humanos modernos fuera de África con cruzamientos entre éstos y las poblaciones arcaicas que encontraban. Más aún, el cruzamiento indicaría una similitud de comportamiento entre los Neandertales y los humanos modernos. Sus comportamientos sociales y medios de comunicación, incluyendo el lenguaje, no deben haber sido muy distintos. Para los humanos modernos de esa época, los Neandertales podrían haber sido otro grupo de cazadores-recolectores tan humanos como ellos mismos. (Extracto del texto de Erik Trinkaus y Cidália Duarte, incluido en el artículo de Kate Wong "Who were the Neandertals" *Scientific American*, 282; pags. 79-87).

INDICACIONES AL DOCENTE:

Estimular discusiones sobre las distintas interpretaciones que se han dado sobre las interrelaciones de estos dos grupos de homínidos, a partir de los datos suministrados en las figuras y en el texto. Muchos investigadores sostienen que los Neandertals desaparecieron hace unos 30.000-28.000 años y no hicieron ninguna contribución biológica a los humanos modernos. Esto se evidencia al comparar los DNAs mitocondriales de los humanos actuales con los extraídos de un cráneo fósil Neandertal por el grupo de Paabo en 1997. En la figura se puede ver que las diferencias entre estos DNAs son mayores que las que existen entre distintos grupos humanos actuales. Estos datos hacen pensar que los Neandertales y los humanos modernos que llegaron a Europa no se mezclaron.

Actividad 6

Discutir sobre el valor de la aparición y desarrollo del lenguaje en la evolución cultural del hombre, identificando sus características más distintivas en comparación con otros sistemas de comunicación animal.

Ejemplo

- El docente describe diversas situaciones que muestren la complejidad del lenguaje humano y su carácter simbólico. A través de preguntas orienta un análisis de las características más distintivas del lenguaje y una discusión sobre su valor evolutivo.

INDICACIONES AL DOCENTE:

Los siguientes aspectos permiten apreciar la potencia de nuestro lenguaje. A medida que nuestros ancestros evolucionaron grandes cerebros, también incrementaron sus capacidades conductuales, especialmente la capacidad de lenguaje. La mayor parte de la comunicación no-humana de animales se restringe a un limitado número de señales que pertenecen a circunstancias inmediatas y se asocian a cambios emocionales relacionados con esas circunstancias. El lenguaje humano es extraordinariamente más rico en su carácter simbólico. Nuestras palabras pueden referirse a tiempos pasados y futuros y lugares distantes. Tenemos la capacidad de aprender miles de palabras, muchas de las cuales denotan conceptos abstractos. Ordenamos las palabras construyendo un número grande e indeterminado de frases con significados complejos. La expansión en las capacidades mentales de los humanos son responsables del desarrollo cultural, cuyas normas son traspasadas de generación en generación (evolución cultural).

Cómo y cuándo se desarrolló el lenguaje es tema de especulación. El lenguaje en su forma moderna debe haber aparecido hace 40.000 años atrás, con una explosión en diversas expresiones humanas, como las que se reflejan en la complejidad del arte y la tecnología. Es posible que el lenguaje haya estado presente desde la aparición de las formas humanas modernas hace unos 100.000 años.

El lenguaje parece ser un prerrequisito para organizar las conductas y desarrollar sociedades complejas. Las sociedades fueron dejando la caza y recolección como fuente de alimento para reemplazarlo por el pastoreo de animales domésticos y la agricultura, que apareció en el Medio Oriente hace 11.000 años atrás, y se expandió rápidamente por Europa. La revolución de la agricultura llevó a un incremento de la vida sedentaria, desarrollo de ciudades, expansión rápida de las fuentes alimenticias y aumento de la población humana, con mayor distribución y especialización del trabajo. En todos estos aspectos podemos apreciar las ventajas de una comunicación con las características de nuestro lenguaje.

Hasta el momento no se han dado evidencias de que un tipo de lenguaje hablado por algún grupo humano sea más o menos complejo que otro. La lingüística ha observado que si un lenguaje parece ser más simple que otro en ciertos aspectos es a la vez más complejo en otros. Se ha estimado que actualmente se hablan alrededor de 6.000 lenguajes en el mundo.

Evaluación

Objetivo de evaluación:

Verificar y aplicar conocimientos.

Ejemplo 1:

Indique como se justificarían las semejanzas fenotípicas entre los humanos y los monos. Cuáles son sus principales diferencias y el posible orden en el cual aparecieron en el tiempo.

Ejemplo 2:

Desde el punto de vista de las teorías de evolución humana, ¿qué significado le atribuye Ud. al hecho de los hallazgos de fósiles de distintos homínidos en una misma zona?

Ejemplo 3:

En una caverna de Israel se encontraron fósiles de homínidos modernos y neandertales en el mismo estrato geológico. Además, se encontraron fósiles con características híbridas entre ambos grupos. ¿Qué hipótesis formularía Ud. en base a estos hallazgos y qué importancia le atribuye considerando las controversias acerca de las relaciones entre ambos grupos? Justifique.

Ejemplo 4:

¿Qué herramientas conoce Ud. para determinar las relaciones filogenéticas? Comente sus ventajas y limitaciones.

Ejemplo 5:

¿Qué relaciones puede establecer entre el desarrollo del lenguaje, el fenotipo y la evolución humana?

Unidad 3

Flujo y procesamiento de energía y materia en los sistemas biológicos

Orientaciones didácticas

Esta unidad pone énfasis en que los seres vivos son sistemas abiertos termodinámicamente, y como tales necesitan continuamente del aporte energía y materia para mantener su estructura y organización. Los estudiantes deben recuperar conocimientos de termodinámica y aplicar especialmente la segunda ley para analizar el flujo de la energía en el ecosistema, incluyendo las fuentes de energía disponibles y apreciando la contribución mayor del sol y la excepcional de los quimiotróficos. Es importante que reconozcan que la única fuente de carbono para los seres vivos es el CO₂. Además, es importante recalcar que la materia componente de los seres vivos proviene de gases y sales formados durante el enfriamiento de la Tierra y que no son los más abundantes en la corteza terrestre. Por lo tanto, la constante utilización de ellos en la mantención de la vida desde su origen hace 3.500.000.000 de años implica su constante reutilización, reflejada en los ciclos biogeoquímicos. La energía en los ecosistemas es relativamente escasa, especialmente en los niveles superiores de las cadenas tróficas. El manejo de la energía ha incidido en la evolución de los organismos seleccionándose en general las formas que ofrecen mejor economía de los recursos. Ejemplos claros de esto se pueden observar en bacterias. Puesto que el ser humano tiene una determinada posición en las cadenas tróficas sufre de las mismas restricciones respecto a la limitación de las fuentes energéticas. Por lo cual, ha inventado formas de intervenir en los sistemas para aumentar su fuente de entradas a través de cultivo y ganadería y disminuir las pérdidas, economizando y distribuyendo mejor los recursos. Es preciso comprender que toda intervención en los ecosistemas tiene una consecuencia que ha sido advertida por la ecología hace unos 40 años. Se debe considerar que el estudio de la deforestación es sólo un ejemplo de intervención humana dentro de muchos otros. La protección de la naturaleza es una preocupación actual preponderante y responde a la conciencia que su daño tiene graves consecuencias que se extenderán por tiempos evolutivos.

Aprendizajes esperados

Alumnos y alumnas saben y entienden que:

- los seres vivos son sistemas termodinámicamente abiertos, que en su funcionamiento llevan a cabo procesos no espontáneos que deben acoplarse a fuentes externas continuas de energía. La principal de estas fuentes es la energía solar que se transforma en materia orgánica durante la fotosíntesis;
- la cantidad de materia producida por hectárea y por año (productividad) va disminuyendo desde los productores a herbívoros y carnívoros, con eficiencias diferentes debido a la pérdida de energía calórica en cada nivel trófico. Los carnívoros son los que manejan con mayor eficiencia la energía como resultado de la selección natural. La productividad de los distintos niveles de un sistema se puede expresar en pirámides energéticas válidas para toda la comunidad. Existen otras pirámides tróficas para el número y la biomasa;
- sólo el 20% de todos los elementos conocidos son utilizados por los seres vivos. Estos elementos no son los más abundantes de la corteza terrestre y pueden ser reutilizados como nutrientes varias veces, no así la energía que es unidireccional. Los elementos limitantes en la productividad de los seres vivos, tales como el carbono y el nitrógeno, deben ser recirculados o reciclados, pasando de los seres vivos al ambiente abiótico y de vuelta a ellos. Estos procesos pueden ser interrumpidos o estimulados por la actividad humana;
- la población humana necesita, al igual que otras poblaciones heterótrofas, aporte de energía y nutrientes, que obtiene principalmente de los productores y no de los herbívoros. El crecimiento de la población humana, el consumo, la productividad, las pérdidas y las formas de distribución de los recursos energéticos son factores modificables en beneficio del sistema global;
- el consumo humano de recursos naturales lleva a un aumento de desechos, incluyendo gases, sustancias tóxicas y materia orgánica. La humanidad ha acordado estudiar y legislar sobre los diversos aspectos del manejo de los recursos y la disposición de desechos sin dañar los sistemas, con el fin de lograr un “desarrollo sustentable”;
- la deforestación provoca los siguientes problemas: a) disminuye la fotosíntesis y aumenta la materia orgánica oxidada, la que sumada a la explotación del carbono fósil ha ocasionado un aumento en la concentración del CO₂ atmosférico, principal responsable del calentamiento global debido al efecto invernadero; b) disminuye la biodiversidad; c) aumenta la pérdida de suelos por erosión y, d) provoca eutroficación en lagos, ríos y mares;
- el cuidado de la naturaleza es necesario para evitar mayores daños que afectarán seriamente a la humanidad por muchas generaciones. La naturaleza se recupera pero requiere tiempos evolutivos.

Los alumnos y alumnas mejoran sus habilidades de:

- representar datos en gráficos y utilizar computación;
- realizar montajes experimentales;
- utilizar terminología científica;
- aplicar conocimiento científico,
- desarrollar la capacidad de trabajo en equipo.

a) Flujo de energía en el ecosistema

Actividad 1

Analizar por qué los seres vivos son sistemas abiertos desde la perspectiva de la termodinámica.

Ejemplo

- El profesor o profesora presenta casos de distintos sistemas, tales como un escritorio, cápsula espacial, acuario, y guía al curso en su clasificación como sistemas abiertos, cerrados o aislados, según sus características termodinámicas.

INDICACIÓN AL DOCENTE:

Hacer notar al alumno o alumna que la síntesis de los componentes orgánicos esenciales para la vida, la organización y la actividad de los seres vivos no son procesos espontáneos, sino que se realizan con gasto de energía. Por lo tanto, los seres vivos requieren un aporte externo y constante de energía. Son sistemas abiertos desde la perspectiva de la termodinámica. En cada transformación de la energía se pierde una parte en forma de calor. El aporte externo de energía les permite mantenerse alejados del equilibrio termodinámico mientras viven. Es importante incorporar estos conceptos junto con los aprendidos en Química y Física, para entender que los seres vivos utilizan energía externa para disminuir su entropía (mantener una organización).

