



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO**

**FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES FILOSÓFICAS
FACULTAD DE CIENCIAS
DIRECCIÓN GENERAL DE DIVULGACIÓN DE LA CIENCIA**



**EL ÁRBOL FILOGENÉTICO COMO METÁFORA
EN LA COMUNICACIÓN DE LA CIENCIA**



**TESIS
QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
DOCTORA EN FILOSOFÍA DE LA CIENCIA
PRESENTA**

M. EN C. ERICA TORRENS ROJAS

DIRECTORA: DRA. ANA ROSA BARAHONA ECHEVERRÍA

FEBRERO DE 2010





Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Autorizo a la Dirección General de Bibliotecas de la UNAM a difundir en formato electrónico e impreso el contenido de mi trabajo recepcional.

NOMBRE: ERICA TORRENS RAJAS

FECHA: 5 DE FEBRERO DE 2010

FIRMA: Erica Torrens

*A mi hijo Ian,
a mi esposo James
y a mis padres Hugo y María*

Agradecimientos

La Universidad Nacional Autónoma de México ha sido mi *alma máter* desde que tengo memoria. Además de haberme nutrido intelectualmente durante la licenciatura, la maestría y el doctorado, me ha brindado numerosas oportunidades como cursos de verano, campeonatos de canotaje, diversas clases y cursos, así como espacios de esparcimiento. Por ello le agradezco especialmente, pues mi vida sería muy distinta si hubiera cursado mis estudios en otra institución.

Agradezco de manera particular al Laboratorio de Estudios Sociales de la Ciencia y la Tecnología que dirigen las Doctoras Ana Barahona y Edna Suárez en la Facultad de Ciencias de la UNAM. En este lugar además de haber encontrado mi vocación académica, he conocido a personas maravillosas. En primer lugar a mi directora de tesis, Ana Barahona, quien también me dio la oportunidad de mezclar mis intereses por la biología y por la cultura griega en el desarrollo de mi proyecto de licenciatura. Le agradezco su apoyo, su tiempo, sus conocimientos y también por la libertad para explorar y proponer ideas a mi propio ritmo, lo cual fue invaluable justo durante el periodo de doctorado, en el cual decidí tener un hijo.

Quiero agradecer también a Edna Suárez por sus valiosas observaciones y sugerencias para la culminación de este trabajo, y a los demás miembros de este laboratorio, Carlos Ochoa, Carlos Guevara y Alicia Villeda, quienes además de colegas son compañeros siempre dispuestos a prestar un oído para ideas de todo tipo.

Muy especialmente agradezco a la Dra. Carmen Sánchez. Con ella mantuve mis primeras pláticas sobre un doctorado en comunicación de la ciencia, y gracias a ellas surgió la idea de este interesante proyecto. Además, me brindó de manera generosa su tiempo, sus conocimientos y numerosas oportunidades como la escritura de un libro de texto y la participación en el diseño de la sala de evolución de UNIVERSUM.

Agradezco al Dr. Jorge Elorente Bousquet por el interés demostrado por este trabajo, por dedicarle un tiempo generoso y por agradecerlo con sus atinadas observaciones, numerosas precisiones y sugerencias que lo llevaron por buen camino.

A Ana María Sánchez Mora le agradezco en primer lugar por haberme mostrado el camino de la divulgación de la ciencia en México, especialmente en el Posgrado en Filosofía de la Ciencia de la UNAM en un momento de incertidumbre para mi trayectoria académica. Si no hubiera sido por ella no se dónde habría realizado el doctorado, y también por haber mostrado gran interés por este proyecto y haber hecho observaciones muy valiosas para su culminación.

Gracias al convenio Alemania-México (PROALMEX CONACYT/DAAD) y al proyecto de investigación "Evolución y herencia: genética y epigenética" coordinado por las Dras. Ana Barahona, Edna Suárez y el Dr. Hans-Jörg Rheinberger (Director del Departamento III del Instituto Max Planck de Historia de la Ciencia de Berlín), tuve la oportunidad de realizar dos estancias académicas en el MPIWG (Max Planck Institute für Wissenschaftsgeschichte) de un mes de duración cada una en 2007 y 2009. Estas estancias fueron invaluable para el desarrollo de este proyecto puesto que me permitieron el acceso a diversas fuentes de información tanto bibliográfica como académica. Agradezco al Dr. Rheinberger por su hospitalidad y por el tiempo para discutir algunos aspectos de mi trabajo, así como a otros miembros del MPIWG por sus apreciables observaciones y la ayuda brindada, especialmente a Birgita Malinckrodt y Christina Brandt.

Quisiera agradecer también a la Dirección General de Estudios de Posgrado de la UNAM, una beca para realizar mis estudios de doctorado durante el periodo (2006-2009), así como la beca para el fomento de la graduación una vez que concluí con las actividades académicas.

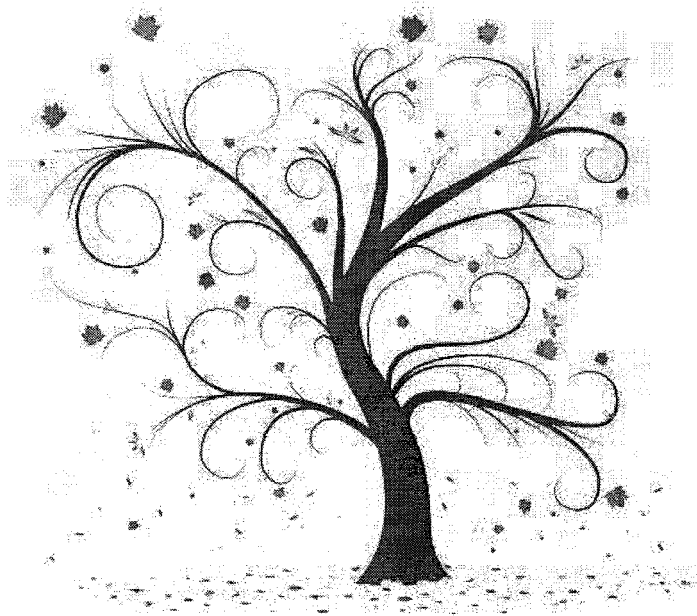
Asimismo agradezco al Posgrado en Filosofía de la Ciencia por el apoyo económico que recibí para presentar avances de mi investigación doctoral en el congreso bianual de la International Society for the History, Philosophy and Social Studies of Biology (Exeter, 2007) y para tomar un curso que resultó esencial para mi trabajo titulado *Visualizing Nature* en Ischia, Italia del 3 al 10 de julio de 2007.

De forma especial le doy gracias a mis padres, a Hugo Torrens, por sus valiosas observaciones en la escritura de esta tesis y sus ideas para la propuesta de mis árboles evolutivos y a María Rojas Argüelles por su ayuda con las correcciones y con la edición final de esta tesis, pues sin ella no haría visto la luz en la manera que lo hizo.

A mi esposo James Morris por todo el aliento y apoyo para concluir mi doctorado, así como por la realización de algunas de las imágenes de la propuesta.

A Aldi de Orizabal por su generoso tiempo para hacer otras de las ilustraciones de la propuesta del presente trabajo.

Finalmente agradezco a John Paul Skinner del *Bermuda Institute of Ocean Sciences* por haberme apoyado en una estancia de investigación durante el 2005, en la cual definí el rumbo de mi trayectoria académica al haber encontrado mi vocación como divulgadora.



Índice de contenidos

PRÓLOGO	15
INTRODUCCIÓN	17
OBJETIVOS	25
METODO	27
CAPÍTULO I: LAS METÁFORAS EN LA CIENCIA Y EN SU COMUNICACIÓN	37
1.1 Introducción	38
1.1.1 Retórica de la Ciencia	38
1.1.2 La ciencia está llena de ejemplos del uso de la retórica	40
1.2 Las metáforas en la ciencia	42
1.2.1 El papel de la metáfora en la ciencia	44
1.2.2 Una apología de la metáfora en la ciencia	45
1.2.3 Últimas consideraciones sobre la metáfora	47
1.2.4 La metáfora del árbol evolutivo	48
1.3 Las metáforas en la comunicación y en la enseñanza de la ciencia	50
1.3.1 Las metáforas en la enseñanza de la ciencia	51
1.3.2 ¿De qué manera contribuyen las metáforas en el proceso de enseñanza-aprendizaje?	52
1.3.3 Problemática del uso de analogías y metáforas en la comunicación de la ciencia	54
1.4 Epílogo: un lugar para los modelos, ¿son éstos un tipo especial de metáforas?	54
CAPÍTULO II: EL PAPEL DE LA IMAGEN EN LA COMUNICACIÓN DE LA CIENCIA, PRINCIPALMENTE DE LA EVOLUCIÓN	59
2.1 Introducción	60
2.1.1 Fotografías, diagramas, dibujos y otras imágenes	63
2.1.2 El lenguaje de las imágenes no es universal	65
2.2 La importancia de las imágenes en la Biología.	67
2.3 Describir o construir la realidad	74
2.3.1 ¿Qué papel juegan las imágenes y las metáforas en esta postura?	75
2.4 La imagen en la comunicación de la ciencia	77
2.4.1 Enseñar con imágenes	77
2.4.2 Las imágenes también tienen un lado negativo	78



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

2.4.3 La importancia particular de la imagen del árbol de la vida	87
2.5 Epílogo: La importancia de las imágenes en los Museos de Historia Natural	92
2.5.1 El tiempo no se detiene y las imágenes tampoco deberían hacerlo	93
CAPÍTULO III: LA IMPORTANCIA DEL ÁRBOL DE DARWIN	97
3.1 Introducción	98
3.2 Las posibles fuentes de inspiración de Darwin y el significado de su árbol	102
3.2.1 ¿Árbol o coral evolutivo? La fuente de la inspiración de Darwin	108
3.3 Las raíces del árbol: Haeckel y sus filogenias	118
3.4 Genealogía vs filogenia	124
3.6 Epílogo: Entonces... ¿quién está relacionado con quién?	
O el nacimiento de la sistemática filogenética	128
CAPÍTULO IV: LA METÁFORA DEL ÁRBOL EVOLUTIVO Y SU PROBLEMÁTICA	133
4.1 Introducción	134
4.1.1 ¿Por qué es importante la evolución como teoría y como hecho?	134
4.2 Las dificultades más significativas que se dan cuando se enseña y se aprende evolución	136
4.3 ¿Qué es el árbol de la vida?	138
4.4 Todas las filogenias son árboles, pero no todos los árboles son filogenias	139
4.5 ¿Cuándo un árbol es una filogenia?	148
4.6 ¿Qué se necesita saber para comprender un árbol evolutivo?	149
4.7 Taxones y su relación con las filogenias	159
4.8 De semiótica y convenciones: el árbol de la vida y su problemática	161
4.9 Epílogo: Últimas consideraciones importantes para comprender una filogenia	168
4.9.1 ¿Intermedio o ancestro?	170
CAPÍTULO V: CULTURAS DE REPRESENTACIÓN: MUSEOS DE HISTORIA NATURAL	177
5.1 Introducción	178
5.2 La teoría de la evolución y los museos de historia natural	179
5.3 La construcción de significado en los museos de historia natural	184

CAPÍTULO VI: LOS GRANDES MUSEOS DE HISTORIA NATURAL DEL MUNDO	197
6.1 Museo de Historia Natural de Londres	197
6.1.1 Origen e historia breve	197
6.1.2 El tema de la evolución y la cultura de representación	205
6.2 Museo de Historia Natural de Berlín	206
6.2.1 Origen e historia breve	206
6.2.2 El tema de la evolución y la cultura de representación	209
6.2.3 Análisis de la cultura de la representación	214
6.3 Museo de Historia Natural de Nueva York	216
6.3.1 Origen e historia breve	216
6.3.2 El tema de la evolución y la cultura de representación	219
6.3.2.1 Sala de origen de los vertebrados	219
6.3.2.2 Galería de los orígenes del hombre	221
6.3.3 La influencia del AMNH en la comunicación de la ciencia	222
6.4 Gran Galería de la Evolución de París	224
6.4.1 Origen e historia breve	224
6.4.2 El tema de la evolución y la cultura de representación	225
6.4.3 Análisis de la cultura de la representación	228
6.5 Museo de Historia Natural de la Ciudad de México	230
6.5.1 Origen e historia breve	230
6.5.2 El tema de la evolución y la cultura de representación	234
6.5.3 Análisis de la cultura de la representación	239
CAPÍTULO VII: ANÁLISIS DE IMÁGENES Y EXPOSICIONES	243
Galería de imágenes	244
Museum für Naturkunde, Berlín	244
British Natural History Museum, Londres	251
Grand Galerie de l'Evolution, París	254
American Natural History Museum, Nueva York	256
Museo de Historia Natural y Cultura Ambiental de la Ciudad de México	261
Museo de Historia Natural de Berlín	264
Museo de Historia Natural de Londres	265
Gran Galería de la evolución de París	265
Museo de Historia Natural de Nueva York	268

Resultados de los árboles evolutivos del Museo de Historia Natural y Cultura Ambiental de la Ciudad de México	270
7.1 Análisis de resultados	272

CAPÍTULO VIII: DISCUSIÓN 295

8.1 El árbol evolutivo como metáfora	295
8.1.1 El poder heurístico de la metáfora del árbol de la vida	297
8.1.2 La metáfora del árbol evolutivo en la actualidad	298
8.2 El árbol evolutivo como diagrama	302
8.2.1 El árbol evolutivo, ¿modelo, símbolo o ícono?	304
8.3 Museos de Historia Natural y exhibiciones sobre evolución	308
8.3.1 Árboles evolutivos en los museos de historia natural	316
8.4 El árbol filogenético en la divulgación de la ciencia	319
8.4.1 Confusiones, interpretaciones erróneas e ideas preconcebidas	319
8.4.1.1 De eslabones perdidos y ornitorrincos	325
8.4.1.2 Ideas erróneas o interpretaciones equivocadas más comunes que comete el público no especializado cuando se le presenta un árbol evolutivo	325
8.4.2 Otras consideraciones importantes sobre los cladogramas	331
8.4.3 Otras consideraciones importantes para diseñar un árbol adecuado para una audiencia diversa	332
8.4.4 Temas apropiados por grupo de edad sobre la teoría de la evolución	333

**CAPÍTULO IX: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES PARA EL DISEÑO
DE UN ÁRBOL EVOLUTIVO 337**

9.1 Sobre los árboles evolutivos	337
9.1.1 Los árboles evolutivos en la ciencia	337
9.1.2 Los árboles evolutivos como íconos, diagramas y modelos	339
9.1.3 Los árboles evolutivos como metáforas	340
9.2 Confusiones y problemas relacionados con la lectura de las filogenias	341
9.2.1 Confusiones epistemológicas	341
9.2.2 Confusiones relacionadas con el diseño	341
9.3 Sobre las exhibiciones de evolución visitadas en el presente trabajo y sus árboles filogenéticos	343
9.3.1 Museos de Historia Natural	343

9.4 Sobre los árboles evolutivos y los museos de ciencia: conclusiones y recomendaciones	346
------------------------------------------------------------------------------------------	-----

CAPÍTULO X: PROPUESTA PARA EL DISEÑO DE UN ÁRBOL EVOLUTIVO	351
-------------------------------------------------------------------	------------

Propuesta 1	352
-------------	-----

Propuesta 2	380
-------------	-----

BIBLIOGRAFÍA	383
--------------	-----

GLOSARIO	399
----------	-----

ÍNDICE DE FIGURAS Y CUADROS	403
-----------------------------	-----

Prólogo

“Es indispensable que en la educación básica se consolide el enfoque de la enseñanza de la ciencia, especialmente en lo que se refiere a desarrollar en los alumnos una mentalidad científica, escéptica y crítica, para que, a 150 años de la publicación de El Origen de las Especies de Charles Darwin, sus ideas —que revolucionaron la manera de entender y explicar el mundo natural— finalmente se diseminen, se comprendan a cabalidad y contribuyan a que los alumnos, futuros ciudadanos, se relacionen con su entorno con información, respeto y responsabilidad”.

Ana Barahona (*La Crónica de Hoy*, 2009)

Hace poco tuve un hijo. A las ocho semanas de embarazo pudimos escuchar su corazón y a la vista con un poco de imaginación se apreciaba el pequeñísimo embrión del tamaño de un grano de arroz. A las dieciséis semanas vimos sus brazos, los ojos, los pies y su enorme cabeza. Ya para la semana 31 teníamos que verlo por partes porque era demasiado grande para el ultrasonido.

Los maravillosos cambios que a partir de dos células formaron a la creatura más bonita que haya visto son resultado de la evolución. Nunca dejaré de asombrarme cómo se desarrolla un ser vivo a partir de tanto y a la vez, de tan poco. Toda la información necesaria para dar instrucciones sobre el destino final de las células se encuentra en su núcleo. Tú vas a ser una neurona, y tú un hepatocito, tú tienes que migrar hacia el exterior porque vas a ser parte de la piel...

Cuando comencé la carrera de biología no tenía en mente la evolución, tan solo me fascinaban las peculiaridades de los animales. Tampoco pensaba en la divulgación aunque admiraba a quienes hacían posible que la ciencia además de comprensible pudiera ser divertida. Ahora la evolución y la comunicación de la ciencia son mi vocación.

En realidad, en el mundo de la biología no hay escapatoria de la evolución. Cualquier singularidad del mundo vivo se relaciona con este hecho de la vida en la Tierra, no hay ninguna pregunta en esta ciencia que pueda ser respondida sin recurrir a la evolución. Esta se extiende desde las disciplinas que tratan generalidades, atraviesa las que se preocupan por particularidades y llega a aquellas de corte histórico, a todas las abraza porque les ofrece un marco explicativo. Es por ello que esta teoría es considerada como una de las más poderosas y profundas concebidas por el ser humano y como el pilar de la biología.

Además, actualmente la teoría evolutiva se encuentra en un momento fascinante porque es lo suficientemente sólida como para guiar investigaciones de todo tipo y brindar confianza, pero al mismo tiempo está poco desarrollada como para ofrecer cientos de incógnitas que mantienen ocupados a los científicos (Gould, 1989), pues aun quedan numerosas relaciones evolutivas que resolver, interpretar el origen y modificación de genes del desarrollo o identificar enfermedades emergentes, entre otras, pero más importante aún es que la teoría de la evolución provee de un riguroso marco de trabajo para guiar cada una de las disciplinas biológicas.

No obstante, la evolución no debe quedarse en el dominio científico. Debe encontrar su camino hasta los salones de clase, los museos, las revistas no



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

especializadas, los libros y todos los espacios posibles, porque no debe ser entendida solo por unos cuantos. Sin algún tipo de conocimiento evolutivo, resulta imposible comprender y sorprenderse por el mundo vivo. Nuestra propia naturaleza y origen, los millones de seres con los que compartimos el planeta y sus singularidades extraordinarias —diversos tamaños, adaptaciones a numerosos ambientes, soluciones ante los peligros de su entorno, etcétera— las enfermedades que nos amenazan, las oportunidades que tenemos delante.

“Enseñar ciencia es importante porque no saber los conocimientos científicos elementales nos condena a ser presas de la pseudociencia y de la ignorancia” (Barahona, 2009). Y qué mejor que fueran los mismos científicos los que se dedicaran a la divulgación. Cada vez que alguno se retuerce cuando escucha las explicaciones de Maussan o cada vez que se le revuelve el estómago cuando se habla de la mecánica cuántica en películas como *¿Y tú que sabes?!* O cada vez que se entera que un investigador japonés demostró científicamente que el agua transmite emociones, debería correr a tomar un papel y una pluma y explicarnos a todos por qué estas explicaciones resultan irresponsables y poco éticas. Saber un poco de ciencia nos defiende de la contaminación mediática en la que estamos inmersos, nos puede salvar de tomar malas elecciones en cuanto a salud, nos aporta un espíritu crítico y nos prepara a ser capaces de participar en la toma de decisiones. En pocas palabras, saber un poco de ciencia es liberador porque nos puede permitir escoger cómo actuar ante ciertas circunstancias y nos brinda la capacidad de discernir entre el adoctrinamiento, que invariablemente conduce al control social, y la libertad de pensamiento.

En el país que muchos como yo deseamos para vivir, la educación debería reflejar la idea de ser humano que tenemos como sociedad. Por ello la posibilidad de reducir el presupuesto para educación debería ser impensable; en ninguna circunstancia debería verse violentada la laicidad y tampoco la impartición de materias como civismo o filosofía y de temas como la evolución. No obstante, vivimos en un país lejos de nuestro ideal puesto que los gobernantes creen que no vale la pena educar a todos, no entienden que la ciencia, fuera de su posible utilidad es un fin en sí mismo. Es por ello que los científicos deberíamos seguir el ejemplo de Galileo. Muchos lo consideran como el primer autor de divulgación científica porque deseaba acercar la ciencia a la sociedad para que sus extravagantes ideas —que disentían del saber oficial— fueran propagadas. Por eso escribió algunas de sus obras principales en toscano y no en latín.

Mi parte en el intento por impulsar una sociedad con libertad moral se basa en contribuir con el entendimiento de la evolución, porque aunque en esencia es una teoría sencilla, resulta pobremente comprendida por la mayoría. Además, la evolución es la favorita de las embestidas de ciertos grupos que ven en ella una amenaza para sus doctrinas. Y si buscamos el ideal de una sociedad libre, resulta un buen punto de partida.

Introducción

"Las afinidades de todos los seres de la misma clase han sido a veces representadas por un gran árbol [...] Así como un brote da lugar a una planta y si esta es vigorosa, se ramificará y cubrirá todo de delgadas ramas, así creo yo que por generaciones ha ocurrido con el gran árbol de la vida que llena con sus ramas rotas y muertas la corteza de la tierra y cubre su superficie con sus hermosas y siempre nuevas ramificaciones."

Charles Darwin, 1859

Este proyecto de investigación aborda la importancia del árbol filogenético para la comprensión de la teoría de la evolución, al ser la representación más directa de las relaciones evolutivas que existen entre los organismos vivos y extintos de nuestro planeta. Su título entrelaza dos cosas muy distintas. Por un lado a las metáforas, que normalmente se piensa que pertenecen únicamente al campo de las humanidades y que nada tienen que ver con la ciencia y, por el otro, a los árboles filogenéticos que son una de las ideas más poderosas e importantes de la evolución y de la biología.

La teoría de la evolución es la piedra angular de la biología porque permite interpretar todas las singularidades del mundo vivo, por lo cual es el principio organizador fundamental de esta ciencia. Uno de sus conceptos esenciales desde que fue desarrollada por Charles Darwin, es que todas las especies vivas y extintas de nuestro planeta estamos relacionadas por una comunidad de descendencia (ancestría común) y hemos experimentado un proceso de divergencia a lo largo de la historia de la Tierra. Por lo tanto *monofilia* y *divergencia* son elementos cruciales de la evolución y, por ello, se trata de una teoría acerca de árboles filogenéticos.

En 1863, Hugh Falconer, célebre paleontólogo escocés escribió: "Más allá de todos sus contemporáneos, Darwin ha dado un impulso a la investigación filosófica de la más atrasada y oscura rama de las ciencias biológicas de su tiempo; ha puesto los cimientos de un gran edificio; pero no tiene por qué sorprenderse si, en el proceso de su construcción, la superestructura es alterada por sus sucesores, como en el *Duomo* de Milán, del románico a otro estilo arquitectónico"¹, a lo que Darwin respondió: "Volviendo a su conclusión, lejos de sorprenderme, estoy absolutamente seguro de que gran parte del *Origen* irá a la papelera, pero espero y deseo que el armazón aguante"² (Gould, 2004).

La correspondencia anterior ilustra dos puntos importantes. El primero es que la sutileza de las metáforas juega un papel fundamental para la explicación y recepción de conceptos, y la segunda, que las metáforas arquitectónicas empleadas por estos dos personajes tienen implicaciones diferentes. Por un lado, Falconer espera que lo que quede de la teoría original de Darwin en el futuro sean los cimientos, es decir, "que el principio de la descendencia con modificación perdure como fundamento para explicar el árbol genealógico de la vida" (Gould, 2004). Por el otro, Darwin desea que lo que quede sea el

¹ Falconer, H. (1868) *Paleontological Memoirs and Notes* (C. Murchinson, Ed) 2 volúmenes. Londres: Robert Hardwicke.

² Darwin, C. (1987) *The correspondence of Charles Darwin*. Vol 3. Cambridge University Press, Cambridge, UK.



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

armazón, es decir, la teoría de la selección natural como mecanismo explicativo principal del proceso evolutivo.

Ambos puntos —las metáforas y los conceptos esenciales de Darwin— son fundamentales para este trabajo. Por un lado, resulta innegable que el empleo de imágenes y metáforas juega un papel muy importante en la ciencia —tanto en el desarrollo de teorías como en la comunicación de ideas— y en el aprendizaje de conceptos científicos, y por otro —reafirmando más la metáfora de Falconer que la de Darwin, que la principal afirmación de la teoría de la evolución, desde que se publicó *El origen de las especies* y hasta la actualidad, es que los seres vivos, a pesar de su diversidad de formas y de modo de vida, son los productos de la descendencia con modificación a partir de ancestros comunes mediante el mecanismo de la selección natural.

Si mezclamos ambos puntos, el resultado es un análisis sobre la metáfora del árbol de la vida como iconografía favorita para ilustrar el proceso de origen y cambio de las especies.

Darwin comenzó a emplear la metáfora de un árbol para ilustrar su noción de descenso con modificación desde 1837 en su cuaderno de notas 'B' —el primero de una serie de cuadernos dedicados al tema de la transmutación de las especies. En este árbol, Darwin plasmó su idea acerca de las relaciones entre los mamíferos vivos y extintos de América del Sur.

Posteriormente, Darwin continuó desarrollando la noción de que las especies dan lugar a otras especies mediante los principios de variación y selección natural y dibujó varios diagramas, siendo el más importante por ser el más consistente y completo, el que se halla en *El Origen de las Especies*.

Para apreciar la importancia de este diagrama en forma de árbol, uno solo necesita saber que es la única imagen presente en las 600 páginas de un libro que le tomó casi dos décadas escribir. Con este diagrama, en las páginas 130-131 de *El Origen de las Especies*, Darwin logró ilustrar cómo la evolución puede producir durante cierto tiempo un mayor número de especies de las que había originalmente; al igual que un árbol tiende a ramificarse. Ilustra también cómo algunas líneas de especies o linajes se dividen con más frecuencia que otras y que algunas ramas mueren y se extinguen con el tiempo. Además, ninguna de las ramas es inferior o superior que otra, simplemente son diferentes y todas parten de la misma base implicando la idea crucial para el entendimiento de la evolución de *descendencia con modificación*.

Gracias a esta forma de representar los vínculos que subyacen al mundo natural, Darwin revolucionó el pensamiento biológico pues mostró que la *genealogía* o comunidad de descendencia era la respuesta a los patrones que se percibían en la naturaleza y que se mantenían como un misterio para aquellos que buscaban el orden o sistema natural para sus clasificaciones. El diagrama ramificado de Darwin vino a sustituir numerosos diagramas de afinidad que buscaban explicar las relaciones entre los seres vivos sin conseguirlo, tales como la gran cadena del ser que acomodaba la gran diversidad de animales y plantas —e incluso rocas— en unos cuantos escalones ordenados jerárquicamente o los de la escuela quinaria de sistématas que buscaban ilustrar la regularidad numérica de las afinidades naturales en esquemas con cinco elementos, entre otros (ver capítulo III).

Después de la publicación de *El Origen*, comenzaron a aparecer numerosos diagramas ramificados (Bowler, 1983; Llorente, 1990), hasta que el árbol de la vida se convirtió en una de las imágenes principales relacionadas con el fenómeno de la vida.

“Difícilmente cualquier tema complejo en biología puede ser más intrínsecamente espacial y por lo tanto más eminentemente pictórico que nuestra visión sobre las relaciones entre los organismos” (Gould, 1995). Esta es la razón por la que desde Darwin, los biólogos han empleado diagramas en forma de árboles o *filogenias* para describir tanto el patrón como la temporalidad de los eventos que han dado lugar a toda la biodiversidad de nuestro planeta y que el ‘árbol de la vida’ sea una de las metáforas pictóricas más poderosas de la biología.

Los árboles evolutivos tienen gran poder heurístico porque son la representación más directa de las relaciones genealógicas entre grupos de especies. El análisis filogenético es por tanto la base más sólida de las clasificaciones modernas —ya sean cladistas o evolutivas, de la biología evolutiva y de la sistemática³.

Es por ello que lograr un entendimiento acerca de las filogenias no solo es importante para adquirir un ‘pensamiento arbóreo’ (la noción de que todos los seres estamos relacionados por ancestría común, es decir, conceptualizar la evolución en términos de ramificaciones) y para entender el origen de toda la diversidad biológica de nuestro planeta, sino que además, de acuerdo con Cracraft & Donoghue (2000), la comprensión de las filogenias también resulta importante para apreciar el incremento en la salud humana gracias al entendimiento de las relaciones genéticas entre los organismos

³ Las clasificaciones cladistas no son las únicas; existen tres escuelas principales en sistemática, que difieren notablemente en su método. Estas son: **sistemática evolutiva**, encabezada principalmente por J. Huxley, G. G. Simpson y E. Mayr, la cual planteó por primera vez de un modo formal la manera de reconstruir filogenias y de representarlas en forma de clasificaciones. Esta escuela utiliza cuatro criterios principales: la discrepancia morfológica, el nicho adaptativo, la riqueza en especies y la monofilia mínima. La **Taxonomía numérica** (fenética) representada por R. R. Sokal y P. H. A. Sneath, la cual considera que la filogenia no puede conocerse de manera objetiva; por tanto, su finalidad no es la de reconstruir filogenias, sino la de establecer clasificaciones estables. Se basa en técnicas matemáticas que permiten establecer clasificaciones (fenogramas) fundadas en el grado de similitud global (‘overall similarity’). La escuela fenética toma el máximo número de caracteres disponibles sin preocuparse de su significado evolutivo, no diferenciando entre homología y homoplasia. Finalmente, la **Sistemática cladista** (Cladística), cuyo representante es Willi Hennig quien desarrolló el método cladista cuya idea central es la monofilia estricta; según los cladistas, un grupo es monofilético si comprende la especie ancestral de este grupo y todos sus descendientes, y solo ellos. El criterio de reconocimiento de un grupo monofilético es la identificación de al menos un carácter apomorfo compartido por todos los miembros del grupo y heredado de su especie ancestral. La cladística actual utiliza el análisis filogenético y el principio de parsimonia para elaborar esquemas filogenéticos (cladogramas). Su producto está siendo una revolución en las clasificaciones, que ya no se limitan a catalogar, sino que se convierten en explicación (filogenética) de la diversidad, y en la más rica fuente de hipótesis para todas las disciplinas experimentales de la Biología, e incluso ciencias relacionadas, como la Psicología o la Medicina. Estas tres escuelas han estado sujetas a controversia y aunque se estableció consenso entre los partidarios de la sistemática evolutiva puesto que los grupos de organismos no pueden establecerse más que sobre la base de caracteres comunes y exclusivos (las sinapomorfías), existen clasificaciones modernas, principalmente basadas en caracteres moleculares que son feneticistas o estadísticas y no filogenéticas. No obstante, en este trabajo se considera únicamente el cladismo, por ser la escuela con el método más sólido que resulta la base de la mayoría de los sistemas modernos de clasificación biológica y porque los árboles evolutivos presentes en los museos de historia natural son adaptaciones de árboles reconstruidos bajo dicho método.

patógenos, lo cual ha llevado a identificar organismos causantes de enfermedades, seguir la historia de las infecciones y predecir epidemias. Asimismo, las filogenias nos sirven para entender el impulso que ha ocurrido en la investigación en biología del desarrollo; para adquirir los conocimientos necesarios para evitar las amenazas que representan las especies invasoras y las plagas a la agricultura, así como para valorar los avances en cuanto al manejo de nuestros recursos naturales, entre otras cosas.

Sin embargo, aunque los árboles filogenéticos se pueden encontrar cada vez con más frecuencia en libros de texto y revistas tanto científicas como de divulgación, aunque comprenderlos no implica necesariamente conocer cómo se infieren las filogenias, y aunque para numerosos científicos y educadores resulta imposible entender realmente la evolución e integrar conceptos evolutivos si se carece de la habilidad para interpretarlos correctamente, se ha establecido (Bishop & Anderson, 1990; Diamond & Scotchmoor, 2006; Meir *et al.*, 2007) que la habilidad para leer filogenias resulta una tarea contraintuitiva y difícil de dominar. Una razón es que los árboles evolutivos son diagramas que, para comprenderse adecuadamente, no solo requieren de la habilidad para conceptualizar la evolución en términos de ramificaciones, sino también del conocimiento de ciertas convenciones biológicas y de algunos conceptos evolutivos que muchas veces resultan contraintuitivos. Esto ha ocasionado que estudiantes de los diferentes niveles, así como el público no especialista mantengan errores conceptuales significativos acerca de los árboles evolutivos y que tengan dificultades para interpretarlos y comprenderlos correctamente, lo cual se traduce en un pobre entendimiento de las relaciones evolutivas entre los seres vivos.

No obstante que los árboles evolutivos comunican los aspectos más importantes de las relaciones evolutivas entre los seres vivos, cuando son interpretados de forma incorrecta conducen a falsas inferencias de comunidad de descendencia y a otros malentendidos, el interés cardinal de este proyecto de investigación fue conocer cómo se emplea este diagrama en las exhibiciones de evolución de algunos museos de historia natural, puesto que estas instituciones tienen el potencial de contribuir, entre otras cosas, con la comprensión de conceptos y fundamentos científicos. El presente estudio sobre la representación de árboles o diagramas evolutivos en museos —cómo se representan y si incluyen algunas de las ideas fundamentales, pero también conceptos erróneos o que dificultan su interpretación— permitió establecer algunos puntos importantes:

1. La forma en la que cinco de los museos de historia natural más influyentes del mundo occidental presentan las relaciones evolutivas, poniendo especial atención en aquello que buscan enfatizar.
2. La utilidad de los diagramas evolutivos como elementos didácticos/pedagógicos para apoyar el proceso de enseñanza-aprendizaje de la teoría de la evolución⁴.
3. Si existen tendencias en la elección y diseño de diagramas evolutivos o si hay una filogenia 'icónica' empleada en los museos de historia natural.
4. Cuál es el linaje o taxón más representado y por qué.
5. Si existen errores conceptuales o factores que conduzcan a lecturas incorrectas en estas representaciones.

Además, en esta tesis se analizaron varios aspectos más de los diagramas ramificados en evolución: su historia, su cualidad como metáforas, su valor epistémico y

⁴ En este trabajo se tomaron en cuenta las ideas de la 'museología total' en cuanto a que los museos son espacios para producir estímulos que conduzcan al conocimiento, no tanto espacios productores del mismo.

heurístico tanto en la ciencia como en la comunicación de la misma, los problemas relacionados con su interpretación incorrecta y diversos aspectos de los museos de historia natural. Con todos estos elementos, el objetivo principal de este proyecto fue el desarrollo de una propuesta para el diseño de una exhibición sobre diagramas evolutivos en un museo de historia natural.

Existen muchos trabajos que han estudiado la importancia de los diferentes medios visuales en museos, los cuales han abordado las siguientes temáticas: El papel de los dioramas de hábitat: Ilusiones de ambientes en Museos de Historia Natural (Wonders, 1993); El papel del recurso multimedia en museos (Dyson *et al.*, 1995); La mirada que pasa: museos, educación pública y visualización de la evidencia científica (Podgorny, 2005); y Modos de ver y modos de presentación: antropología y museos del siglo XIX (Dias, 1997). Ninguno de estos estudios ha sido dedicado al análisis de la imagen del árbol filogenético. De forma que este trabajo pretende llenar ese vacío, para contribuir a elevar la calidad de los museos que presenten salas dedicadas a la evolución.

Por todo lo anterior, fomentar el conocimiento y la popularización, respecto a la comprensión de las relaciones evolutivas entre los organismos, mediante árboles filogenéticos, debería ser uno de los objetivos principales de cualquier exhibición sobre evolución.

Un poco sobre este trabajo

A continuación se resume el contenido de cada uno de los capítulos que conforman este trabajo. Como se explica posteriormente en la metodología, el lector encontrará siete capítulos como fruto de una investigación bibliográfica, los cuales abarcan temas tan variados como retórica de la ciencia, la importancia de la imagen en la ciencia, el empleo de dendrogramas y en particular de árboles filogenéticos como instrumentos para comprender hipótesis evolutivas y diferentes aspectos de los museos de historia natural, puesto que el estudio de los filogramas como medios para divulgar el conocimiento evolutivo resulta un tema complejo, que puede entrelazar gran variedad de enfoques. Por lo tanto se extiende una advertencia: se trata de una posible quimera con diferentes atributos combinados para lograr un estudio más rico y completo.

Enseguida se presenta un esquema capitular de los contenidos de esta disertación:

Capítulo I. Retórica de la Ciencia, el empleo de analogías y metáforas. Su importancia en el desarrollo de teorías científicas y como instrumentos de comunicación de la ciencia.

En este capítulo se investigó el tema de las metáforas en la ciencia y su importancia en la educación y comunicación de conceptos científicos. Se analizó el papel de la retórica en la ciencia, y su eficacia como instrumento didáctico a la hora de transmitir el conocimiento a un público amplio y finalmente se abordó de manera particular la metáfora del árbol de la vida y su relevancia dentro de la teoría de la evolución y como medio para comprenderla.

Capítulo II. La importancia de la imagen en la comunicación de la ciencia.

Este capítulo se enfocó en la importancia de la imagen en la ciencia. Primero se analizó la problemática epistemológica a la que se han enfrentado las imágenes, para posteriormente mostrar que resultan indispensables en aquellas explicaciones de la ciencia que involucran objetos o procesos no observables y que requieren del uso de modelos y diagramas

adecuados. Asimismo se estudió la importancia de la imagen del árbol de la vida, enfatizando los errores conceptuales que han provocado ciertas iconografías falsas de las relaciones evolutivas entre los organismos y sus partes, o de las especies y los grupos naturales a los que pertenecen.

Capítulo III. Análisis histórico de los árboles filogenéticos

El tercer capítulo recorre la historia del árbol de la vida. Comienza mencionando las formas en las que se representaba el orden natural antes de Darwin. Lamarck tiene un lugar importante en este capítulo por ser quien propuso por primera vez un diagrama de las relaciones evolutivas entre los organismos. Después se analizan las imágenes de Darwin, su relevancia para el desarrollo de la teoría de la descendencia con modificación y sus posibles fuentes de inspiración que varían de acuerdo con ciertos autores. El capítulo culmina en Haeckel por haber sido quien popularizó esta imagen como la representación estándar del principio de comunidad de descendencia.

Capítulo IV. La metáfora del árbol evolutivo y su problemática

El cuarto capítulo aborda la problemática en el entendimiento del árbol evolutivo, puesto que ésta es una de las razones principales para la realización de este proyecto. Se comienza por mostrar la importancia de la descendencia con modificación como parte de la evolución respecto a los árboles filogenéticos. Posteriormente se explica qué entienden o deberían entender los biólogos cuando ven un árbol evolutivo para comentar después las interpretaciones más comunes del público no especialista. Al final se toca el tema de las convenciones que se requieren conocer para leer árboles evolutivos y se hace hincapié en que no todos los errores de interpretación son culpa del público que malinterpreta el mensaje transmitido por los diagramas científicos, puesto que muchas imágenes también revelan prejuicios o suposiciones no científicas.

Aunque hubiera sido deseable abordar en este capítulo los aspectos psicológicos del razonamiento diagramático, así como algo de teoría del cognoscitivismo para aclarar la causa de varios de los errores de interpretación de los diagramas evolutivos, estos temas no fueron incluidos, por lo que resultan una puerta abierta para un estudio futuro.

Capítulo V. Culturas de Representación: Museos de Historia Natural

El quinto capítulo estudia las diferentes formas de representación que están influidas por la cultura, la historia y la idiosincrasia de cada nación, reflejadas en la forma de concebir las exhibiciones sobre evolución, particularmente el árbol de la vida. A pesar de que los museos pretenden mostrar los objetos de la naturaleza de manera neutral y objetiva, la realidad es que en ellos, tanto la naturaleza como los fenómenos bajo escrutinio científico se construyen y se representan, y por tanto se analiza cómo en las exhibiciones se crean y se reflejan convicciones teóricas y culturales particulares. Asimismo se aborda el tema de la construcción de significado en los museos de historia natural y su papel como vías para la adquisición de conocimiento.

Capítulo VI. Los grandes Museos de Historia Natural y sus exhibiciones de evolución

El capítulo seis presenta la descripción de las exhibiciones de evolución de los museos estudiados en este trabajo: Museo Americano de Historia Natural de Nueva York; Museo Británico de Historia Natural de Londres; Museo de Historia Natural de Berlín; Gran Galería de la Evolución de París y Museo de Historia Natural y Cultura Ambiental de la

Ciudad de México, prestando especial atención al análisis de la cultura de representación, es decir, a las particularidades de cada museo dadas por la historia, la cultura y la idiosincrasia de cada país, así como por las tradiciones científicas regionales. Estos museos se eligieron tomando en cuenta los siguientes criterios: su importancia como centros de investigación; su importancia histórica en el desarrollo de iconografía; su relevancia actual como instituciones de educación no formal; el número de visitantes que reciben por año y en el caso de México, por ser el museo más importante de este tipo en nuestro país.

Objetivos

El objetivo principal de este proyecto de investigación es la propuesta de un árbol filogenético para presentar en un museo de ciencia. Para ello se investigó la manera en la que se emplean los dendrogramas y los diagramas de las relaciones evolutivas entre los seres vivos en algunos museos de historia natural, y se analizó el contenido en el que se encuentran inmersos con la finalidad de determinar su precisión como elementos heurísticos en el aprendizaje de diversos conceptos relacionados con las filogenias como elementos importantes de la teoría de la evolución, tales como:

- El principio de descendencia común
- Las relaciones de parentesco entre las diferentes especies o grupos superiores naturales
- La clasificación de los organismos
- El lugar del hombre en la naturaleza

Asimismo se buscó identificar fallas o problemas tanto interpretativos como conceptuales para, de ser necesario, sugerir mejoras que condujeran a un mejor entendimiento de la información que brindan los árboles filogenéticos. Para esto fue necesario tomar en cuenta que las imágenes se deben entender en relación con el contexto de algún contenido asociado; por ello resultó importante considerar que el contexto debe brindar las herramientas necesarias para poder realizar inferencias a partir de las imágenes.

Esto significa que para que los árboles filogenéticos cumplan su cometido, se requiere de ciertas nociones previas en cuanto a las convenciones utilizadas en ellos, las cuales se deben aprehender para asimilar la información del mensaje gráfico (Constable *et al.*, 1988). Por ello fue fundamental analizar el contenido del texto asociado con las imágenes, pues si éste no resultaba claro, podía generar errores conceptuales y de interpretación entre el público.

La parte práctica de este proyecto de investigación por tanto, consistió en una investigación sobre los árboles filogenéticos presentes en algunos museos de historia natural, puesto que estos espacios son fuentes importantes de educación no formal.

Debido a que nuestro objetivo general resultó tan amplio y a que el tema era demasiado rico, fueron surgiendo algunos objetivos particulares, como son:

- Analizar la importancia de la retórica en la biología y en la comunicación de la ciencia.
- Examinar la importancia de la imagen en la comunicación de la ciencia, principalmente la del árbol de la vida.
- Estudiar históricamente los árboles filogenéticos y su problemática, desde el punto de vista filosófico y de educación.

œ Objetivos œ

- Determinar, de todas las representaciones del árbol de la vida, cuál es la más acertada para su comunicación, empleando para ello una metodología de análisis de imágenes *ad hoc*, las aportaciones de la psicología en cuanto a cambio conceptual, así como los instrumentos retóricos y no puramente ilustrativos, de manera que la elección sea la más eficaz para representar la historia evolutiva.
- Realizar una propuesta para mejorar la representación del árbol filogenético en museos.
- Contribuir con este trabajo al enriquecimiento de la comunicación de la ciencia en nuestro país y al entendimiento de la teoría de la Evolución.

Método

Con el objeto de desarrollar los objetivos antes establecidos, este proyecto de investigación se dividió en dos partes: una bibliográfica, considerada como introductoria, y otra parte práctica. Razón por la que se siguieron dos métodos complementarios.

Los primeros cuatro capítulos representan la parte bibliográfica e introductoria y el método utilizado fue el siguiente:

- Se decidió emplear un orden lógico para la estructura de este trabajo. Por ello primero se abordó el tema de las metáforas y posteriormente de las imágenes, puesto que los diagramas evolutivos son ambas cosas. Posteriormente se presenta la historia del diagrama particular de Darwin para en seguida explicar sus usos y convenciones dentro del mundo de la Biología. Finalmente, habiendo asentado por qué el árbol evolutivo es una metáfora y una imagen, y cuáles son sus poderes heurísticos y pedagógicos se estudia su papel dentro de algunos museos de historia natural.
- Se realizó una revisión bibliográfica extensa sobre las diversas publicaciones que hay sobre los diferentes temas abordados en cada capítulo y sobre los tópicos relacionados. Con ello se pudo establecer la relevancia y pertinencia de determinados autores, así como de los diagramas —dendrogramas, filogenias y genealogías— que fueron incluidos en la presente disertación.
- Se analizó y sintetizó la información conveniente relacionada con el tema de cada capítulo, misma que se integró en la primera parte de este trabajo.

Análisis de los árboles filogenéticos en Museos de Historia Natural

El objetivo principal de este proyecto fue desarrollado en la segunda parte, puesto que es la propuesta de un árbol filogenético didáctico para presentar en la sala de evolución de un Museo. Para ello se investigó la manera en la que se emplean los árboles de la vida en algunos de los museos de historia natural más prestigiosos del mundo como son el de Londres, París, Berlín, Nueva York y la Ciudad de México.

En tales museos existe más de un filograma. Por ello, se analizaron los diagramas por separado y luego en conjunto, para observar su coherencia dentro de la explicación sobre el fenómeno de la evolución.

En cuanto al contenido en el que se encuentran inmersos los árboles filogenéticos, se examinó el texto principal, así como los rótulos y etiquetas de cada uno.

Para caracterizar las imágenes de acuerdo con la información que presentan en forma simbólica, se llevó a cabo un análisis del lenguaje visual diseñado para comunicar conceptos biológicos. Pero eso no fue todo, pues para lograr proponer un árbol didáctico se tomaron en cuenta los siguientes puntos:

1. Los errores conceptuales más comunes relacionados con la lectura de los árboles evolutivos que se presentan al público en general.
2. Las características particulares y necesidades del museo en cuestión, tales como espacio disponible para este diagrama, presupuesto y recursos humanos y materiales.
3. El público al que irá dirigido el mensaje, puesto que el árbol evolutivo puede ser presentado a diferentes niveles de detalle y para distintos tipos de audiencias.

4. Los diferentes componentes de la historia evolutiva o filogenia que pueden mostrarse, como relaciones cronológicas, genealógicas, de diversificación, de enriquecimiento y ecológicas, entre otras, sean para organismos o partes de ellos, agrupados en especies o grupos naturales.

De forma que se tomaron en cuenta tres aspectos fundamentales para la propuesta:

1. Precisión conceptual para evitar errores de interpretación
2. Necesidades del Museo (económicas, logísticas o de personal)
3. Caracterización y clasificación de las distintas visualizaciones del árbol evolutivo provenientes de los principales Museos de Historia Natural

Los primeros dos puntos corresponden a la investigación bibliográfica. Para el tercero se desarrolló un método especial que nos permitió caracterizar y clasificar los árboles evolutivos presentes en los museos.

Clasificación y caracterización de las diferentes visualizaciones de árboles filogenéticos en algunos Museos de Historia Natural

Para clasificar y caracterizar los diagramas presentados en los museos se adecuaron y utilizaron las propuestas de Shapley (2004) y Donovan & Wilcox (2004). La primera se emplea para clasificar las diferentes visualizaciones de los árboles filogenéticos propuestos en el proyecto *Tree of Life Initiative* y la segunda se utiliza para analizar árboles evolutivos en libros de texto, así como para determinar su utilidad didáctica. Este método en conjunto permitió analizar la información sobre la evolución que los árboles presentes en los diferentes Museos de Historia Natural tratan de comunicar.

Para este trabajo, se empleó la presencia o ausencia de nueve conceptos y aspectos importantes propuestos por Donovan & Wilcox (2004) (Cuadro 1), tales como clasificación, ancestría común y extinción. Estos conceptos y características de los árboles pueden apoyar o interferir con el entendimiento de los principios fundamentales para la comprensión de la descendencia evolutiva que son: la comunidad de descendencia y la descendencia con modificación. Por ello los consideramos importantes.

Asimismo se utilizaron cinco de las siete facetas propuestas por Shapley (2004) (Cuadro 2) para su clasificación: interactividad, descripción espacial, datos mostrados, visualización y estructura. Según esta autora, una clasificación de este tipo brinda un vocabulario controlado para describir las visualizaciones y toma en cuenta aspectos importantes de las filogenias, tales como los diferentes estratos de información que comunican las diferentes visualizaciones. No obstante, señala que su propuesta tiene un uso limitado para definir qué tipo de visualización resulta más o menos adecuada desde un punto de vista heurístico.

En el siguiente cuadro se presenta aquello que fue tomado en cuenta para evaluar los árboles filogenéticos de los museos. Posteriormente se explica la importancia de cada punto del primer cuadro desde el punto de vista de la educación/comunicación de la ciencia.

Cuadro 1. Aspectos y conceptos que se tomarán en cuenta para evaluar los árboles filogenéticos mostrados en los Museos. Tomado de Donovan & Wilcox (2004)

	Londres	París	Berlín	NYC	México
1. Con información acerca de taxones específicos					
2. Con información acerca de patrones y procesos evolutivos					
3. Presencia de clasificación					
4. Información acerca de la naturaleza de las filogenias (que son hipótesis)					
5. Guía de interpretación (leyendas, rótulos)					
6. Representación de las extinciones					
7. Colocación de los grupos actuales en nodos internos					
8. Ancestro común					
9. Implicación de progreso					
10. Presencia de ancestros hipotéticos					
11. Presencia de ancestros identificados					
12. Presencia de intermedios como ancestros					

Cuadro 2. Importancia de cada una de las características y conceptos a evaluar desde una perspectiva educativa y de comunicación

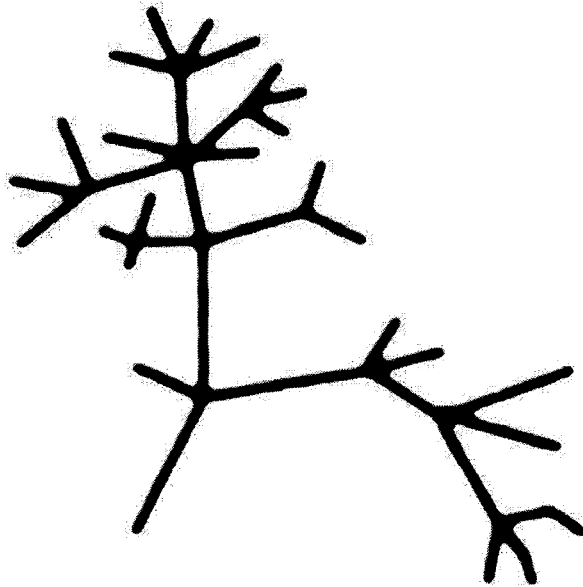
No de Categoría	Importancia en educación/comunicación
1 y 2	Normalmente pensamos en los árboles como formas de representar determinadas hipótesis, pero hay gran variedad de patrones generales que se pueden comprender dentro del contexto de comunidad de descendencia. Se pueden comprender conceptos como homología, aislamiento reproductivo y adaptación mediante las filogenias.
3	Las filogenias brindan una oportunidad importante para mostrar la conexión entre el esquema taxonómico evolutivo y la filogenia. Al comprender la jerarquía anidada de los grupos, se puede contribuir con el reconocimiento de patrones de unidad y diversidad biológica. No obstante, la confusión entre clasificación y filogenia es una de las más problemáticas para el público no especializado, pues se tiende a pensar que la jerarquía anidada de las clasificaciones corresponde con el surgimiento de las especies, pero un orden no produce géneros ni éstos especies (ver capítulo III). Las especies generan especies por diversos mecanismos de especiación.
4	Muchos árboles se presentan como hechos acerca de la naturaleza, sin brindar al público ninguna observación acerca de que se trata de una hipótesis. El componente histórico de la investigación en evolución hace especialmente importante señalar que las filogenias son hipótesis soportadas por cierta información.
5	Presentar un árbol sin una guía que les brinde sentido, hará que resulte difícil para el público interpretar la información que contienen.
6	Las extinciones juegan un papel esencial en la producción de los patrones que vemos en la diversidad de organismos. La exclusión de ellas puede llevar a creer en la persistencia de las especies, en la diversidad siempre creciente y en el progreso, por ello es fundamental tomarlas en cuenta.
7	La inclusión de grupos actuales en la parte interna de los árboles o en los nodos puede conducir a la noción de cambios evolutivos progresivos (escala del progreso) y confundir acerca de las diferencias entre ancestría común y relaciones ancestro-descendientes.
8	La cualidad abstracta de los árboles puede hacer difícil la interpretación de los nodos internos como ancestros comunes. Colocando una etiqueta en la raíz o en algunos de los nodos internos para indicar que se trata de un ancestro común puede ser importante.
9	Es importante establecer si las imágenes conducen a algún tipo de interpretación lineal y progresiva, pues la noción de progreso es uno de los errores más comunes y más dañinos para el correcto entendimiento de la evolución.
10	La inferencia filogenética se basa en el establecimiento de ancestros hipotéticos mediante la metodología cladista para reconocer grupos hermanos.
11	La presencia de ancestros identificados puede dar lugar a la confusión de que en verdad se cuenta con la evidencia suficiente como para indicar que una especie es el ancestro de otra. En la metodología cladista los ancestros son hipotéticos y así se deben comprender en sus representaciones para el público en general.
12	La presencia de intermedios como ancestros <i>i.e.</i> , <i>Archaeopterix</i> es un error que se comete en algunos árboles porque todas las especies identificadas vivas o extintas deben tener el mismo estatus y colocarse en la punta de las ramas por razones metodológicas (ver capítulo IX).

Cuadro 3. Taxonomía de las filogenias según las facetas propuestas por Shapley (2004)

	Londres	París	Berlín	NYC	México
<p>1. Estructura</p> <ul style="list-style-type: none"> • En forma de cono (árbol clásico) • Circular • Ramificada 					
<p>2. Interactividad</p> <ul style="list-style-type: none"> • Estático • Interactivo 					
<p>3. Descripción espacial</p> <ul style="list-style-type: none"> • Dimensionalidad <ul style="list-style-type: none"> > Linear > 2D > 3D • Orientación <ul style="list-style-type: none"> > Izquierda-derecha > Arriba-abajo > Abajo-arriba > Del centro hacia afuera 					
<p>4. Datos mostrados</p> <ul style="list-style-type: none"> • Descripción de nodos <ul style="list-style-type: none"> > Nombres de los clados > Nombres para otros grupos > Pictogramas o representación de los organismos > Estadísticas u otra información numérica • Longitud de las ramas <ul style="list-style-type: none"> > Distancia o tiempo > Ambiguo > Molecular 					
<p>5. Visualización</p> <ul style="list-style-type: none"> • Perspectiva <ul style="list-style-type: none"> > Completa > Localizada 					

Primera Parte

El árbol de la vida





Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

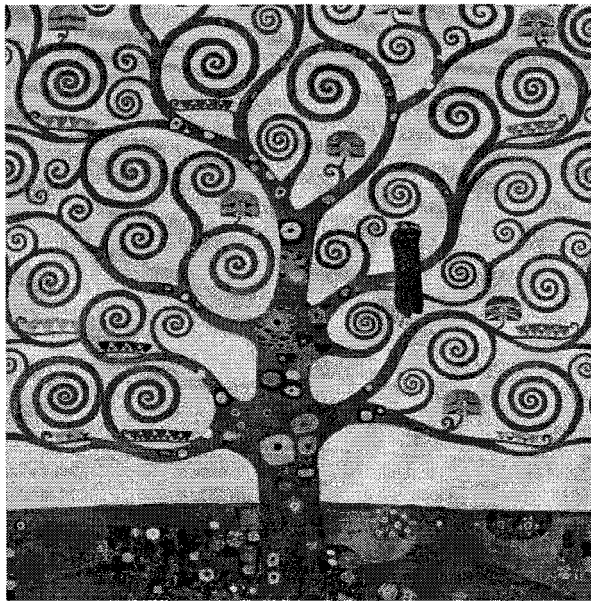
DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Capítulo I

Las metáforas en la ciencia y en su comunicación



I. Las metáforas en la ciencia y en su comunicación

“Un científico no se dedica simplemente a leer el gran libro de la Naturaleza, sino que intenta transcribirlo, traducirlo a declaraciones inscritas en argumentos lingüísticamente formados. Poner el Universo en palabras es la meta esencial del conocimiento científico”.

Michel Callon, 1980

Las metáforas han sido siempre objeto de reflexión teórica, pero actualmente son foco de un interés sin precedente, que se hace evidente en la gran cantidad de publicaciones sobre el tema, provenientes de diversos campos del conocimiento. Lo que caracteriza el acercamiento al estudio de la metáfora es la pluralidad y heterogeneidad de enfoques (De Bustos, 2000), lo cual hace increíblemente difícil definir y acotar este fenómeno lingüístico. Por lo tanto, hablar de metáforas es hablar de desafíos. Desafíos de definición y delimitación, desafíos ante el establecimiento de su alcance, desafíos en cuanto a la concepción *representacionista* del lenguaje humano y desafío en cuanto a establecer un papel para la función de las metáforas en la ciencia (*Idem*, 2000).

Al ser un tema tan delicado y lleno de intrincados caminos que conducen a profundas discusiones filosóficas, en este capítulo se pretende —no sin cierto temor de rayar en lo superficial— establecer una definición operacional de la metáfora y describir la función de las metáforas en la ciencia, así como abordar sucintamente la discusión filosófica que motivan en cuanto a ella. Para esto será necesaria la revisión de las viejas ideas sobre el tema, principalmente las de Aristóteles, así como de las nuevas, tales como las sostenidas por Max Black y Mary Hesse por ser teorías frescas que han impactado en la filosofía de la ciencia (Black, 1962 & 1993; Hesse, 1966).

1.1 Introducción

1.1.1 Retórica de la Ciencia

La ciencia para algunos puede ser únicamente su lado formal y puede percibirse como una ruta privilegiada hacia la obtención de un tipo especial de conocimiento, que nos muestra la realidad del mundo en el que vivimos de forma objetiva e independiente del observador; lo cual cabría en la definición de *empirismo*. No obstante, en la actualidad, los estudios históricos, filosóficos, sociológicos y políticos de la ciencia, que han cobrado cada vez mayor importancia, nos muestran un aspecto diferente de ésta, al considerarla como una actividad social y cultural más que por tanto requiere entender las bases filosóficas que sustentan el tipo de búsqueda de un mundo regido por ciertas leyes naturales. Además es importante para este acercamiento de la ciencia el factor histórico que nos permite entender su desarrollo, analizar cuáles son las estructuras sociales en las que se da y determinar las políticas que la favorecen o la estorban (Pérez Tamayo, 2005b). De la misma manera, es interesante estudiar el tipo de explicaciones que se siguen en la ciencia, las normas lingüísticas de los argumentos, los métodos, el estilo y el discurso final que permite exponer las ideas ante el resto de la comunidad, todo lo cual recae en la retórica de la ciencia.

El estudio de la retórica ha mostrado cada vez más su pertinencia puesto que las interacciones retóricas están involucradas en diversos aspectos del quehacer científico, como en la generación misma de teorías; en la resolución de controversias; en determinar lo que finalmente se acepta como conocimiento nuevo o de punta (Barahona & Cachón, 2005); como guía en la creación de discursos; en la conformación social de una teoría (Guevara, 2004); como herramienta persuasiva para extender el entendimiento sobre fenómenos o teorías (Lynne, 2002) y en la misma 'objetividad' de la prosa científica. En pocas palabras, la retórica es esencial para la ciencia, y a su vez, la ciencia es retórica desde el momento en que existe un discurso científico, lo cual es central para el éxito de la misma (Barahona & Cachón, 2005).

Un discurso científico que tenga la intención de ser considerado y finalmente aceptado debe ser interesante, claro, persuasivo y memorable. Para cubrir lo anterior, la retórica es el principal instrumento, pues empleada de manera audaz, nos permite tener una tesis clara, argumentos suficientes, un estilo efectivo y lógico, así como razones válidas que apoyen dicha tesis (Harris, 2003). De esta manera la retórica puede ser empleada como invención, figuración, argumentación, como estilística o como el arte de la composición y el arreglo (Simmons, 1990)

Pero la retórica de la ciencia va mucho más allá del señalamiento de que el lenguaje y los textos científicos se ayudan de la retórica, y encontrar aquellos aspectos científicos que siempre fueron considerados como alejados de ésta (tal como la construcción del conocimiento científico o la naturaleza de los hechos y de las teorías científicas) es uno de los fundamentos de este campo de estudio (Keith *et al.*, 1999).

Por un lado —realizando una generalización temeraria, el conocimiento científico consiste de las respuestas actuales a las tres preguntas siguientes: ¿cuáles son los hechos crudos dignos de ser investigados?, ¿cómo éstos son investigados?, y ¿qué significan los resultados de dichas investigaciones? Gross (1990) afirma que cualesquiera que sean estos hechos crudos, no significan nada por ellos mismos, sino a la luz de las aseveraciones e interpretaciones relacionadas con ellos, de las cuales el resto de la comunidad debe ser persuadida. Por lo tanto “es únicamente a través de la persuasión que la importancia y el

significado son establecidos” (Gross, 1990). Lo anterior puede comprenderse al analizar el *Origen de las especies* de Charles Darwin.

En este libro se encuentra bastante conocimiento especulativo, que desde el punto de vista de la retórica puede considerarse como conocimiento práctico, por medio del cual, Darwin intentó persuadir a sus colegas para que lo reconociesen y reconstituyeran el campo de estudio de la evolución. Se puede mencionar también los casos de Watson y Crick con su teoría del código genético y la de Einstein con su teoría general de la relatividad. En ambos, parece que los hechos crudos apuntan inequívocamente en una dirección teórica particular, en este caso, que confirman la teoría, pero realmente lo hacen únicamente *a la luz de ciertas descripciones*. “Ningún dato crudo por sí mismo tiene una ‘posición estelar’ a la hora de confirmar o desacreditar una teoría” (Gross, 1990). Se necesita forzosamente de descripciones, todas ellas en el lenguaje muy particular de la ciencia, el cual es una creación retórica, aunque no ha sido así siempre y en todo momento.

Por otro lado, es interesante pensar que el hecho de que un sistema de ideas constituya una teoría científica depende de aquel o aquellos que emiten el juicio de aceptación, es decir, una autoridad compuesta idealmente por miembros de la comunidad científica, los cuales tienen claro el contenido que deben tener las explicaciones para aceptarlas como evidencia y por lo tanto considerarlas válidas. Todo lo anterior está condicionado por el momento histórico, por la realidad social de dicha comunidad, por lo que se considera necesario de ser explicado y por la naturaleza de las explicaciones aceptadas hasta ese momento. Desde el punto de vista de la retórica clásica (que puede ser aplicada a la actividad científica), a este fenómeno —que se puede definir como las decisiones que se toman acerca de lo que significa hacer ciencia, se le conoce como teoría de la *estasis* (Gross, 1990).

Esta teoría se basa en tres tipos de preguntas, —las cuales pueden rastrearse a lo largo de la historia de la ciencia, cuyas respuestas requieren ser persuasivas. *An sit*: ¿qué tipo de entidades o fenómenos son reales?, por ejemplo el flojisto, los quarks o los átomos; *quid sit*: ¿cuáles son las características de estas entidades o fenómenos?, la luz ¿es la alteración de un medio como decía Aristóteles, o la partícula de Newton o la onda de Young o la partícula de masa igual a cero de la electrodinámica cuántica?, y *quale sit*: ¿cuáles son las leyes que gobiernan dicha entidad o fenómeno?, la misma ley de la refracción para Newton significaba el resultado de fuerzas determinísticas actuando sobre las partículas y para Feynman el producto de fuerzas probabilísticas actuando sobre las mismas (Gross, 1990).

Lo anterior muestra que aunque la entidad o fenómeno bajo escrutinio sea el mismo, las nociones acerca de lo que cuenta como evidencia y explicación (preguntas de la teoría de la *estasis*) han cambiado drásticamente a lo largo de la historia y por lo tanto han creado concepciones de la ciencia radicalmente diferentes, todas ellas dentro de la provincia de la retórica.

Por último, la autoridad de los textos científicos —los cuales son considerados como la piedra angular de la ciencia— nos termina de mostrar los alcances de la retórica de la ciencia, pues como se verá a continuación, la fuente de los argumentos de la ciencia y la retórica no son diferentes. Según la retórica clásica existen tres tipos de oratoria: forense, deliberativa y epideíctica. La primera se ocupa de acciones pasadas y la califica un juez o tribunal que establecerá conclusiones aceptando lo que el orador presenta como justo y rechazando lo que presenta como injusto. La segunda se ocupa de acciones futuras y la califica el juicio de una asamblea política que acepta lo que el orador propone como útil o provechoso y rechaza lo que propone como dañino o perjudicial. La última se ocupa de celebrar o calumniar personas o eventos, centrándose en la virtud o en el vicio.

En el artículo científico se puede encontrar estos mismos géneros. Es forense porque habla de hechos pasados de una manera que convenza al auditorio de que las aseveraciones que plantea son ciertas. Es deliberativo porque al plantearse como útil y provechoso pretende dirigir las investigaciones futuras y es epideíctico porque es una celebración de la metodología adecuada (Gross, 1990). Para dejar más claro que la fuente de los argumentos de la retórica y la ciencia son equivalentes, baste pensar que la observación, la medición y la predicción son fuentes de argumentación para la ciencia de la misma forma que el vicio o la virtud lo son de la retórica.

Para finalizar esta sección, es importante considerar otros aspectos del texto científico donde se hace evidente el papel de la retórica.

- El efecto de la autoridad, es decir el *ethos* aristotélico, el cual se puede apreciar en las citas bibliográficas que sirven para persuadir a la audiencia de que parte de lo que se dice está sostenido por resultados anteriores y por lo tanto otorga una mayor credibilidad. En este sentido también se puede mencionar la publicación en determinadas revistas, pues existen revistas más reconocidas por la comunidad científica que otras, lo cual tiene un impacto persuasivo mayor sobre los contenidos.
- El resumen inicial que indica la relevancia de lo que se leerá a continuación.
- En algunos casos el orden de aparición de los artículos, como en el caso del artículo publicado por Watson y Crick en la revista *Nature* (1953), pues en las páginas previas deliberadamente se publicó el artículo de Rosalind Franklin *Evidence for 2-Chain Helix in Crystalline Structure of Sodium Deoxyribonucleate* en el cual hace una descripción detallada de las distinciones entre las estructuras A y B de la doble hélice del ADN, con lo que el hallazgo de Watson y Crick resultaba más impactante y concluyente. De hecho todo el número 171 de *Nature* es un buen ejemplo del poder retórico del orden de aparición de los resultados de las investigaciones.
- El empleo de imágenes, metáforas y analogías. Los científicos al mostrar figuras e ilustraciones, buscan que los argumentos resulten más visibles y por lo tanto más creíbles, porque los trabajos siempre parecen más sólidos cuando se acompañan de diagramas e ilustraciones. Latour (1987) menciona que las imágenes o figuras derivadas de instrumentos de laboratorio, tales como los cromatogramas de un HPLC (High Performance Liquid Chromatography) sirven como las 'evidencias finales' de todo argumento científico porque 1. Son el resultado de un largo proceso de laboratorio, 2. Por ende son 'cajas negras'¹ de las que difícilmente se duda y 3. Son los elementos más concretos y poderosos de persuasión.

1.1.2 La Ciencia está llena de ejemplos del uso de la retórica

Uno interesante se encuentra en el siguiente fragmento de Ramón y Cajal (1894) de su escrito intitulado *Consideraciones generales sobre la morfología de la célula nerviosa: [...] Arribadas al nivel de los primeros brazos del citado tronco dendrítico descomponense en plexos paralelos, serpenteantes, que ascienden a lo largo de los ramos protoplasmáticos a cuyo entorno se aplican, al modo de la hiedra o de las lianas al tallo de los árboles [...].*

¹ Latour emplea el término 'caja negra' para referirse al conocimiento científico 'terminado' que aparece como tal en los libros de texto, i.e. la estructura del ADN, las funciones celulares, el instrumental de un laboratorio, sin considerar la complejidad de su historia o de su desarrollo.

Incluso más sorprendente es considerar cómo la imagen del lenguaje ha determinado la Biología Molecular, donde se habla de códigos, traducciones y semántica, como si las moléculas realmente traficaran con significados (Harris, 1997b). O cómo la Física de Partículas de mediados del siglo XX está llena de palabras como “desintegración, violencia, caos y desorden” (Holton, 1988), lenguaje que parecía muy convincente a los intelectuales de la época. También resulta interesante cómo la controversia devónica en la geología Victoriana fue testigo de la introducción de términos como Silúrico (por una tribu inglesa) y Cámbrico (por el nombre romano de Gales), reflejando el chauvinismo del siglo diecinueve británico (Harris, 1997b).