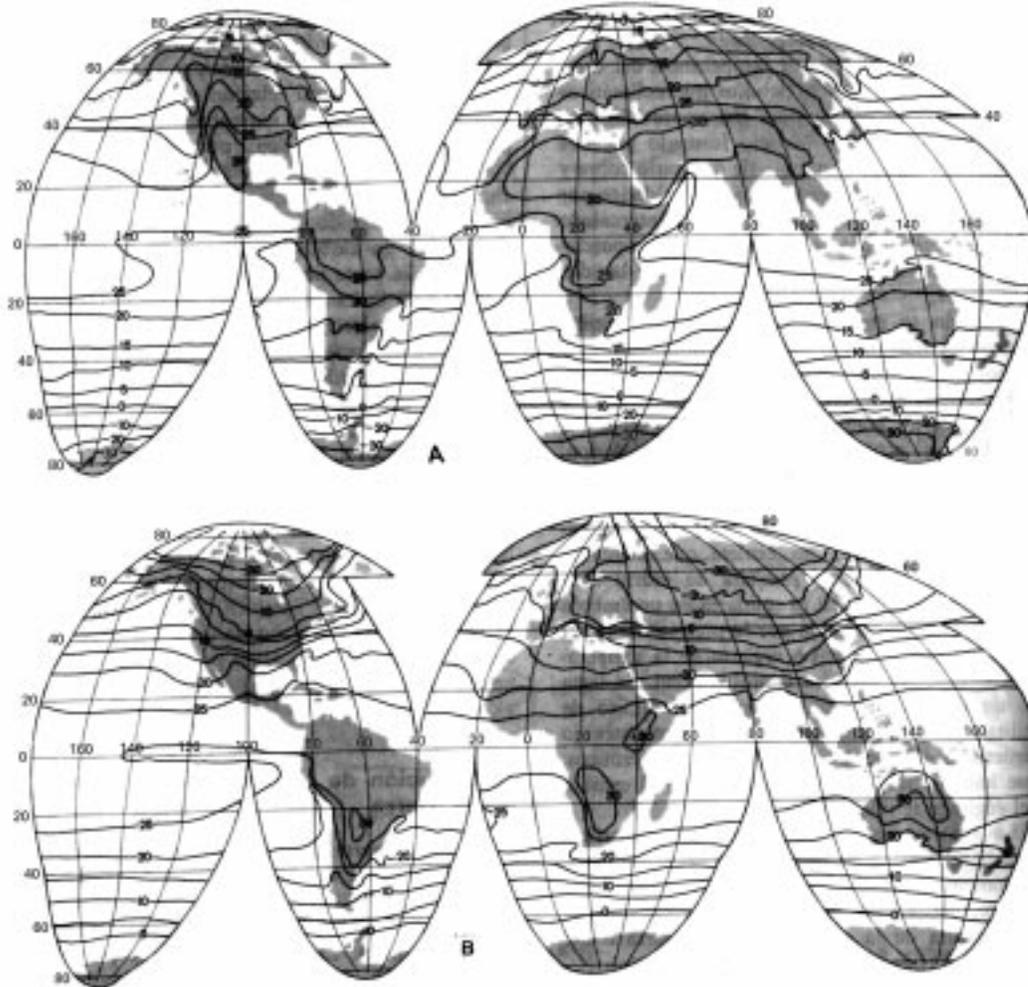
Actividad 2

Relacionar la incidencia solar sobre la tierra con las variaciones estacionales y valorar la influencia de la ubicación de la Tierra en sus condiciones climáticas.

Ejemplo

- Examinar diagramas que muestren cómo la radiación solar calienta fuertemente el ecuador y débilmente los polos.

Figura 17: Diagrama de temperatura de la Tierra



Isotermas a nivel del mar, para el verano nórdico (A, promedio de los meses de julio y agosto) y para el invierno nórdico (B, promedio de los meses de enero y febrero)

INDICACIONES AL DOCENTE:

Guiar a los estudiantes a aplicar sus conocimientos previos para deducir que la corteza, al calentarse más en el ecuador, genera corrientes ascendentes de aire que al enfriarse producen las lluvias ecuatoriales. Cuando baja cerca de los trópicos, se calienta nuevamente produciendo los desiertos como los de Atacama, Sahara y Gobi. Esto, sumado a las influencias de las corrientes marinas y topografía terrestre resulta en los distintos tipos de clima y aportes de agua a los continentes, produciendo el ciclo hidrológico.

Actividad 3

Conocer ecosistemas con otras fuentes energéticas distintas a la solar.

Ejemplo

- Examinar fotografías o un dibujos de un ecosistema a 2.000 metros en los fondos marinos, reconociendo los elementos que lo constituyen en sistema ecológico.

Figura 18: Ilustración de un oasis marino

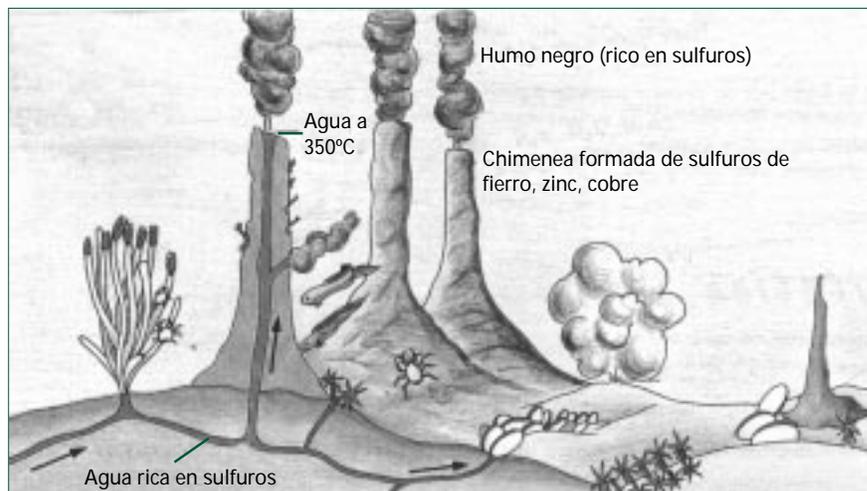
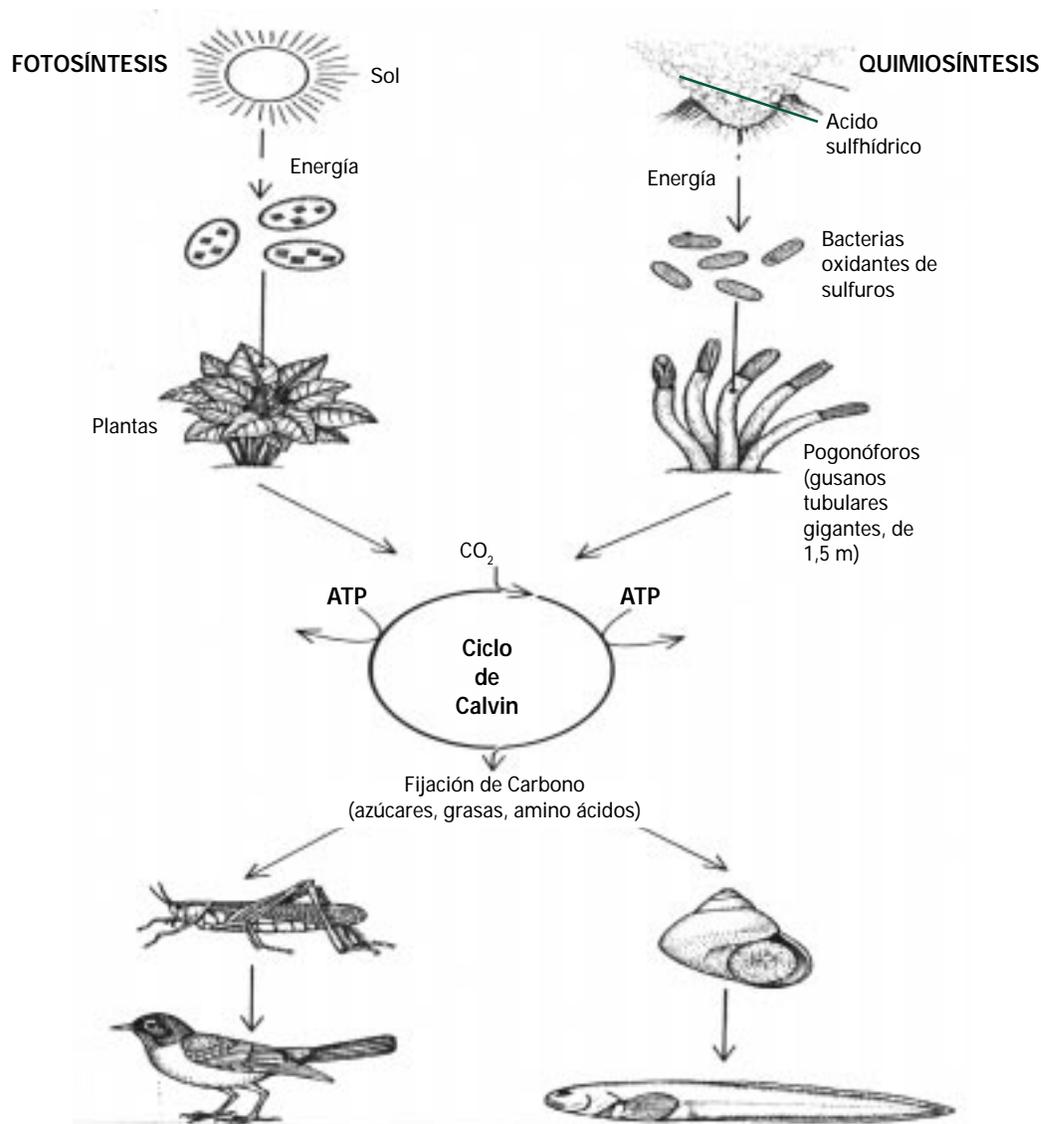


Figura 19: Comparación entre fotosíntesis y quimiosíntesis

**INDICACIONES AL DOCENTE:**

Conducir a los estudiantes a tratar de determinar cuál será la fuente de energía a esas profundidades donde la oscuridad es absoluta. Entregue datos sobre los gusanos de 3 metros de largo y 10 cm de diámetro que pertenecen al filum de los pogonóforos y no poseen sistema digestivo, viven en simbiosis con bacterias quimiótroficas. Estos gusanos entregan a las bacterias gases que captan por sus penachos y aprovechan las materias orgánicas que estos procariontes fabrican. Otros animales se alimentan de los penachos de los gusanos. Se establece así una cadena trófica muy especial sin intervención de la luz. No se debe entrar en detalles sobre la clasificación de esos seres vivos, ni en el metabolismo de estas bacterias. Sólo es necesario resaltar que son capaces de sacar energía de la transformación química de los gases aportados por los gusanos.

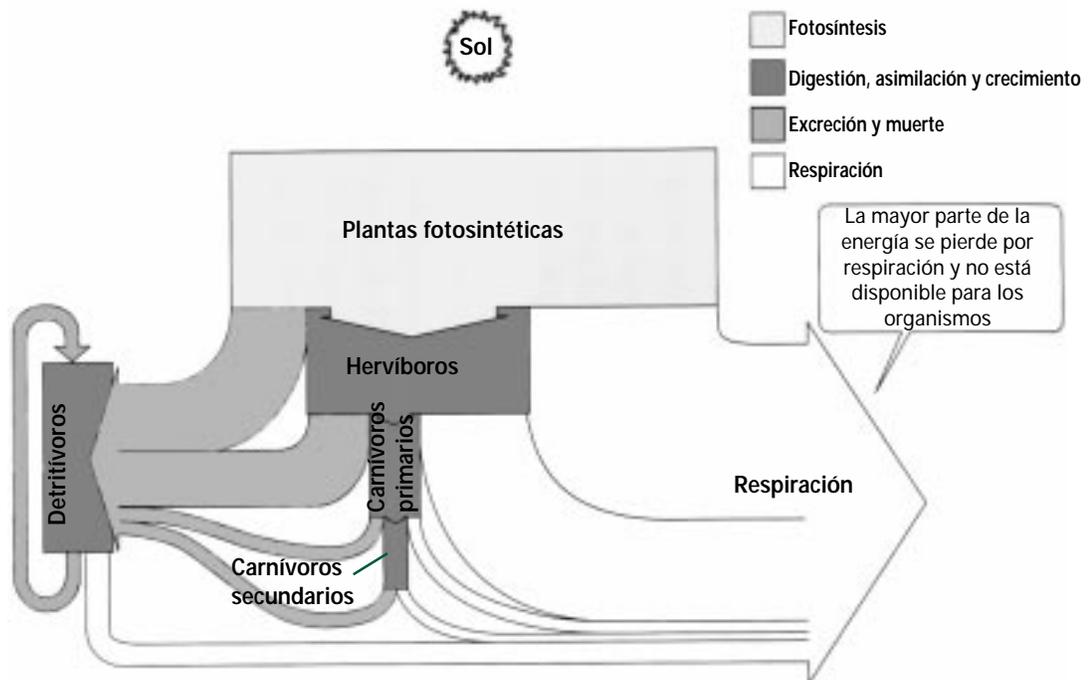
Actividad 4

Describir el flujo de energía en diagramas y relacionarlo con las leyes de la termodinámica.

Ejemplo

- Primero, el curso analiza un diagrama teórico del flujo de energía como el de la figura. El profesor o profesora debe preocuparse de que los estudiantes comprendan que la energía total se hace menor en forma sucesiva en cada uno de los niveles y no la energía química propia de las moléculas componentes de los organismos. Es importante relacionar este diagrama de energía con el comportamiento de los nutrientes. Para esto, enfatizar el rol de los descomponedores y mineralizadores (protozoos, hongos y bacterias) que hacen que los nutrientes estén nuevamente disponibles para los productores. Segundo, los alumnos y alumnas deberán construir una trama trófica con fotografías de especies chilenas y establecer la mayor cantidad de interacciones tróficas posibles. Les asignan los nombres del nivel trófico correspondiente a cada especie (productores, consumidores primarios o herbívoros, consumidores secundarios o carnívoros de primero y segundo orden). Se les guiará para que discutan qué determina la cantidad de niveles tróficos, guiándoles a reconocer que está limitada por la pérdida en las transformaciones energéticas.

Figura 20 : Diagrama del flujo de energía en una cadena trófica



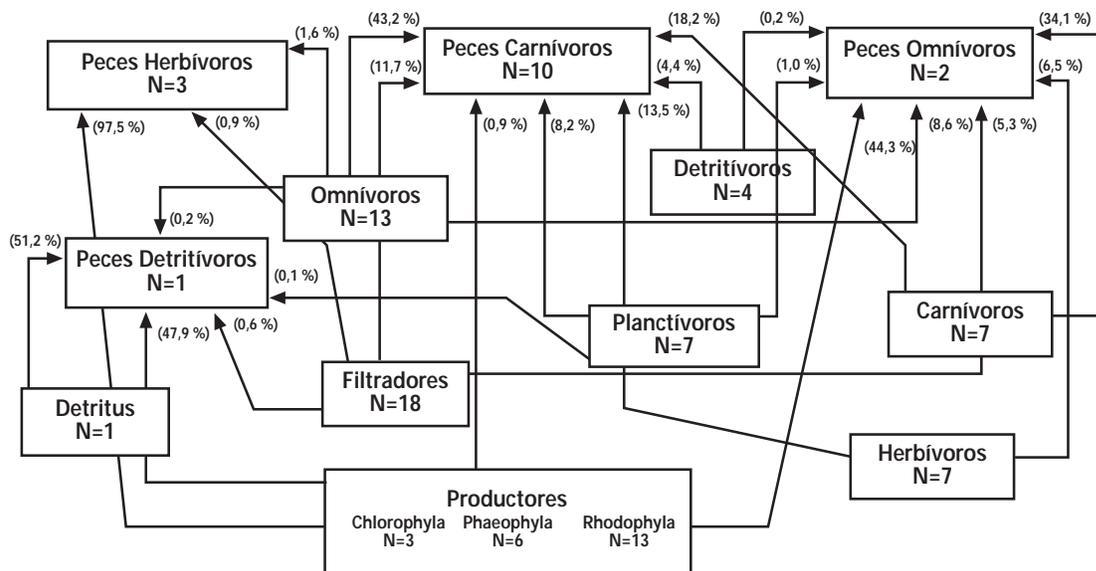
Actividad 5

Informarse, disertar y discutir sobre la estructura trófica de comunidades pertenecientes a ecosistemas de Chile.

Ejemplo

- Guiados por el docente y organizados en grupos, los estudiantes se informan de las actividades y resultados de investigaciones de científicos chilenos, que incluyen importantes aportes respecto a estructuras tróficas como la que se muestra a continuación. Exponen un extracto de estas investigaciones y con la orientación del profesor o profesora discuten los temas investigados y valoran el aporte de estos estudios a la ecología del país.

Tabla 3: Estudio energético en un ecosistema costero de Chile



INDICACIONES AL DOCENTE:

Revisar el artículo sobre “Diversidad, estructura y funcionamiento de ecosistemas costeros rocosos del norte de Chile” de Vasquez y cols. Revista Chilena de Historia Natural 71: 479-499. 1998.

Actividad 6

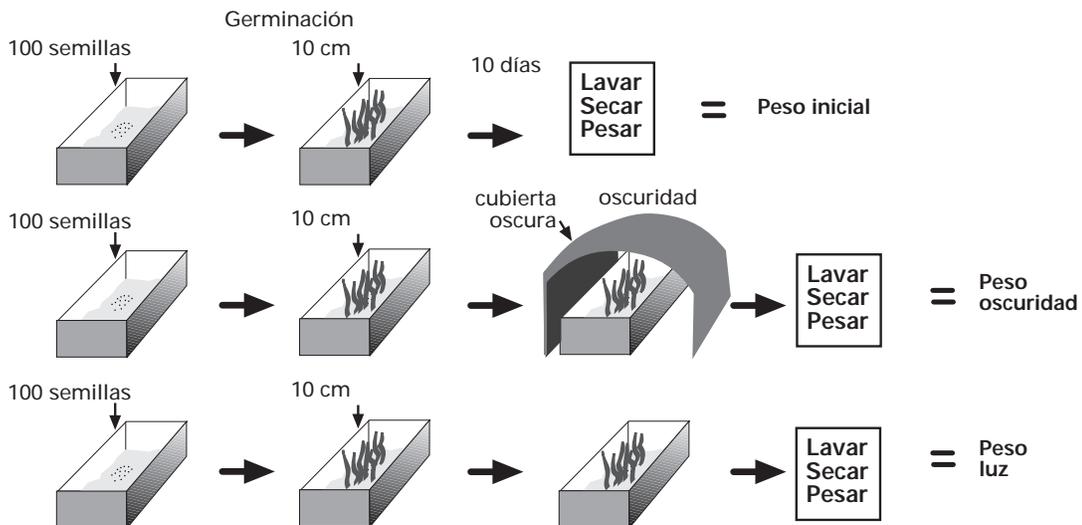
Calcular la productividad bruta y neta en un experimento.

Ejemplo

- Los estudiantes aplican conocimientos previos sobre funcionamiento celular y realizan la siguiente experiencia práctica. En tres envases plásticos colocan en cada uno 100 semillas de trigo o lentejas a germinar en arena y en las mismas condiciones de luz y temperatura. Cuando las plantas tengan unos 10 cm de alto se siguen los pasos indicados en la figura. Extraen las plantas completas de uno de los grupos, incluyendo la raíz, y las lavan, secan, pesan y rotulan como "Peso inicial". Este grupo será el grupo de referencia para los cálculos posteriores. El secado de las plantas se puede realizar aplicando el calor de una lámpara durante una noche. Otro de los grupos se somete a oscuridad, cubriéndolo, sin dañarlo, con papel de aluminio y se rotula como "Peso oscuridad". El grupo restante se deja en las condiciones iniciales, es decir a la luz, y se rotula "Peso luz". Después de una semana se procede a lavar, secar y pesar las plantas tal como en el primer grupo.

La productividad bruta (PB) es igual a la productividad neta más la masa perdida en respiración. En este experimento el cálculo se realiza con la fórmula siguiente; $PB = (\text{Peso luz} - \text{Peso inicial}) + (\text{Peso oscuridad} - \text{Peso inicial})$. La productividad neta está dada por el peso del grupo "luz" porque hace fotosíntesis y respiración, en cambio grupo "oscuridad" aporta el dato de masa perdida por metabolismo (respiración). Expresar los datos en términos de Kg/hectárea/año.

Figura 21: Esquema de un experimento para el cálculo de productividad primaria



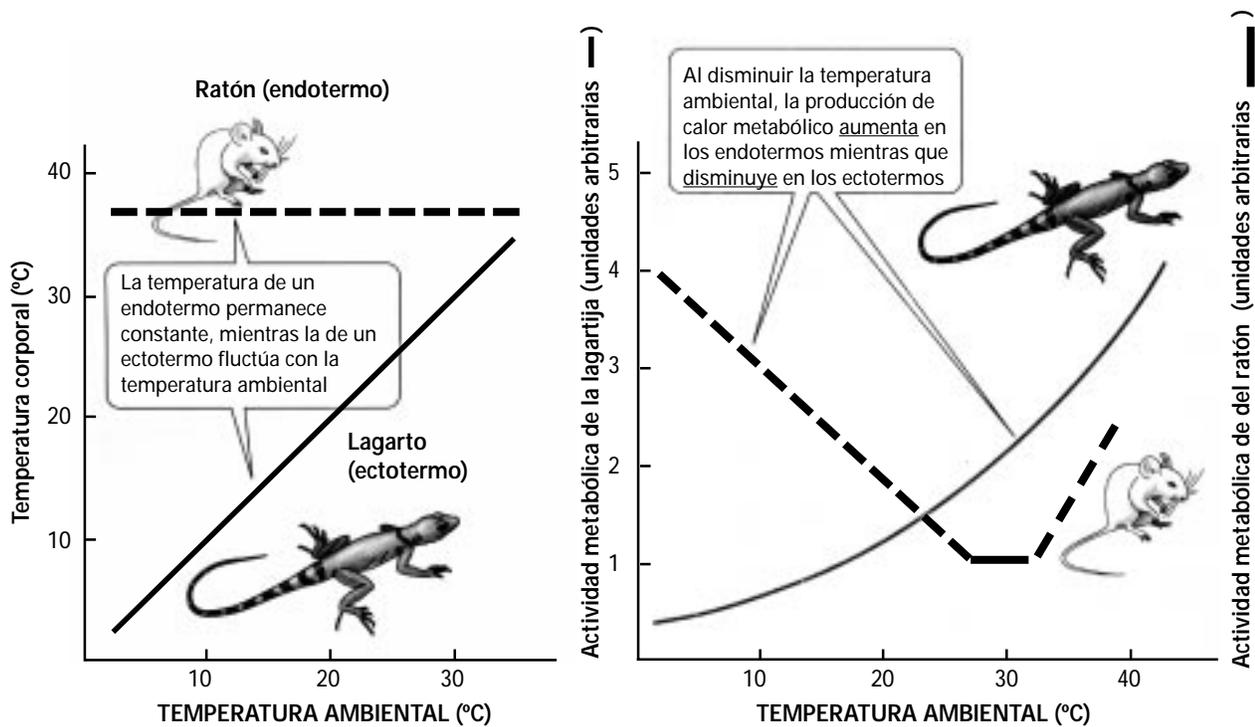
Actividad 7

Comparar cuantitativamente el gasto energético de homo y heterotermos

Ejemplo

- El profesor o profesora explica que la actividad metabólica aumenta al doble cada 10 °C de temperatura corporal. Los estudiantes analizan el siguiente gráfico donde se muestran resultados del consumo metabólico de homo y heterotermos a distintas temperaturas. Guiados por el docente, discuten el costo energético que significó el paso evolutivo a la homotermia. Deben concluir que la independencia de los homotermos a las variaciones de temperatura externa se realiza con un gasto metabólico elevado, lo que implica mayor consumo de alimento y, por lo tanto, de tiempo dedicado a procurárselo.