Pero quizá el ejemplo más sugerente, y que resultó en un parteaguas para la biología², es el del sistema sexual de Linneo (*Clavis Systematis Sexualis*) para la determinación taxonómica de las plantas, que se publicó por primera vez en 1735. En este sistema encontramos analogías entre las partes de las flores y los genitales [...]”se puede hacer referencia al cáliz como al *labia majora*, y a la corola como *labia minor*” (1971:56-57, en Nelson & Platnick, 1981). Y al enlistar las clases y órdenes en ediciones posteriores, Linneo adoptó un esquema metafórico basado en el amor, el matrimonio y el adulterio (Llorente, 1990). Esta lista de definiciones incluye numerosas clases, por lo que solo mencionaremos unas cuantas para ejemplificar el uso de la retórica en la ciencia:

Clase I Monandria. Un macho. Un esposo en matrimonio (un estambre en una flor hermafrodita)

Clase XIII Poliandria. Varios machos. Veinte esposos o más en un solo matrimonio. (estambres insertados en el receptáculo, de 20 a 1000 en la misma flor)

Clase XIV Didinamia. Dos poderes. Cuatro esposos, dos más altos que los otros dos (cuatro estambres, de los cuales los más cercanos entre sí son los más largos)

Clase XX Ginandria. Machos afeminados. Maridos y esposas creciendo juntos (estambres insertados en el pistilo)

Clase XXII Dioecia. Dos casas. Maridos y esposas viviendo en casas distintas (flores macho y flores hembra en diferentes plantas)

Clase XXIII Poligamia. Maridos habitando con esposas y concubinas (flores hermafroditas, hembras o machos en la misma especie)

Clase XXIV Criptogamia. Matrimonios clandestinos. Las bodas se celebran de forma privada (flores ocultas en el fruto)

Pero más allá de la presencia de términos para describir entidades, procesos o fenómenos, el empleo de la retórica ha impulsado el surgimiento y desarrollo de disciplinas científicas (Kay, 2000; Brandt, 2005), “es interesante observar cómo en los momentos iniciales del nacimiento de teorías científicas, o bien en los de crisis o de cambio de paradigma, se recurre de manera directa a campos contiguos de investigación, y a veces incluso muy distantes, sin por ello temer la confusión, más aún, ensalzando ese fenómeno de contaminación que inicialmente semeja muy profundo” (Preta, 1992). Un ejemplo claro

² Fue un parteaguas porque dio lugar al desarrollo de un sistema de determinación taxonómica que resultó crucial para la identificación de especies.

son aquellos campos de estudio que tienen que ver con la teoría de la herencia. ¿Por qué decimos esto? El concepto de *información* surgió en la década de 1940 a raíz de los intentos por desarrollar sistemas de misiles teledirigidos y posteriormente se incorporó a la teoría cibernética (Guevara, 2004). Las concepciones de la cibernética pronto ejercieron su influencia en las ciencias de la vida al permitir una nueva forma de visualizar los sistemas biológicos. Watson y Crick reconocieron, al menos en parte, que la estructura del ADN podía transportar instrucciones a través de las generaciones al considerar este sistema en términos de flujo de información (Lewontin, 1984, en Guevara, 2004).

Más aún, de acuerdo con Bustamante (1995), la capacidad transformadora de la ciencia radica en la tecnología. Tecnología entendida como instrumento modificador de la realidad, pero también como fuente de imágenes y modelos a través de metáforas que inciden en la concepción del mundo, y por tanto en nuestra interacción con él. Tan solo por citar algunas de las principales contribuciones a la biología derivadas de una transferencia del lenguaje, podemos mencionar los trabajos de Edward O. Wilson acerca de la evolución de los sistemas sociales, los de James Lovelock acerca de las características de la vida en la Tierra y los de Richard Dawkins y sus genes egoístas, todos los cuales se valen de lenguaje proveniente de la cibernética para desarrollar sus propuestas (Guevara, 2004).

1.2 Las metáforas en la ciencia

La protagonista principal de este capítulo es *la metáfora*, por lo cual resulta ideal definirla primero, para después seguir nuestro camino en el establecimiento de su papel en la ciencia y en su comunicación. Sin embargo, resulta increíblemente difícil delimitar la periferia conceptual de este término.

De acuerdo con De Bustos (2000), para identificar de qué se está hablando cuando se emplea la palabra *metáfora*, debemos intentar brindar tanto una definición, como una demarcación, porque al no tener un significado unívoco, a lo más que podemos aspirar es a “acotar un conjunto de fenómenos a los que es razonable incluir en los metafóricos” (De Bustos, 2000). La razón es que las metáforas no son solo fenómenos lingüísticos, sino que pueden existir conceptos, hechos, procesos, imágenes y otras realidades metafóricas.

No obstante, es necesario para este trabajo llegar a una definición operacional de la metáfora (a pesar de reducir así este fenómeno heterogéneo); para ello se revisarán algunas de sus acepciones tradicionales y modernas, para comprender además que la polisemia que genera la metáfora es en parte la responsable de las actuales controversias sobre el tema.

Según Umberto Eco, en la teoría aristotélica encontramos “los orígenes de todo lo que en siglos posteriores se ha dicho sobre la metáfora” (Eco, 1984:91). Aristóteles sostenía que las metáforas eran comparaciones implícitas basadas en el principio de la analogía. En su *Poética* nos dice que “la metáfora consiste en dar a una cosa un nombre que pertenezca a algo distinto; transferencia que pasa de género a especie, de especie a género y de especie a especie, o que se funda en la analogía” (1457b). Para el estagirita, las metáforas resultaban fundamentales para la constitución y extensión del conocimiento, puesto que permitían captar la estructura de lo desconocido en virtud de lo familiar y por ello afirmaba que “lo mejor del mundo, con mucho, es ser un maestro de la metáfora” (*Poética*, 1459^a, 5-7). Esta idea de la metáfora basada en la relación de analogía ha llegado hasta nuestros tiempos en lo que se denomina *teoría comparativa de la metáfora* (Black, 1966), que aunque ha sido criticada por muchos estudiosos del tema por sufrir de una “vaguedad que se acerca a la vacuidad” (Black, 1962), por lo general es la más empleada y defendida (Boyd, 1993; Miller, 1993; Kuhn, 1993).

Después de Aristóteles, Cicerón hizo algunas contribuciones que, aunque empobrecieron las ideas originales del estagirita, inspiraron numerosas teorías posteriores. Para este personaje, la metáfora es una forma abreviada de símil, lo cual implica que existe una equivalencia entre ambos y por lo tanto que la metáfora no tiene valor cognitivo al poder ser sustituida con la ventaja de la explicitud del símil. Es a partir de este punto que la metáfora comienza a ser desterrada del reino de lo cognoscitivo, para formar parte únicamente del ámbito de lo estético como figura del discurso o recurso estilístico (De Bustos, 2000). La metáfora entonces es apreciada como una oración en la cual algunas palabras se usan con un sentido distinto al literal, “decir una cosa y referirse a otra”.

Esta dicotomía entre ciencia y arte/uso literal y uso figurado del lenguaje, nos explica la idea generalizada de que el pensamiento retórico se encuentra muy lejos del reino del conocimiento y que constituye a lo más, un abuso del lenguaje.

Sin embargo, aunque la filosofía que dominó el pensamiento durante los siglos XVII y XVIII fue la racionalista-empirista que excluía a la metáfora del ámbito del conocimiento, también hubo algunos intentos por mostrar la autonomía e irreductibilidad de las metáforas y su importante papel para acceder a aquellos conceptos o realidades que no se pueden manifestar mediante el lenguaje literal. Para la filosofía romántica, “la metáfora no es un fenómeno marginal, secundario y dependiente del lenguaje literal, sino que constituye la esencia misma del lenguaje, la forma en que éste nos permite acceder al mundo” (De Bustos, 2000:55). Nietzsche representa probablemente al principal defensor de la metáfora dentro de la tradición romántica.

No existe ninguna expresión ‘real’ y ningún conocimiento independiente de la metáfora [...] las metáforas más corrientes, las usuales, pasan ahora por verdades y como criterios para considerarlas más raras. La única diferencia intrínseca entonces es la diferencia entre la costumbre y la novedad, entre la frecuencia y la rareza. Conocer no es sino trabajar con metáforas favoritas, una imitación que ya no se experimenta como tal (Nietzsche, 1872, en De Bustos, 2000:57).

En 1954, Max Black abordó nuevamente el problema de la metáfora desde la teoría de la literatura, revitalizando así la añeja discusión filosófica sobre la naturaleza del lenguaje. Como alternativa a la visión comparativa, Black (1962) propuso la *teoría de la interacción*. Para comprender esta idea es necesario apuntar que las metáforas enlazan dos dominios o sujetos que son distintos y de alguna manera incongruentes, pero cuya yuxtaposición puede darles sentido (*los ojos son las ventanas del alma*). Richards (1936) ha denominado tópico y vehículo a estos dominios, donde el tópico (ojos) es entendido en términos del vehículo (ventanas). Ahora bien, Black sostiene que las metáforas funcionan al aplicar al sujeto principal de la metáfora (ojos en este ejemplo), un sistema de ‘implicaciones asociadas’ características del sujeto secundario. De esta manera, Black niega que el éxito de las metáforas descansa únicamente en su capacidad de expresar similitudes o analogías entre los dos sujetos u objetos, sino que su importancia cognoscitiva radica en que las implicaciones asociadas le brindan a la metáfora un excedente de expresión del cual carecen las analogías.

Los enunciados metafóricos no son sustitutos de comparaciones formales ni de cualquier otro tipo de enunciado literal, puesto que las metáforas tienen sus propios logros y capacidades (Black, 1962:37).

Habiendo dicho esto, para quedarnos dentro de límites manejables, definiremos la metáfora en este trabajo de acuerdo con la visión aristotélica como *A es B*. Esto quiere

decir que las metáforas se apoyan en expresiones de semejanza como las comparaciones y las analogías, pero al ser autónomas e irreductibles producen un desplazamiento de significado que resulta en un excedente de expresión. De ahí su valor epistémico y cognoscitivo.

El ser humano asimila el conocimiento nuevo relacionándolo con el previamente adquirido (Haviland & Clark, 1974 en Miller, 1993) y por ello es común el recurrir a expresiones de semejanza cuando nos enfrentamos con conceptos novedosos. Podemos distinguir tres tipos de dichas expresiones: comparaciones literales, símiles y analogías (Miller, 1993). La diferencia entre ellas radica en la información en la que se sostienen. Las comparaciones literales implican un conocimiento previo sobre los términos que se están comparando y por ello son unívocas, puesto que la base en la que se sostienen resulta obvia. Un ejemplo sería: “Los amonites son como *nautilus* gigantes” de la cual se entiende que los amonites comparten muchas de las características que uno daría al describir a un *nautilus*.

En los símiles, las bases de la comparación no son tan obvias, puesto que los términos que se emplean involucran dos cosas diferentes. Tal es el caso de: “Los amonites son como un rehilete” y llevan a entender distintas cosas. Finalmente, aunque por lo general nos referimos a cualquier expresión de semejanza como analogía (y en este sentido los símiles expresan analogías), éstas normalmente involucran cuatro términos que pueden permitir permutaciones entre sí. Un ejemplo sería: “El día es a la luz como la noche a la oscuridad” (Miller, 1993).

Ahora bien, con esta información, se puede definir una metáfora como una comparación incompleta o implícita. Es muy importante tener en cuenta que la tradición filosófica y literaria “relegó a la metáfora al limbo del ornato lingüístico” (De Bustos, 2000:293), pero no por ello la metáfora se queda en el dominio del lenguaje. Además, “el lenguaje no *es solo* el medio por el cual adquirimos y expresamos nuestro conocimiento de la realidad, ni esas funciones son la única fuente de su valor... Es también el medio privilegiado *en el que vivimos*, el que nos da acceso a nuestra identidad comunitaria y cultural.

1.2.1 El papel de la metáfora en la ciencia

Desde hace tiempo ha sido reconocido, que el empleo de analogías y metáforas juega un papel muy importante en el entendimiento y aprendizaje de conceptos científicos (Sutton, 1978; Gentner & Gentner, 1983; Mayer, 1993; Sticht, 1993).

Sin embargo, el uso de analogías y metáforas no se restringe a la educación o a la comunicación de la ciencia, sino que ha sido fundamental en la historia de las ideas científicas, pues la explicación de entes abstractos necesita estar arraigada en la experiencia para interpretar dichas ideas (Lightman, 1988). Al hacer ciencia, aunque las palabras y ecuaciones se emplean con la intención de tener significados precisos, resulta casi imposible dejar de razonar analógicamente o de formar imágenes mentales (Lightman, 1988). Por ello, la historia del desarrollo científico está repleta de razones anecdóticas sobre el importante papel que las metáforas han jugado en los descubrimientos científicos. Por ejemplo, el descubrimiento de Jenner de la vacuna de la viruela, la concepción de Freud de la sublimación, la dilucidación de Kekulé del anillo de benceno, están relacionadas con el uso de metáforas (Koestler, 1964). Dreistadt (1968) hizo un estudio muy interesante, en el cual cataloga el papel central de las metáforas y analogías en el desarrollo de teorías científicas, e incluye los trabajos de Einstein, Darwin, Bohr y Mendeleiev, entre otros.

Las analogías y metáforas son tan importantes, que se ha dicho que “(ésta)s invaden todo nuestro pensamiento, nuestro discurso cotidiano y tanto nuestras conclusiones más triviales como las formas más artísticas de expresión y de logros científicos” (Polya, 1985).

1.2.2 Una apología de la metáfora en la ciencia

Para defender el valor epistemológico y cognoscitivo de las metáforas en la ciencia es necesario advertir primero que existe una dicotomía importante sobre la apreciación de éstas. Establecer dicha dicotomía simplifica en gran medida la discusión sobre el papel de las metáforas en la ciencia y sobre la naturaleza misma de la ciencia, pero es por ello que resulta útil en este trabajo, pues lo que buscamos es tan solo mencionar que no existe un consenso generalizado y que —como casi todo en la vida— existen numerosos matices.

Esta dicotomía está representada por los acercamientos *constructivistas* y *no constructivistas* de la ciencia, advirtiendo que estos términos están muy lejos de ser ideales (Ortony, 2002). El epitome del acercamiento no constructivista está caracterizado por el positivismo que, en pocas palabras, propone que el mundo que nos rodea es asequible y que puede ser conocido e investigado mediante un método empírico que describe la *realidad*. En este sentido, la ciencia se caracteriza por la precisión y la ausencia de ambigüedad y, por lo tanto, el lenguaje apropiado para la *descripción objetiva* del mundo es el literal. Las metáforas por tanto son consideradas espurias y sin sentido dentro de la ciencia.

En el otro extremo de pensamiento se encuentra el enfoque constructivista, que sostiene que el conocimiento —sin importar cómo se defina— es una construcción social; por lo tanto resulta imposible lograr un acercamiento verdaderamente epistemológico de la realidad. De forma que para esta postura, el conocimiento del mundo surge a través de la interacción entre la información exterior, el contexto del sujeto y su conocimiento preexistente, todo lo cual conduce a un relativismo epistémico. Bajo este punto de vista, no existe una diferencia marcada entre lenguaje científico y de otro tipo, y la metáfora juega un papel importante en la construcción del mundo.

Ahora bien, entre estas dos posturas extremadamente radicales, que han causado lo que se denomina ‘*Science wars*’³, existe una numerosa variabilidad de actitudes hacia la naturaleza de la ciencia y por ende hacia la importancia de las metáforas. En este trabajo defenderemos el papel de las metáforas en la ciencia, desde una postura ‘intermedia’ que nos permitirá sostener una teoría cognitiva de la metáfora y una concepción realista del conocimiento. Bajo esta postura se sugiere que el mundo exterior es real y que nuestros conceptos y teorías no son meras construcciones subjetivas, pues aunque las teorías nunca puedan ser tomadas como verdades definitivas, éstas deben su existencia, no solo a un grupo social con intereses e ‘ideas previas sobre el mundo’ sino a una realidad con la que pueden entrar en conflicto.

No obstante, no podemos negar que la ciencia es una actividad social y que su historia nos muestra que su desarrollo a través del tiempo no indica que nos encontremos más cerca de la ‘verdad absoluta’, sino que los cambios que ha sufrido, en gran medida son

³ Las ‘Guerras científicas’ fueron una serie de batallas intelectuales que se dieron en la década de 1990 entre lo que podría denominarse ‘postmodernistas’, académicos principalmente de las ciencias sociales y ‘realistas’ investigadores de las ciencias naturales (aunque, de nuevo, estos términos están lejos de ser ideales). De forma sucinta, los temas principales de la discusión fueron: la naturaleza de la ciencia, su carácter objetivo, el acceso a la ‘realidad’ y a la ‘verdad’, así como la ‘realidad’ de las entidades teóricas.

producto de la alteración de contextos culturales que influyen en nuestra forma de percibir el mundo. Esto no quiere decir que la ciencia no pueda brindar respuestas duraderas (la tierra gira efectivamente alrededor del sol como lo proponía Galileo), pero sí que al aspirar a explicar el mundo de la mejor manera posible, la actividad científica tiene que sostenerse en representaciones, las cuales están dadas en forma de teorías, modelos e imágenes, muchos de los cuales se sostienen, como veremos, en metáforas.

Como dice Van Fraassen (1980:61,) mediante una estupenda metáfora: “yo sostengo que el éxito de las teorías científicas en boga no es ningún milagro. Ni siquiera es algo sorprendente para una mente científica (darwinista). Porque cualquier teoría científica nace dentro de una vida de feroz competencia, en una selva llena de dientes y garras. Solamente las teorías exitosas sobreviven: aquellas que de hecho encajaron con regularidades en la naturaleza.”

Las metáforas juegan un papel fundamental en la conformación de la ciencia, puesto que la ciencia busca la ‘representación’ de la realidad y en este sentido, las metáforas permiten la generación de estructuras teóricas y conceptuales. Para Boyd (1993:482) “existe una clase importante de metáforas que juega un papel en el desarrollo y articulación de teorías en las ciencias relativamente maduras, cuya función es un tipo de *catacresis*, esto es, que se emplean para introducir terminología teórica que antes era inexistente”.

Esto resulta interesante si se considera que la ciencia requiere de terminología precisa para representar sus hallazgos. “El uso de metáforas es una de las muchas herramientas disponibles de la comunidad científica para cumplir el cometido de *acomodar un lenguaje a la estructura causal del mundo*” (Boyd, 1993:483), siendo así un instrumento de acceso epistémico a ciertas cosas o ciertos fenómenos naturales. Lo que este autor defiende es que las metáforas son un medio que posibilita que una comunidad de conocimiento (miembros que comparten conocimientos relevantes) se refiera de una misma forma a un determinado fenómeno.

En este sentido se puede decir que la ciencia está llena de metáforas, las cuales pueden cumplir distintos cometidos. Pueden ser exegéticas o pedagógicas cuando juegan un papel en la explicación y enseñanza de teorías. Tales son los casos de las ‘nubes de electrones’ para describir la localización espacial de conjuntos de electrones o de los átomos como ‘sistemas solares en miniatura’.

Pueden ser heurísticas o argumentativas cuando sirven para la formulación de nuevas hipótesis o teorías (De Bustos, 2004). Normalmente estas metáforas se dan en los estadios ‘inmaduros’ de una ciencia, cuando ésta carece de un paradigma⁴ que guíe sus investigaciones. Tal es el caso de la filosofía mecanicista que se basa en la metáfora de que el mundo es un inmenso mecanismo o de la filosofía organicista que concibe a la sociedad como si fuera un organismo.

Pero quizá las metáforas más interesantes en cualquier discusión sobre su importancia en la ciencia, son aquellas que forman parte de la maquinaria lingüística de las teorías científicas, es decir, las *constitutivas de teorías*. Lo destacado de este tipo de metáforas es que normalmente se dan en las ciencias jóvenes, como por ejemplo en la biotecnología, en la ingeniería genética o en la psicología cognitiva (Boyd, 1993; Guevara,

⁴ En palabras del propio Kuhn, los paradigmas son “Realizaciones científicas universalmente reconocidas que, durante cierto tiempo, proporcionan modelos de problemas y soluciones a una comunidad científica” (Kuhn, 1962: 13).

2004). La explicación para este fenómeno descansa en que las nuevas disciplinas traen consigo nuevos tipos de explicación que, en ocasiones, requieren del uso de conceptos e ideas provenientes de otros campos, lo cual significa el uso extensivo de metáforas. “El uso de metáforas es una estrategia que permite la transferencia de ideas y conceptos desde un tipo de discurso hacia otro distinto como recurso explicativo dentro de este último” (Maasen, 1995, en Guevara, 2004).

Los ejemplos más evidentes son aquellas metáforas provenientes de la terminología de las ciencias de la computación y de la teoría de la información, que al brindar una forma de explicación diferente, permitieron una novedosa forma de visualizar los sistemas biológicos, como entidades capaces de transmitir instrucciones (Guevara, 2004).

Desde esta perspectiva, el uso de términos cibernéticos como códigos, retroalimentación o programas, y antropomórficos como altruismo, egoísmo, etcétera, para describir funciones y estructuras de las moléculas, se justifica como metáfora en tanto se observa una función explicativa. No obstante, como apunta Lewontin (1991), en ocasiones las metáforas dejan de servir para explicar los fenómenos y se vuelven los fenómenos mismos, baste pensar en el *programa genético* (Guevara, 2004) o en la *corriente eléctrica*.

De forma que las metáforas son fundamentales en la generación de estructuras teóricas y conceptuales, y en ocasiones resultan constitutivas de las teorías al no poder ser reemplazadas por expresiones teóricas literales o simplemente diferentes. Pero más aún, las metáforas constitutivas de teorías funcionan también como una invitación hacia futuras investigaciones, puesto que la relación entre el sujeto primario y secundario de la metáfora puede conducir a importantes conjeturas teóricas (Boyd, 1993). Tal fue el caso de Watson, Crick & Wilkins que, al considerar a los sistemas en términos de flujos de información, concluyeron que la estructura de la doble hélice también podía transportar instrucciones a través de las generaciones y de la noción que la información viaja unidireccionalmente del gen a la proteína; o el caso de Niels Bohr, que al desarrollar un modelo del átomo con bolas de billar basado en la metáfora del sistema solar, abrió el campo de la investigación electromagnética al intentar definir las diferencias entre el modelo y el átomo. En otras palabras, “encontrar qué leyes mecánicas y electromagnéticas ocurrían y dónde radicaban las similitudes con las bolas de billar representó una actividad central para el desarrollo de la teoría cuántica” (Kuhn, 1993:528). En este sentido, la importancia de este tipo de metáforas descansa en que introducen terminología para describir ciertas características del mundo, de las cuales se podría descubrir todavía propiedades fundamentales.

En cuanto a las metáforas específicamente ligadas a representaciones, R. Hoffman menciona que en la ciencia resultan importantes tres tipos: las imágenes basadas en metáforas, que hacen *comprensibles* ciertos fenómenos teóricos, como por ejemplo ‘ver’ el universo como un plano curvo o la electricidad como un fluido; los modelos basados en metáforas, que permiten visualizar estructuras causales o funcionales al implicar la construcción de una representación material, tales como el modelo atómico de Bohr o el modelo del átomo de hidrógeno de Rutherford; y los modelos matemáticos abstractos basados en metáforas que se distinguen de los anteriores por ser únicamente representaciones mentales (Hoffman 1985, en De Bustos, 2000).

1.2.3 Últimas consideraciones sobre la metáfora

En resumen, existe una distinción entre metáforas comparativas y metáforas interactivas. En las primeras, lo que hace la metáfora es decir implícitamente que dos cosas aparentemente diferentes tienen algo en común. Bajo esta perspectiva, las metáforas son comparaciones implícitas que transfieren significado y entendimiento mediante dicha

comparación. Es importante en este caso que ambos dominios de la metáfora resulten conocidos y por lo tanto lo que se hace es establecer o formular una semejanza entre ellos.

Las metáforas interactivas *crean* la similitud más que formularla (Black, 1962). En este caso lo que ocurre es que existe un dominio que es familiar y otro que no lo es. Esta metáfora, por lo tanto, brinda una nueva forma de entendimiento porque debemos recurrir al contexto no lingüístico para comprender la relación implícita entre los dominios. En este sentido las metáforas tienen un nivel de interactividad que permite aprender cosas nuevas (como veremos en la siguiente sección).

Ahora bien, las metáforas pueden ser comparativas e interactivas a la vez, dependiendo de cómo se perciban. Para un profesor, la metáfora del átomo como sistema solar en miniatura será comparativa porque le resultan familiares las características de ambos dominios, pero para un estudiante que apenas comienza sus clases de física, la metáfora será interactiva porque le ayudará a establecer por primera vez una semejanza.

En cuanto a las metáforas científicas (*constitutivas de teorías*), éstas desempeñan varios papeles importantes como lo es el de inaugurar nuevos campos de investigación, constituir en sí mismas programas de investigación, brindar referencias a entidades cuya naturaleza es aún desconocida, permitir el desarrollo de modelos y contribuir a la conceptualización de la tecnología (pensemos en los términos *autopista de la información* y *ciberspacio*).

1.2.4 La metáfora del árbol evolutivo

Sin temor a equivocación, se puede decir que la metáfora pictórica del árbol evolutivo es una de las más importantes y poderosas de la biología. La razón descansa en que, como se expuso con anterioridad, algunas metáforas son constituyentes de teorías y por lo tanto partes integrales de la estructura de éstas. El árbol evolutivo es uno de los dos argumentos principales de la teoría de la evolución, siendo el otro la selección natural, —que de hecho es otra metáfora— y como la evolución es la piedra angular de la biología⁵, entonces los árboles evolutivos o filogenias son un elemento esencial de la biología contemporánea.

Las afinidades de todos los seres de la misma clase se han representado a veces por un gran árbol. Creo que este ejemplo expresa en gran parte la verdad; las ramitas verdes y que dan brotes pueden representar especies vivientes, y las producidas durante años anteriores pueden representar la larga sucesión de especies extinguidas. En cada periodo de crecimiento, todas las ramitas que crecen han procurado ramificarse por todos lados y sobrepujar y matar a los brotes y ramas de alrededor, del mismo modo que las especies y grupos de especies, en todo tiempo, han dominado a otras especies en la gran batalla por la vida. Las ramas mayores, que arrancan del tronco y se dividen en ramas grandes, las cuales se subdividen en ramas cada vez menores, fueron en un

⁵ Decimos esto por varias razones. Una de ellas es que la teoría de la evolución representó un partearguas en la forma en que entendemos el mundo. Antes de Darwin se pensaba que las especies eran fijas e inmutables y que habían sido creadas independientemente unas de otras, Darwin, al mostrar que las especies cambian constantemente, introdujo el componente histórico en el estudio de la vida. Además es la teoría que unifica los diferentes campos de la biología porque el vínculo que existe entre la descripción de las peculiaridades de los animales y la búsqueda mediante experimentación de los secretos de la vida es la evolución, la cual nos permite explicar la sorprendente diversidad de vida en nuestro planeta. Finalmente, una razón fundamental es porque nos permite relacionar a todos los taxones y sus partes, a lo largo del tiempo y el espacio.

tiempo, cuando el árbol era joven, ramitas que brotaban, y esta relación entre los brotes pasados y los presentes, mediante ramificación, puede representar bien la clasificación de todas las especies vivientes y extinguidas en grupos subordinados unos a otros.

De las muchas ramitas que florecieron cuando el árbol era un simple arbolito, solo dos o tres, convertidas ahora en ramas grandes sobreviven todavía y llevan las otras ramas; de la misma manera, de las especies que vivieron durante periodos geológicos muy antiguos, parquísimas han dejado descendientes vivos modificados. Desde el primer crecimiento del árbol, muchas ramas de todos los tamaños se han secado y caído, y estas ramas caídas pueden representar todos aquellos çordenes, familias y géneros enteros que no tienen actualmente representantes vivientes y que nos son conocidos tan solo en su estado fósil. Del mismo modo, que de vez en cuando, vemos una ramita perdida que sale de una ramificación baja de un árbol, y que por alguna circunstancia ha sido favorecida y está todavía en su punta, también de vez en cuando encontramos un animal, como el ornitorrinco o el pez de légamo, que, hasta cierto punto, enlaza, por sus afinidades, dos grandes ramas de la vida y que al parecer se ha salvado de la competencia fatal por haber vivido en sitios protegidos. Así como los brotes por crecimiento, dan origen a nuevos brotes y éstos, si son vigorosos, se ramifican y sobrepujan por todos lados a muchas ramas más débiles, así también, a mi parecer, ha ocurrido, mediante generación, en el gran árbol de la vida, que con sus ramas muertas y rotas llena la corteza de la Tierra, cuya superficie cubre con sus hermosas ramificaciones, siempre en nueva división (Charles Darwin, 1957:100-101).

El árbol evolutivo es uno de los argumentos fundamentales de la teoría de la evolución porque en el libro más importante escrito por Darwin subyacen dos ideas principales, la primera es que todos los organismos de la Tierra nos originamos a partir de un antepasado común, de modo que todas las especies somos miembros de un único árbol, tal como el árbol genealógico de cada uno de nosotros. La segunda es que los cambios evolutivos constantes que sufren los seres vivos ocurren por selección natural.

Ahora bien, aunque el origen de la inspiración de Darwin para ilustrar la evolución mediante un árbol está debatido (como se verá en el capítulo III), normalmente se asume que el árbol evolutivo es una metáfora del árbol familiar puesto que éste último se ha empleado desde la antigüedad para mostrar líneas de ancestría-descendencia. Pero mientras que los árboles genealógicos muestran únicamente relaciones de parentesco entre taxones (las especies o ancestros nuevos o diferenciados que aparecieron antes en el tiempo), los árboles evolutivos pueden mostrar relaciones amplias entre linajes enteros, órdenes o clases. Y esta genealogía llevada a una escala tan inmensa es lo que se conoce como filogenia (Tudge, 2000).

La importancia de esta metáfora pictórica consiste tanto en su potencial didáctico para ayudar a entender la teoría, como en su papel en la guía de investigaciones posteriores sobre ella. Mediante el árbol filogenético se puede comprender el avance de los conocimientos acerca de la diversidad de la vida y los eventos que la generaron, pero también sirve como guía de los conocimientos científicos actuales, al brindar un riguroso marco de trabajo para dirigir cada una de las subdisciplinas de la biología en la búsqueda por clasificar e identificar a los organismos y por entender sus relaciones. Gracias a esto último, el árbol de la vida, ha resultado ser un modelo ideal del conocimiento biológico (Maddison & Schulz, 2004).

1.3 Las metáforas en la comunicación y en la enseñanza de la ciencia

El papel cognitivo que juegan las metáforas en la adquisición de conocimiento es el tema principal de este apartado, así como su empleo en la comunicación de la ciencia. Pero antes de comenzar a exponer lo anterior, resulta conveniente mencionar el papel que juega la comunicación de la ciencia como una condición necesaria para la comprensión del público acerca del quehacer científico.

Actualmente casi todo el mundo acepta la idea de que la ciencia y la tecnología son las actividades humanas con mayor impacto tanto social como ambiental. De hecho, la conformación humana actual es producto de la tecnociencia (pensemos en las innovaciones en términos agrícolas y de salud) y una gran proporción de seres humanos tenemos contacto directo con artefactos tecnológicos y con conceptos científicos. Es por ello que el entendimiento de la práctica científica por la comunidad humana entera es absolutamente fundamental para lograr una sociedad con valores esenciales, que pueda participar en la toma de decisiones que afectan su vida diaria y que le permitan interactuar con distintos aspectos de la tecnología.

La aparición pública de temas científicos puede rastrearse a mediados del siglo XIX, principalmente en Inglaterra, que es cuando surge un público ávido por temas relacionados con el mundo natural y con las innovaciones tecnológicas, tales como la electricidad, los grandes saurios y la evolución de las especies (Guevara, 2004). Sin embargo, los esfuerzos conjuntos por generar canales de comunicación entre la ciudadanía y la comunidad científica son relativamente recientes y, de acuerdo con Sagan (1996), tienen su raíz en la búsqueda de apoyo público para la realización de las investigaciones científicas. Debido a que “con el final de la guerra fría, el pretexto de la defensa nacional — que había servido para apoyar todo tipo de ciencia fundamental— se volvió virtualmente inaceptable [...] hoy muchos científicos aceptan la idea de divulgar la ciencia [pues de lo contrario] estarían coqueteando con el suicidio” (Sagan, 1996).

Un ejemplo de lo anterior es el de las investigaciones sobre la anemia falciforme, la cual era una condición poco conocida en Estados Unidos hasta que a principios de la década de 1970 se comenzaron a transmitir varios reportajes al respecto. Meses después el presidente Nixon la mencionó como una preocupación de su gobierno; para 1972 los fondos para su investigación aumentaron de un millón a diez millones de dólares (Bucchi, 1998).

Una vez que la divulgación de la ciencia cobró importancia y comenzó a ser defendida y desarrollada por científicos, tecnólogos y académicos, se hizo evidente que la complejidad y especialización del conocimiento científico resultaba un obstáculo para la comprensión de los ciudadanos. Surge entonces lo que se denomina *esquema canónico*, que es la idea de que se requiere de un tercer actor que haga las veces de ‘traductor’ del conocimiento científico. Se trata del divulgador, quien genera una representación de la actividad científica (Guevara, 2004). Y aunque existe una discusión importante acerca de la naturaleza de la divulgación de la ciencia como profesión, del papel del divulgador y del discurso divulgativo como herramienta, lo que nos interesa es que es aquí donde también puede entrar en juego el empleo de las metáforas.

Al tomar en cuenta que el público es un elemento complejo y de ninguna forma homogéneo, la divulgación de la ciencia implica incorporar el trabajo científico en un discurso de alguna forma reelaborado, que cuenta con una “selección natural de metáforas, modelos, imágenes y analogías” (Sagan, 1996). Lo interesante aquí es que este proceso no es ni lineal ni direccional, puesto que puede ocurrir que las metáforas empleadas para explicar los fenómenos científicos a nivel popular, se conviertan posteriormente en una parte integral del discurso propiamente científico (Guevara, 2004). Un ejemplo es la introducción de la metáfora para explicar el movimiento browniano como *partículas que*

se comportan como hormigas en un laberinto en el discurso de la comunidad científica que se dedica a fenómenos similares (Bucchi, 1998).

Por todo lo anterior, resulta innegable que los vehículos metafóricos juegan un papel estelar en este proceso de acercamiento entre los científicos y el público en general, pues permiten la transferencia de conocimiento de lo que resulta familiar a lo que es menos conocido, produciendo así un nuevo nivel de aprendizaje. En este sentido, las metáforas son esenciales como herramientas pedagógicas porque permiten la adquisición de conceptos difíciles y la contextualización a la idiosincrasia cultural de fenómenos científicos estrechando la distancia que existe entre los especialistas y la población en general. Es por ello que en comunicación de la ciencia generalmente se emplean tales vehículos que son familiares para el público, pues de esa manera la interpretación es sencilla y no se requiere de una deliberación activa y consciente sobre su significado (Cameron, 2002).

En pocas palabras, el propósito del empleo de metáforas como estrategia para la comunicación de la ciencia, es el desarrollo del entendimiento de fenómenos abstractos a partir de referencias concretas. Las metáforas se emplean así, como un intento de hacer más accesible lo que es abstracto e intangible porque no puede ser experimentado o visualizado, como ocurre con muchas de las explicaciones científicas, que en ocasiones entran en conflicto con las experiencias cotidianas o resultan diferentes de las nociones intuitivas del público.

1.3.1 Las metáforas en la enseñanza de la ciencia

De acuerdo con Sánchez-Mora (2000), en el caso de la enseñanza de la Biología existen dos tipos de conceptos con los que hay que tratar: descriptivos y teóricos. De los primeros hay ejemplos perceptibles, pues son conceptos de los que se puede tener una experiencia (fossilización, crecimiento, mimetismo), pero los segundos son abstracciones y por lo tanto no se pueden explicar por medio de ejemplos perceptibles (gen, selección natural, evolución). Es en este tipo de conceptos teóricos donde las metáforas y analogías juegan un papel muy importante, especialmente si se usan gráficos o imágenes. Por ejemplo, es difícil comprender el concepto de mutación, pero si se explica en términos de una receta de cocina alterada en uno de sus ingredientes, se facilita el entendimiento de dicho proceso y si se emplea una imagen se facilita aún más.