Figura 22: Gráfico de consumo metabólico en función de la temperatura corporal



b) Circulación de nutrientes en la biósfera

Actividad 1

Investigar sobre la abundancia relativa de los componentes de la corteza terrestre y de los seres vivos.

Ejemplo

- Los estudiantes buscarán en la literatura datos para comparar el porcentaje de elementos que componen la hidrósfera, atmósfera y litósfera y los porcentajes de los mismos elementos que se encuentran en los seres vivos. Presentarán sus datos en un informe. El docente recuerda los conceptos de la primera unidad acerca de la evolución química y formación abiogénica de macromoléculas y los guía a que discutan sobre el significado de la escasa disponibilidad en la corteza terrestre de algunos componentes utilizados por los seres vivos, tales como el carbono. Aprecian que los componentes de los sistemas vivos son los mismos de la corteza terrestre pero su utilización en el origen de la vida dependió de sus características químicas más que de su abundancia relativa.

Actividad 2

Utilizar la ecuación de la fotosíntesis para obtener y analizar las interrelaciones entre el ciclo del O₂ y CO₂ atmosféricos.

Ejemplo

- El docente recupera conocimientos previos y explica que la cantidad de oxígeno presente en la atmósfera actual proviene de la actividad fotosintética. El curso construye un gráfico con los datos que aparecen en la tabla sobre los cambios en la concentración de O₂ y CO₂ atmosférico y discuten su significado utilizando la ecuación de la fotosíntesis, que deben extraerla de la literatura o recuperarla de sus conocimientos previos (1º Medio). Con ayuda del docente, rotulan el gráfico con los acontecimientos evolutivos que produjeron estos cambios, tal como se ilustra en la figura.

Luego, el docente presenta el gráfico de la figura sobre el aumento del CO₂ atmosférico producido por actividad humana (deforestación y uso de carbono fósil como fuente de energía calórica). Hacer notar que la disminución en la concentración de CO₂ de los últimos años se debe a la recuperación de los ecosistemas, al aumento de la productividad primaria y del rescate de materia orgánica en forma de madera, evitando su descomposición y combustión. Debe apreciarse el efecto positivo de las políticas globales de protección del ambiente.

Tabla 4: Cambios en la concentración de CO₂ y O₂ en la atmósfera en distintos períodos de la evolución

Millones de años	Concentración O ₂ (%)	Concentración de CO ₂ (%)
4600-1900	0	28.875
1750	5	22
1500	10	15.125
1300	15	8.25
900-0	21	0

Figura 23: Gráfico de los cambios en la concentración de CO₂ y O₂ en la atmósfera en distintos períodos de la evolución

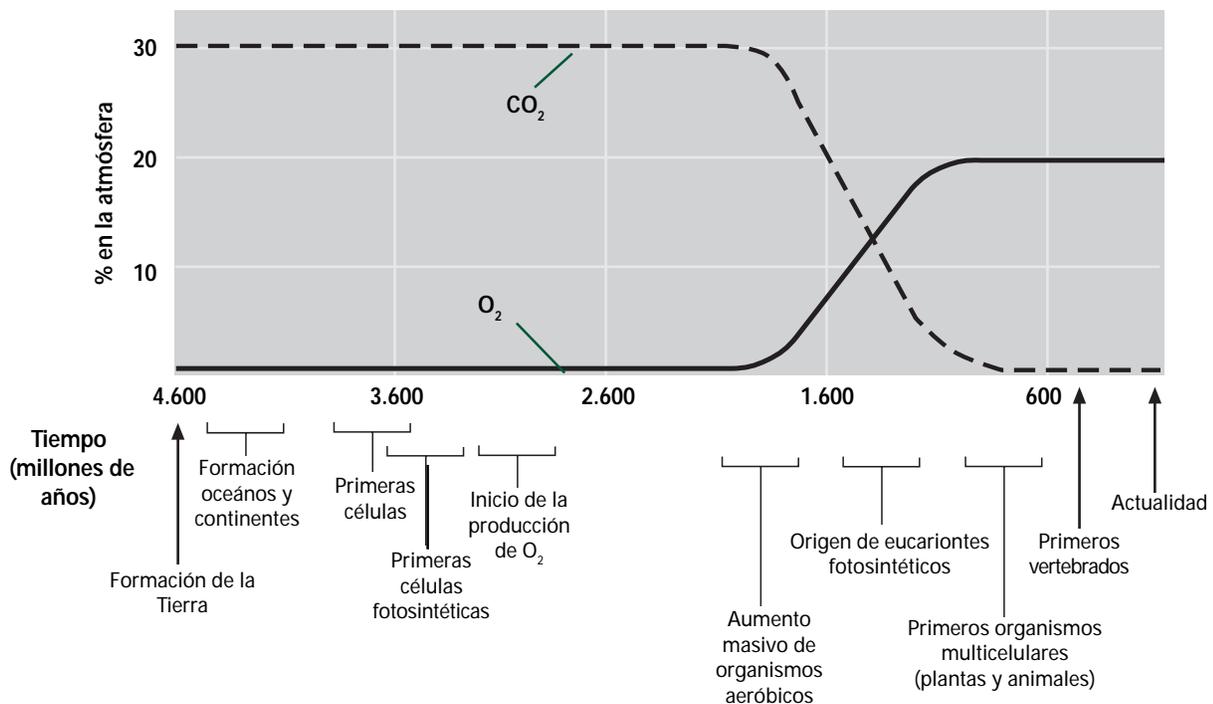
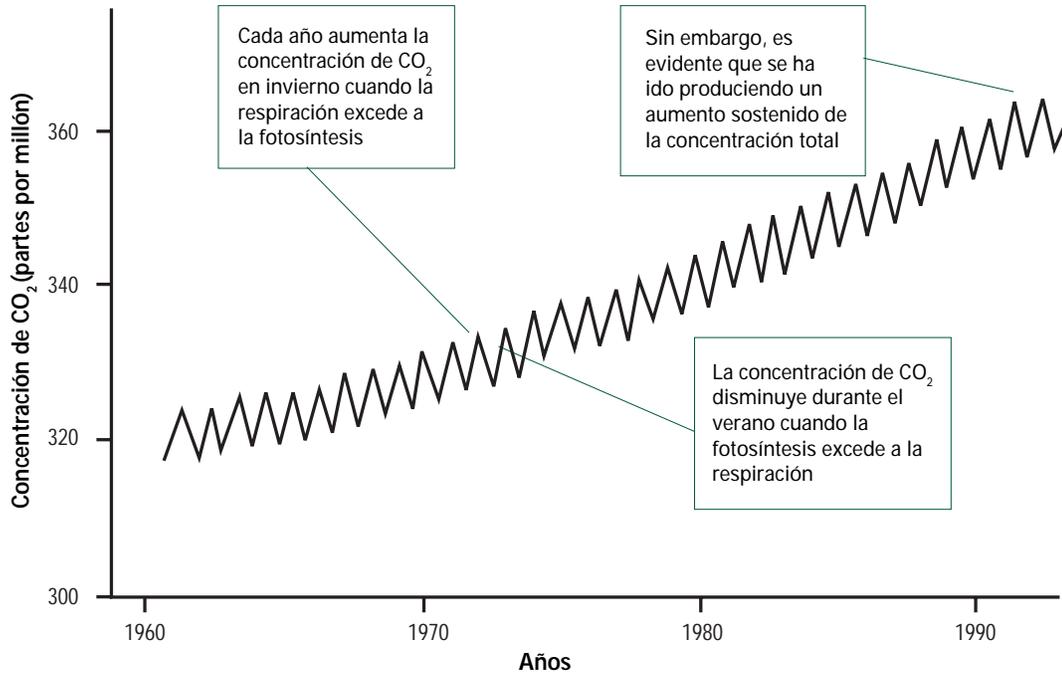


Figura 24: Gráfico de aumento de concentración de CO₂ atmosférico como producto de la actividad humana

INDICACIONES AL DOCENTE:

Es importante hacer notar que de la ecuación de la fotosíntesis se pueden derivar una serie de conceptos sobre el ciclo del carbono y oxígeno. La ecuación muestra que mientras más materia se forme por fijación del CO₂ mayor será la disminución de éste en la atmósfera y mayor el aumento del oxígeno proveniente del agua. A partir de la ecuación de la fotosíntesis se puede deducir que por cada mol de CO₂ fijado en materia orgánica se produce un mol de O₂. Todo el O₂ que existe actualmente en la atmósfera proviene de la fotosíntesis, más específicamente del agua de una reacción que ocurre en un grupo de seres vivos. La composición de O₂ y CO₂ que se ha mantenido en los últimos 900 millones de años sería consecuencia de un equilibrio entre la fotosíntesis y la respiración.

Parte de la materia orgánica que se ha producido en la historia evolutiva se encuentra como carbono fósil (petróleo, carbón mineral y hulla). La especie humana, al utilizar este carbono como fuente de energía devuelve el componente CO₂ a la atmósfera. Los seres vivos en sus reacciones metabólicas de la respiración consumen oxígeno y liberan CO₂. Hacer notar las variaciones estacionales en la concentración del CO₂ atmosférico.

Relacionar los datos con la composición de la atmósfera primitiva y con los cambios determinados por la aparición de la vida. Se considera que un equilibrio en la concentración de CO₂ y O₂ se estableció hace unos 300 millones de años cuando toda la biosfera se cubrió de vegetación y los únicos factores eran la fotosíntesis y la respiración de los seres vivos. Con la aparición del hombre cambió este equilibrio al añadirse la combustión de la materia orgánica y del carbono fósil.

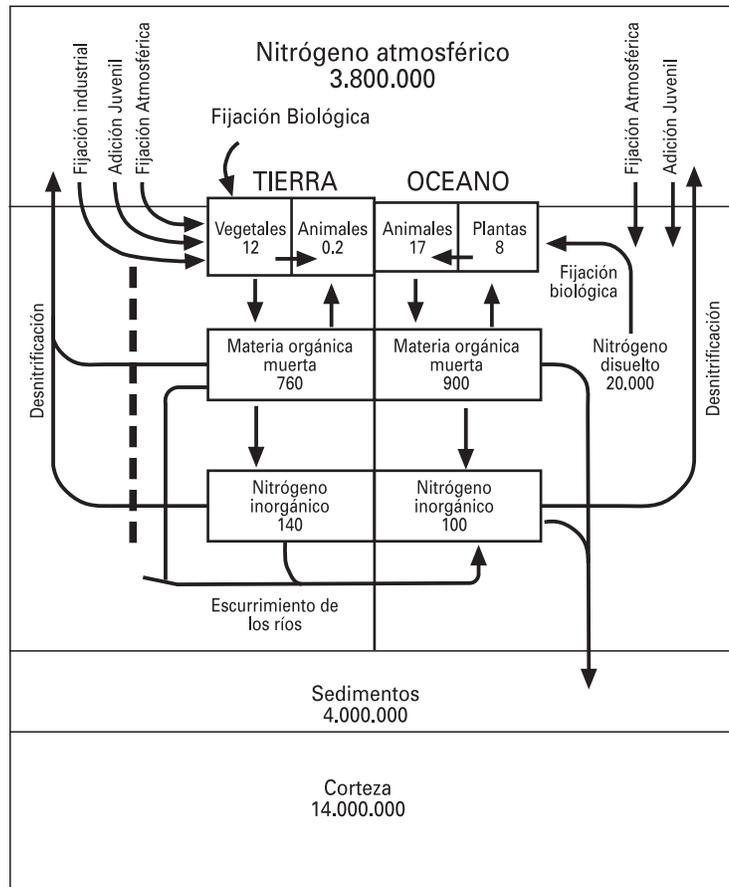
Actividad 4

Investigar la historia de las salitreras en relación al ciclo del nitrógeno y a la invención de una forma de sintetizar nitritos y nitratos artificialmente.

Ejemplo

- El docente explica que los depósitos de salitre (nitratos) se formaron por la acción de cianobacterias que fijaron el nitrógeno atmosférico y, al secarse el agua del lago donde habitaban, se depositaron los nitratos mezclados con sal. Explicar además que el nitrato se utiliza como fuente de nitrógeno para la producción primaria (abono) y que Haber inventó un método químico de síntesis que se puede aplicar a la fijación de nitrógeno atmosférico en cantidades industriales. Esto requiere un enorme aporte de energía que se obtiene del petróleo. Los estudiantes buscan en la literatura la historia de las salitreras y la relacionan con el conocimiento científico del ciclo del nitrógeno y del impacto que causó en ellas la tecnología de producción sintética de nitratos. En el siguiente diagrama se presentan las cantidades de nitrógeno en cada compartimento del sistema ecológico, incluyendo el nitrógeno en la biomasa, en los desechos y en el suelo como nitrógeno mineral, tal como se indica. Los estudiantes analizan estos datos y determinan la forma de distribución y movimiento de este nutriente en los distintos compartimentos del ecosistema. Luego analizan de la misma manera el ciclo global y aprecian el papel de las bacterias.

Figura 25 : Diagrama del ciclo del nitrógeno en un ecosistema



INDICACIONES AL DOCENTE:

Esta actividad se presta especialmente para apreciar la conexión entre el conocimiento científico, la tecnología y la sociedad. Además, se conecta con los conocimientos previos adquiridos en Primer Año Medio sobre el ciclo global del nitrógeno. Aquí se logrará una visión más cuantitativa del este ciclo y sus características más particulares a un ecosistema. Al analizar un ejemplo específico de un ecosistema deben apreciar que las diferencias de contenido entre la biomasa y los desechos corresponde a la cantidad economizada o retenida por los individuos para su reutilización. Una parte del nitrógeno contenido en los desechos se utiliza en el interior del ecosistema después de pasar por los descomponedores y mineralizadores, que los transforman en sales solubles y utilizables por los productores. Finalmente, una porción es arrastrada al mar y forma parte del ciclo global. Recalcar que existe una gran cantidad de nitrógeno en la atmósfera que sólo puede ser utilizado por cierto grupo especial de bacterias (fijadoras) que lo introducen al sistema ecológico. Es importante explicar que de la reacción de fijación las bacterias obtienen energía. Donde sea posible, mostrar los nódulos en las raíces de plantas leguminosas como el trébol.

c) Impacto de la actividad humana en la naturaleza

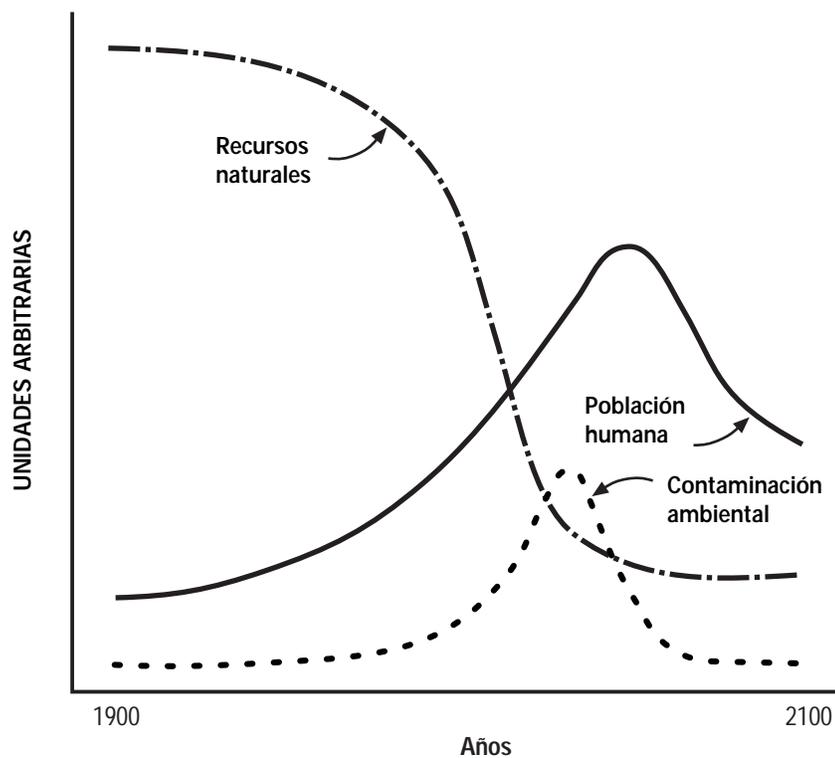
Actividad 1

Relacionar crecimiento poblacional con el uso de recursos y acumulación de desechos.

Ejemplo

- En el siguiente gráfico se presentan datos sobre el crecimiento de la población humana en función del tiempo, junto con el consumo de cobre y aumento de la contaminación. Los estudiantes deben notar la relación entre estos parámetros y establecer una discusión que analice otros factores adicionales al crecimiento poblacional que han determinado mayores índices de deterioro ambiental, tales como el avance tecnológico y los peligros del uso indiscriminado de recursos en las sociedades de consumo.

Figura 26: Gráfico de crecimiento poblacional, uso de recursos y acumulación de desechos



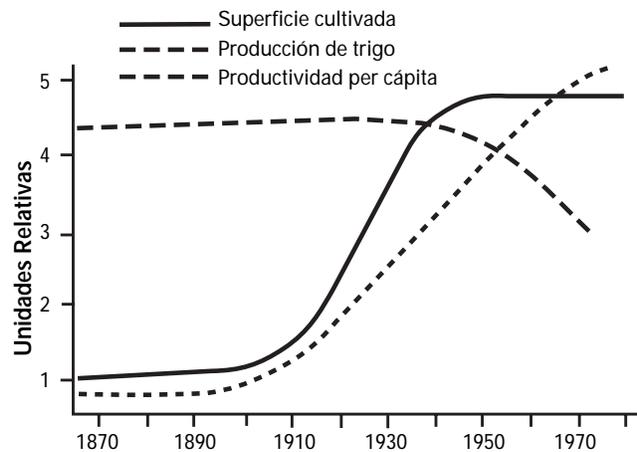
Actividad 2

Examinar datos sobre aumento de producción agrícola y adelantos biotecnológicos que aumentan la producción primaria no contaminante.

Ejemplo

- El docente provee de datos como los que aparecen en el siguiente recuadro para lectura y discusión en el curso. Se guía la discusión para apreciar por qué los mayores esfuerzos se han canalizado al aumento de la productividad primaria, aplicando los conceptos previos sobre flujo de energía.

POBLACION HUMANA Y PRODUCTIVA				
País	Cultivo	Tasa anual de cambio de rendimientos	Tasa anual de cambio de población humana	Diferencia entre las dos columnas anteriores
Porcentaje %				
México	Trigo	3,3	3,1	+0,2
USA	"	2,7	1,7	+1,0
Canadá	"	2,3	2,2	+0,1
Francia	"	2,3	1,0	+1,3
Gran Bretaña	"	2,0	0,7	+1,3
Australia	"	1,5	2,2	-0,7
RFA	"	1,5	1,2	+0,3
Yugoslavia	"	1,2	1,1	+0,1
Argentina	"	1,0	1,7	-0,7
Chile	"	0,8	2,4	-1,6
Italia	"	0,8	0,5	+0,3
Sudáfrica	"	0,8	2,6	-1,8
Algeria	"	0,7	1,9	-1,2
Hungría	"	0,7	0,5	+0,2
Polonia	"	0,7	1,4	-0,7
India	"	0,6	2,2	-1,6
Pakistán	"	0,5	2,1	-1,6
España	"	0,2	1,0	-0,8
Bulgaria	"	0,1	0,9	-0,8
Turquía	"	0,1	2,9	-2,8
URSS	"	0,0	1,7	-1,7
Brasil	"	-0,1	3,1	-3,2
Tunisia	"	-1,1	1,7	-2,8
México	Maíz	1,8	3,1	-1,3
URSS	"	1,6	1,7	-0,1
Bulgaria	"	1,2	0,9	+0,3
España	"	1,1	1,0	+0,1
Colombia	"	0,7	2,2	-1,5
Hungría	"	0,4	0,5	-0,1
Argentina	"	0,3	1,7	-1,4
Brasil	"	-0,1	3,1	-3,2
Indonesia	"	-0,2	2,5	-2,3
Congo	"	-0,5	2,4	-2,9
Egipto	"	-0,7	2,5	-3,2
Turquía	"	-0,8	2,9	-3,7
Guatemala	"	-1,0	3,1	-4,1
Japón	Arroz	1,0	0,9	+0,1
China	"	"	"	"
Nacionalista	"	0,9	3,7	-2,8
Egipto	"	0,6	2,5	-1,7
Corea del Sur	"	0,7	2,9	-2,2
Brasil	"	0,5	3,1	-2,6
Tailandia	"	-0,3	3,0	-3,3



Superficie cultivada, producción y productividad per capita del trigo en Chile. A pesar del aumento en la producción se ha producido una disminución en la productividad per capita debido al aumento poblacional.

Datos sobre la tasa de cambio para la producción agrícola de trigo, maíz y arroz y para la población humana en varios países del mundo. Estos alimentos son los que aportan más calorías y nutrientes en el mundo. El aumento del rendimiento agrícola que se observa en la primera columna, obedece a cambios tecnológicos, como la aplicación de pesticidas e industrialización. Esto condujo a la llamada revolución verde hace 30 años. Apreciar las diferencias entre países industrializados y no-industrializados. Es claro que el crecimiento poblacional humano no está directamente relacionado con la disponibilidad de alimentos, en contraste con los animales. Por ejemplo, países con las mayores tasas de crecimiento poblacional muestran menor producción de granos. Nuevas tecnologías que aumentan la productividad mundial incluyen procedimientos de biotecnología, tales como el uso de cepas transgénicas de granos resistentes a pesticidas y climas extremos.