Varios estudios revelan que el aprendizaje significativo se da cuando se refuerza el 'entendimiento' cualitativo, es decir, aquel generado mediante imágenes, modelos, metáforas o analogías, entre otros. Por ejemplo, estudios sobre errores conceptuales de los estudiantes acerca de principios científicos, muestran que éstos entran al salón de clases con una serie de conceptos incorrectos bien arraigados, los cuales fueron construidos de manera intuitiva y mediante su experiencia cotidiana. Y aunque a estos estudiantes se les expliquen las fórmulas apropiadas, digamos de fuerza y movimiento, seguirán manteniendo sus concepciones erróneas sobre estos fenómenos de la física (Clement, 1982 en Mayer, 1993). Por el contrario, si se emplean ayudas cualitativas que involucren éstos mismos conceptos, tales como videos, juegos, etcétera, los estudiantes mejoran su entendimiento de la física. Lo anterior sugiere que las estrategias de enseñanza deberían considerar primero el nivel conceptual antes de enfatizar el aprendizaje de un lenguaje formal y cuantitativo en el estudio de la ciencia.

Por otro lado, varios estudios muestran que las metáforas resultan más sobresalientes para los estudiantes que otros aspectos de un texto. En una prueba de memoria, resultó que los estudiantes recordaron el 26% de la parte del texto que describía metáforas concretas, mientras que solo el 12% del resto de material del texto (Mayer,

1993). Esto sugiere que cuando las metáforas resultan familiares y concretas, atraen la atención del lector, cubriendo así el primer criterio de aprendizaje significativo (*seleccionar*, siendo el resto *organizar* e *integrar*). El resto de los criterios dependen de la metáfora elegida, pero el empleo de metáforas adecuadas definitivamente ayuda a construir analogías entre causas-efectos y entre conceptos complicados.

1.3.2 ¿De qué manera contribuyen las metáforas en el proceso de enseñanza-aprendizaje?

Al considerar los dos tipos de metáfora anteriormente descritos (comparativas e interactivas) y según la literatura, la contribución de éstas en la enseñanza de la ciencia se da de dos maneras distintas. Una en el ámbito psicológico —dada por las metáforas comparativas— al permitir la transferencia de conocimiento y entendimiento entre los dominios de la metáfora de forma vívida y memorable incrementando así el aprendizaje (Paivio, 1971; Ortony, 1975; Davidson, 1976; Reynolds & Schwartz, 1983, en Petrie & Oshlag, 1993) y otra en el epistemológico —protagonizada por las metáforas interactivas— al permitir la adquisición de conocimiento radicalmente nuevo (Petrie, 1976, 1981, Rumelhart & Norman, 1981; Vosniadou & Brewer, 1987). Veamos por qué.

Las *metáforas comparativas* se pueden emplear como instrumentos didácticos al *ayudar* a los estudiantes a *entender* las descripciones y explicaciones científicas. No obstante, como no todas las metáforas son igualmente instructivas (ver siguiente apartado) se considera que aquellas que ayudan efectivamente al aprendizaje son las que se denominan *metáforas instructivas* (Mayer, 1993). Este tipo de metáforas se basan en la teoría de la *transferencia analógica*, la cual sostiene que para que las metáforas sean efectivamente de ayuda en la comprensión de conceptos deben ser capaces de crear una analogía entre el sistema que requiere ser aprendido y el sistema que resulta familiar. Para que esto ocurra debe haber una correspondencia de uno a uno entre ambos sistemas. Por ejemplo, si decimos “piensa en el radar como una pantalla de TV conectada a una cámara de video”, tenemos una metáfora que está muy lejos de ser instructiva puesto que los sistemas de una cámara de video no corresponden con los de un radar, pero si explicamos el radar en términos de eco, entonces obtenemos una metáfora didáctica que ayuda en la retención de información clave para el fenómeno en estudio (Mayer, 1993). Esto es importante porque las metáforas que no son concretas y que no tienen una relación analógica directa, pueden ser entendidas de diversas maneras y entonces conducir a los tan temidos errores conceptuales.

Lo anterior muestra que las metáforas comparativas sirven como *apoyo* en la enseñanza, pero las *metáforas interactivas* pueden ser entidades epistémicas por sí mismas. Varios autores (Petrie, 1976, 1981, Rumelhart & Norman, 1981; Vosniadou & Brewer, 1987) han propuesto que el aprendizaje de algo totalmente nuevo implica siempre el uso de metáforas o de procesos metafóricos, en este sentido no son solo herramientas didácticas sino verdaderas entidades epistémicas. Estos autores siguen la tan en boga teoría constructivista del aprendizaje y, por lo tanto, definen el conocimiento radicalmente nuevo (*radically new knowledge*) como el cambio de nuestras representaciones preexistentes.

En la actualidad se acepta que nuestro conocimiento del mundo no está dado directamente por él tal como es, sino por nuestros modos de percibir, representar y entender, por nuestros esquemas, modelos mentales, etcétera. Gran parte del aprendizaje, por lo tanto, se basa en la habilidad de procesar nuestra experiencia en términos de contextos y esquemas existentes y la relación entre ambos. Sin embargo, a veces aprendemos algo al cambiar nuestras representaciones y el resultado de este cambio es lo

que se denomina conocimiento radicalmente nuevo (Petrie & Oshlag, 1993). Es por ello que para la teoría constructivista, la enseñanza siempre debe partir de lo que los estudiantes ya saben (ideas previas, errores conceptuales, etcétera).

Ahora bien, si las ideas previas de los estudiantes no concuerdan con las explicaciones científicas (como en el caso de las explicaciones lamarckistas vs. Darwinistas de la evolución), de acuerdo con estos autores, las metáforas interactivas son uno de los caminos centrales para tender un puente entre el abismo epistemológico existente entre el conocimiento viejo y aquel radicalmente nuevo. Otros son los modelos, arquetipos y las analogías (*familia de los elementos cualitativos*). ¿Cómo? Podemos mencionar dos vías.

La primera es mediante el dominio conocido de la metáfora que transfiere algunas de sus propiedades al desconocido, es decir que el vehículo actúa como un ejemplo prototípico de la nueva categoría a aprender. De esta manera se expanden las estructuras cognitivas del estudiante y se le da una nueva forma de describir, pensar y enfrentarse a la naturaleza. Un ejemplo es el sistema solar como ejemplo prototípico de elementos que giran en torno de un elemento central⁶.

La otra vía es haciendo evidentes las ‘anomalías’ que existen entre las ideas previas de los estudiantes y el conocimiento que se le está dando. Al tomar prestados algunos de los términos que propuso Kuhn para su análisis del desarrollo de la ciencia, los estudiantes resuelven su vida diaria mediante sus paradigmas (representaciones del mundo), pero si estos paradigmas se enfrentan con un problema que no pueden resolver, o que se puede resolver de otra forma, entonces se enfrentan con una anomalía. Y tal como los científicos buscan otro modelo para resolver la anomalía, los estudiantes lo pueden hacer con la ayuda de una metáfora adecuada. Aquí es importante hacer notar que para que la metáfora tenga efecto, al menos uno de los dominios empleados metafóricamente debe ser parte del esquema conceptual del estudiante, pues de lo contrario éste simplemente rechazará lo que se le está invitando a considerar⁷ (Petrie & Oshlag, 1993).

Y retomando a Kuhn, así como propone que los estudiantes de una ciencia requieren adquirir los modelos que rigen los paradigmas particulares de su ciencia mediante diagramas, demostraciones, ejercicios de laboratorio y experimentos, los estudiantes también requieren de *actividades* para asimilar el conocimiento nuevo, tales como clasificar, discernir y percibir similitudes y diferencias entre las cosas. En el caso de las metáforas, las actividades además implican la construcción de nuevas relaciones, que conducen al cambio en nuestras formas de representar el mundo. Es por eso que las metáforas son elementos epistemológicos, pues no las recibimos de forma pasiva, sino que requieren de actividades que nos demandan capacidades cognoscitivas importantes. De aquí que las metáforas sean un instrumento importantísimo para superar los errores conceptuales de los estudiantes (Petrie & Oshlag, 1993).

⁶ Aquí hay quien podría argumentar que el sistema solar como metáfora del átomo o de cualesquiera elementos que giran en torno de un elemento central es una metáfora comparativa si no es que una analogía, pero debemos recordar que sería una analogía únicamente para aquellos que están familiarizados con las características de los dos dominios. Para muchos estudiantes resulta en una metáfora interactiva.

⁷ Para ejemplos interesantes de metáforas didácticas, así como estudios sobre su papel en el aprendizaje de conocimiento radicalmente nuevo ver: Petrie & Oshlag *Metaphor and learning* en *Metaphor and Thought*, Cambridge University Press.

1.3.3 Problemática del uso de analogías y metáforas en la comunicación de la ciencia.

No todas las metáforas son igualmente instructivas. Puede ser que algunas no tengan efecto alguno en los estudiantes, mientras que otras pueden ser engañosas y conducir a errores conceptuales debido a que existen diferentes formas en que las metáforas pueden ser concebidas (Spiro, Feltovich, Coulson & Anderson, 1989, en Mayer, 1993). Además, a veces las metáforas se entienden como verdades literales, interfiriendo así con la adquisición posterior de conocimiento más adecuado.

Debido a lo anterior, sigue existiendo un conflicto en cuanto a la naturaleza exacta del empleo de las metáforas en educación y comunicación de la ciencia, puesto que algunos investigadores sugieren que es difícil identificar su participación en el cambio conceptual de los estudiantes y del público en general (Dagher, 1994) y que su papel didáctico es ambiguo, además de que existen desventajas en su uso como la posibilidad de que el público confunda elementos del dominio base (tópico) con los del objetivo (vehículo), de manera que no se establezca una verdadera analogía o metáfora entre ambos (Duit, 1991).

Un problema común y bastante grave en la enseñanza de la Evolución es la metáfora de Darwin: 'La lucha por la existencia'. En palabras de Darwin para explicar la lucha por la existencia dice "Uso esta expresión en un sentido amplio y metafórico que incluye la dependencia de un ser respecto de otro, y —lo que es más importante— incluye no solo la vida del individuo, sino también el éxito para dejar descendencia" (Darwin, 1859).

Esta metáfora es interpretada muchas veces como la sobrevivencia del más apto en términos de fuerza bruta, como una lucha cuerpo a cuerpo, malentendiendo así la concepción de Darwin de la dependencia de organismos, de éstos con el ambiente, pero sobre todo, de la competencia entre especies del mismo género, de variedades de la misma especie y de especies diferentes.

Por ello muchos investigadores afirman que las metáforas y analogías suelen ser ineficaces, porque los autores no siguen reglas para construirlas y su uso sistemático y descuidado causa confusión (Duit, 1999). Además, se puede confundir al público con el empleo de metáforas con un enfoque animista, fenómeno bastante común entre los maestros de Biología (Watts & Bentley, 1994). A pesar de ello, se ha demostrado que es mayor el beneficio que el perjuicio brindado por las metáforas y que mucho tiene que ver la preparación de los profesores y el acercamiento que tengan con sus alumnos (Ortony, 1979; Williams, 1988; Stepich & Newby, 1988). Sin embargo, y para no caer en la defensa *a priori* de una idea (que las metáforas son fundamentales en la comunicación de la ciencia), queda claro que una línea de investigación importante en comunicación y enseñanza de la ciencia es la búsqueda de analogías y metáforas adecuadas para el entendimiento de conceptos teóricos, así como los mecanismos por los cuales el lenguaje metafórico afecta el proceso de enseñanza y el efecto instructivo que tienen tanto a nivel psicológico como epistemológico.

1.4 Epílogo: Un lugar para los modelos, ¿son éstos un tipo especial de metáforas?

Al tratar el tema de las metáforas en la ciencia, es inevitable cuestionarse sobre la naturaleza de los modelos y su relación con éstas, es decir, ¿son los modelos formas más generales de metáfora?

Resulta impresionante la variedad de acepciones que tiene el término ‘modelo’, así como sus numerosas clasificaciones. Por ello emplearemos aquí la definición más sencilla que sostiene que un modelo es una *representación* de algo. El modelo, por tanto, entraña una comparación de naturaleza simbólica y expresa una semejanza con aquellas cosas, procesos o sistemas que se están estudiando (Díaz, 2005).

Hasta aquí, pareciera que los modelos son un tipo especial de metáfora, porque al igual que éstas, transfieren conceptos o teorías al terreno de la experiencia como mecanismo para comprender los fenómenos bajo estudio. Los modelos teóricos, al ser suposiciones acerca de cómo funciona el mundo, se emplean para interpretar y dar sentido a lo novedoso o abstracto, y son por tanto —tal como las metáforas, una forma de desplazarnos de lo familiar a lo desconocido. Y a pesar que Díaz (2005) sostiene que “estrictamente hablando el modelo científico no es una metáfora”, porque a diferencia de ésta, el modelo busca comparaciones útiles sin cambio de sentido, existen modelos inspirados en metáforas, a los que denominaremos *modelos metafóricos*.

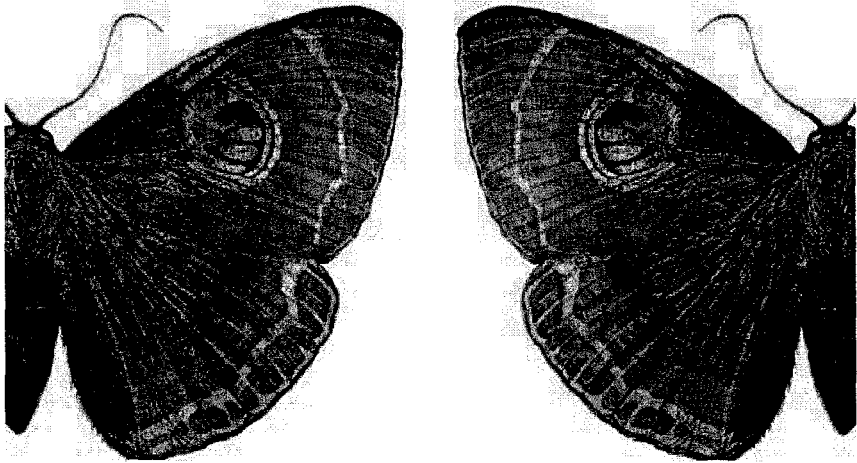
Ahora bien, no todos los modelos son metafóricos ni se pueden realizar modelos de cualquier metáfora. Las representaciones a escala, por ejemplo, no son modelos metafóricos sino construcciones que pretenden representar literalmente la realidad con la que se relacionan (modelos a escala del cuerpo humano o de medios de transporte). Y aunque el modelo y el referente original no pueden llegar a ser homólogos, porque es imposible conseguir una representación precisa y exacta del original, las réplicas no son modelos metafóricos por el simple hecho de pretender representar directamente al referente. “Tal es el caso de la molécula de ADN, que aunque fue sugerido por la metáfora de una escalera de caracol, el modelo pretende representar directamente la estructura química de la molécula, que efectivamente tiene el parecido de una escalera de caracol” (De Bustos, 2000:140).

Sin embargo, cuando hablamos del modelo del átomo de hidrógeno de Rutherford, nos estamos refiriendo a un modelo metafórico, ¿por qué? Porque la relación que mantiene con la realidad no es de uno a uno, sino que solamente toma en cuenta las relaciones relevantes. Es decir que, aunque se inspira en cierto referente, no pretende representarlo de manera precisa ni exacta. Continuando con el ejemplo de Rutherford, es cierto que se inspiró en el sistema solar para su modelo, pero seleccionó únicamente algunos aspectos de este sistema y suprimió otros. Ignoró por ejemplo la temperatura, la masa o el brillo del sol, pues no eran proyectables ni relevantes para explicar la estructura del átomo de hidrógeno, pero conservó la disposición de los componentes (elementos girando alrededor de un núcleo) y la estructura principal (atracción de los elementos hacia el núcleo proporcionalmente a su tamaño) (De Bustos, 2000). Es por ello que decimos que su modelo es metafórico.

En cuanto a la importancia de los modelos, si pensamos en la enorme complejidad del mundo biológico “que desafía hasta los intentos más heroicos de comprensión integral” (Pérez-Tamayo, 2005b), no podemos dudar que los modelos resultan indispensables para el entendimiento de los fenómenos de esta naturaleza. Principalmente en las ciencias experimentales, “los modelos son necesarios porque la realidad que se estudia es demasiado compleja para poder comprenderla tal como ocurre, con todos sus componentes e interacciones entre ellos” (Pérez-Tamayo, 2005). Y con esto terminamos de exponer la importancia de la familia de los *elementos cualitativos* en las explicaciones científicas, a saber, las metáforas, los modelos y las analogías.

Capítulo II

El papel de la imagen en la comunicación de la ciencia, principalmente de la evolución





Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

II. El papel de la imagen en la comunicación de la ciencia, principalmente de la evolución

"If I cannot draw it, I do not understand it"

Albert Einstein

"No se piensa sin imágenes"

Aristóteles

Las imágenes, entendidas en su sentido más amplio como cualquier representación visual o figura en dos o tres dimensiones, —ilustraciones, diagramas, mapas, modelos, dibujos y otros— juegan un papel principal tanto en la construcción como en la comunicación de conceptos científicos. En 1953, James Watson y Francis Crick hicieron historia con su propuesta para la estructura del ADN: un diagrama en forma de doble hélice. Otras hipótesis científicas expresadas en forma diagramática son comunes en biología molecular y bioquímica tales como el ciclo de Krebs, la estructura de las proteínas o la estructura quimiosmótica (Perini, 2005). Lo interesante de estos modelos es que bien podrían expresarse lingüísticamente, pero existen ciertos tipos de explicación en biología que requieren de un formato visual, lo cual muestra el valor epistémico que tienen las imágenes para la ciencia.

Las representaciones visuales también resultan de gran importancia en la enseñanza y aprendizaje de diferentes aspectos científicos, tales como aquello que escapa de la vista, experimentos mentales, metodologías y procesos y para clarificar el cómo y por qué de las cosas. Particularmente en biología las imágenes son utilizadas con mucha frecuencia. Basta hojear un libro de esta ciencia para encontrar numerosas imágenes empleadas para representar la estructura y los procesos de los seres vivos. Sin embargo, ¿son estas imágenes autoexplicativas?, ¿basta con que el observador las estudie para comprenderlas? Son solo algunas de las cuestiones que se exploran en este capítulo.

Por otro lado, al analizar las imágenes más populares sobre la evolución, resulta evidente que las representaciones visuales pueden ser fuentes de errores conceptuales. Esto no solamente ocurre porque existen convenciones en éstas —como en la mayoría de las imágenes— que es necesario conocer para comprender el mensaje gráfico, sino también porque en los diagramas encontramos prejuicios e incluso nociones equivocadas que conducen a una idea errónea del proceso y de los mecanismos de la evolución. Así que en este capítulo no solo se analiza la importancia de las imágenes para impulsar el entendimiento de diversos conceptos científicos, sino también su papel en promover ideas obsoletas o equivocadas.

2.1 Introducción

Desde hace ya varias décadas, los historiadores, filósofos y psicólogos han dirigido grandes esfuerzos hacia la comprensión de la naturaleza de las imágenes visuales y su papel en el entendimiento de conceptos y en años recientes se ha prestado una atención especial al estudio de la representación científica, mostrando su relevancia dentro del quehacer de esta empresa. No obstante, esto no fue siempre así.

La tradición del siglo XVII era marcadamente hostil hacia las experiencias sensoriales, principalmente hacia las imágenes visuales. Durante el Renacimiento y la denominada 'Revolución Científica' del siglo XVII, las experiencias sensoriales eran interpretadas por los filósofos racionalistas de la talla de Descartes o Bacon, como engañosas y confusas y no había nada como la claridad y la certeza que brindaban las matemáticas (Asma, 2001). En 1660, Robert Hooke advirtió que se debía de tener mucho cuidado al emplear imágenes tanto en la ciencia como en la educación de la gente porque "las imágenes que solo sirven de adorno o placer estético y que pudieran ser mejor descritas con palabras, son más nocivas que útiles y sirven solo para distraer y perturbar la mente" (Hall, 1996). Así, durante la Revolución Científica del siglo XVII, se separó tajantemente la razón de las emociones y por lo tanto la teoría de la percepción (aunque irónicamente, como apunta Asma (2001), la palabra griega *theoria* significaba 'contemplación'). Por ello, las imágenes para muchos científicos del Renacimiento eran mero espectáculo y debían estar subordinadas a la palabra escrita y a las matemáticas.

A principios del siglo XX, la ilustración científica seguía siendo un tema marginal porque el empiricismo dominaba los estudios sobre la ciencia y consideraba que ésta debía ser objetiva y que el lenguaje metafórico y visual debía ser hecho a un lado en favor del lenguaje plano, lo cual condujo a la idea de que las imágenes jugaban un papel únicamente complementario del texto y que no pertenecían al territorio de la 'ciencia real': lo que se dice es lo único que tiene valor realmente epistemológico. Por otro lado, la fecunda literatura acerca de la explicación científica de la época, se enfocaba principalmente en las formas lingüísticas de representación, debido a un famoso modelo de explicación en ciencia: el modelo deductivo nomológico (Perini, 2005), el cual concibe a la explicación científica como un argumento formado por una generalización universal y enunciados sobre las condiciones iniciales, que conducen a la deducción del fenómeno a explicar.

En la actualidad este modelo ya se ha superado al no considerar muchos casos de explicaciones científicas genuinas que no cumplen con sus requisitos (ver van Fraassen, 1980; Kitcher, 1981; Salmon, 1984). Además, "¿caso alguna intuición verdaderamente brillante se ha obtenido alguna vez por pura deducción y no mediante metáfora o analogía?" (Gould, 2000) y podemos decir lo mismo acerca de las imágenes, ¿alguna noción científica brillante ha podido prescindir de algún tipo de diagrama o grafismo?

Filósofos e historiadores de la ciencia como Hanson (1958), Kuhn (1962), Polanyi (1974), y Fleck (1979); Lakatos (1971), Feyerabend (1983) y Ruse (1996), entre otros, se han tomado en serio el papel de las imágenes científicas como herramientas para asegurar el éxito de las teorías y han escrito al respecto. Pero han sido los sociólogos y psicólogos los que más se han interesado en el papel que la representación juega en la aceptación de teorías científicas, en la emergencia de especialidades y en la resolución de controversias (Lynch & Woolgar, 1990). En este respecto, las contribuciones de Latour han sido especialmente importantes porque han mostrado que las imágenes científicas son fundamentales para la construcción del conocimiento.

Latour ha empleado varios casos de estudio sobre el desarrollo del lenguaje pictórico, en los cuales sostiene que las imágenes representan una ventaja única durante situaciones polémicas. Los científicos al mostrar ilustraciones, buscan que los argumentos

resulten más visibles y por lo tanto más creíbles, porque los trabajos siempre parecen más sólidos cuando se acompañan de diagramas e ilustraciones (Latour, 1986).

Por otro lado, aquellos que han distinguido las herramientas pictóricas como recursos importantes del quehacer científico y no se han dejado eclipsar por la preocupación filosófica de la naturaleza de la representación, han mostrado que las imágenes visuales han sido fundamentales para la emergencia y profesionalización de disciplinas científicas particulares, principalmente aquellas de corte histórico o comparativo como son la geología, la paleontología, la arqueología, la morfología, la anatomía comparada y la evolución (Rudwick, 1976), puesto que la reconstrucción del pasado sería impensable sin imágenes, que terminan siendo categorías únicas para mostrar evidencias y conceptos teóricos. Es por esta razón, que tales disciplinas desde sus inicios han desarrollado un lenguaje visual distintivo que es empleado para comunicar sus teorías, sus principios técnicos y sus datos (Moser, 1992). Pero más importante aún, han sugerido que aunque las imágenes normalmente se deben entender en relación al contexto de algún contenido asociado, tanto el texto como las imágenes, son recursos empleados por los científicos para transmitir información y que por lo tanto no es sorprendente que se las imágenes realicen la mayor parte del trabajo científico al ser la mejor propuesta que se tiene para presentar conceptos (Topper, 1996). Pensemos solo en los cladogramas, las imágenes de microscopios, los mapas anatómicos, etcétera ¿cómo se podrían comunicar de otra manera?

Laura Perini (2005) realizó un estudio acerca de las explicaciones en biología molecular y bioquímica, pues en estas disciplinas las representaciones visuales se emplean con frecuencia para presentar hipótesis, incluso cuando lo mismo podría explicarse lingüísticamente. La autora encontró dos razones poderosas del porqué del empleo de diagramas y modelos como explicaciones científicas: la primera tiene que ver con la cognición humana, pues al ser primates y por ende seres visuales, las representaciones diagramáticas permiten transformar información bastante compleja en algo comprensible para los humanos. La segunda razón tiene que ver con el papel explicativo que juegan los modelos en estas disciplinas en particular. Cummins (1975, en Perini, 2005) propone que el tipo de explicación que se emplea en biología molecular y bioquímica es de tipo analítico en la cual una parte de la capacidad del sistema se explica con base en las capacidades de los componentes de dicho sistema. A esto lo denomina *análisis o explicación funcional*. Este tipo de explicación requiere del empleo de diagramas o modelos que faciliten el entendimiento de procesos complicados como los de la mayor parte de las rutas metabólicas. Un ejemplo concreto es el modelo para la producción de ATP (adenosin trifosfato), que es la molécula que provee de energía a la célula para que realice la mayoría de sus funciones (Fig. 2.1). No se explicarán las partes del ciclo, basta mencionar que para la síntesis de ATP están involucradas varias reacciones de oxidación-reducción, de forma que el modelo explica la capacidad del complejo para producir ATP mediante:

1. la capacidad de las subunidades para unirse a los precursores,
2. la capacidad del complejo total para responder al insumo de energía al cambiar la conformación de las subunidades y
3. las distintas capacidades de unión de los ligandos.

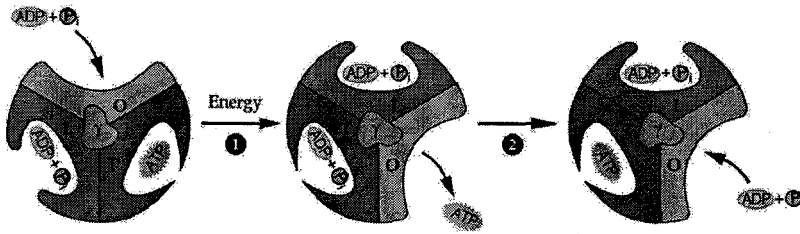


Figura 2.1. Modelo de Boyer para la síntesis de ATP. Las subunidades α y β tienen tres sitios para la unión de nucleótidos: O que provee el primer sitio de unión del ADP y P_i , L al que se unen después de migrar de O y T que se une fuertemente a ATP. La energía que proviene del movimiento de los protones produce la rotación de la subunidad de CF_1 , con lo cual se libera la molécula de ATP (tomada de Perini, 2005).

Como se puede apreciar, los mecanismos de las rutas metabólicas involucran distintas relaciones complejas, por lo que el empleo de diagramas es una forma efectiva para comunicar los fenómenos en cuestión mediante análisis funcionales (entender la capacidad del todo en función de sus partes). Esto es interesante porque en el modelo no solo resultan importantes las relaciones entre los componentes del sistema, sino que la *identidad* de dichos componentes es una parte fundamental de la explicación.

Por otro lado, la capacidad única de las representaciones visuales para mostrar relaciones espaciales y estructurales es invaluable en biología. Las proteínas son macromoléculas esenciales de los seres vivos, las cuales se componen de numerosos aminoácidos (Fig.2.2). Ahora bien, aunque existen representaciones lingüísticas de las posiciones de los aminoácidos, resultaría imposible comprender las propiedades espaciales y estructurales de la molécula a partir de una lista numérica de las coordenadas de cada uno de dichos aminoácidos.

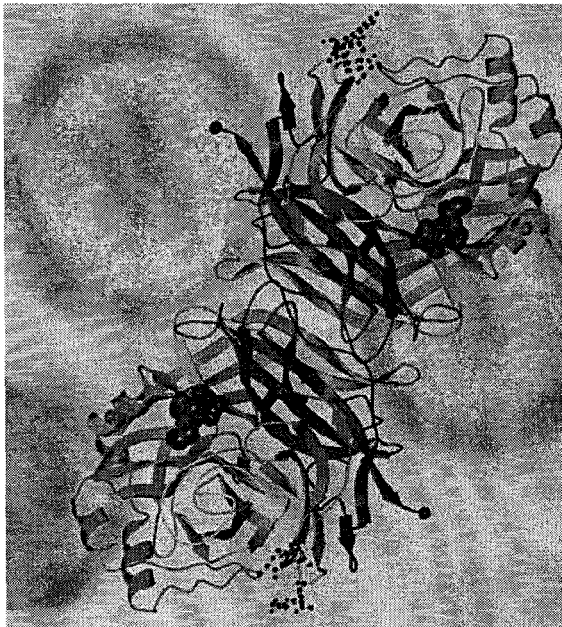


Figura 2.2. Diagrama de la proteína hemaglutinina neuraminidasa. Este tipo de diagramas muestran como la cadena de aminoácidos gira y se dobla para formar una estructura tridimensional (tomada de: Genome News Network, Noviembre 10, 2000).

2.1.1 Fotografías, diagramas, dibujos y otras imágenes

La representación visual puede darse de numerosas formas dependiendo de varios factores: el detalle, la abstracción, la mediación humana, la interpretación, etcétera, por lo que el término imagen se utiliza ampliamente para hacer referencia a fotografías, ilustraciones, diagramas, mapas, esquemas, dibujos, gráficas y modelos, entre los principales. No obstante, en este apartado se tratarán únicamente aquellas imágenes producidas manualmente para representar de forma abstracta las teorías. Esta sección estará dedicada entonces a los diagramas y los dibujos, aunque se hará referencia a las fotografías por ser una forma importante que tienen los científicos de presentar los datos empíricos.

El empleo de imágenes en la ciencia es una parte integral de su quehacer y por ello es una práctica muy extendida. Sin embargo, resulta heterogénea en tiempo, lugar y disciplina (Abraham, 2003). ¿De qué forma?

Maienschein (1991) sugiere que en la ciencia se puede observar una cadena visual que va de la presentación a la representación de datos. En biología y las ciencias de la salud, normalmente se comienza presentando los datos ‘crudos’ con fotografías, las cuales brindan una representación objetiva y sin mediación de los datos empíricos —neuronas en el particular caso de estudio de Maienschein. Posteriormente aparecen los dibujos y los diagramas, los cuales contienen interpretaciones y resultan más informativos que las fotografías porque muestran tanto las generalidades de los hechos observados como las explicaciones teóricas de los datos particulares. Rudwick sostiene que el desarrollo de una mayor ‘abstracción y formalización’ en los diagramas surge cuando se necesita de una mayor carga en el significado de la teoría.

Se puede decir entonces que las diferentes representaciones visuales varían en su naturaleza, en su contenido explicativo, en su función y en su operatividad.

Las fotografías normalmente se emplean para representar directamente lo observado, aquella porción de la naturaleza que se encuentra bajo estudio. Para muchos científicos, las fotografías son el vehículo ideal para comunicar los aspectos básicos del objeto estudiado porque aunque no pueden mostrar la ‘realidad’ tal cual es, al menos brindan una representación sin elementos subjetivos o de interpretación. Las fotografías brindan lo que Steven Shapin y Simon Schaffer denominan ‘testimonio visual’ (Shapin & Schaffer, 1985:60), es decir que el observador puede transportarse para ver lo mismo que ve el científico.

Los dibujos son representaciones *literales* de información y, por ende, tienen un alto grado de detalle e intentan lograr una relación de uno a uno con el objeto estudiado —aunque los bocetos presentan una menor aproximación a la realidad. Sin embargo, siempre resultan esquemáticos y contienen elementos subjetivos de interpretación, lo cual los hace preferibles a las fotografías en aquellos casos en los que se busca comunicar cierto tipo de información. Como ejemplos podemos mencionar las reproducciones del sistema nervioso de Santiago Ramón y Cajal (Fig. 2.3).

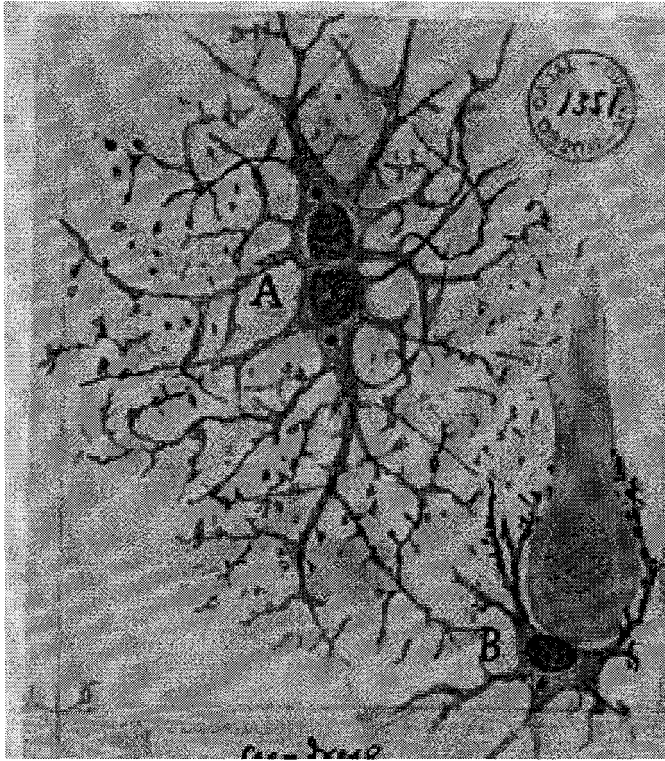


Figura 2.3. Dibujos del sistema nervioso de Santiago Ramón y Cajal, presentes en su libro 'Textura del Sistema Nervioso del Hombre y los Vertebrados', 1894-1904 (tomada de Ramón y Cajal, 1894).

Los diagramas son imágenes *abstractas* que buscan ser claras en la representación de la teoría. En ellos, solo se plasma la información necesaria para comprender el funcionamiento del objeto estudiado, el cual puede ser real o teórico. De forma que los diagramas hacen posible presentar los hechos científicos en formas más generales y abstractas que —si es posible— mediante fotografías o dibujos. Para ciertos autores, dentro de la categoría general de diagrama caben los mapas, las gráficas y los esquemas (Anderson, 1997).