INDICACIONES AL DOCENTE:

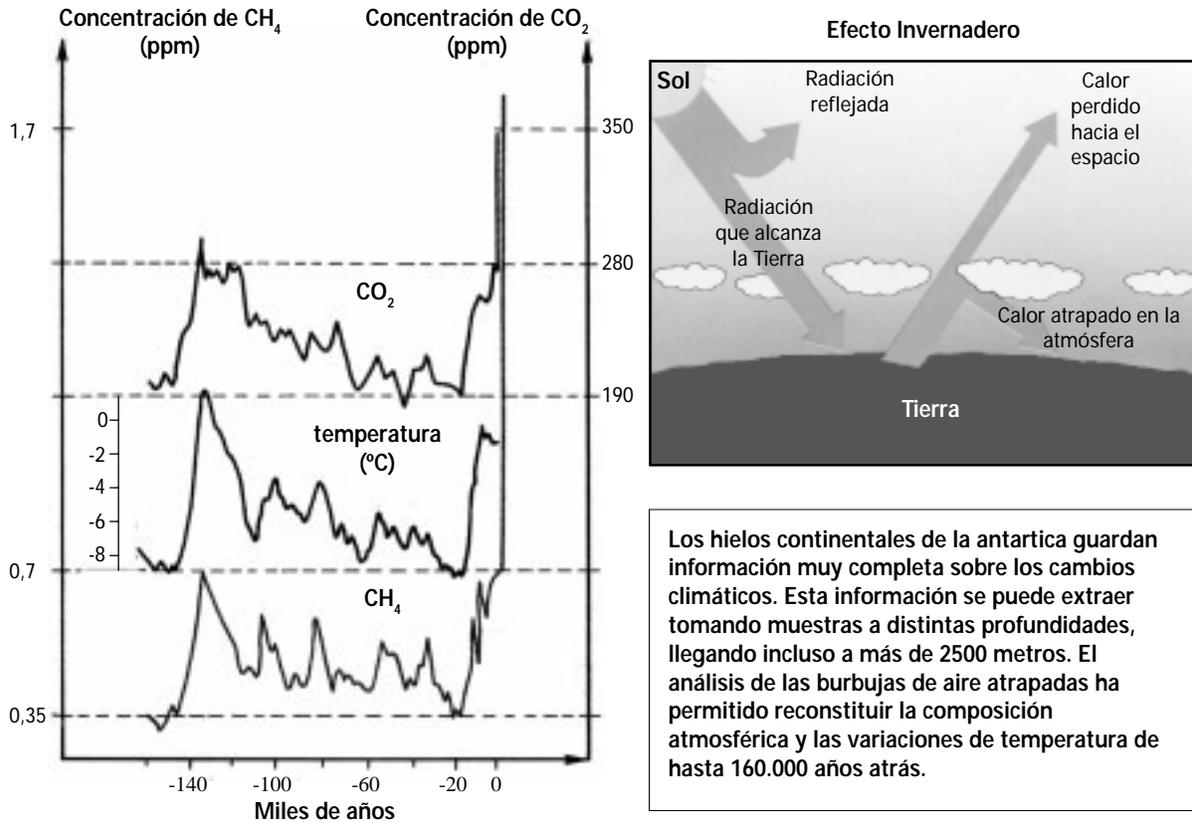
Conducir la discusión para mostrar la respuesta al aumento de los requerimientos poblacionales y explicar que no basta con aumentar la producción sino que concomitantemente se debe intentar reducir las pérdidas por descomposición en el traslado y almacenamiento y distribución de los productos perecibles.

Actividad 3**Explicar las causas del efecto invernadero considerando la actividad humana**

Ejemplo

- En los siguientes gráficos se muestra: a) el aumento de las temperaturas promedio de la atmósfera y del contenido de CO_2 ; b) el contenido de metano y CO_2 en hielos antárticos de hace 150.000 años. Con esta información, se debe guiar a los estudiantes a reconocer el CO_2 como principal responsable del efecto invernadero. Explicar que este efecto se debe a que la energía calórica tiene una longitud de onda que no le permite atravesar la capa de CO_2 , en cambio la radiación solar de onda corta que calienta la Tierra lo hace sin dificultad. Explicar que esta es una de las hipótesis pero que existen otras que no la atribuyen a la actividad humana, ya que los cálculos indican que el aumento de la temperatura en la Tierra comenzaron hace 30.000 años cuando la actividad humana debe haber sido mínima en términos de producción de CO_2 .

Figura 28: Efecto invernadero



Gas con efecto invernadero	Influencia (%)	Actividades humanas responsables de su liberación
Anhídrido carbónico (CO ₂)	55	Utilización de combustibles fósiles (petróleo, carbón). Deforestación masiva por incendios.
Metano (CH ₄)	15	Fermentación en pantanos, basurales y en el tubo digestivo de rumiantes.
Cloro-flúoro-carbonos (CFC)	21	Moléculas utilizadas en los aerosoles y en los circuitos de refrigeración.(refrigeradores, congeladores)
Oxidos de nitrógeno	4	Liberación por parte de bacterias en los suelos y aguas y también por combustiones diversas (automóviles, industrias)

Actividad 4

Examinar las características del bosque chileno y los factores que atentan contra su equilibrio.

Ejemplo

- Bajar información desde internet sobre el movimiento de protección del bosque nativo y analizar los videos disponibles sobre el bosque chileno y su riqueza de especies. Estos videos pueden obtenerse a través del Centro de Recursos del Aprendizaje (CRA) de su establecimiento. Discutir estos datos en términos del impacto de la actividad humana en estos sistemas ecológicos que son muy frágiles.

Actividad 5

Informarse y discutir la ley marco sobre el medio ambiente en Chile.

Ejemplo

- El docente provee fotocopias de la ley marco sobre el medio ambiente y los estudiantes extraen y clasifican los principales componentes. Analizar estos datos en relación al bosque chileno.

Evaluación

Objetivo de evaluación:

Verificar y aplicar conocimientos.

Ejemplo 1

Dado el siguiente ejemplo de cadena alimenticia, exprese en pirámides de productividad la energía contenida en cada nivel.

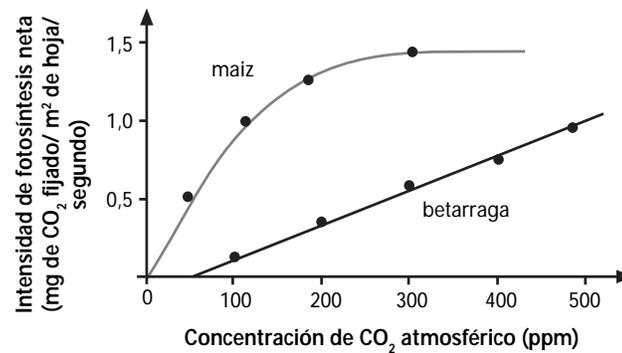
	Bosque (calorías/m ² /día)	Pradera (calorías/m ² /día)
Productores	5	30
Herbívoros	20	1100
Consumidores	3300	3300

Ejemplo 2

Explique por qué razón los carnívoros deben ser menos activos que los herbívoros. Base su respuesta en sus conocimientos sobre el comportamiento de la energía en las cadenas tróficas y, por lo tanto, en la energía disponible para cada nivel trófico.

Ejemplo 3

Interprete los resultados ilustrados en el siguiente gráfico en base a sus conocimientos sobre fotosíntesis.



Ejemplo 4

Dé un ejemplo de intervención humana en la naturaleza analizando sus consecuencias ecológicas.

Anexo 1: Evolución humana

El proceso de hominización

El hombre se distingue de los monos no sólo por sus características anatómicas sino también por numerosos aspectos de su comportamiento: marcha bípeda, la mano y la habilidad manual al servicio del espíritu, el cerebro y la riqueza del pensamiento, la vida en sociedad, el lenguaje articulado, la transmisión y el acrecentamiento de los conocimientos adquiridos de generación en generación, las creaciones abstractas y técnicas.

Los homínidos forman parte del grupo de primates al interior de la clase de los mamíferos. Este grupo, que tiene un origen muy antiguo, estaba ya diversificado hace ya alrededor de 50 millones de años. El ancestro común a las diferentes formas actuales, de los lemures a los monos y al hombre actual es por ahora desconocido. La línea de homínidos a la cual pertenecemos es un linaje de más de 15 millones de años pero sólo alrededor de los últimos 3 millones se consolidaron los rasgos estructurales esencialmente similares a los actuales.

Entre los criterios de hominización se encuentran como los más notables la adquisición de la posición bípeda y erguida, la cefalización, la manufactura de utensilios y la invención del lenguaje. El hombre es el único primate que adoptó el bipedismo como forma de locomoción, lo cual involucró diversas modificaciones anatómicas reflejadas en la anatomía de la pelvis, columna vertebral y fijación de la cabeza. El bipedismo significó la liberación del miembro anterior, de manera que la mano se hizo disponible para realizar diferentes tareas. La evolución del cerebro constituye una característica fundamental de la historia evolutiva de los homínidos. El cerebro anterior, extraordi-

nariamente desarrollado, recubre totalmente el resto del encéfalo, y la corteza cerebral plegada en circunvoluciones contiene un gran número de neuronas. Por otro lado, la aparición del lenguaje y de la herramienta parece estar estrechamente relacionadas.

Origen y evolución del género *Homo*: diversidad del linaje homínido

La historia evolutiva de los homínidos está marcada por la diversidad más que por una progresión lineal, al igual que numerosas otras familias animales. La evidencia fósil indica que varias especies de homínidos co-existieron alrededor de 1.8 millones de años atrás, en lo que hoy día es el norte de Kenia. Las diferentes especies de homínidos se desarrollaron y vivieron juntas, compitiendo, creciendo y cayendo. Sin embargo, el *Homo sapiens* emergió finalmente como el único homínido, apoderándose de la Tierra para sí mismo durante los últimos 25.000 años, libre de competencia.

Aunque los orígenes del *Homo sapiens* siguen siendo oscuros, la mayor parte de la evidencia apunta a su emergencia en África entre 150.000 y 200.000 años. El patrón de comportamiento más moderno apareció más tardíamente.

Hace 4.4 millones de años existió una especie llamada *Ardipithecus ramidus* que se ha considerado como un potencial homínido, aunque tenía varias características de simio y no se sabe a ciencia cierta si era bípedo. Se encontró en Aramis, Etiopía. Otro fósil apenas más joven, de alrededor de 4.2 millones de años se ha llamado *Australopithecus anamensis* y se encontró en el norte de Kenia. Este fósil es muy similar al *Australopithecus aferensis* de hace

3 millones de años. El *A. aferensis* tenía un cerebro pequeño y cara grande, bípedo, de no más de 1 metro de estatura. Esta especie, a la que pertenecía el famoso fósil llamado Lucy, al parecer co-existió con otra especie llamada *A. bahrelghazali*, de la cual recientemente se descubrió una mandíbula fósil en Chad. En sud-Africa, también se han reportado evidencias de otra especie homínido bípeda de hace 3.3 millones de años que habría co-existido con el *A. africanus*. El *A. africanus* es el primer fósil que se encontró (1924). Al parecer se extinguió hace 2 millones de años atrás. Otra especie de hace 2.5 millones de años llamada *A. garhi* ocuparía una posición intermedia entre el *A. aferensis* y un grupo mayor que incluye a los australopitecinos más recientes y al Homo. De esta misma edad es el primer representante del grupo de australopitecus robusto, llamado *Paranthropus aethiopicus*. Esta forma es mejor conocida como el fósil de 2.5 millones de años “calavera negra” encontrada al norte de Kenya. En el período entre 2 y 1.4 millones de años atrás, los grupos australopithecus robustos estaban representados en todo el este de Africa por el familiar *P. boisei*. En el sur de Africa, durante el período alrededor de 1.6 millones de años atrás, los robustos incluían también al distintivo *P. robustus* y posiblemente también a otra especie muy similar *P. crassidens*. No se sabe cuánto tiempo perduraron todas estas criaturas, pero es bastante claro que desde el principio el continente Africano alojó a múltiples tipos de homínidos.

La aparición del género Homo continuó este patrón de diversidad. Los fósiles Homo de hace 2.5 y 1.8 millones de años encontrados al este y sur de Africa probablemente eran más diversos de lo que suponemos. Dos especies, *H. rudolfensis* y *H. habilis*, co-existieron en Kenya, durante el período entre 1.9 y 1.8 millones de años, no sólo con *P. boisei* sino también con *H. ergaster*, que es el primer homínido de for-

ma esencialmente moderna. Por lo tanto, las evidencias indican que existieron al menos cuatro especies de homínidos compartiendo no sólo el mismo continente sino también la misma región.