Una propiedad importante de los diagramas es que comparten algunas características sintácticas con las representaciones numéricas y con las textuales, lo que les permite ser empleados para presentar modelos científicos. De forma similar a las representaciones numéricas y textuales, los diagramas se componen de elementos articulados (Goodman, 1976). De forma que en un diagrama se pueden identificar sus componentes atómicos, los cuales al sumarse brindan el significado total, de la misma forma que la suma de las letras, de los signos de puntuación y de los espacios brinda el significado de las frases textuales (Perini, 2005). El significado de los diagramas entonces queda en función de “1) el significado de sus componentes atómicos y, 2) el arreglo de dichos componentes”. Como ejemplos de diagramas podemos mencionar las ilustraciones de las células o las rutas metabólicas como el ciclo de Krebs (Fig. 2.4)

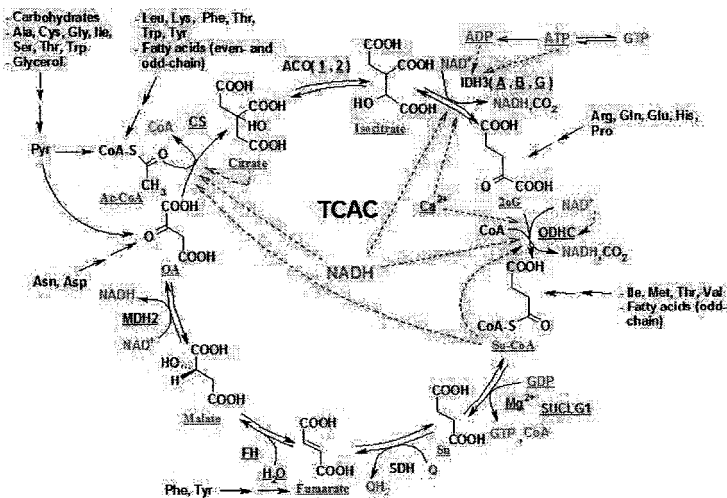
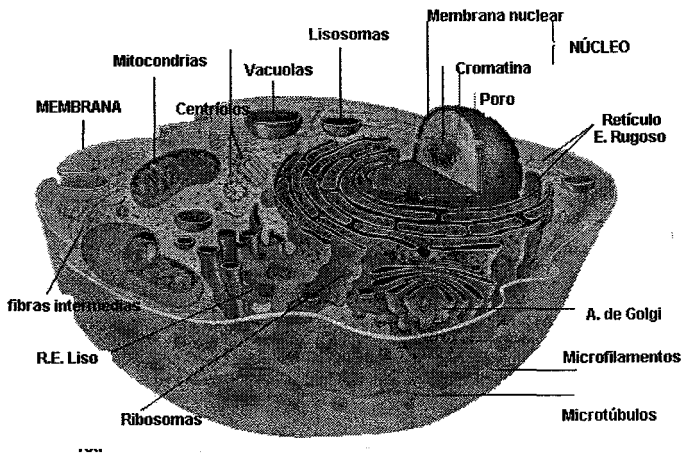


Figura 2.4. Ejemplos de diagramas. Arriba: célula animal; abajo: ciclo de Krebs (tomada de Darnell *et al.*, 1993).

2.1.2 El lenguaje de las imágenes no es universal¹

Frente a la palabra o al texto escrito, la imagen tiene la ventaja de que transmite instantáneamente su mensaje. “Toda la estructura visual queda al alcance de una simple

¹ Para saber más sobre las convenciones que determinan la comprensión de las imágenes, ver el capítulo IV.

mirada” (Martineau, 1959). Sin embargo, en contra de la creencia popular, el lenguaje de las imágenes no es universal, sino que se encuentra intensamente condicionado por una serie de códigos —antropológicos, culturales, sociales (tradiciones, oficios y profesiones)— que determinan a los individuos (Eco, 1972).

Brown (1996) identificó dos aspectos de las ilustraciones científicas, el primero es que deben verse asociadas con algún texto y el segundo es que son instrumentos poderosísimos para transmitir información. La relación entre ambos se aprecia más claramente cuando se clasifican las ilustraciones científicas de acuerdo con el grado en que se integran con el texto o con otro tipo de elementos simbólicos. Una imagen cruda como sería una fotografía, es entendida más fácilmente por el público lego sin mayor explicación. No obstante y de manera un poco irónica, las fotografías son las menos ilustrativas porque contienen demasiada información, lo cual resulta de poca utilidad científica y de poco interés epistemológico. Por el contrario, las representaciones visuales en forma de diagramas —como aquella de Darwin de la divergencia hipotética de caracteres y de la extinción, brindan imágenes tangibles de porciones de la naturaleza que de otro modo sería imposible registrar. En este sentido, las imágenes permiten visualizar cosas que estrictamente hablando son invisibles, lo cual se aplica igual de bien a la microscopía electrónica que a las representaciones de los epiciclos (Gombrich, 1974) o a los árboles filogenéticos.

Podemos decir entonces que las representaciones en forma de diagramas, los cuales se pueden definir como figuras simplificadas, buscan simbolizar aquello que el autor considera esencial del tema que se encuentra tratando. Los diagramas tienen gran importancia epistemológica, de hecho se podría decir que son un vehículo epistemológico, porque presuponen la habilidad de realizar inferencias a partir de ellos, lo que significa que debe existir una serie de convenciones que son compartidas tanto por el autor, como por el observador (Hall, 1996). Lo anterior muestra que para que los diagramas cumplan su cometido, se requiere de ciertas nociones previas, de cierto ‘lenguaje visual’ por parte del público, sin el cual es poca la ganancia de entendimiento.

A partir de la década de 1960 surgió un nuevo concepto para describir la idea anterior, denominado ‘alfabetización visual’, el cual sostiene que tanto los científicos como el público en general requieren de ciertas habilidades especiales para ‘leer’ imágenes y comprender sus mensajes visuales (Heinrich *et al.*, 2002). Esto, entre otros aspectos, porque las imágenes científicas en forma de diagramas no deben interpretarse literalmente, puesto que están llenas de convenciones gráficas, lo que quiere decir que aprender a utilizarlas es parte del conocimiento sobre la materia (Constable *et al.*, 1988). Lo anterior es particularmente importante en comunicación de la ciencia, porque uno de los errores más comunes que se cometen en cuanto a las imágenes es asumir que éstas son autoexplicativas y que su cometido es simplificar el contenido de las descripciones verbales. La realidad es que la comprensión de las ilustraciones científicas requiere que los estudiantes desarrollen conocimientos y aptitudes especiales, que les confieran el lenguaje necesario para interpretarlas, lo cual debería considerarse como parte de la educación básica.

Este último punto es particularmente interesante para este proyecto, porque una vez que este ‘lenguaje’ se ha establecido, la comunicación se hace posible; como en todos los aspectos de la comunicación, podemos conducir al público a interpretaciones erróneas mediante una falsa iconografía o a interpretaciones que se ajustan a aquello que queremos transmitir. El árbol de la vida, que resulta ser nuestra iconografía para ilustrar las relaciones de descendencia evolutiva, que se ajusta a las nociones que resultan de este proceso (por ejemplo que todos los seres vivos que compartimos la Tierra en este momento somos igualmente modernos o que no hay seres más o menos evolucionados) no es tan empleada como sería lo deseable y en lugar de ella, vemos una y otra vez la marcha del

progreso (ver figura 2.26) que conduce a ideas distorsionadas. Pero antes de abordar este punto, resulta fundamental explorar otros aspectos sobre la importancia de las imágenes en la Biología.

2.2 La importancia de las imágenes en la Biología

Los biólogos somos personas extraordinariamente visuales, nos valemos de imágenes para casi todo. Los libros antiguos están llenos de representaciones de plantas y animales (Fig. 2.5) que ilustran las preocupaciones de la historia natural y muestran al paso del tiempo los cambios de intereses y de teorías de los naturalistas conforme fueron dando lugar a biólogos, botánicos y zoólogos.

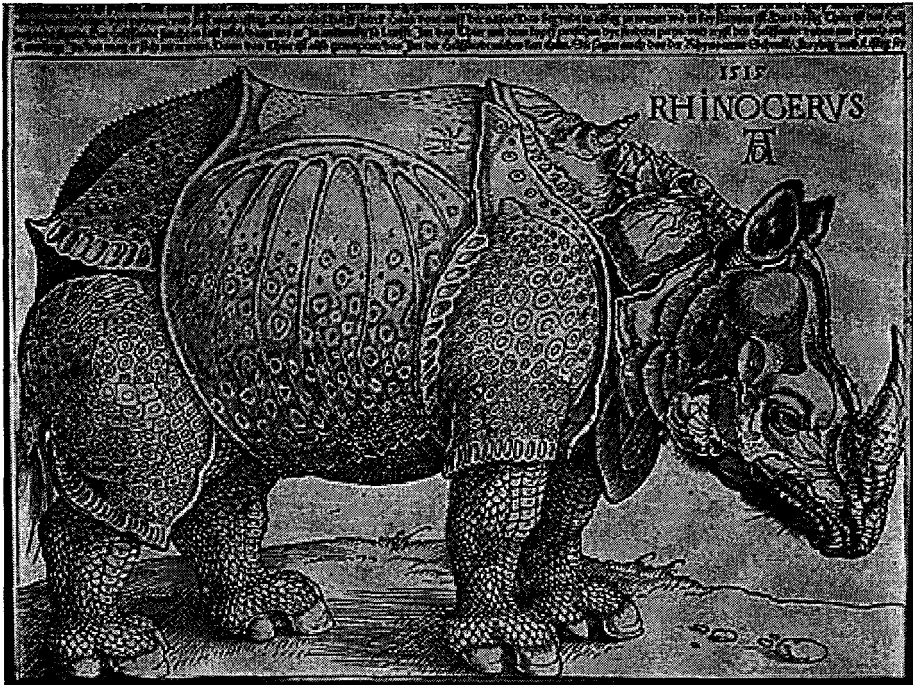


Figura 2.5. Imagen del grabado del Rinoceronte de Albrecht Dürer, 1515 (tomada de www.commonswikimedia.org).

Podemos apreciar imágenes que ilustran lo directamente observado (Figs. 2.6 y 2.7), otras que incorporan elementos de interpretación del cómo o por qué de las cosas (Figs. 2.8 y 2.9), unas más que muestran aspectos de la metodología científica (Figs. 2.10 y 2.11) y otras que expresan e ilustran conceptos y experimentos mentales (2.12 y 2.13).

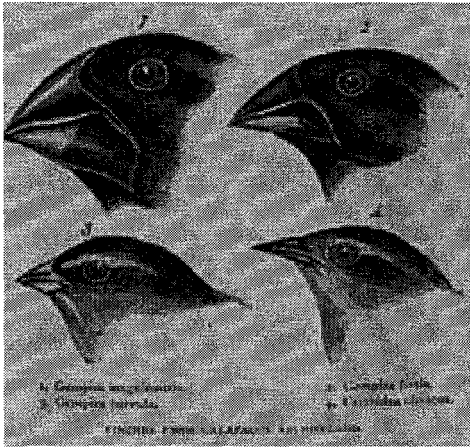


Figura 2.6 'Pinzones de Darwin' de John Gould, 1839 (tomada de www.commonswiki.org)

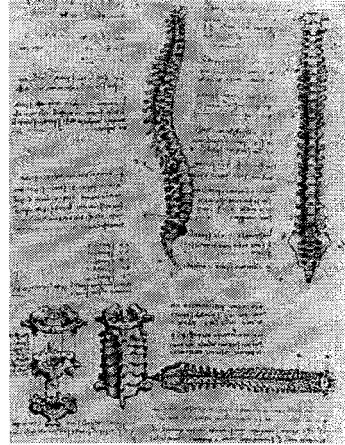


Figura 2.7. Columna vertebral de Leonardo da Vinci, 1489 (tomada de Leonardos's Anatomical Drawings, 2004).



Figura 2.8. Árbol de Ginkgo, de Louis Claude Richard, 1808 (tomada de www.commonswiki.org).

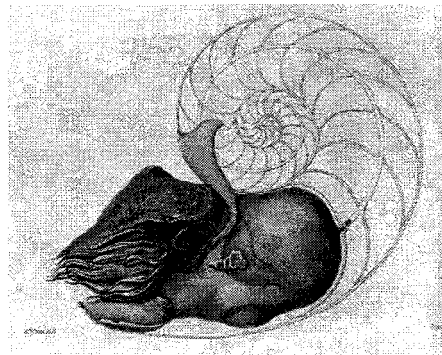


Figura 2.9. *Nautilus pompilius*, de Richard Owen, 1832 (tomada del archivo del Royal College of Surgeons, Inglaterra: www.rcseng.ac.uk).

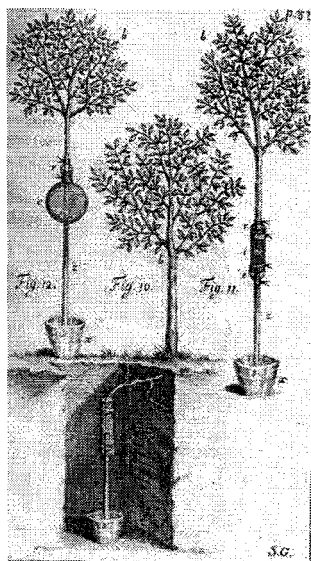


Figura 2.10. Cómo se obtiene agua del tronco de los árboles, de Stephen Halles, 1727 (tomada de Brown, 1996).

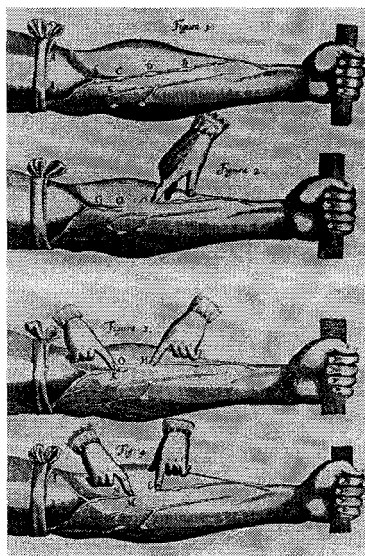


Figura 2.11. Sobre el movimiento de la sangre, de William Harvey, 1628 (tomada de Brown, 1996).

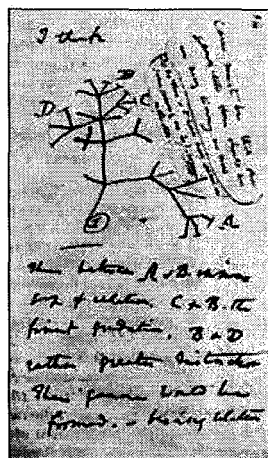


Figura 2.12. Boceto del árbol de la vida de Darwin, 1837 (tomada del Peabody Museum of Natural History, Yale University: www.peabody.yale.edu).



Figura 2.13. Origen de los continentes y océanos, de Alfred Wegener, 1929 (tomada de Wegener, 1929).

Tan solo en uno de los libros de texto más importantes de biología, intitulado *Biología celular y molecular* de Darnell, Lodish y Baltimore (1986) se encuentran 1050 ilustraciones, en sus 1105 páginas (Ruse, 1996), lo que nos muestra que las imágenes son herramientas didácticas fundamentales. Todos los libros y las revistas de biología se encuentran asimismo repletas de imágenes, dibujos, gráficas, figuras, mapas y fotografías. “Desbordando vibrantes colores, algunas publicaciones parecen deberle tanto a Walt Disney, como a Charles Darwin” (Ruse, 1996).

Uno de los ilustradores científicos más importantes que hayan existido y que nos muestra la importancia de las imágenes en la ciencia, es sin duda Jan Van Rymsdyk—de la talla de da Vinci y Vesalius— quien trabajó con los hermanos Hunter, John y William durante el siglo XVIII². El primer trabajo que Rymsdyk hizo para William Hunter—quien fue uno de los primeros en desarrollar la obstetricia— fue una serie de ilustraciones de estudios anatómicos sobre la mujer embarazada. Este trabajo eventualmente se convirtió en la obra maestra de Hunter intitulada *The Anatomy of the Human Gravid Uterus* que fue publicado en 1774 después de 22 años de trabajo. Durante ese tiempo, Hunter proveyó a Rymsdyk con más de 12 cadáveres de mujeres en diferentes estados de gestación (Asma, 2001).

El trabajo de Rymsdyk es excepcional. Los detalles son cuidadosos, los colores, las sombras y las formas extraordinariamente bien logrados y la disposición de los tejidos y los órganos sugieren que además de sus habilidades artísticas, estaba muy interesado en la historia natural (Fig. 2.14). El libro donde se encuentran sus ilustraciones, le valió a William Hunter su reputación como uno de los principales anatomistas de su tiempo y a dicho libro el éxito a través del tiempo, pues aún en la actualidad es consultado por estudiantes de medicina para comprender las fases del desarrollo embrionario, los cambios que sufre el útero y el desplazamiento de los órganos adyacentes.

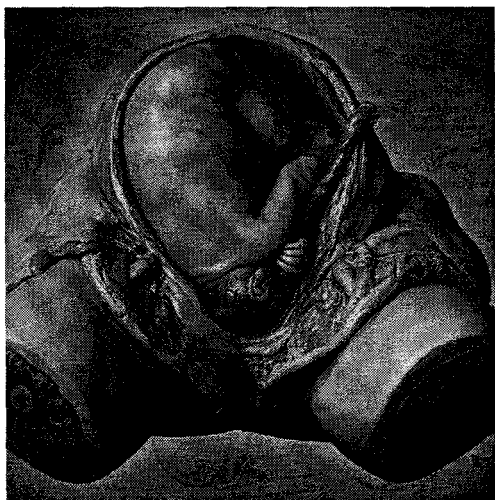


Figura 2.14. Ilustración de Jan van Rymsdyk, publicada en 1774 en *The Anatomy of the human gravid uterus* de William Hunter. Actualmente forma parte de la colección de la Biblioteca de la Universidad de Glasgow (tomada del archivo del Royal College of Surgeons, Inglaterra: www.rcseng.ac.uk).

² Dentro del Real Colegio de Cirujanos en Londres se encuentra el Museo Hunteriano que es una de las principales colecciones de especímenes conservados del mundo. El responsable fue John Hunter (un genio de la disección y la preparación de especímenes), quien preparó en total 13,687 especímenes biológicos, entre los que destaca el ‘gigante irlandés’ Charles O’Brien y la colección de patología.

Los usos pedagógicos de las ilustraciones de Rymsdyk no pueden sobreestimarse. A finales del siglo XVIII la comprensión de la anatomía femenina era muy incompleta. Tanto Aristóteles como Hipócrates pensaban que el útero humano tenía dos cavidades, el anatomista del siglo XIV Mundinus sostenía que tenía siete (Asma, 2001). Durante el Renacimiento se dio énfasis en el realismo y la forma humana recibió una atención renovada, principalmente de artistas como Albrecht Dürer, Miguel Ángel y Leonardo da Vinci. Sin embargo, aunque da Vinci tenía una mejor idea de la anatomía femenina, sus ilustraciones no estuvieron disponibles para los practicantes de medicina sino hasta el siglo XIX (Fig. 2.15).

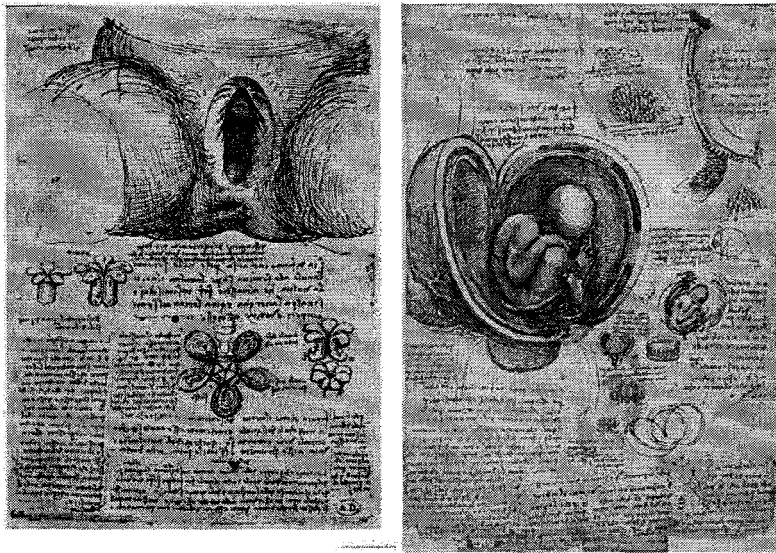


Figura 2.15. Ilustraciones de Leonardo da Vinci de la anatomía femenina (tomada de Leonardos` Anatomical Drawings, 2004).

Así que desde el Renacimiento hasta la época de Hunter se hizo un progreso insignificante en cuanto a la anatomía femenina y, por ello, las ilustraciones de Rymsdyk representaron un parteaguas en el conocimiento, tanto de los órganos sexuales femeninos, como de las etapas de gestación. Ello explica que no solo fueran muy empleadas en Europa, pues en Estados Unidos también jugaron un papel importante en la enseñanza de la medicina, cuando fueron adquiridas por el anatomista Charles Nicholas Jenty (Asma, 2001).

Los estudiantes de medicina, las parteras y las mujeres, todos se beneficiaron de las creaciones artísticas de Rymsdyk. "Así que cuando las imágenes visuales son capaces de salvar vidas, es difícil sostener que éstas son puramente ornamentales y sin valor epistemológico o científico" (Asma, 2001:248).

Por otro lado, los ejemplos de ilustraciones biológicas como sostén de teorías e ideas revolucionarias son también numerosos, pero baste mencionar las ilustraciones de Richard Owen del arquetipo de los vertebrados (Fig. 2.16); el poliedro de Galton (Fig. 2.17) para explicar el poder de la variación discontinua; los mapas cromosómicos de Thomas

Morgan y colaboradores (Fig. 2.18) y por supuesto, el árbol de la vida de Darwin (Fig. 2.19), para mostrar que las imágenes importan, e importan mucho.

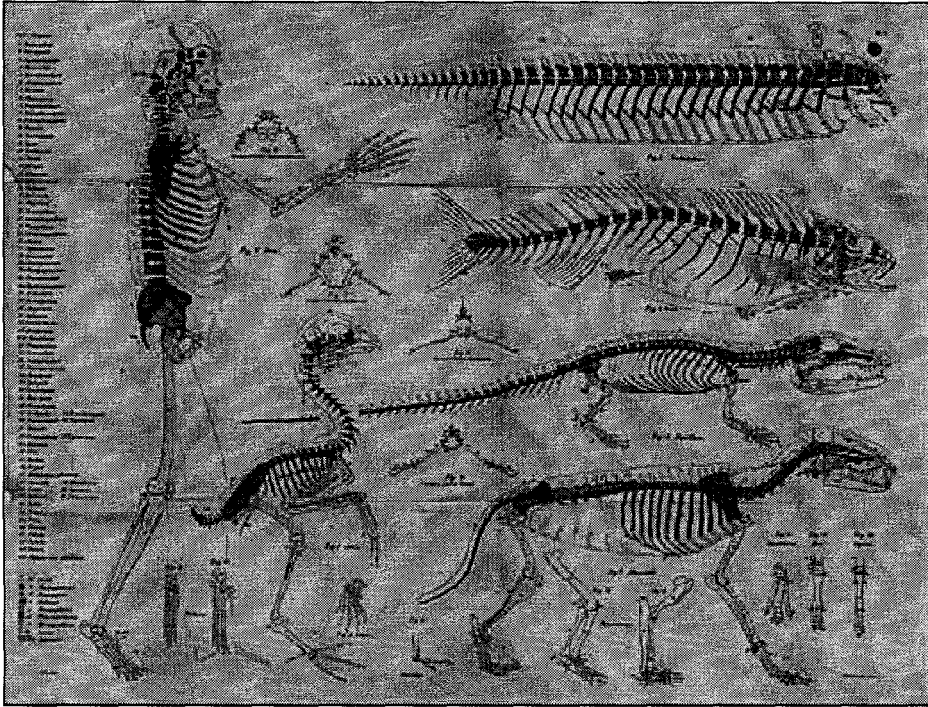


Figura 2.16 Arquetipo de los vertebrados de Richard Owen, en *On the Nature of Limbs*, 1849 (tomada del archivo de la American Philosophical Society: www.pachs.net).

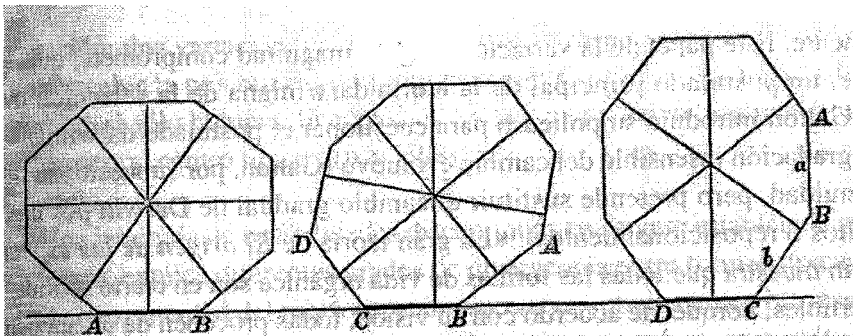


Figura 2.17. Poliedro de Galton, (1889) que ilustra tres cosas: a) la evolución saltacional provocada por las mutaciones, b) el paso evolutivo de una faceta a otra y c) la estricta limitación para los caminos del cambio evolutivo que provoca la estabilidad de las especies (Tomada de Gould, 2001).

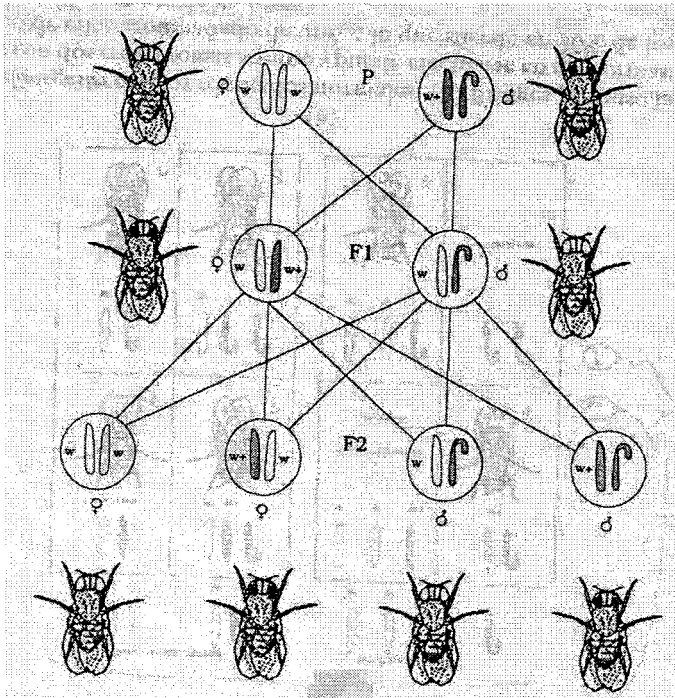


Figura 2.18. Uno de los mapas cromosómicos de Thomas Morgan, 1911 (tomada de Barahona & Piñero, 1994).

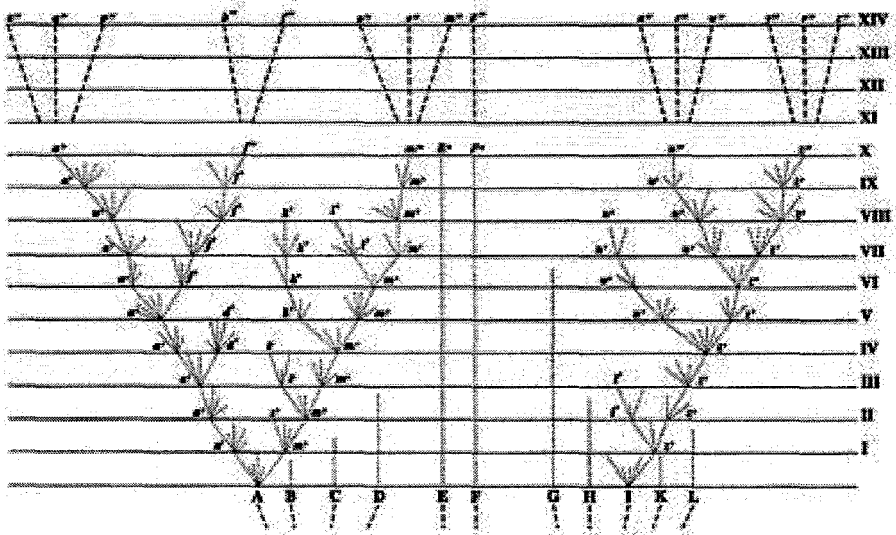


Figura 2.19. Árbol de la vida de Darwin, 1859 (tomada de Darwin, 1957).

No obstante, es fundamental mencionar que no todas las teorías científicas tienen imágenes y que no todas las imágenes científicas son esenciales. Además y de manera importante, no todas las metáforas en ciencia dan pie a ser representadas, aunque algunas metáforas fundamentales, tales como la selección natural, la lucha por la existencia y la descendencia con modificación si lo hacen (Asma, 2001). Asimismo, es importante notar que cada tipo de representación —meramente observacional, con elementos de interpretación, o bien, metodológicos y de abstracciones teóricas— conlleva diferentes problemas filosóficos, asunto sobre el cual tan solo se mencionará un aspecto interesante.

2.3 Describir o construir la realidad

Existen numerosos acercamientos ante el problema del quehacer científico, algunos de los cuales negarían la importancia de las imágenes, y de hecho sostendrían que el ideal de la ciencia sería que se deshiciera de ellas a la hora de *describir* la realidad, mientras que otros las tomarían muy en serio, como constituyentes fundamentales de la ciencia para *construir* la realidad (Ruse, 1996). Estos extremos están representados de un lado por el objetivismo extremo de la filosofía tradicional de la ciencia, enmarcada por Popper y del otro por el sociocentrismo del constructivismo social. Y aunque en este trabajo no se analizarán las implicaciones de una y otra postura, el hecho de argumentar la importancia de la imagen y la metáfora en la ciencia es un asunto que recae irremediabilmente en cierta postura filosófica.

Desde la década de 1960 se ha discutido mucho el tema de la racionalidad y del realismo en el ámbito de la filosofía de la ciencia³. El segundo tema es de particular relevancia en este trabajo porque pone sobre la mesa cuestiones acerca de la realidad, ya sea de las cosas que hay en el mundo (entidades teóricas), como de las teorías (si éstas se acercan o no a la verdad de tales cosas) y el papel de las *representaciones* en éstas últimas.

El *realismo científico* sostiene que las entidades, los estados y los procesos descritos por teorías correctas realmente existen, y por tanto, el realista sostiene que nos acercamos a la verdad. De manera opuesta, el *antirrealismo* insiste en que no existen las entidades teóricas y que se trata de construcciones que permiten predecir y producir los sucesos de interés para el científico. Apoya la idea de que no hay razones suficientes para creer que las teorías son correctas, sino que son instrumentos adecuados de trabajo (Hacking, 1996).

Mi postura es intermedia, considero que las cosas que hay en el mundo son reales y que existen *hechos* o fenómenos o procesos que permanecen mientras los científicos debaten entre teorías rivales para explicarlos. Las teorías son las estructuras de ideas que buscan explicar e interpretar los hechos, son *representaciones* y, por ende, hechos y teorías son cosas diferentes (Gould, 1983). Partiendo de lo anterior, se puede sostener la realidad de las entidades teóricas y la naturaleza 'constructivista' de las teorías, "tenemos buenas razones para suponer que los electrones existen [...] para propósitos diferentes utilizamos modelos diferentes e incompatibles de los electrones que no se toman como literalmente verdaderos, pero, no obstante, los electrones existen" (Hacking, 1996:44). Recurriendo a un tema más afín a este trabajo, podemos mencionar que las reconstrucciones de la

³ Fue a partir de la publicación de 'Las Revoluciones Científicas' de Thomas Khun que aconteció una 'crisis de la racionalidad' en filosofía de la ciencia (la complejidad del fenómeno de conocimiento no definible como un proceso puramente racional), cuando puso de manifiesto una visión diferente de la ciencia, enmarcada por su proceso de devenir histórico y descubrimiento, es decir, por su *historicidad*, la cual implica que la ciencia no es acumulativa, sino que involucra intereses sociales, culturales y económicos que se encuentran lejos de lo que anteriormente se consideraba como 'la búsqueda de la verdad absoluta'.

historia de la vida que se hacen mediante filogenias moleculares suponen que el ADN es real, pero emplean distintas metodologías para elaborarlas (ver capítulo IV).

Además, resulta innegable que los científicos echan mano de diversos recursos que se encuentran al margen de sus resultados finales y de la llamada ‘objetividad’ científica— como la imaginación visual, la metafórica y la temática—, y que las teorías científicas tienen una enorme parte sumergida que no puede ser definida como un proceso racional al involucrar aspectos psicológicos, sociales o culturales, pero que es indispensable para su desarrollo. Existen incluso convicciones culturales que resultan en obstáculos para la comprensión de los hechos, que muestran las trayectorias más subjetivas de las investigaciones científicas, como el caso del rechazo de Galileo a las hipótesis de Kepler “a causa de su imposibilidad de superar un criterio de orden ‘estético’, determinado y compartido por la cultura renacentista, que privilegiaba el círculo como figura perfecta por encima de la elipse” (Preta, 1992).

Y aunque estoy consciente de que no resulta sencillo escapar de los argumentos del antirrealismo, no solo por el significado de ‘verdadero’ y ‘real’, sino porque las entidades teóricas no se pueden conocer mediante la experiencia sensible y cabe la pregunta ¿realmente existen si nos acercamos a ellas de forma indirecta? (la dispersión de haces de partículas se convirtió en el camino para ‘ver’ acontecimiento atómicos), no puedo pensar que no hay cosas que se correspondan con las teorías, y como el realismo científico “es una manera de pensar acerca del contenido de la ciencia natural” (Hacking, 1996:44), elijo este camino. Sin embargo, la realidad de las teorías es otro tema, ¿Cómo sostener que una teoría es verdadera cuando la historia nos ha mostrado que el mismo ‘hecho’ se ha explicado en formas tan diversas? Las teorías echan mano de diversas herramientas que con *construcciones* para acercarnos a esa realidad.

2.3.1 ¿Qué papel juegan las imágenes y las metáforas en esta postura?

Lakoff y Johnson (1980) sostienen que las metáforas pictóricas son esenciales para crear la realidad. ¿Describen el mundo tal cual es? Si nos mantenemos en esta postura intermedia entre el realismo ingenuo y el antirrealismo o relativismo, diríamos que nos muestran el mundo de acuerdo con un sistema conceptual que es el mejor que tenemos y que se encuentra revisándose constantemente. De acuerdo con esto, no podemos asegurar que existe una realidad independiente de nosotros, y tampoco que todo es un capricho psicológico o sociológico (Putnam, 1981). Por ello, el conocimiento previo es un factor muy importante en los modelos de cognición visual y en los modelos constructivistas del aprendizaje. Así, podemos afirmar que las imágenes, —principalmente aquellas que más nos interesan en este trabajo, que son las que representan conceptos teóricos— son elementos imprescindibles de la ciencia, porque nos ayudan a comprender el mundo en el que vivimos.

Aunque no se abordará la dinámica mental que precede a la elaboración conceptual de las representaciones, es importante mencionar que la imaginación juega un papel crucial en el pensamiento científico porque permite construir hipótesis de interpretación sobre el mundo. Al mismo tiempo, el pensamiento metafórico facilita el derrumbamiento de las barreras de los preconceptos y ayuda a fijar en imágenes la variedad de planos del discurso “Lo múltiple, que no es comunicable en el lenguaje de la exactitud, puede en cambio transmitirse con una metáfora, una figura, que mantiene en su interior la pluralidad de tensiones de lo real, sin reducirla a igualdad” (Rella, 1986). Por ello “las imágenes no solamente son *representaciones de significados*, sino que encierran sobre todo el *sentido* que tienen para el pensador, están en contacto con el pathos del

conocimiento⁴. Describen la orientación de la investigación, más que su resultado” (Preta, 1992:19).

De esta forma, las imágenes-metáfora de la ciencia funcionan como organizadoras de la experiencia cognoscitiva y son tanto objetos de observación, como instrumentos para observar, algunas de las cuales han pasado del dominio científico al cultural e incluso a ser parte del lenguaje corriente como en el caso del *árbol de la vida*, la teoría del *caos* o la *concepción del tiempo como eternidad* de la tradición de las matemáticas.

Ahora bien, en aquellas ciencias cuyo objeto de estudio escapa del alcance del ojo humano, las imágenes se vuelven fundamentales para construir una realidad que no podemos ver, tal es el caso de la astronomía o de cualquier ciencia que se valga de reconstrucciones históricas como el estudio de la evolución. Las imágenes se vuelven un instrumento esencial porque representan aquello que está fuera de nuestro alcance, tal como las órbitas de los planetas, cómo lucían los continentes en el Cretácico o cómo surgen nuevas especies de animales. De manera que el poder visual de las representaciones ha permitido la construcción de modelos teóricos, que de otra manera se escaparían del entendimiento. Incluso Descartes, que mostraba profundas reservas sobre el poder de la visualización, porque pensaba que era una fuente de error en la ciencia, empleó muchas ilustraciones para ayudarse a concebir el funcionamiento del mundo en términos mecánicos (Figs. 2.20 y 2.21)

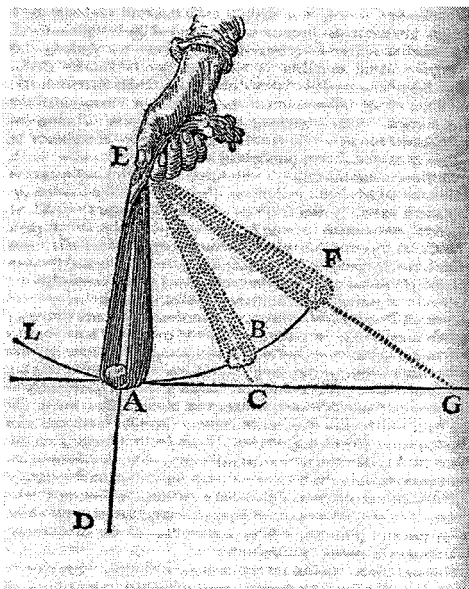


Figura 2.20. René Descartes (1644)
Fuerza centrífuga (tomada de
Baigrie, 1996).

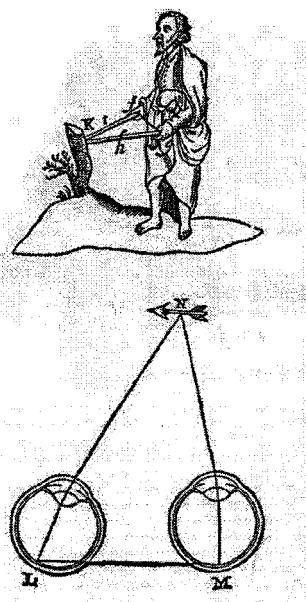


Figura 2.21. René Descartes (1664)
Percepción de la distancia (tomada de
Baigrie, 1996).

⁴ *Pathos* se refiere a los sentimientos humanos (emociones) de acuerdo con Aristóteles en su *Arte retórica*.

2.4 La imagen en la comunicación de la ciencia

A pesar de la importancia de las imágenes de la que se ha estado hablando, no cabe duda que las palabras son quizá el medio más poderoso de comunicación y uno de nuestros mayores éxitos como especie. No obstante, no podemos negar que somos una especie visual por excelencia y que la iconografía muchas veces nos impacta más que mil palabras. “Cualquier demagogo, cualquier humorista, cualquier ejecutivo de publicidad ha conocido y ha explotado el poder evocativo de una imagen bien escogida [...] Sin embargo, —si no contamos a los historiadores del arte— somos los científicos los que utilizamos imágenes con más frecuencia que el resto de estudiosos, la diferencia es que lo hacemos como complemento de lo que decimos con palabras” (Gould, 1989). Así que no es mucho lo que se necesita argumentar para establecer un hecho bien conocido: las imágenes son fundamentales en la comunicación de la ciencia.

Leonhart Fuchs decía ya en 1542 “¿quién en su sano juicio condenaría las imágenes que pueden comunicar información de forma incluso más clara que las palabras del hombre más elocuente?” (pp x-xi).

2.4.1 Enseñar con imágenes

Las imágenes cumplen diversos fines en el proceso de enseñanza-aprendizaje: permiten reconocer y analizar entornos físicos y culturales, permiten mostrar procesos o secuencias, sirven para realizar comparaciones u observaciones de segundo grado (lo que a simple vista no se puede observar) y además y muy importante, despiertan la atención y potencian el interés por diferentes temas.

Las imágenes son todas las representaciones visuales que mantienen una relación de semejanza con el objeto o ser al que hacen referencia. En ellas se pueden encontrar dos tipos de mensajes, uno denotado y otro connotado (Barthes, 1972). El primero se refiere al mensaje literal que produce la imagen, es decir, el significado que se forma por lo que se está representando. En este caso no se requiere de una codificación por el observador y para realizar su lectura es necesario únicamente el conocimiento del tema del que trata y la percepción visual.

El segundo mensaje es de tipo simbólico, el cual requiere para su comprensión de un bagaje cultural particular. Según Umberto Eco (1972) en contra de la creencia popular, el lenguaje de las imágenes no es universal, accesible y discernible por cualquier persona, sino que se encuentra condicionado por el marco de referencia del individuo. Este marco de referencia está dado por toda la serie de códigos culturales, antropológicos, sociales, etcétera, que los individuos vamos adquiriendo desde nuestro nacimiento, los cuales no necesariamente tienen su origen en la escuela o la universidad.

Lo anterior hace evidente la necesidad de incluir un mensaje verbal al mensaje visual para que la palabra sirva de guía a la lectura correcta de la imagen, principalmente cuando las imágenes son polisémicas o requieren de numerosas convenciones para su comprensión precisa o correcta. El mensaje verbal sirve además para enfocar la atención en la zona de mayor significación de la imagen, es decir, en el contenido concreto que se pretende comunicar. Por ejemplo, el título de una imagen destaca su significado por encima de otras ideas que se puedan llegar a desprender de ella.

En el caso de las imágenes empleadas con fines pedagógicos, el mensaje nuclear de la imagen debe ser prioridad a la hora de diseñarlas pues su reconocimiento es la base para asegurar una transmisión adecuada de los contenidos. No obstante y pese a su aparente sencillez, en ocasiones no resulta fácil resaltar el mensaje central y se vuelve necesario un entrenamiento previo.

Según Rubio (1981) existen tres circunstancias en relación con la naturaleza icónica o verbal de los contenidos:

1. Los contenidos verbales o escritos dependen de la imagen, por lo tanto, se repite lo que es manifiesto y comprensible mediante el lenguaje visual. Esta circunstancia resulta útil cuando los alumnos no conocen lo mostrado y necesitan verlo para integrarlo en su mundo cultural.
2. La imagen resulta insuficiente *per se* y depende para su comprensión de un mensaje verbal o escrito, ya que la zona nuclear de la imagen solo brinda información parcial o fragmentaria de lo que se quiere transmitir. Es el caso de muchas imágenes presentes en libros de texto.
3. El texto y la imagen se complementan, siendo dependientes uno de la otra para la comprensión total del mensaje. Esta es la forma ideal a la que se debe tender el proceso enseñanza-aprendizaje, pues la información verbal pasa revista a lo denotado y analiza el mensaje nuclear neutralizando u obviando las denotaciones que pueden contaminar o distraer la captación de los contenidos.

2.4.2 Las imágenes también tienen un lado negativo

Así que dada la importancia de las imágenes para clarificar problemas, indicar la apariencia de algo o representar visualmente un concepto teórico, resulta pertinente, más que seguir mostrando por qué la representación visual es esencial para la comunicación de la ciencia, exponer el riesgo de los malos usos de las imágenes para acentuar el impacto que pueden tener en la percepción pública de ciertos temas. Aunque posteriormente se discutirá la importancia de las imágenes en los museos de historia natural y cómo éstas pueden ser pedagógicas.

Lo que nos interesa aquí es la importancia de las imágenes relacionadas con la evolución en la divulgación de la misma, de manera que siguiendo con el planteamiento anterior, se mostrará la forma en que este tipo de imágenes ha sido particularmente objeto de usos inadecuados, lo cual ha contribuido a que florezcan gran número de ideas distorsionadas del proceso evolutivo.

Como sugiere uno de los principales divulgadores de la biología organísmica, Stephen Jay Gould en su libro *La vida maravillosa* (1989), basta con echar una ojeada a ciertos libros o revistas y a algunas caricaturas, para darnos cuenta que los prejuicios sobre la evolución se encuentran a la orden del día y que la visión más arraigada en el público en general es la visión iconográfica más tradicional de la evolución, que está dirigida irremediablemente a reforzar la visión de la superioridad del hombre.

Lo anterior no solo provoca que se cometan errores ante la concepción de la vida, sino que refuerza una creencia en el progreso lineal dentro de la gran diversidad de seres, comenzando por las formas más simples como las plantas, pasando por una variedad de animales, hasta terminar inevitablemente en el hombre. Éste representa un gran conflicto para los evolucionistas, pues todos los organismos con los que compartimos nuestro planeta somos igual de evolucionados y no hay ninguno más 'perfecto' que otro.

No obstante, a menos que ocurra un cambio sustancial en la iconografía, —de manera que las modernas formulaciones de la teoría evolutiva queden asentadas— el público “seguirá leyendo la historia de la vida bajo una luz que la distorsiona” (Gould, 1989).

Para comprender más a fondo la necesidad de iconografías adecuadas tanto en la ciencia como en la comunicación de la misma, un recorrido rápido por las representaciones del lugar del hombre en el universo es un buen comienzo.

La concepción más estricta y tradicional del orden natural, es la cadena de los seres o escala del progreso lineal (Fig. 2.22), la cual tiene una historia que se remonta hasta la Grecia antigua.

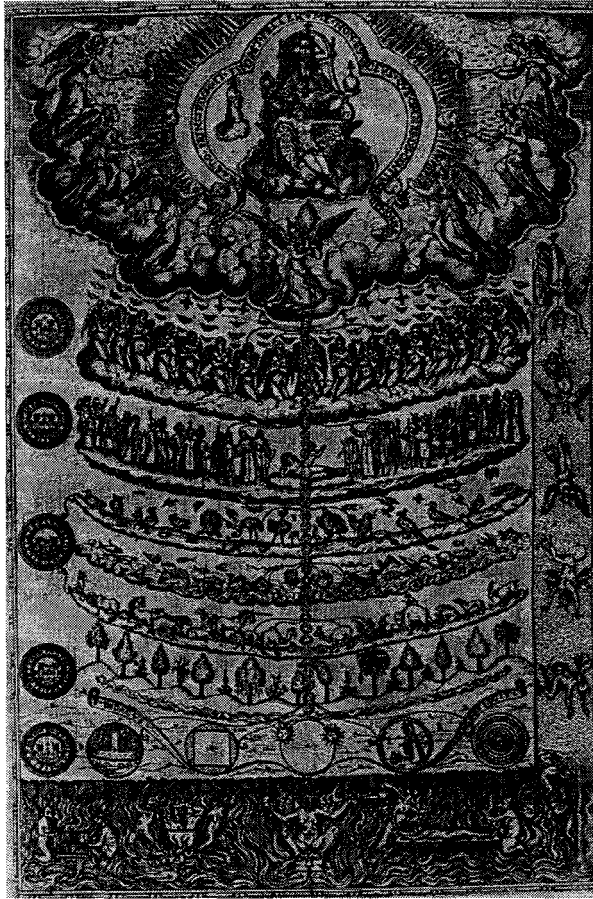


Fig. 2.22. Gran cadena del ser de Didacus Valades, en *Rhetorica Christiana* 1579 (tomada de The British Library: <http://www.bl.uk/>).

Esta cadena representa la concepción más arraigada del orden del universo, cuya característica principal es su estricto sistema jerárquico que va de los elementos más básicos como las rocas, pasando por las plantas, diferentes grupos de animales, para ascender hasta el hombre y subir por los distintos tipos de ángeles hasta la perfección suprema representada por Dios.

A partir de Aristóteles, surgieron varias versiones de cadenas del ser, pero una famosa versión de finales del siglo XVIII —que ilustra el deseo consciente del ser humano por establecerse en la cúspide de la diversidad—, es la de Charles White, quien en su libro *Regular gradation in Man* de 1799, encajó todo lo que actualmente apreciamos como una diversidad ramificante de vertebrados, en una única secuencia de formas de vida

'superiores' e 'inferiores' que va desde las aves, pasando por los cocodrilos, perros y primates, para ascender por la escala racista convencional de los grupos humanos, hasta un modelo caucásico ideal, que en este caso es el griego (Gould, 1989) (Fig. 2.23).

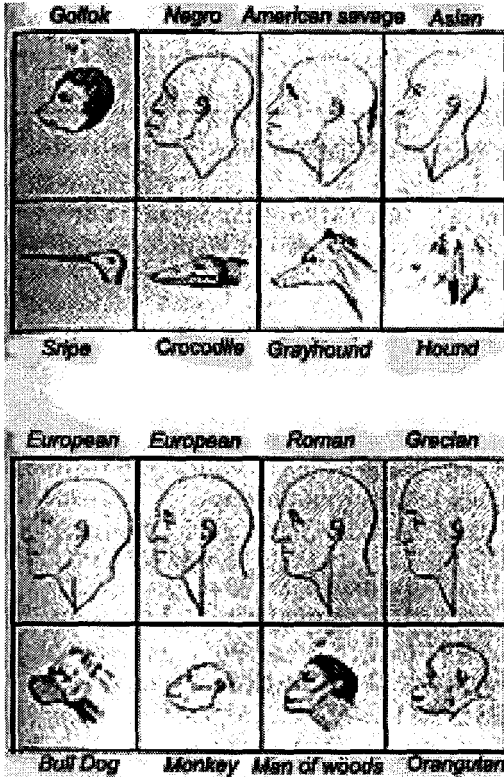


Figura 2.23. Las gradaciones lineales de la cadena de los seres, según Charles White, 1799 (tomada de Gould, 1989).

Y a pesar que a la biología le costó mucho tiempo y esfuerzo deshacerse de las doctrinas eclesiásticas que brindaban explicaciones bíblicas para la mayoría de los problemas relacionados con la diversidad biológica: aquella de la edad de la Tierra y la de la creación separada, —que tenía implícita la idea del fijismo y la progresión lógica de las formas— otra iconografía clásica, que desafortunadamente seguimos encontrando en un sin fin de fuentes, es la de la marcha del progreso. Esta imagen es la representación de la evolución, empleada tanto en libros para explicar la evolución del hombre, como en humorismo y publicidad aplicando unos ligeros cambios. El problema es que esta falsa imagen es aceptada en todas las culturas (Figs. 2.24 y 2.25) y es la primera evocación que el público tiene cuando piensa en la evolución del hombre (Gould, 1989) (Fig. 2.26).



Figuras 2.24 y 2.25. Imágenes de revistas (izq. India, der. Rusa) que muestran la escala del progreso (tomadas de Gould, 1989).

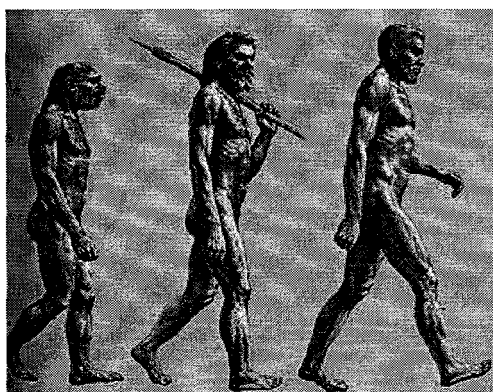


Figura 2.26. Rudolph Zallinger, *Evolución del hombre* en 'Early Man', 1965 (tomada de www.commons.wikimedia.org).

Los errores de esta iconografía son numerosos tanto formal como conceptualmente. Muchas ilustraciones de la marcha del progreso comienzan con la imagen de un chimpancé y esto brinda la idea que éstos animales modernos son nuestros ancestros —por eso no es raro escuchar que provenimos de los chimpancés o de los gorilas— cuando en realidad ambos compartimos un ancestro común. Además se presentan varios 'eslabones' como el neandertal o el *homo erectus* que probablemente eran primos cercanos pertenecientes a una especie distinta, pero de ninguna manera antepasados. Hay incluso algunas imágenes que muestran al hombre de Piltdown cuando éste representa uno de los más grandes fraudes de la historia de la paleoantropología— aunque se pensó que era cierto durante 45 años. ¿Por qué seguimos empleando todas estas imágenes?

También resulta importante que la utilización de esta iconografía por publicistas y humoristas brinda una excelente muestra acerca de la percepción del público, a partir de la cual se pueden notar dos cosas importantes. La primera es que la secuencia lineal se halla

profundamente establecida en la mente del público y la segunda es que la palabra evolución se ha convertido en sinónimo de progreso (Figs. 2.27, 2.28 y 2.29).

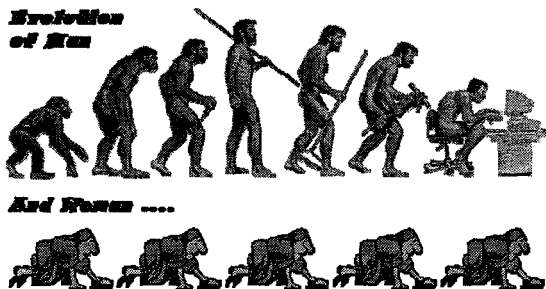


Figura 2.27. Más sobre el mismo tema. Versión modificada de la imagen de Mike Peters en el *Dayton Daily News* [leyenda: la evolución del hombre... y de la mujer (tomada de www.avolites.org.uk).

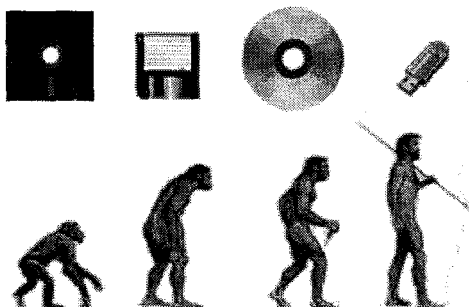


Figura 2.28. Esta es una típica imagen que muestra la percepción del progreso... y qué mejor manera que ejemplificarla mediante la 'evolución del hombre' En la revista *Content matters* No 1 vol 2.

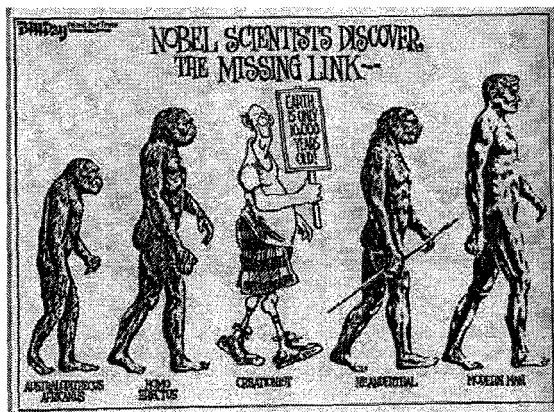


Figura 2.29. Un creacionista ocupa el lugar que le corresponde en la marcha del progreso. Bill Day en el *Detroit Free Press* [Leyendas: Científicos descubren el eslabón perdido; la Tierra tiene solo 10,000 años] (tomada de Gould, 1989).

Por otro lado, haciendo un examen de las imágenes brindadas por uno de los buscadores más utilizados de internet: google, podemos notar que no es sino hasta la cuarta página que aparece la primera imagen ramificada sobre la evolución del hombre (Fig. 2.30).

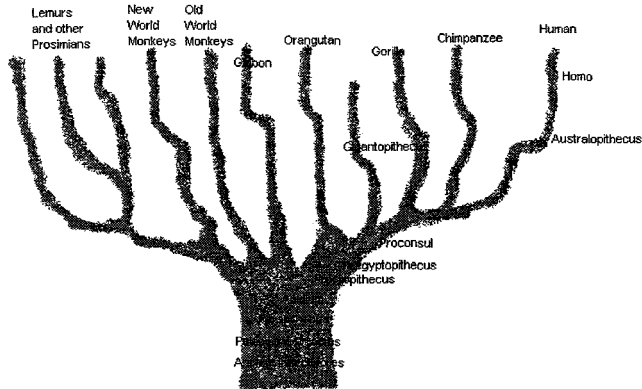
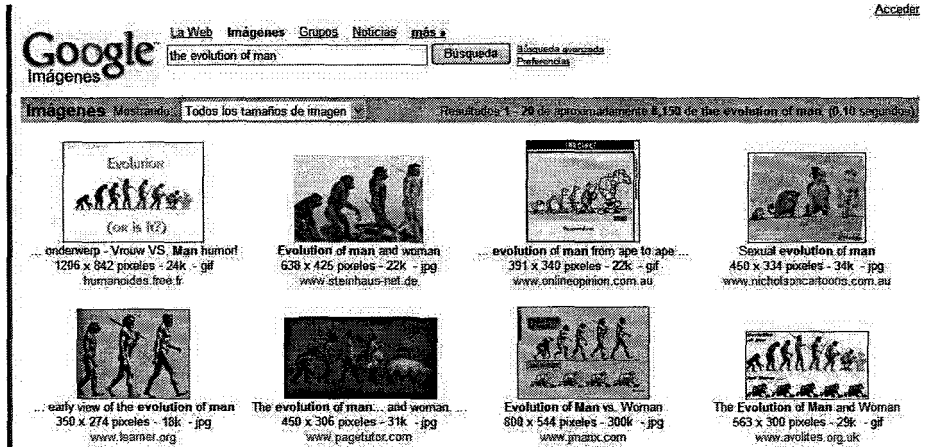


Figura 2.30. Imagen encontrada en la cuarta página de google, después de 69 resultados relacionados con la evolución del hombre.

La evolución para los genetistas es el cambio en el conjunto de genes de una población en el tiempo y por lo tanto, es la adaptación a ambientes cambiantes, no progreso. No hay organismos más evolucionados, ni más perfectos, ni mejores y la vida está muy lejos de ser una secuencia lineal, porque si hay que representarla, la mejor imagen de la vida es la de un árbol que se ramifica copiosamente (Gould, 1989). ¿Cómo lograr que esto se arraigue tan bien en lo profundo de la mente, de la misma forma en que se encuentra arraigada la secuencia lineal del progreso? Porque hasta que no desechemos una concepción de la vida equivocada, no dejaremos de cometer errores de interpretación

tan importantes, como éste que se relaciona con el origen de nuestra propia especie. Y aquí debemos señalar que la marcha del progreso además, conduce a dificultades en cuanto a qué es lo que evoluciona. Se puede resumir el cambio evolutivo de la siguiente manera: los genes mutan, los individuos presentan variaciones, algunas de las cuales se seleccionan y las poblaciones evolucionan. Mediante la marcha del progreso, el público lego tiende a inferir que los individuos pueden evolucionar, cuando son las poblaciones las que lo hacen.

Existen varias explicaciones para la fascinación del ser humano por la escala del progreso, pero quizá la más evidente es porque alimenta nuestra esperanza en el orden universal y en el ser humano a la cabeza del proceso evolutivo. “¿Quién quiere vivir en el mundo de Darwin en el cual todos los organismos contemporáneos tenemos el estatus de iguales? No obstante, no podemos negarnos como sociedad al conocimiento, y aunque la física, la biología y la geología le hayan asestado un duro golpe al ser humano al marginarlo en el universo, al ponerlo al mismo nivel que los monos y a restringirlo a un brevísimo segundo de la vida de la Tierra, debemos aceptar estas implicaciones, entenderlas y si somos optimistas, disfrutarlas” (Gould, 1989).

La escala natural es la iconografía favorita, pero es falsa, todos los seres vivos de este planeta somos ramitas de ramas de un gran árbol. Y este problema no sólo se da en libros o revistas no especializadas, sino también en libros de biología y en revistas científicas serias (ver *Science* de junio de 1988). Los ejemplos más característicos, además de la evolución del hombre, son el de la evolución del caballo y el de la evolución del elefante (Fig. 2.31). Ambos se presentan normalmente de forma lineal, en el caso del caballo comenzando hace unos 50 millones de años con *Hyracotherium* y avanzando por formas intermedias hasta llegar a nuestro actual *Equus* y en el caso del elefante comenzando hace unos 60 millones de años con *Moeritherium*, un animal del tamaño de un cerdo y con la nariz similar a la de un tapir, ¿Cómo podemos explicar esto? Una secuencia lineal es mucho más sencilla que presentar toda una maraña de ramas de un árbol complejo.

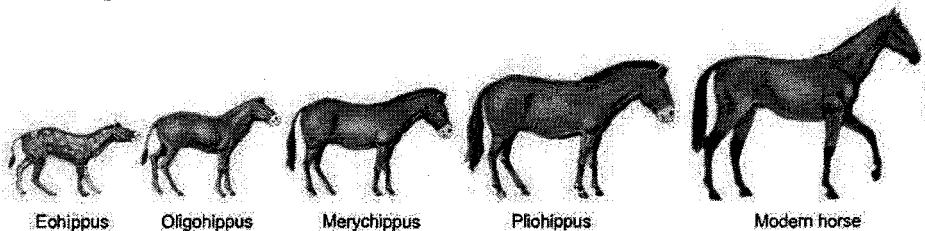


Figura 2.31. Evolución de los equinos (tomada de www.activity.ntsec.gov.tw)

Por otro lado, resulta necesario señalar, que el problema en el entendimiento de la evolución no es provocado únicamente por la escala progresiva, sino también por la ilustración de las ramificaciones evolutivas mediante árboles convencionales. La historia evolutiva de cualquier organismo nos permite trazar su origen hasta un antepasado común único, por lo que la metáfora del árbol de la vida es ideal ya que tiene un solo tronco; pero además —y recurriendo a otra metáfora del mismo Darwin— las ramas del árbol son podadas constantemente por la selección natural, lo cual indica que éstas tienen dos destinos posibles: o mueren o se ramifican más⁵. Todo esto nos da una inmensa gama de

⁵ Se trata de una simplificación puesto que en el proceso de evolución se pueden identificar cinco estados diferentes: 1) cladogénesis (divergencia); 2) anagénesis (desarrollo); 3) radiación adaptativa (diferenciación); 4) estasisigénesis (estabilización) y 5) extinción (muerte). Aunque la estasisigénesis

posibilidades de árboles de la vida: en forma de arbustos, de pinos, de árboles con crecimiento constante o con una gran profusión de ramas de todos tamaños. Sin embargo, la iconografía convencional nos presenta una y otra vez un árbol con forma de pino invertido (cono), ya sea en cuanto a la filogenia de los mamíferos (Fig. 2.32), de los celomados (Fig. 2.33), de los vertebrados (Fig. 2.34) (Gould, 1989) o de la vida en general (Fig. 2.35).

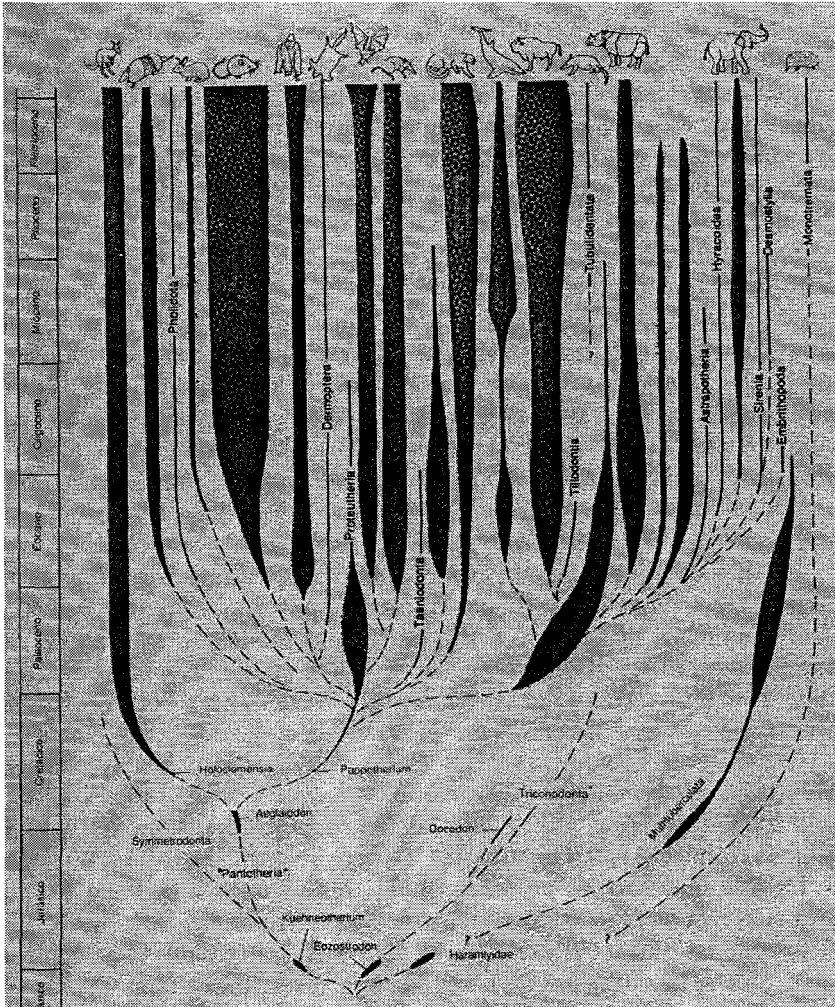


Figura 2.32. Iconografía de la filogenia de los mamíferos (tomada de Gould, 1989).

es rara, existe y se refiere al periodo de estabilidad en el cual no se producen muchos cambios en la especie. Muchos reptiles son un ejemplo de esta forma de evolución (Rodríguez, 1996).

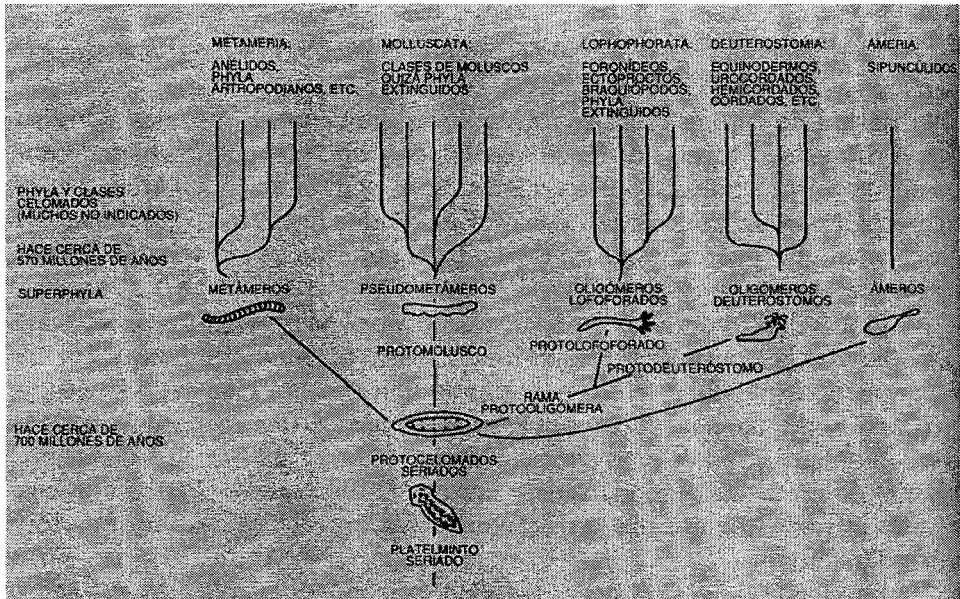


Figura 2.33. Iconografía de la filogenia de los celomados (tomada de Gould, 1989).

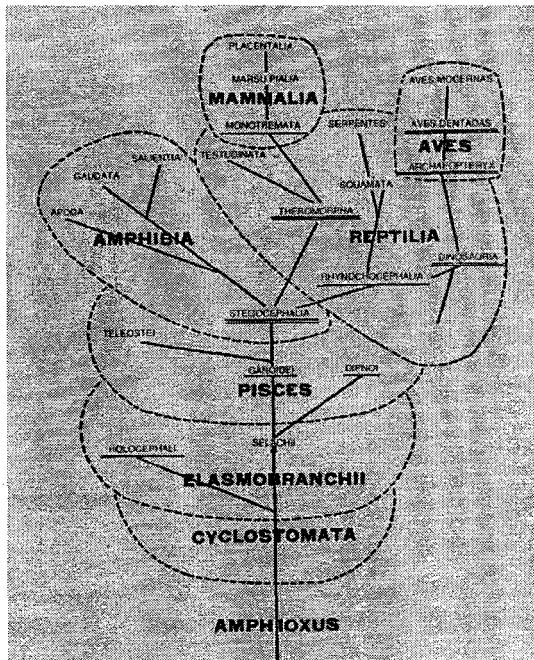


Figura 2.34. Iconografía de la filogenia de los vertebrados (tomada de Gould, 1989).

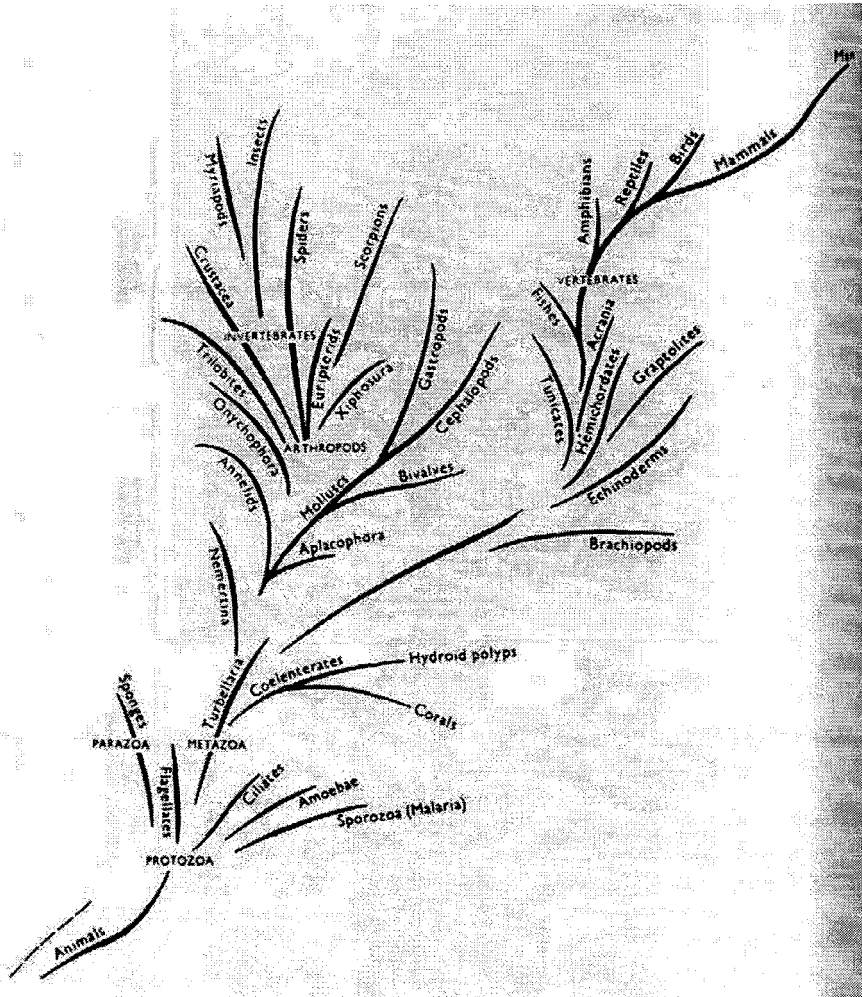


Figura 2.35. Árbol evolutivo en *Atlas of Evolution*, de Sir Gavin de Beer, 1950 (tomada de De Beer, 1950).