El éxodo de los homínidos fuera de Africa dio oportunidad para nuevas diversificaciones. Probablemente el *H. ergaster* fue la que salió de Africa. Las evidencias sugieren que los homínidos alcanzaron China y Java hace unos 1.8 millones de años. En esta región emergió hace 1 millón de años el *Homo erectus*. En España se encontró otra especie denominada *Homo antecessor* de hace 800.000 años, que es el más viejo de los fósiles descubiertos en Europa. Mientras que fósiles de hace 600.000 años indican la aparición de otra especie llamada *Homo heidelbergensis* encontrada en Africa, Europa y posiblemente en China, con fósiles entre 500.000 y 200.000 años. De esta especie o de otra muy cercana surgieron los *Homo neanderthalensis*, una especie que ocupó Europa y el oeste de Asia entre unos 200.000 y 30.000 años atrás.

Los homínidos que presentan una forma similar a la actual habrían emergido en Africa cerca de 200.000 años atrás. Co-existieron con otros homínidos por un largo tiempo antes de transformarse en la especie única de nuestra familia sobre la Tierra. Hasta hace unos 30.000 años, se sobrepusieron junto con los neanderthalensis en Europa y en Levante. Pueden haber sido también contemporáneos con el *H. erectus*, que vivía en Java.

Todo esto indica que durante los últimos 5 millones de años han surgido de manera regular numerosas nuevas especies de homínidos que han competido, co-existido, y colonizado nuevos ambientes, siendo exitosas o extinguiéndose por razones desconocidas. Los datos son insuficientes para conocer cómo se desarrolló esta dramática historia de innovación e interacción. Sin embargo, se ha hecho eviden-

te que nuestra especie actual, lejos de ser el pináculo del árbol evolutivo de los homínidos, es simplemente una más de sus múltiples ramas terminales.

Controversias sobre los neandertales y humanos modernos

Los neandertales (o Neanderthals), cuyo nombre se debe al valle en Alemania donde fueron descubiertos sus primeros fósiles, ocuparon Europa y el oeste de Asia por más de 200.000 años. Eran 30% más grandes que el promedio humano moderno y de poderosa musculatura. Estos homínidos, que tenían un cerebro grande, batallaron y sobrevivieron a los fríos de la última época glacial y a los innumerables peligros de la era prehistórica. Sin embargo, hoy ya no existen más. Se extinguieron hace 30.000 años. Los científicos aún debaten sobre quiénes eran, cómo vivían, qué tipo de interacción tuvieron con el *H.sapiens*, y qué les pasó exactamente. Antes de desaparecer coexistieron durante miles de años con el *H.sapiens*. La polémica aún no se ha resuelto.

Una de las cuestiones que se debaten es si los Neandertales fueron una raza de antiguos humanos o *Homo sapiens* arcaicos, dentro del rango de variación de las poblaciones humanas, contribuyendo al pool de genes humanos, o si representaron una especie distinta y separada de la especie humana. Por un lado, el hallazgo reciente de fósiles que parecen mosaicos de caracteres pertenecientes al *Homo sapiens* y a los neandertales sugiere que estos grupos se mezclaron genéticamente durante el período en que co-existieron. Por otro lado, las evidencias provenientes del examen del DNA mitocondrial extraído de un hueso fósil de un espécimen Neandertal sugiere que no hubo mezcla. El análisis del DNA indicaría que a partir de un ancestro común el *Homo sapiens* y el *Homo neanderthalensis* divergieron hace unos

600.000 años. Mientras que el humano y el chimpancé divergieron hace unos 4 millones de años.

A los Neanderthalenses que vivieron en Israel hace unos 200.000 años se les unieron homínidos de formas más modernas hace 100.000 años. Lo que resulta muy notable es el hecho que los sitios y los utensilios que dejaron estos dos grupos homínidos son esencialmente idénticos. Esto sugiere un comportamiento muy similar a pesar de sus diferencias anatómicas. Al parecer, compartieron el ambiente en el Levante. En cambio, la situación en Europa fue completamente diferente. Los sitios que aparecen más tempranamente ocupados por los *Homo sapiens* datan aquí de sólo 40.000 años atrás. Luego de 10.000 años de coexistencia en esta región, desaparecieron los Neandertales. En Levante, la co-existencia cesó después de 60.000 años, casi al mismo tiempo que las herramientas características del Paleolítico superior empezaron a aparecer. Hace 40.000 años atrás, los neandertales del Levante fueron reemplazados enteramente por el *H.sapiens*.

Es significativo el hecho que los *H.sapiens* que invadieron Europa llevaban con ellos los signos de una exquisita sensibilidad, sin precedentes y completamente desarrollada. No solamente mostraban una tecnología superior en el tratamiento de los utensilios de piedra (Paleolítico superior), sino que también hacían herramientas de hueso, con gran sensibilidad en el tratamiento del material. Aun más significativo es que trajeron consigo arte, en la forma de tallados, grabados y pinturas rupestres impresionantes; mantenían un registro en placas de hueso y piedra; hacían música con instrumentos de viento; manufacturaban sofisticados adornos; ofrecían a sus muertos entierros elaborados, acompañados de bienes diversos, que manifestaban una preocupación por la estratificación social, puesto que no todas las tumbas

tenían la misma riqueza de objetos; los sitios donde habitaban tenían una alta organización, mostrando evidencias de sofisticados medios de caza y pesca. El patrón de un avance tecnológico intermitente fue reemplazado por uno de constante desarrollo y refinamiento. Claramente, este grupo eran los humanos actuales.

En todos estos aspectos, se piensa que el grupo homínido más semejante al actual, que marcó la época temprana del Paleolítico superior, contrastaba dramáticamente con los Neandertales. Sin embargo, en algunos sitios se han encontrado evidencias que abren gran debate sobre la cultura de los neandertales y su mezcla con el *Homo sapiens*, aunque no existen evidencias claras sobre el tipo de interacciones que los dos grupos establecieron. Algunos piensan que los encuentros no fueron propicios para los neandertales puesto que ellos desaparecieron rápidamente, en cambio la población del *H.sapiens* prosperó notablemente. Otros piensan que simplemente su fenotipo se diluyó por la mayor población de los *Homo sapiens*. En algunos sitios de Europa se han encontrado fósiles de neandertales de alrededor de 28.000 años que difieren de los neandertales más antiguos y sugieren una mezcla con el grupo de homínidos modernos. El más notable es el esqueleto fósil de un niño encontrado en Portugal, llamado Lagar Velho-1, enterrado hace más de 25.000 años. Al principio se pensó que se trataba de los primeros homínidos modernos pero luego se apreció que tenía varios rasgos afines con los Neandertal. Este ejemplar parece exhibir un complejo mosaico de rasgos de neandertales y de homínidos modernos. Se ha concluido que esa amalgama de caracteres debe haber resultado de una mezcla entre neandertales Ibéricos y los primeros humanos modernos. En efecto, el esqueleto es de hace 25.000 años atrás en circunstancias que los neandertales habrían desaparecido varios milenios antes. Por lo tanto, su anatomía refle-

ja una verdadera mezcla de estas poblaciones durante su coexistencia.

Además, se han encontrado evidencias que denotan un comportamiento de los neandertales cercano al de los *Homo sapiens*, tanto en la manufactura como en el uso de objetos simbólicos, creados para adornar el cuerpo, tal como se observa en sociedades tradicionales. Las culturas atribuidas a los neandertales más tardíos incluyen la Chatelperronian, cuyos principales exponentes se encontraron en una cueva al norte y centro de Francia llamada gruta de Renne, y la Uluzzian en Italia. Todo esto parece sugerir que el comportamiento homínido moderno podría haber emergido en diferentes regiones y en diferentes grupos. Sin embargo, la discusión argumenta que probablemente los neandertales sólo incorporaron una parte de los procedimientos de los homínidos más modernos pertenecientes a una cultura llamada Aurignaciana. El debate no se ha solucionado. Si los neandertales fueron o no capaces de crear una cultura de símbolos y un lenguaje similar al del *Homo sapiens* sigue siendo un misterio, como también lo es su extinción.

Innovaciones tecnológicas en los homínidos

Hace 2.5 millones de años los homínidos inventaron la primera herramienta, simples piedras con un filo hecho a propósito. Probablemente inventada por un australopitecino. Esta innovación representa un enorme salto cognitivo y tuvo profundas consecuencias de largo alcance para los homínidos. También inauguró un patrón de cambio tecnológico altamente intermitente. Tomó casi un millón de años antes de que apareciera el siguiente salto tecnológico, que fue la creación del hacha de mano, cerca de 1.5 millones de años atrás, inventada probablemente por el *Homo ergaster*. Estos eran implementos simétricos, manufacturados a partir de piedras de forma parecida al producto final.

Fueron los primeros instrumentos que reflejan una especie de “templado mental”, un diseño que pudo haber surgido en la mente del inventor y que luego se reprodujo en la mente del que manufacturó otras similares. Este templado se mantuvo prácticamente sin cambios por casi otro millón de años o más, hasta que apareció la invención de herramientas talladas, más elaboradas. La herramienta se tallaba hasta su forma casi final, de manera que podía ser desprendida con un simple golpe de su núcleo de piedra. El implemento tenía mejor terminación. Esta innovación fue introducida por los *H. heidelbergensis* o por algún pariente de ellos.

Entre los cultores más elaborados de estos instrumentos de mayor elaboración estuvieron los *H. neanderthalensis*, que tenían un cerebro de gran tamaño, cara de gran superficie y cráneo relativamente aplanado. Ocuparon Europa y el oeste de Asia hasta hace 30.000 años, dejando un excelente registro de ellos mismos, tal como lo hacen los humanos actuales. La habilidad para trabajar la piedra era impresionante en los Neandertales. Sin embargo, sus trabajos eran algo estereotipados y rara vez utilizaron otros materiales que no fueran piedras. No existe evidencia sustancial sobre el uso de simbolismos en su conducta o en los objetos que manufacturaban, al menos no antes que se produjeran contactos con los grupos de humanos de formas modernas. Los entierros de sus muertos pueden haber tenido razones más bien mundanas, como las de evitar las incursiones de las hienas. De hecho sus entierros no se acompañaban de bienes u otros símbolos que reflejaran rituales o creencias de algo que continuara después de la muerte. Al parecer los neandertales no poseían las chispas de creatividad que distinguen a los *Homo sapiens sapiens*.

Lenguaje y evolución

En especies sociales se ha considerado que un grupo social puede ser blanco de la selección natural. Darwin aplicó este razonamiento a la especie humana en su “The Descent of Man”. La sobrevivencia y prosperidad de un grupo social depende en gran medida de la cooperación armoniosa entre los miembros del grupo. Este comportamiento puede estar basado en el altruismo. Este altruismo, al promover la sobrevivencia y prosperidad del grupo, también beneficia indirectamente la adaptación de los individuos que componen el grupo. El resultado sería que la selección natural favorece la conducta altruista. En años recientes se ha mostrado que la selección del altruismo es común en numerosas especies sociales.

La evolución desde los monos a los humanos ha involucrado tanto un incremento de las capacidades cognitivas generales como una competencia específica para el lenguaje. El aumento sostenido del tamaño del cerebro durante los últimos 2 millones de años sugiere que el aumento de las capacidades cognitivas también ocurrió durante este período.