¿Qué provoca todo esto? La noción de que la vida comienza por lo más simple y progresa hacia arriba, —nótese la semejanza con la cadena del ser— hacia lo más complejo y más ‘evolucionado’, o sea: mejor. Quizá resulte sumamente difícil eliminar los juicios de valor y por ello una lectura de abajo hacia arriba nos sugiere pasos de lo simple a lo complejo o de lo primitivo a lo avanzado, más que la lectura literal que intenta indicar momentos en el tiempo, es decir que abajo se encuentran los organismos más antiguos, mientras que arriba están los que han aparecido más recientemente en la escala geológica. Sin embargo, parece que resulta muy difícil remover esta noción de que hay un único orden y que éste nos indica que estar situados en la parte baja del árbol significa ser

simples. Nuevamente se hace presente que quisiéramos ver al ser humano en la cúspide de la evolución mediante un árbol que sugiere progreso.

Pero, ¿cómo remover esa idea para que se comprenda que el *Homo sapiens* es tan solo una ramita y que la inmensa mayoría de los organismos ‘más simples’, ni son nuestros antepasados ni son menos evolucionados, sino que son solo ramas del árbol de la vida?

Mediante la educación y la comprensión que las imágenes son muy importantes en la comunicación de la ciencia y en la ciencia en general, las cuales —al igual que las metáforas— nos pueden conducir al camino deseado o llevarnos a un callejón sin salida. Se podría documentar más extensamente la influencia de las iconografías sobre los conceptos, pero creo que la idea ha quedado clara al mostrar cómo la imagen de la escala del progreso en sucesión lineal ha propiciado una concepción errónea de evolución, basada en la idiosincrasia del ser humano y cómo la imagen del ‘cono’ de diversidad creciente no ha podido superar esta desventaja. Esto no quiere decir que la imagen del árbol de la vida se deba sustituir por otra. Desde su introducción por Haeckel en 1866 como imagen estándar para la representación de filogenias, ha resultado la imagen favorita de la evolución y un parteaguas para el entendimiento de diversos conceptos. Por ello es necesario no quedarnos con las representaciones convencionales, sino intentar crear un modelo que se ajuste al conocimiento actual y que pretenda clarificar los conceptos tanto temporales (en la línea vertical) como de diversidad (en la línea horizontal).

2.4.3 La importancia particular de la imagen del árbol de la vida

La teoría de la evolución es la piedra angular de la biología, porque nos permite interpretar todas las singularidades del mundo natural, desde lo más pequeño y abstracto como la naturaleza del ADN, el origen de las células o las leyes de crecimiento de las poblaciones, hasta lo más grande e irreductible como el comportamiento animal o el origen de la asombrosa diversidad biológica, pasando por una inmensidad de matices intermedios.

Y si la evolución es la piedra angular de la biología, entonces los árboles evolutivos o filogenias son un elemento esencial de la biología moderna, porque en sus ramas se condensa el conocimiento biológico actual y sirven como guía de las prácticas científicas al brindar un riguroso marco de trabajo. No obstante, el ‘pensamiento arbóreo’ permanece practicado —ampliamente— sólo por biólogos evolucionistas. Esto es causa de preocupación, porque los árboles evolutivos no sirven solo como herramientas para investigadores de diversas disciplinas, sino como el principal sistema para evaluar la evidencia de la evolución (Baum *et al.*, 2005).

En este sentido, resulta importante discutir la importancia del ‘pensamiento arbóreo’ en la educación. La lectura del árbol de la vida es fundamental para lograr una sociedad que no sea indiferente ante las grandes interrogantes de la genealogía y ante la maravillosa diversidad de vida que existe en este planeta. Y aunque los árboles de la vida contienen gran cantidad de información en sus ramas, tanto aquella evidente acerca del origen y diversidad de especies, como aquella más escondida representada por apasionados debates científicos; modificaciones ininterrumpidas que reflejan la gran velocidad de nuevos descubrimientos y complicada estadística. La belleza del asunto es que el ‘pensamiento arbóreo’, no implica necesariamente conocer cómo se infieren las filogenias, es decir que no se requiere tener amplia experiencia con la sistemática para comprenderlas. Esto es muy importante si nos enfocamos en el árbol de la vida como metáfora en la comunicación y en la educación de la ciencia, porque afortunadamente, cualquiera puede interpretarlos y usarlos para organizar el conocimiento sobre la

diversidad, sin saber los detalles de la inferencia filogenética⁶. Lo contrario, no es posible. Uno no puede entender de sistemática si no se tiene bien claro lo que es un árbol evolutivo.

Ahora bien, este trabajo tiene la intención de analizar la información biológica de estas iconografías para determinar los problemas de interpretación al que pueden estar sujetas, considerando para esto que no hay una sola imagen del árbol de la vida y que depende del público al que va dirigido el mensaje. Y aunque este punto es abordado con más profundidad en el capítulo IV, mencionaremos brevemente un detalle interesante. La interpretación fundamental del árbol filogenético, es que es la representación de líneas de descendencia. Esto es, que los árboles comunican las relaciones evolutivas entre elementos, tales como géneros o especies, al conectar grupos de ramitas en los extremos del árbol.

Bajo esta interpretación, los puntos de bifurcación de las ramas, o nodos más propiamente dicho, corresponden a entidades biológicas que existieron en el pasado, ya sean poblaciones ancestrales o genes ancestrales. Sin embargo, las iconografías en forma de árbol, al ser en extremo ilustrativas, también son muy populares en contextos no evolutivos y esto solo provoca confusión. Por ejemplo, los árboles pueden representar agrupamientos de genes o agrupamiento de comunidades ecológicas. El problema con este otro tipo de imágenes arbóreas es que provoca que los árboles filogenéticos sean muchas veces interpretados únicamente como representaciones de similitudes entre los extremos finales de las ramas, lo cual es un error que fue fomentado por el pensamiento fenético en biología. Los árboles filogenéticos representan relaciones históricas, no similitudes y aunque las especies relacionadas muy cercanamente tienden a ser similares, éste no es necesariamente el caso si la tasa de evolución no es uniforme.

Un ejemplo de lo anterior son los cocodrilos, los cuales están relacionados más estrechamente con las aves que con los lagartos, aunque no se puede negar que su apariencia física es más cercana a la de las lagartijas que a la de las aves.

Esto nos conduce a la cuestión de qué significa que una especie esté más relacionada con otra. El parentesco entre organismos debe entenderse en términos de ancestría común, es decir, que las especies más recientes y más relacionadas comparten un ancestro común. Esto se puede apreciar por referencia a nuestro propio árbol genealógico, pues cualquiera de nosotros estamos más relacionados con nuestros primos hermanos que con nuestros primos segundos porque el ancestro que tenemos en común con los primeros vivió únicamente hace dos generaciones (nuestros abuelos), mientras que aquel que compartimos con los segundos vivió hace tres generaciones (nuestros bisabuelos).

Sea como sea, está documentado que muchos estudiantes e incluso profesionales, no encuentran fácil la lectura de los árboles de la vida como representaciones de relaciones evolutivas. Para ejemplificar lo anterior, se emplearán un par de diagramas publicados recientemente en la revista *Science* que muestran las dificultades del público cuando se le presenta un árbol filogenético determinado (Baum, 2005).

En la primera figura (Fig. 2.36), podemos destacar dos problemas fundamentales.

⁶ Se requiere eso sí, del conocimiento de ciertas convenciones empleadas en los árboles y sobre todo, entender qué buscan mostrar.

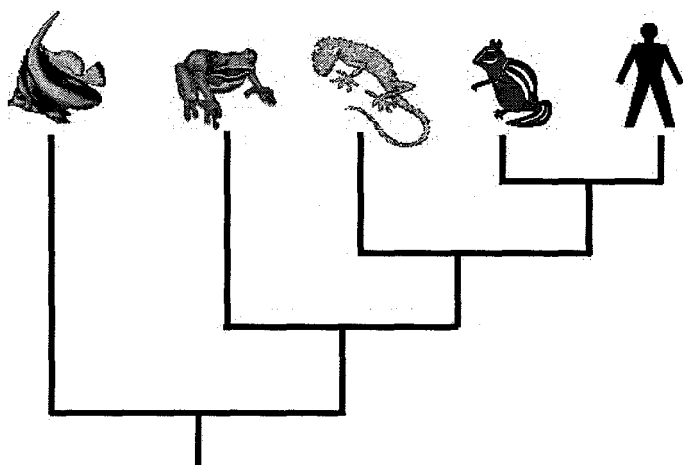


Figura 2.36. Una de las tantas opciones de árbol filogenético (modificada de Baum, 2005).

El primero es que el público en general concluye erróneamente que los seres humanos son más evolucionados que el resto de los seres porque se encuentran en el extremo derecho y en la última de las ramas. Esto resulta incorrecto porque no hay organismos más evolucionados, ni más perfectos, ni mejores. El problema aquí es la idea de progreso, ocasionada también por nuestra forma de lectura que va de izquierda a derecha. El segundo es que la mayoría de la gente asume que las ranas —en este caso particular— están más relacionadas con los peces que con los humanos, cuando en realidad las ranas y los seres humanos compartimos un ancestro común que vivió más recientemente que el ancestro que comparten las ranas y los peces.

La situación cambia cuando se le presenta al público la siguiente iconografía (Fig. 2.37).

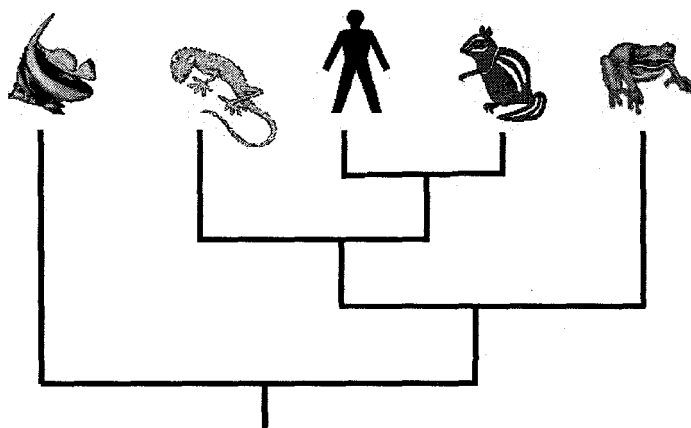


Figura 2.37. Otra opción de árbol filogenético que muestra exactamente los mismos grupos pero cuyo orden se ha cambiado (modificada de Baum, 2005).

En este caso, el orden de las ramas es aparentemente diferente, aunque el patrón de descendencia y la composición de los clados es idéntica. Esta iconografía ayuda a enfatizar que no se puede optar por un arreglo lineal en el proceso evolutivo y, por lo tanto, que no hay ningún camino hacia la perfección biológica.

Ahora bien, el problema de la malinterpretación de los árboles de este tipo se debe, entre otras cosas, a que la vista nos lleva automáticamente a las puntas de las ramas donde se encuentran los dibujos, lo cual provoca una lectura en una secuencia lineal, de los peces, a las ranas y finalmente a los humanos. Esta lectura incorrecta, junto con el deseo de sentirnos 'superiores', nos conduce a la temida noción del progreso lineal, que venimos arrastrando como humanidad desde la edad media, y más aún, desde Aristóteles.

La manera correcta de leer los árboles filogenéticos, es como conjuntos de especies o grupos que comparten un ancestro común, los cuales se llaman **clados**. Cada una de las ramas del árbol de la vida es por lo tanto un clado y por eso a estas imágenes se les conoce como cladogramas, los cuales ilustran fundamentalmente grupos hermanos. En las figuras 2.36 y 2.37 hay tres clados significativos, humano-ardilla, humano-ardilla-lagartija y humano-ardilla-lagartija-rana.

Lo anterior nos muestra que, aunque la mayoría de imágenes se emplean como complemento de textos, que ilustran lo que ya se ha descrito, los árboles de la vida también se pueden emplear de manera aislada invirtiendo las prioridades. En este segundo caso, la imagen del árbol es el principal objetivo de la atención del público, mientras que las palabras sirven para iluminar aquellos detalles que no resultan evidentes a simple vista. Esto plantea un análisis interesante sobre el contexto en el que deben imbuirse los árboles filogenéticos dependiendo si serán herramientas en libros de texto, revistas o museos, y el tipo de información previa o integrada en los árboles que requiere el público para lograr un 'pensamiento arbóreo'.

Así que, como podemos apreciar, el 'pensamiento arbóreo' es tan importante en la educación como lo es el concepto de selección natural, por lo que se necesita de novedosas y creativas estrategias de enseñanza junto con imágenes accesibles del conocimiento filogenético actual. Este trabajo de investigación se centra en este segundo punto, pues el principio de descendencia común es el núcleo de la teoría de la evolución y, por lo tanto, debe tener un lugar importante en el entendimiento de la evolución, tanto de los estudiantes como del público en general. Si se realizan tantos esfuerzos porque los estudiantes aprendan a leer los mapas usados en geografía, ¿por qué no hacer lo mismo con los árboles de la vida?

De manera que para finalizar este capítulo y adentrarnos en la historia de los árboles de la vida, es importante mencionar que, en términos de comunicación de la ciencia, nos debemos preguntar hacia qué tipo de audiencia irán dirigidos los esfuerzos sobre la representación de árboles filogenéticos. Como vimos, existen diferentes maneras de visualizar y de exponer la información en una estructura ramificada. Aristóteles sostenía que la construcción eficaz de cualquier discurso depende tanto de la materia sobre la que se versa, como del público al que se dirige. En este sentido, la mayoría de las representaciones actuales de árboles filogenéticos, tienen tanto características deseables como no deseables para comunicar el proceso evolutivo y las ideas principales de la teoría de la evolución al público en general.

Debido a que en capítulos posteriores se analizan con detalle los árboles filogenéticos, solo diremos aquí que algunos diagramas se enfocan únicamente en las ramas principales del árbol de la vida; otros muestran ramificaciones en todas direcciones para evitar cualquier asociación con la idea de progreso haciendo del árbol una ilustración abrumadora para el público lego; otros más muestran la mayor cantidad de información posible, resultando difícil para cualquiera la ubicación del ser humano, etcétera. Es por ello que lo primero que debemos tomar en cuenta es el tipo de audiencia a la que irán dirigidos

los árboles, para formular algunas de las posibles preguntas que esta imagen puede ayudar a responder.

En comunicación de la ciencia lo normal es considerar las siguientes categorías:

- Público en general
- Estudiantes de primaria
- Estudiantes de secundaria
- Estudiantes de preparatoria
- Estudiantes universitarios

Para este tipo de audiencias las preguntas que los árboles filogenéticos pueden ayudar a responder son las siguientes:

- ¿En dónde me encuentro?, ¿de dónde vengo?, ¿qué relación tengo con el resto de los mamíferos y de otro tipo de organismos?, ¿cuándo surgió una determinada especie?
- ¿Cuáles son las grandes divisiones de organismos?, ¿dónde se localizan determinadas estructuras?, ¿Cuál es el pariente más cercano de x?, ¿cuál es el ancestro de x?
- ¿Qué necesito entender acerca de la imagen para comprender la idea crucial de divergencia con modificación?

Lo anterior nos muestra un aspecto importante más de los árboles como instrumentos de comunicación: que éstos pueden mostrarse con diferentes niveles de detalle para los diferentes tipos de audiencia, nunca perdiendo la noción de que todas las ramas y todas las bifurcaciones son igualmente esenciales. Es por ello que los árboles resultan sumamente ‘enseñables’ mediante estructuras distinguibles que resumen el árbol en su totalidad.

2.5 Epílogo: La importancia de las imágenes en los museos de historia natural

Para concluir este capítulo, esta sección explora cómo y por qué la comunicación visual funciona en el público de los museos de historia natural, es decir, cómo las imágenes pueden tener una importancia especial dentro de la educación no formal, así como la responsabilidad que tienen los museos en el diseño y selección de imágenes, puesto que éstas juegan un papel estelar en el entendimiento público de la ciencia.

“Como instituciones informales de conocimiento, los museos contribuyen con la construcción de lo que el público en general entiende por ciencia [...] En los laboratorios, los hechos se constituyen en conocimiento científico, mientras que otros son descartados (Latour & Woolgar, 1979); de la misma forma, los museos de ciencia ayudan a transformar los datos científicos en dosis socialmente aceptadas de información acerca de la naturaleza” (Vackimes, 2008).

En los museos de ciencia y de historia natural, la realidad es que los fenómenos científicos se presentan mezclados con aspectos sociales, culturales e incluso políticos muy particulares de cada país. Es decir que, aunque los museos deben defender por definición un realismo científico (verdades imparciales), los resultados de muchas exhibiciones corresponden con presiones sociales o agendas políticas. Un ejemplo son aquellas

exhibiciones que presentan los legados de los proyectos de la 'Big Science'⁷ como la ingeniería genética para 'explicar' la creciente necesidad de destinar fondos para el Proyecto Genoma Humano y sus derivados.

Una de las herramientas principales de los museos son las imágenes, muchas de las cuales forman parte de la iconografía occidental (ver capítulo VI, Museo Americano de Historia Natural). Estas imágenes se emplean por lo general como parte de un discurso que busca por un lado mostrar a la ciencia como el conocimiento absoluto y por otro, transmitir valores e ideologías particulares, *i.e.* museos de historia natural que exhiben artefactos culturales de sociedades no occidentales reflejando una perspectiva colonialista y la idea de que las artes de los pueblos 'primitivos' corresponden a un museo de este tipo y no a uno de arte o antropología (ver capítulo V).

En el caso particular de los museos de historia natural, la intención de las narrativas es contar cómo funciona la ciencia, cuáles son algunos de los fenómenos naturales más relevantes y el cómo y por qué de las cosas. Para lograr lo anterior, los museólogos, curadores, educadores, diseñadores y todos los que conforman el equipo de diseño y construcción de las exhibiciones cuentan con diversas estrategias visuales⁸. Podemos mencionar los dioramas para la recreación de hábitats y especímenes, medios audiovisuales para explicaciones especializadas, imágenes fijas, maquetas, reconstrucciones y un sin fin de artefactos modernos, todos para hacer de la visita algo memorable. Lo que tienen en común todas las estrategias antes descritas es el empleo de imágenes puesto que "hacer visibles las cosas es hacerlas reales o al menos intentarlo." (Wise, 2006).

Un fenómeno interesante, que se hace tangible en los museos de historia natural, es el 'tiempo de vida' de las exhibiciones, el cual según Vackimes (2008) se ha hecho cada vez más corto, "muchas fueron creadas como si fueran a durar por muchas generaciones y — como se puede apreciar en numerosas exhibiciones anticuadas— fallaron". Lo mismo puede decirse de las imágenes. En la década de 1920 el Museo Americano de Historia Natural de Nueva York era uno de los bastiones en la defensa de la teoría de la evolución; por ello se diseñaron diversas imágenes con fines de comunicación que no solo se quedaron dentro del museo sino que encontraron su camino a los libros de texto. Algunas de esas imágenes hoy son lo que se denomina 'políticamente incorrectas' e incluso científicamente equivocadas: un árbol evolutivo de acuerdo con la capacidad intelectual que muestra al caucásico por encima del chino y a éste por encima del australiano (Fig. 5.12); bustos de los ancestros del hombre que incluyen al hombre de Piltdown (Fig. 5.11), entre otras.

Entonces en los museos ocurre una conformación importante del conocimiento, pues lo ahí expuesto tiene la capacidad de incorporarse en la cultura material de la gente y pasar a formar parte de una tradición de pensamiento. Por ello la responsabilidad de los museos es enorme y los estudios de transmisión, recepción y polarización de la imaginaria que emplean resultan fundamentales.

2.5.1 El tiempo no se detiene y las imágenes tampoco deberían hacerlo

"La mayor parte de la historia de la ciencia podría ser descrita en términos de hacer visibles las cosas novedosas, o visibles de manera distinta las cosas ya familiares. Si nos limitamos a las cosas que son literalmente visibles para el ojo humano, sigue siendo

⁷ El término **Big Science** se emplea por los científicos y por los historiadores de la ciencia para referirse a los proyectos científicos a gran escala, financiados por el o los gobiernos de algunos países que se dieron después de la Segunda Guerra Mundial. Algunos ejemplos son el desarrollo de la bomba atómica, los ciclotrones o aceleradores de partículas y el Proyecto Genoma Humano.

⁸ Estas estrategias se revisan con mayor detalle en el capítulo V de esta tesis.

sorprendente que los ‘nuevos mundos’ que se han abierto a la percepción visual ocupan buena parte de los descubrimientos científicos, desde montañas y valles en la superficie de la luna, hechos visibles gracias a los telescopios de Galileo, a los campos magnéticos ilustrados por las líneas de fuerza de Michael Faraday, hasta los paisajes del funcionamiento de un cerebro iluminados por tomografías de emisión de positrones” (Wise, 2006). Lo anterior quiere decir que durante el curso de la historia de la humanidad, la imagen —o percepción— de ciertas características de nuestro mundo, así como de los procesos que ocurren en él ha cambiado. Durante este desarrollo se han construido imágenes de una Tierra plana y posteriormente del universo de Einstein, de la radioastronomía y de la astrofísica. También las imágenes nos han transportado desde una visión animista del mundo material a aquella de la química y la biología, o de las curaciones mediante magia, a las de la medicina moderna. Este proceso de desarrollo de imágenes, que va de la mano con el avance de la ciencia, continúa en la actualidad quizá de manera más veloz que nunca antes en la historia. En ciertas disciplinas científicas incluso, es posible que un investigador haya reaprendido su quehacer científico dos o tres veces en el transcurso de su vida.

Estos cambios tan rápidos provocan graves problemas cuando se trata de la propagación de las imágenes del mundo. Está documentado que nuestra percepción como seres humanos del mundo que nos rodea se establece en la infancia o la adolescencia, lo que quiere decir que muchas personas operan con imágenes que resultan obsoletas (Boulding, 1966).

¿Qué tienen que ver los museos con la percepción del mundo? Como se apuntó con anterioridad, los museos tienen la capacidad de incorporar el conocimiento científico a la cultura material de la gente. Pero ¿qué ocurre cuando la información presente en ellos resulta obsoleta?, tal como en el museo de historia natural de la ciudad de México, en donde —por decir lo menos— existe una marcha del progreso que pretende ilustrar la evolución del caballo.

En este caso, los museos contribuyen a la propagación de conceptos equivocados que se pueden establecer en lo profundo de la mente de la audiencia, por lo que la responsabilidad de estas instituciones de presentar contenidos actualizados —a pesar de la velocidad del avance científico— es crucial para lograr una sociedad informada.

Capítulo III

La importancia del árbol de Darwin





Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

III. La importancia del árbol de Darwin

“A menudo pensamos, ingenuamente, que el principal impedimento para el progreso intelectual es la falta de datos: no hay más que encontrar los datos correctos y los problemas se disiparán. Pero las barreras son a menudo más profundas y más abstractas en el pensamiento. Debemos tener acceso a la metáfora apropiada, no solo a la información. Los pensadores revolucionarios, no son, fundamentalmente, coleccionistas de datos, sino tejedores de nuevas estructuras intelectuales”.

Stephen Jay Gould, (2000)

Los esfuerzos por clasificar los animales y plantas de nuestro planeta son muy antiguos. Lograr un orden del mundo que nos rodea ha tenido diferentes fines importantes a lo largo de la historia, tales como reconocer aquellas especies con propiedades curativas, aquellas que tienen un valor alimenticio o económico, e incluso aquellas con propiedades ‘mágicas’. Sin embargo, a partir de las grandes expediciones de los siglos XVI y XVII, la cantidad de organismos conocidos comenzó a ampliarse considerablemente, muchos de los cuales no habían sido descritos por la ciencia. De forma que el ‘arte’ de la clasificación —que no tuvo un nombre formal sino hasta el siglo XIX— adquirió nuevas dimensiones. Comenzaron a proliferar ilustraciones y descripciones y pronto se hizo imperante la necesidad de reglas y principios para evitar que la misma planta o animal recibiera diferentes nombres y además para encontrar una clasificación que reflejara el orden natural y no los artificios de las necesidades humanas.

A partir del año 1500 surgieron grandes esfuerzos por encontrar sistemas o métodos de clasificación, de los cuales el más importante fue el propuesto por Carolus Linnaeus, puesto que introdujo los grupos polifiléticos y la nomenclatura binomial entre los principales aspectos de la clasificación de los tres reinos de la naturaleza. No obstante, se tuvo que esperar hasta que Charles Darwin publicara su teoría de la evolución, en 1859, para que se comprendiera que el orden natural es un reflejo de la historia evolutiva de los organismos y que el mejor diagrama para reflejarlo es el de un árbol evolutivo. El método para reconstruir filogenias se desarrolló hasta la segunda mitad del siglo XX y su principal arquitecto fue Willi Hennig.

3.1 Introducción

En el verano de 1837, Darwin dibujó su primer boceto de un árbol de la vida en las páginas de uno de sus cuadernos de notas, el cuaderno B, que sería el primero de una serie de cuatro dedicados al tema de la transmutación de las especies (B, C, D y E). En ese boceto, que representaba por primera vez las relaciones de parentesco entre los mamíferos de Sudamérica y sus ancestros fósiles, Darwin escribió 'yo pienso' ('I think') —como puede verse en la figura 3.1, y posteriormente dejó de lado las palabras para enfocarse en una imagen, en una representación pictórica que comunicaba gran cantidad de ideas novedosas para la ciencia —de hecho, todos los elementos de su teoría de la evolución: "líneas, ángulos y barras para representar origen, variación y extinción de las especies" (Voss, 2007). Pero más importante aún, el boceto de Darwin comunicaba la idea de comunidad de descendencia, lo cual nos muestra la importancia de la producción de imágenes en la ciencia, principalmente para visualizar lo invisible.

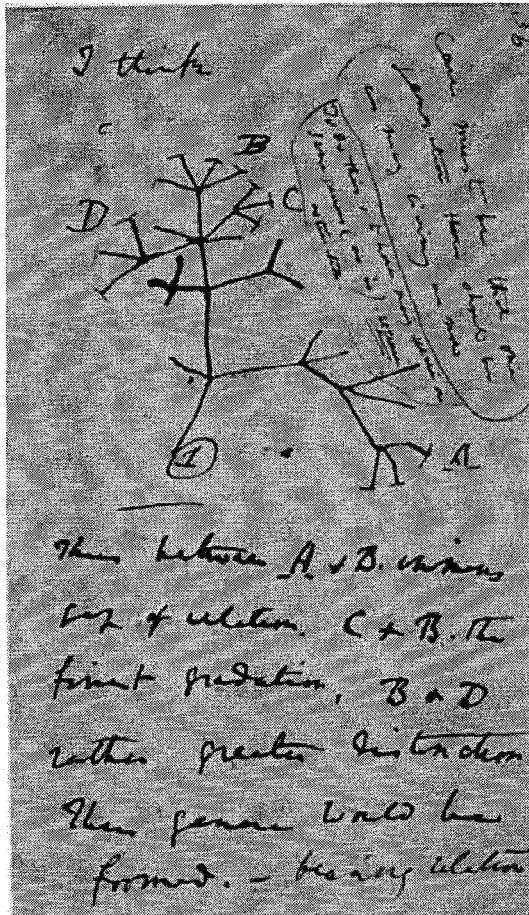


Figura 3.1. En la parte superior izquierda de este boceto de 1837, Darwin escribió 'I think' (tomada de www.peabody.yale.edu).

Este diagrama, que se convertiría en la famosa y única imagen presente en *El Origen de las Especies* (Fig. 3.2), publicado en 1859, resultó un parteaguas en la concepción del sistema u orden natural pues, además de mostrar el desorden, la asimetría y la irregularidad¹ que gobiernan el proceso evolutivo, Darwin brindó la clave que solucionaría el agitado debate que tuvo lugar en Inglaterra durante la segunda mitad del siglo XIX: el debate acerca del orden de la vida y del lugar de los organismos dentro del sistema natural (Voss, 2007).

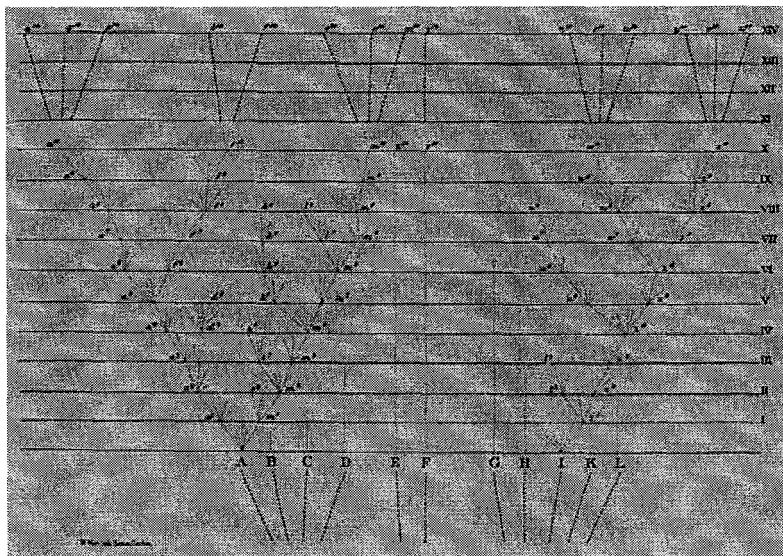


Figura 3.2. La única imagen en *El Origen de las Especies*, 1859 (tomada de Darwin, 1957).

La clasificación de las especies era un tema de vital importancia, sobre todo en aquel momento en el que las colecciones zoológicas se incrementaron continuamente por las expediciones del Imperio Británico a los distintos continentes. Miles de barriles y cajas llenas de animales, órganos preservados, esqueletos, pieles, insectos, etcétera, llegaron a los puertos de Inglaterra durante los siglos XVIII y XIX y todos necesitaban de un nombre y de un lugar en la clasificación. Las instituciones zoológicas —que con mucha frecuencia contaban con colecciones particulares que después terminaron en museos públicos— eran los lugares donde los especímenes serían transformados en conocimiento accesible y donde las especies eran nombradas y clasificadas. Sin embargo, la realidad era que su clasificación y ordenamiento estaban fuera de control.

De acuerdo con Voss, en 1825 “un curador se quejó en una revista de zoología que desde Linneo el número de especies se había quintuplicado; doce años después se había incrementado más de cien veces. Lo que quería decir que por cada animal que Linneo

¹ Según Voss (2007), Darwin incluso se disculpó con sus lectores por las restricciones e imposiciones que la técnica de impresión le habían puesto a su diagrama, el cual había resultado más ordenado que el original. “Debo subrayar que no supongo que el proceso sea nunca tan regular como se representa en el diagrama” (Darwin, 1859:118).

había descrito, en aquella época había cien nuevos animales que necesitaban de un nombre y de un lugar en la clasificación” (Voss, 2007:5).

Para ganar control sobre las colecciones, los curadores de los museos y los naturalistas contaban con dos instrumentos. Nombrar al espécimen e introducirlo en un catálogo, y colocarlo en complejos diagramas que representaban el sistema natural. Como no había ningún consenso acerca de la naturaleza de las relaciones entre los organismos, es decir, sobre cuál era el sistema natural que subyacía a las especies, diferentes diagramas comenzaron a aparecer durante la primera mitad del siglo XIX (Fig. 3.3) (Voss, 2007).

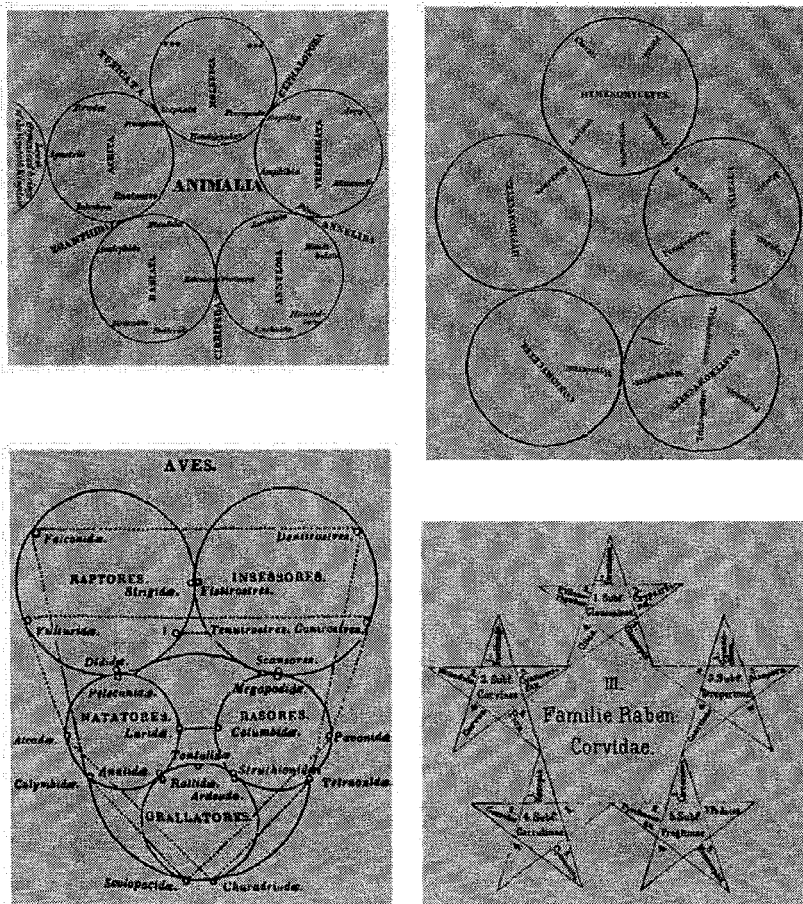
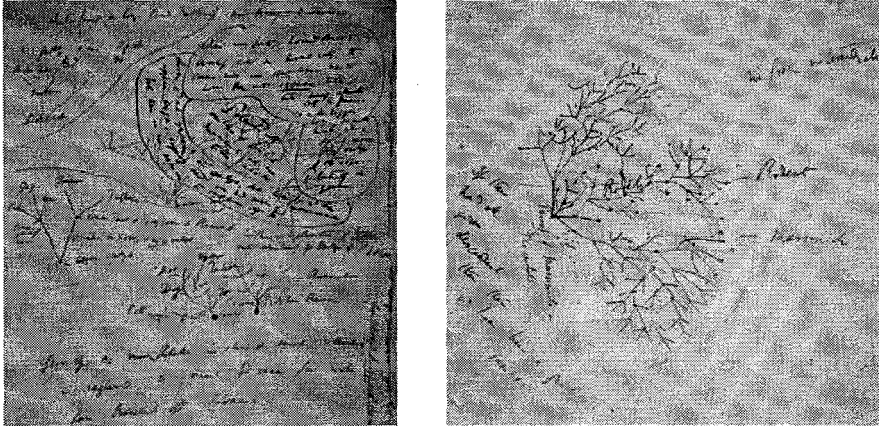


Figura 3.3. Estos diagramas de Mac Leay, 1819-1821; Berkeley, 1838; Swainson, 1836 & Kaup, 1854 (De izquierda a derecha), muestran la gran variedad de diagramas que surgieron en Inglaterra en la primera mitad del siglo XIX. Todos reflejan orden y emplean formas geométricas regulares, especialmente quinarias (tomados de: O'Hara, 1991).