La emergencia de formas modernas de conocimiento puede haber coincidido con el advenimiento del pensamiento simbólico. Algunos aspectos de la historia evolutiva hacen especular que una innovación genética menor podría haber ligado fortuitamente diversas funciones previamente establecidas por una serie acumulativa de cambios anatómicos y conductuales, desencadenando la creación de una potencialidad sin precedentes: el lenguaje. Los homínidos poseían la facultad de vocalizar muchos años antes de que surgiera el lenguaje articulado.

Es razonable suponer que la facultad que emergió y que determinó un cambio crucial en

los dominios conductuales de los humanos modernos fue la invención del lenguaje, que luego debe haber actuado como catalizador del desarrollo cultural. El lenguaje pudo tener su origen en señales que avisaran distintos tipos de peligro tal como se ve en primates actuales. En el desarrollo del lenguaje muy probablemente jugó un papel fundamental la sociabilidad de los homínidos. Podemos imaginarlos en formas de conducta aprendida, en las cuales la cooperación y coordinación social constituyó un ámbito donde la capacidad de hacer distinciones debe haberse ido fortaleciendo y ampliando, continua y recurrentemente, generando las condiciones para la aparición de la reflexión que da origen al lenguaje.

El lenguaje no es simplemente el medio por el cual expresamos nuestras ideas y experiencias sino que también es instrumental en el proceso de pensar. Antes de poder comunicarnos debemos tener algo que decir, y para pensar, tenemos que tener una representación del mundo en nuestra mente. Para manipular la imagen que nos hemos formado, es decir, para pensar requerimos una gramática mental.

El ser humano parece tener una competencia peculiar para el lenguaje, que no es meramente una extensión de la inteligencia general. Las siguientes razones inducen a pensar que la habilidad humana de aprender a hablar es una facultad especial.

1) Aprendemos a decir y entender un número indefinido de sentencias gramaticales y evitar un número aún mayor de sentencias no gramaticales. Por lo tanto no parece posible que el aprendizaje del lenguaje se base en un mecanismo de prueba y error. En cambio, lo que debemos aprender son las reglas de producción de sentencias gramaticales. Estas reglas son inconscientes. Aunque las aprendemos y las utilizamos somos incapaces de formularlas explícitamente, a menos que seamos lingüistas ex-

pertos. Es poco probable que tengamos esta facultad de manejar sin esfuerzo las reglas gramaticales a menos que estemos genéticamente predispuestos para hacerlo.

2) Las señales de entrada con las que un niño aprende a hablar son relativamente pobres. Luego de escuchar un número finito de palabras y frases, el niño aprende a construir un número enorme e indefinido de sentencias gramaticales. Esto significa que el niño aprende reglas y no simplemente un conjunto de frases. El niño logra hablar aprendiendo la estructura gramatical de una frase.

La evolución de la competencia lingüística involucra la adquisición de dos habilidades. La primera es un requerimiento tanto para el lenguaje y el pensamiento. Consiste en la capacidad de formarnos complejas representaciones del mundo en la mente. La segunda, más específica de la comunicación, es la capacidad de transformar esta representación del mundo en una secuencia lineal de símbolos. El hecho esencial del lenguaje es nuestra capacidad de decir un número indeterminadamente grande de frases con sentido. Al conocer la gramática humana podemos comprender mejor la diferencia entre los animales y los humanos que resultó de la evolución. La sintaxis es el orden secuencial de las palabras en el cual se transmiten mensajes con significado, determinado por su conexión y relación. En una frase de 10 palabras existen 3628800 maneras de ordenamientos secuenciales, pero sólo unos pocos son gramaticales. Es evidente que debemos poseer una receta inconsciente para construir frases.

La competencia lingüística, como muchas otras competencias y adaptaciones de órganos, podría haber evolucionado por selección natural. En las sociedades humanas el lenguaje constituye un segundo sistema heredable. Hace po-

sible la división del trabajo, y a través de los mitos y rituales, contribuye a unir grupos humanos. La principal ventaja adaptativa que esto debe haber conferido es una mejoría en las capacidades para la fabricación y uso de herramientas y en las habilidades sociales, especialmente en la expresión de conductas altruistas. Se ha relacionado la competencia en el lenguaje y la competencia en el uso de herramientas. Incluso parece haber habido un reforzamiento entre ambas competencias en nuestros ancestros.

El tiempo en que se originó el lenguaje y sus mecanismos son difíciles de discernir. Sin embargo, el aumento dramático en la inventiva de técnicas que vemos surgir durante los últimos 40.000 años se puede explicar mejor asumiendo que los estadios finales de la competencia lingüística emergieron también durante este tiempo.

Los humanos no sólo difieren de los primates en su competencia gramatical sino también por su capacidad de producir y percibir sonidos. La evolución humana requirió tanto cambios anatómicos como cambios en los mecanismos cerebrales concernientes con la producción y percepción del sonido. El descenso anatómico de la laringe en los humanos aumentó el rango de sonidos posibles que se pueden producir. No ha sido posible conocer el tiempo en que esto ocurrió porque el cartílago que informa sobre esta posición de la laringe rara vez forma fósil. Los humanos son capaces de producir y percibir segmentos de sonidos, aproximadamente equivalentes a las letras de un alfabeto, a una velocidad que asegura que no olvidemos el principio de la frase antes de terminarla. Esto implica cambios en la maquinaria cerebral en la evolución.

En consecuencia, la emergencia del lenguaje requirió en la evolución cambios en la anatomía, en el control motor, en la percepción de los sonidos y en la competencia gramatical.

El tiempo en que ocurrieron estos cambios es desconocido pero seguramente precedieron a la expansión del *Homo sapiens* en el mundo, puesto que prácticamente todas las poblaciones humanas se parecen al respecto. El origen del lenguaje puede considerarse una transición en la manera de codificar y transmitir información. Una criatura armada con habilidades de pensamiento y comunicación a través de símbolos es un competidor formidable, y no necesariamente uno completamente racional, para todas las otras formas de vida en el planeta, como deben haberlo experimentado incluso los Neandertales.

Fuentes Bibliográficas

- Evolución Humana. Spotorno, A.E. Elementos de Biología Celular y Genética. Editores: Spotorno, A.E. y Hoecker G. 2ª Edición. 1997.
- Origen Africano Reciente de los Humanos. Wilson, A. y Cann, R.L. Investigación y Ciencia, Junio 1992, páginas 9-13.
- Evolución Multiregional de los Humanos. Thorne, A.G. y Wolpoff, M.H. Investigación y Ciencia, Junio 1992, páginas 14-20.
- Early Hominid Fossils from Africa. Leakey, M y Walker, A. Scientific American, Junio 1997, páginas 60-65.
- Once we Were Not Alone. Tattersall, I. y Matternes, J.H. Scientific American, Enero 2000, páginas: 39-44.
- Who were the Neanthertals? Wong, K. Scientific Amer, Abril 2000, páginas: 78-87.
- The Atlas of Lenguajes. Varios autores. Editorial Fact of Life 1996
- El Arbol del Conocimiento. Maturana, H., Varela, F., Editorial Universitaria 1986.

Anexo 2: Bibliografía

- Biología. Villée, C. A., e. P. Solomon, C. E. Martin, D. W. Martin, L. R. Berg, and P. W. Davis. 1992. Interamericana-Mc Graw-Hill. 2º Edición.
- Invitación a la Biología. Curtis, H., and N. S. Barnes. 1995. Editorial Médica Panamericana, S.A. 5º Edición
- National Science Education Standards. National Academy of Sciences, U. 1996. N. A. Press, editor.
- El origen de las especies. Charles Darwin. 1983. Ediciones del Serbal.
- Teorías de Evolución. Spotorno, A.E. Elementos de Biología Celular y Genética. Editores: Spotorno, A.E. y Hoecker G. 2º Edición. 1997.
- Evolución Humana. Spotorno, A.E. Elementos de Biología Celular y Genética. Editores: Spotorno, A.E. y Hoecker G. 2º Edición. 1997.
- Darwin's influence on modern thought. Mayr, E. Scientific American. Julio 2000 páginas: 78-83.
- Teaching about evolution and the nature of science National Academy of Sciences, U. 1998. N. A. Press, editor.
- En el Principio...Horgan, J. Investigación y Ciencia. 1991. Volumen: 175; páginas: 80-90.
- Uprooting the Tree of Life. Ford Doolite, W. Scientific American, Febrero 2000, páginas 72-77.
- Origen Africano Reciente de los Humanos. Wilson, A. y Cann, R.L. Investigación y Ciencia, Junio 1992, páginas 9-13.
- Evolución Multiregional de los Humanos. Thorne, A.G. y Wolpoff, M.H. Investigación y Ciencia, Junio 1992, páginas 14-20.
- De Africa ¿Unay otra vez ? Tattersall, I. Investigación y Ciencia, Junio 1997, páginas 20-28.

Sitios web direcciones electrónicas

Temas biológicos generales:

<http://www.sciam.com>

Temas de ecología y medio ambiente:

<http://web.interactiva.cl/~ehajek>

En este sitio se encuentra todo tipo de información sobre ecología, problemas de contaminación, recursos naturales y población humana, especialmente referido a Chile. Además, tiene un grupo de discusión en estas áreas donde se pueden formular preguntas para ser respondidas por expertos.

Tema evolución:

Nombre:

Enter Evolution. Theory and History

Dirección: <http://www.ucmp.berkeley.edu/history/evolution.html>

Este sitio entrega una visión amplia y actualizada de la historia de las teorías de la evolución orgánica (etapa predarwiniana, darwiniana y neodarwiniana). Con enlace a sitios sobre Cladística, Paleontología de sauridos y el origen del vuelo en los vertebrados.

Nombre:

Journey into Phylogenetic Systematics

Dirección: <http://www.ucmp.berkeley.edu/clad/clad4.html>

Importante introducción a los aspectos fundamentales de la cladística moderna. Incluye un Glosario, revisión de las herramientas metodológicas de la sistemática filogenética y discute las consecuencias e importancia de esta disciplina para otras áreas de la biología evolutiva.

Nombre:

National History Museum, UK

Dirección:

<http://www.nhm.ac.uk/>

Sitio oficial del Museo de Historia Natural del Reino Unido. Uno de los mayores museos del mundo dedicados a la extensión e investigación de la evolución biológica. De especial interés para tomar contacto con los encargados de las colecciones de especímenes, y solicitar información on-line sobre los materiales de interés. Ofrece numerosas páginas de visita a distancia, incluidas representaciones tridimensionales de los objetos expuestos (ver por ejemplo, sobre fósiles en realidad virtual <http://www.nhm.ac.uk/museum/tempexhib/VRML/index.html>).

Nombre:

Introduction to Evolutionary Biology. A “The Talks Origin Archive”

Dirección:

<http://www.talkorigins.org/faqs/faq-intro-to-biology.html>

Una de las mejores revisiones sobre la visión “oficial” de la Teoría Sintética de la Evolución o Neodarwinismo. Especialmente recomendada para iniciar el estudio de los tópicos tratados en las sesiones sobre evolución de este curso, (selección natural, mecanismos que aumentan la variabilidad genética de las poblaciones naturales, factores que alteran el equilibrio de Hardy - Weinberg, etc.).

Nombre:**Morphometrics at SUNY Stony Brook, USA****Dirección:****<http://www.life.bio.sunysb.edu/morph/>**

Entrega una completa revisión de las principales técnicas y herramientas metodológicas de la morfometría geométrica aplicada al análisis de la evolución de la forma de las estructuras biológicas. Especialmente recomendado para aquellos que se interesan por conocer una visión actualizada de la “taxonomía numérica” o “fenética”. Todos los programas computacionales para el análisis de estructuras biológicas en dos direcciones es de libre distribución.