Desde la tranquilidad de su estudio, Darwin contribuyó con la resolución de este enfrascado debate al presentar finalmente en *El Origen de las Especies* su diagrama de la evolución, terminado después de producir gran cantidad de bocetos de genealogías ramificadas por más de veinte años (Figs. 3.4 y 3.5).



Figuras 3.4 y 3.5 Bocetos de genealogías ramificadas de Darwin, previos a la publicación del *Origen* (tomadas de Voss, 2007).

Con estas imágenes, Darwin ilustró la evolución como un proceso irregular y desordenado, en el cual introdujo un factor muy importante: el tiempo. Esta visualización de la evolución mostró que la comunidad de parentesco resulta la clave del sistema natural que subyace a las especies y, por lo tanto, apuntó a la solución del orden en la clasificación orgánica. Así, a partir de Darwin el ‘sistema natural’ se volvió sinónimo de ‘sistema genealógico’ e incluso Darwin, en *El Origen de las Especies*, nos dice que la genealogía es “el vínculo oculto que los naturalistas habían estado buscando inconscientemente” en sus prácticas clasificatorias (Darwin, 1859)².

Los naturalistas intentan acomodar a las especies, géneros y familias en cada clase, en lo que se denomina Sistema Natural. ¿Pero que significa este sistema? Algunos autores lo consideran meramente un esquema para agrupar aquellos objetos vivos que se parecen más y para separar aquellos más diferentes; o como un medio artificial para enunciar de la manera más breve posible, proposiciones generales. Es decir, en una sola frase enunciar las características comunes a todos los mamíferos; en otra a todos los carnívoros; en otra a todos los perros y finalmente al añadir un solo enunciado, brindar una descripción completa de cada tipo de perro. La ingenuidad y utilidad de este sistema es indiscutible. Pero muchos naturalistas piensan que hay algo más en el Sistema Natural; creen que en él se revela el plan del Creador; pero a menos de que se especifique si es orden en tiempo o espacio, o a que otra cosa se refieren por plan del Creador, a mi me parece que con ello no incrementamos nuestro conocimiento. Dichas expresiones, como aquella del famoso Linnaeus y que muchas veces encontramos en formas más o

² Aunque Darwin propuso que la genealogía es esencial para la elaboración de clasificaciones naturales, no desarrolló un método riguroso y lógico para el descubrimiento de tales genealogías de seres vivos, sólo brindó meros concejos y esbozos de criterios para establecer el reconocimiento de hipótesis de descendencia común entre los organismos.

menos escondidas, que los caracteres no hacen los géneros, sino que los géneros aportan los caracteres, parece implicar que hay algo más incluido en nuestras clasificaciones que mera semejanza. Yo creo que efectivamente algo más está incluido y que la comunidad de descendencia, la única causa conocida de la semejanza de los seres orgánicos es la unión, oculta por varios grados de modificación, la que se refleja parcialmente en nuestras clasificaciones (Darwin, 1859, 13:).

3.2 Las posibles fuentes de inspiración de Darwin y el significado de su árbol

“Las imágenes nos pueden estimular a pensar en direcciones nuevas e inesperadas; y esto fue lo que le ocurrió a Darwin cuando inventó su teoría de la evolución: fue guiado por una imagen” (Maderspacher, 2006:476).

Darwin fue un autor muy prolífico y llevó registro de sus ideas en varios cuadernos de notas y en el diario de su viaje del Beagle, que nos muestra la evolución de su pensamiento sobre el origen y diversificación de las especies. Sus cuadernos, escritos entre mediados de 1836 y finales de 1839, representan una travesía que comienza con sus primeras nociones sobre la posibilidad de cambio. Atraviesa después por su discusión sobre la importancia de las variaciones de organismos individuales y por el planteamiento de la selección natural como mecanismo fundamental del cambio en los seres vivos, para culminar en la poderosa estructura teórica de la evolución que plasmó en sus últimos cuadernos y que publicó finalmente en 1859. Los cuadernos de notas de Darwin se conocen como el *cuaderno rojo* (Darwin, 1836) y una serie denominada A, B, C, D, E, M y N, (Darwin, 1836-1839), de los cuales nos interesan particularmente en este trabajo el primero y el cuaderno B, por ser aquellos donde se encuentran los primeros bocetos de su árbol de la vida.

El primer diagrama ramificado de Darwin presente en su cuaderno rojo, que comenzó a redactar cuando aún se encontraba a bordo del Beagle, a mediados de 1836, fue su primer intento por plasmar las evidencias que lo llevaban a pensar en la posibilidad del cambio de las especies (Eldredge, 2005) y explicar las causas posibles de la extinción de los organismos.

En esta época (1836), Darwin pensaba que las especies debían tener un tiempo definido de vida (*lifespan*), tal como los individuos, y que cuando éste terminaba conducía a la extinción del linaje completo. Lo que resulta interesante, es cómo en esta época, Darwin mantenía la idea de que las especies tenían una existencia real y que tal como los individuos, también pasaban por un nacimiento al dividirse las especies en dos, y tenían un cierto tiempo de vida que eventualmente conducía a la muerte o a la extinción de los linajes. Por otro lado explicaba, —contrariamente a las ideas por las que es mejor conocido en la actualidad— que las nuevas especies se debían originar por saltos abruptos más que por un proceso gradual, y que éstas surgían a partir de sus ancestros mediante un proceso análogo a la producción de descendencia de organismos asexuales, es decir, al dividirse una especie ancestral en dos, aunque aún no contaba con un mecanismo para explicar dicho proceso (Darwin, Cuaderno B, tomado de Eldredge, 2004).

Debido a todas estas consideraciones es que Darwin dibujó estos primeros bocetos de árboles de ramificación irregular (Fig. 3.6). Sin embargo, tal como indican sus anotaciones, se encontró con la dificultad de la representación de las extinciones, además de que le resultó imposible ilustrar que ciertos procesos microscópicos ocasionan que el árbol se siga ramificando (Campbell, 1990). Darwin llegó a considerar incluso cambiar la

metáfora del 'árbol' por la del 'coral' de la vida (ver Bederkamp, 2005 y el apartado siguiente de este capítulo).

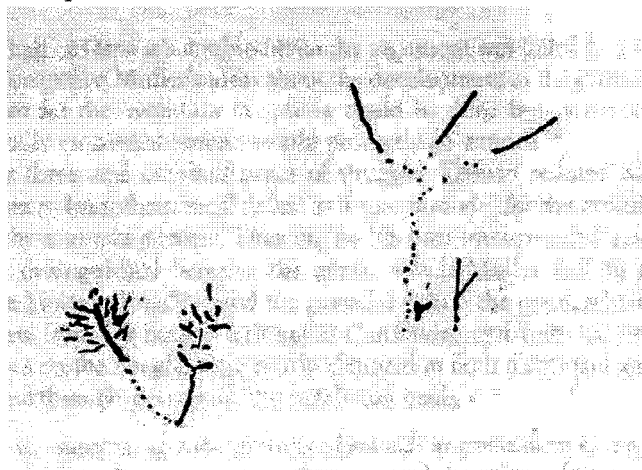


Figura 3.6. Dos modelos de árboles de ramificación irregular. Darwin, *Cuaderno Rojo* (tomada de Eldredge, 2005).

Sin embargo, el primer árbol de Darwin se encuentra en su cuaderno B, que fue el primero de una serie de cuadernos de notas dedicados al tema de la transmutación de las especies (Fig. 3.7). Darwin comenzó este cuaderno en junio o julio de 1837 y encontramos en él diversas cuestiones importantes para el desarrollo posterior de su teoría de la evolución. En primer lugar, en este cuaderno se encuentran plasmados los resultados del trabajo de John Gould con las especies de aves que Darwin había llevado a Inglaterra, provenientes de la Patagonia y de las islas Galápagos. Gould concluyó que las diferentes aves de las Galápagos eran en realidad especies diferentes de pinzones y que las dos variedades de ñandúes sudamericanos (*Rhea* spp.) eran dos especies distintas.

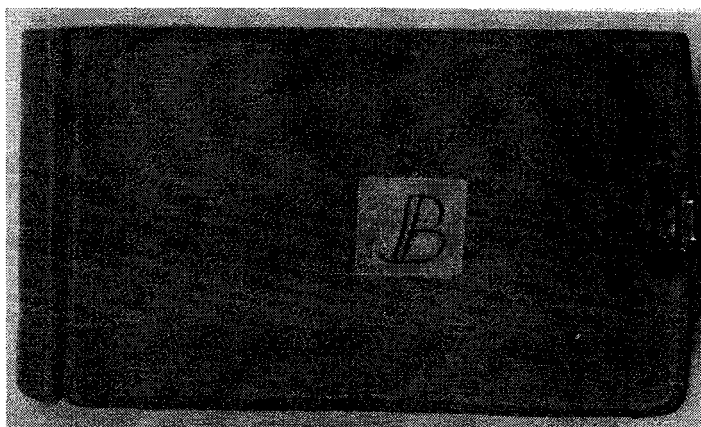


Figura 3.7. Cuaderno de notas B, (1837) (tomada de Eldredge, 2004).

Darwin se dedicó entonces a examinar cuatro problemas principales: 1. la evidencia de la transmutación de las especies; 2. las posibilidades sobre la adaptación de las especies a cambios en el ambiente; 3. la formación de nuevas especies, y 4. al problema de explicar las similitudes entre diferentes especies.

Con los datos obtenidos por Gould, Darwin comenzó a cuestionarse cómo el aislamiento geográfico que había comprobado en sistemas insulares como las Galápagos, podía ocurrir también en grandes áreas conectadas como la Pampa sudamericana para provocar el surgimiento de nuevas especies, como es el caso de los ñandúes. Pero eso no es todo, pues Darwin lleva el mismo argumento a la dimensión temporal, para especular sobre el reemplazo de una especie por otra en un proceso rápido de diferenciación (Eldredge, 2004).

Uno de los aspectos más sobresalientes de este cuaderno es el desarrollo de la metáfora del árbol de la vida, la cual es el único diagrama coherente presente en estos cuadernos de notas. Mediante este diagrama, Darwin logró ilustrar cómo la evolución puede producir durante cierto tiempo un mayor número de especies de las que había al principio, al igual que un árbol tiende a ramificarse. Ilustra también cómo algunas líneas de especies o linajes se dividen con más frecuencia que otras y que algunas ramas mueren y se extinguen con el tiempo. Además, ninguna de las ramas es inferior o superior que otra, simplemente son diferentes y todas parten de la misma base implicando la idea crucial para el entendimiento de la evolución de *descendencia con modificación*.

Darwin (1837, B:20) menciona que: *Podemos observar a los megaterios, armadillos y perezosos como descendientes de algún tipo antiguo [...] Esta tendencia al cambio no resulta de la voluntad de los animales, sino de una ley natural de adaptación [...] Los seres organizados representan un árbol, ramificado de forma irregular, con algunas ramas más ramificadas que otras —de ahí los géneros— y muchos brotes terminales muriendo, conforme se generan otros nuevos. No hay nada más extraño en la muerte de las especies, que la que hay en los individuos.*

Lo que Darwin buscaba con el árbol de la vida, era una metáfora válida para ilustrar la evolución. Lo más importante es que este diagrama es el resultado de la conclusión a la que llega Darwin: que surgen varias ramas (especies) a partir de una rama principal, las cuales son grupos de especies relacionadas, es decir géneros. Asimismo, es la primera vez que se pregunta por el tipo de patrones que produciría el proceso evolutivo y los relaciona con la estructura jerárquica del sistema de clasificación de Linneo (Tudge, 2000). “Tenemos así el primer destello de sus reflexiones acerca de que la estructura jerárquica de los sistemas de clasificación de Linneo y de algunos otros naturalistas del siglo anterior, es el resultado esperado del proceso evolutivo” (Eldredge, 2004).

En este árbol, (Fig. 3.1) Darwin traza ramificaciones separadas marcadas de la A–D, conectadas por pasos intermedios que representan especies ahora extintas. De esta manera expresó los problemas de ancestría común, descenso colateral y extinción, o sea, biogeográficos, taxonómicos y de herencia que enfrentaba su teoría (Campbell, 1990).

Uno de los aspectos más importantes de la metáfora del árbol de la vida de Darwin es que resulta en una de las mayores predicciones sobre el proceso evolutivo (Eldredge, 2004), puesto que si los seres vivos habían evolucionado tal como él lo pensaba, el orden natural debía reflejarse en la genealogía (filogenia), que a su vez debía poder plasmarse diagramáticamente en forma de un árbol.

Desde el periodo más remoto en la historia del mundo se ha visto que los seres orgánicos se parecen entre sí en grados descendientes, de modo que pueden ser

clasificados en grupos subordinados unos a otros. Esta clasificación no es arbitraria, como el agrupar las estrellas en constelaciones [...] Considero que la disposición de los grupos dentro de cada clase, en debida subordinación y relación a los otros grupos, debe ser estrictamente genealógica para ser natural [...] Así pues, el sistema natural es genealógico en su ordenación, como un árbol genealógico (Darwin, 1859:347,354).

En la actualidad podemos verificar si la evolución es en verdad un hecho al generar árboles evolutivos e incorporar cada dato novedoso proveniente de la sistemática, de la biología molecular o de la genética. Por ello es que se dice que el árbol de Darwin es una de las principales predicciones de la evolución.

El árbol de la vida más conocido de Darwin, se encuentra en su libro *Sobre el Origen de las Especies por Medio de la Selección Natural*, que contiene este diagrama como única ilustración. Para la época en la que fue editado (1859-1871), poner una sola imagen en un libro era inusual, porque las ilustraciones realistas de plantas y animales estaban consideradas como demasiado artísticas. Por otro lado, el diagrama fue impreso en un papel más grande que el libro, y tenía que ser desdoblado para poder verse, lo cual suponía una tarea de impresión cara. Para que Darwin haya puesto una sola figura en el libro, era porque tenía que considerarla crucial en su discusión (Rosenberg, 2004).

La única figura de Darwin (Fig. 3.2) tenía la finalidad de representar un concepto novedoso para la ciencia, la 'descendencia con modificación'. Darwin recurre a ella varias veces a lo largo del libro, para ilustrar este principio desde el punto de vista de la clasificación, de la anatomía comparada, de la embriología y para mostrar cómo se forman los linajes por el proceso evolutivo a través del tiempo geológico (Eldredge, 2004). Este principio engloba el hecho de que varios conceptos de la biología antes separados (tal como el concepto de homología introducido por Richard Owen), se ajustan para explicar el origen y la evolución de las especies. Por lo tanto, involucra una serie de ideas novedosas y complejas.

El árbol de la vida ilustra todo esto (Rosenberg, 2004):

- Cómo la selección natural funciona a través de generaciones para promover variaciones estructurales en la forma física o en el comportamiento de organismos.
- Cómo estas variaciones se acumulan para cambiar las especies a través del tiempo.
- Cómo las poblaciones dentro de las especies tienden a diferenciarse unas de otras.
- Cómo el cambio estructural eventualmente produce nuevas especies.
- Cómo varias especies pueden, con el tiempo, surgir de una única especie ancestral.
- Cómo la extinción es una parte natural del proceso evolutivo.
- Cómo todas las especies están en realidad relacionadas entre ellas.
- Cómo grupos de especies similares se pueden formar debido a que tienen un origen, independientemente de su parecido.
- Cómo los grupos de la clasificación jerárquica de Linneo (géneros, familias) serían lo que se esperaría encontrar, dado el proceso de descendencia con

modificación, puesto que las clasificaciones son un espejo del arreglo progresivo de características anatómicas similares y del desarrollo embrionario.

Este diagrama en forma de árbol abstracto, ilustra la emergencia de especies nuevas por diversificación acotada mediante la selección natural. Las letras A,..., L representan especies y las líneas horizontales marcadas con números romanos I,..., XIV limitan intervalos de 1000 generaciones cada uno, número promedio que Darwin utiliza solamente para referirse a 'muchas generaciones'. Las generaciones más antiguas se encuentran en la parte inferior, de manera similar a los diagramas geológicos. Expresa un orden temporal en la aparición de las entidades biológicas y sus partes.

Las separaciones entre las letras A,..., L simbolizan distancias biológicas entre las especies consideradas. Las líneas punteadas indican variedades, y los nodos marcados con letras como a¹, m³, z⁸, etcétera, la aparición de variantes suficientemente diferenciadas como para merecer un nombre. El extremo de una línea punteada representa la extinción por selección natural de la variedad correspondiente. Según el diagrama, las especies A e I producen numerosas variantes, mientras que las demás no lo hacen. B, C, D, E, G, H, K y L; se extinguen tras diversos números de generaciones. Después de 14,000 generaciones, las variedades supervivientes como a¹⁴ y f¹⁴ son tan disímiles que pueden considerarse como especies distintas, con lo cual Darwin aplica la diferencia constitutiva como marcador de divergencia, implicando independencia evolutiva (Llorente, comunicación personal). Además, este diagrama puede extrapolarse hacia el futuro con niveles mayores a XIV y hacia el pasado, que representaría el ancestro común de las especies iniciales (Torres, 1995).

Este diagrama representa algunos de los conceptos más cruciales de la teoría de la evolución, los cuales son, a saber, cambio y diversificación. Por ello, con el árbol de la vida como metáfora de la evolución, Darwin cambió para siempre la manera en cómo los científicos y el público percibían el origen de las especies, pues gracias a esta metáfora, Darwin descubrió varios recursos de argumentación que le permitieron clarificar las bases biológicas de la evolución (Campbell, 1990).

Finalmente, es importante mencionar que *El Origen de las Especies* es una versión resumida del manuscrito que Darwin tenía intención de publicar antes de la llegada de la carta de Alfred Russel Wallace³. Este manuscrito —*Natural Selection*— ha sobrevivido y fue publicado en 1975 por R. C. Stauffer. Lo que más nos interesa es que tiene una exposición sumamente detallada del principio de divergencia, en la cual encontramos dos diagramas ramificados pensados para reforzar su argumento que muestran los principios de selección natural, divergencia y extinción (Fig. 3.8).

³ El principio de la selección natural no fue único de Darwin, ya que el naturalista Alfred Russel Wallace (1823-1915) llegó a la misma conclusión de manera independiente en 1858, antes de que Darwin publicara su minuciosa investigación. El corto ensayo de Wallace titulado *Sobre la tendencia de las variedades a alejarse indefinidamente del tipo original*, fue lo que impulsó a Darwin a publicar finalmente su obra, después de 23 años de elaboración. Wallace también había publicado tres trabajos que apuntaban a su teoría entre 1855 y 1857. Hoy sabemos que las teorías de ambos tienen alta similitud, pero algunas diferencias importantes (Llorente, comunicación personal).

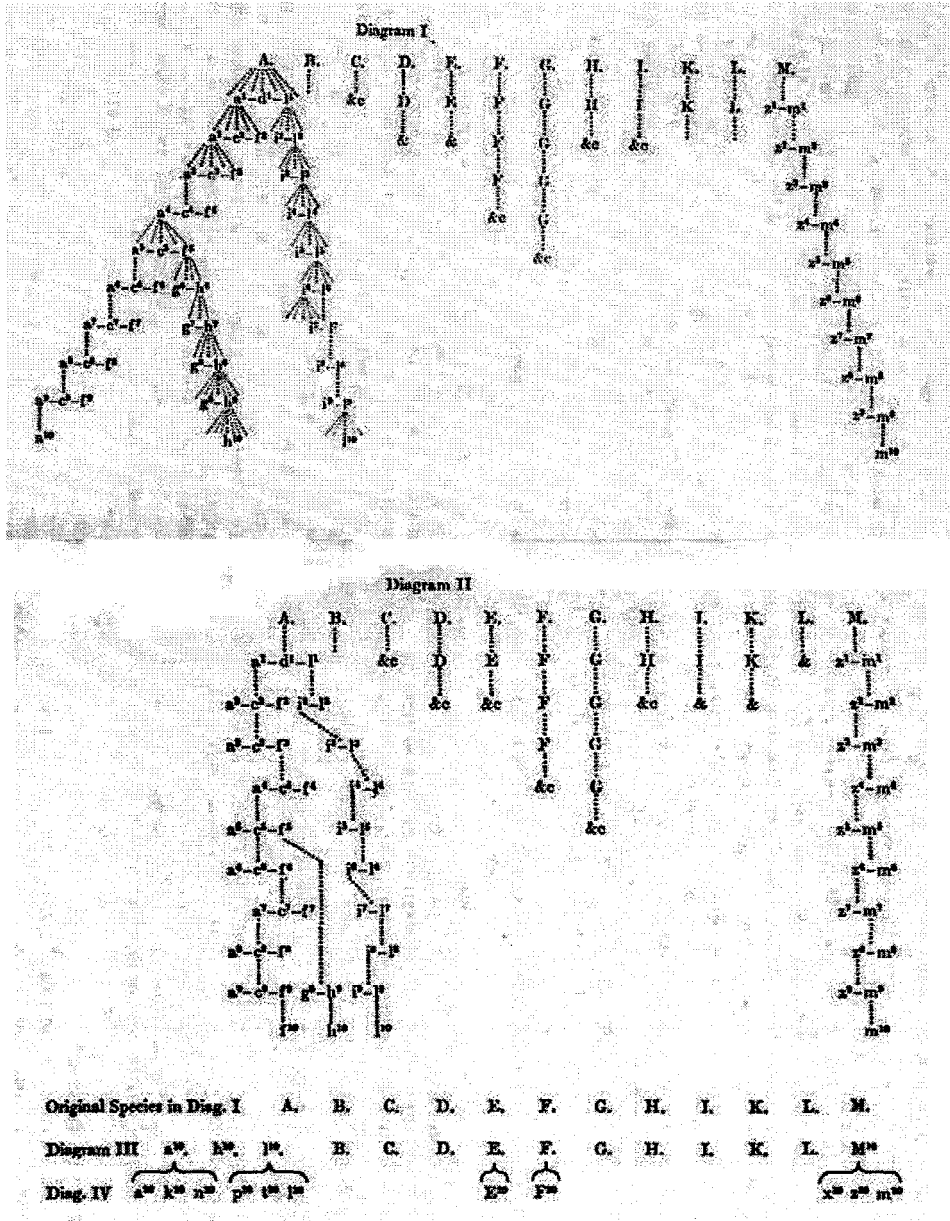


Figura 3.8. Diagrama incluido en el proyecto inicial de Darwin *Natural Selection* que nunca llegó a publicar. En la parte superior, Darwin muestra que las formas extremas tienden a diversificarse y alejarse del tipo original, mientras que en la parte inferior muestra la mayor o menor adaptación a la sequía en plantas (tomada de Stauffer, 1975).

No se profundizará en la información que se desprende de este diagrama, baste mencionar que con él, Darwin explica que solo unas pocas especies —las formas extremas favorecidas por la selección natural, representadas por A y M en este diagrama y A e I en el *Origen* (ver figura 3.17) — producirán variantes que se diversifiquen en nuevas especies. “A largo plazo sobrevivirán tantos más descendientes de un progenitor común cuanto más ampliamente se diversifique en hábitos, constitución y estructura, a fin de ocupar tantos puestos como sea posible en la economía de la naturaleza. Las variedades y especies extremas tendrán más posibilidades de sobrevivir o escapar a la extinción que las variedades o especies intermedias y menos modificadas. Pero si en un género grande destruimos todas las especies intermedias, las formas restantes constituirán subgéneros o géneros distintos, conforme al valor casi arbitrario de éstos términos” (en Stauffer, ed., 1975, p. 238). Este manuscrito data de entre 1856 y 1858.

Ahora bien, ¿Por qué Darwin omitió este diagrama del *Origen*? Al sostener que las formas extremas son las favorecidas, Darwin tenía que explicar la supervivencia diferencial de los descendientes de estas formas y lo hace recurriendo a la idea de que, en cualquier región, la selección natural favorece la adaptación de formas extremas. No obstante, “su argumento se desmorona y para salvarlo introduce una hipótesis *ad hoc* forzada y autocontradictoria explícitamente enunciada en *Natural Selection*, pero sabiamente omitida en el *Origen*” (Gould, 2004:272).

3.2.1 ¿Árbol o coral evolutivo? La fuente de la inspiración de Darwin

Mucho se ha dicho acerca de la fuente de inspiración del árbol evolutivo de Darwin presente en *El Origen de las Especies*. Un libro reciente escrito por Horst Bredekamp titulado *Darwins Korallen: Frühe Evolutionsmodelle und die Tradition der Naturgeschichte* (2005), propone algo interesante acerca de las imágenes evolutivas de Darwin: que éstas fueron inspiradas más en un coral que en un árbol. Bredekamp sostiene que normalmente pensamos en la imagen de un árbol cuando observamos las ilustraciones de Darwin, porque éstas han sido empleadas desde la antigüedad para representar las relaciones sanguíneas o de parentesco entre familias (ver el trabajo de Bouquet, 1994). Pero los árboles como metáforas de la evolución tienen ciertas características que entran en conflicto con algunos conceptos de la teoría, por ejemplo, la naturaleza del crecimiento de los árboles hacia arriba, implica un sentido de dirección en cualquier proceso que se intente representar mediante esta metáfora botánica. Debido a que la evolución es un proceso sin dirección, Bredekamp sostiene que Darwin no estaba convencido de representarla con un árbol y que su inspiración original fue la de un espécimen de coral que él mismo encontró en la Patagonia en 1834 (Fig. 3.9).

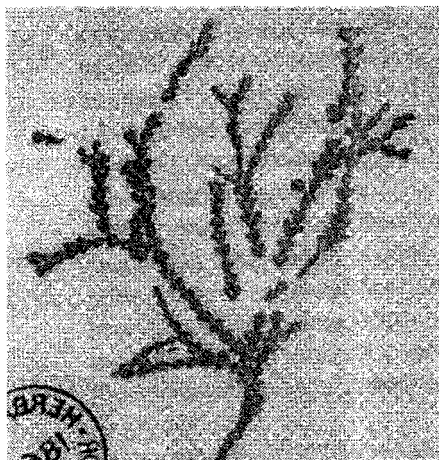


Figura 3.9. Espécimen del alga *Bossea orbignyana* recolectado por Darwin, que según Bredekamp fue la inspiración para su diagrama del *Origen de las especies* (tomada de Bredekamp, 2005).

Aunque actualmente sabemos que el espécimen mencionado no es un coral sino el alga *Bossea orbignyana*, Bredekamp mantiene que Darwin pensó que era un coral, el cual fue la inspiración de la ilustración de *El origen de las Especies* que es “una de las imágenes más poderosas de la historia de la ciencia” (Bredekamp, 2005). De hecho, Darwin menciona en uno de sus cuadernos de notas que “el árbol de la vida debería quizá ser llamado el coral de la vida” (Maderspacher, 2006:476).

El argumento de Bredekamp se sostiene en que *Bossea orbignyana* puede presentar algunas de sus puntas muertas y calcificadas, lo que resulta ideal para representar aquellas especies extintas —por el contrario de un árbol que está vivo desde las raíces hasta las puntas; su patrón de ramificación es menos jerárquico que el de un árbol, puesto que carece de tronco, por lo que no brinda una idea de direccionalidad y su forma de crecimiento es proporcional en todas direcciones, lo cual permite representar que el número de especies permanece relativamente constante en el tiempo. Por otro lado, para Bredekamp resulta claro que hay una correspondencia entre el espécimen que supuestamente Darwin recolectó en la Patagonia y su ilustración de *El origen de las Especies*, pues ambas figuras se corresponden en forma si se solapan (Fig. 3.10).

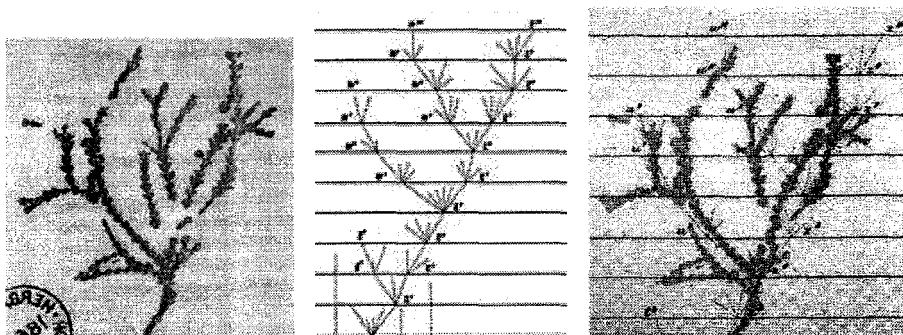


Figura 3.10. Según Bredekamp (2005), la parte derecha del diagrama de Darwin en *El Origen de las especies* (1859:115-116) (centro) es muy similar a la forma del espécimen de *Bossea orbignyana* recolectado por Darwin en la Patagonia en 1834 (izquierda) y que ambas figuras se corresponden en forma si se solapan (derecha) (tomadas de Bredekamp, 2005)

No obstante lo anterior, existen otros historiadores de la ciencia que sugieren que la elección del árbol como metáfora de la evolución, se debe a que el árbol como símbolo ocupa un lugar importante en la tradición iconográfica europea (Bouquet, 1994; Tudge, 2000) y para la teoría de gráficas de las matemáticas (Lecointre & Le Guyader, 2006).

Bouquet (1994) arguye que la expresión visual del parentesco como diagrama genealógico en forma de árbol tiene sus orígenes en la representación religiosa del árbol de la sagrada genealogía de la Biblia, principalmente del árbol familiar de Jesús (Fig. 3.11).

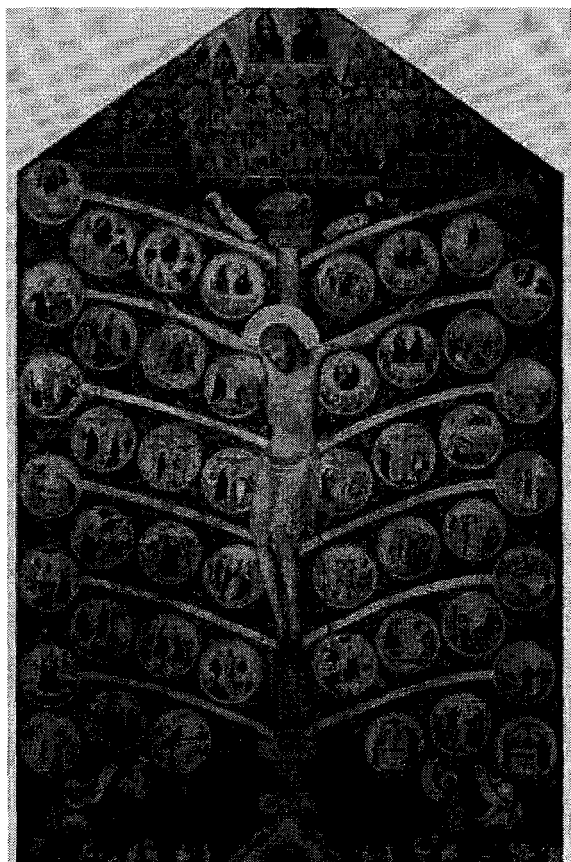


Figura 3.11. Árbol familiar de Jesús, en Pacino da Bonaguido, Cook: árbol 49. Siglo XIV (tomada de www.educ.fc.ul.pt).

Tudge (2000) por su parte, afirma que el gran libro de Darwin contiene dos ideas principales, representadas por las dos cláusulas de su título. La segunda es “por medio de la selección natural”, puesto que ésta es el mecanismo de cambio más importante para Darwin, pero la primera, *El origen de las especies* engloba el argumento de que todos los seres vivos de la Tierra se originaron a partir de un ancestro común. Lo fundamental de esta idea es que todas las especies somos miembros de un único árbol, tal y como el árbol familiar de cada uno de nosotros. Pero mientras que los árboles genealógicos muestran únicamente relaciones de parentesco entre individuos, los árboles evolutivos muestran relaciones de parentesco entre especies, órdenes, clases, etcétera (Figura 3.12). “Esta genealogía llevada a una escala tan grandiosa se denomina filogenia y por eso el árbol

evolutivo de Darwin es un árbol filogenético” (Tudge, 2000: 40). Es decir que, según Tudge, lo que hizo Darwin fue utilizar el árbol familiar como metáfora del árbol filogenético: El árbol de la historia evolutiva.

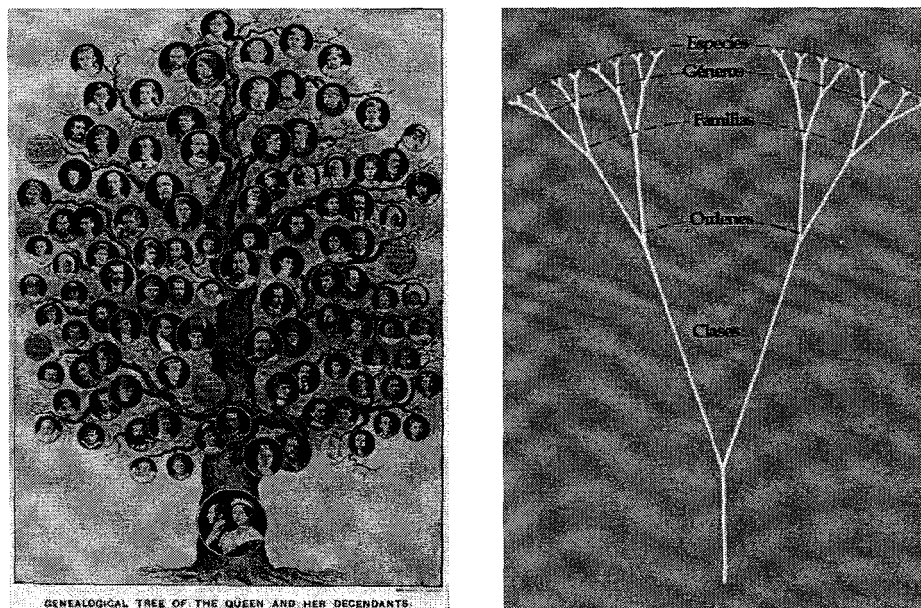


Figura 3.12. Los árboles familiares (izquierda) representan las relaciones de parentesco entre individuos, mientras que los árboles filogenéticos (derecha) muestran las relaciones de parentesco entre especies, géneros, familias, órdenes, clases, etcétera (izquierda, tomada de www.wilsonsalmanac.com), Árbol filogenético (derecha, tomada de whitfield, 1993).

Los árboles son, por su propia naturaleza, jerárquicos. Las ramitas parten de las ramas, que parten de los brazos del tronco. Las clasificaciones más útiles y concisas son también jerárquicas. El árbol filogenético es real, al menos en el sentido de que intenta representar la historia única de todas y cada una de las criaturas. Si desciframos estas historias, si trazamos estas filogenias, hallaremos precisamente aquel ‘orden’ de la naturaleza que los taxónomos clásicos buscaron, pero no consiguieron encontrar (Tudge, 2000:41).

Por otro lado, autores como Stevens (1982, 1984), Barsanti (1988) y O’Hara (1991, 1996), sostienen que las raíces del diagrama de Darwin pueden encontrarse en representaciones previas del ‘Sistema natural’, principalmente aquellas de Hugo Strickland (1811-1853). Una de las primeras imágenes del sistema natural es, como se vio anteriormente, la Gran Cadena del Ser (Fig. 3.13), pero conforme el conocimiento acerca de la diversidad de la vida se fue incrementando, a finales del siglo XVIII y principios del siglo XIX, surgieron representaciones más complicadas.

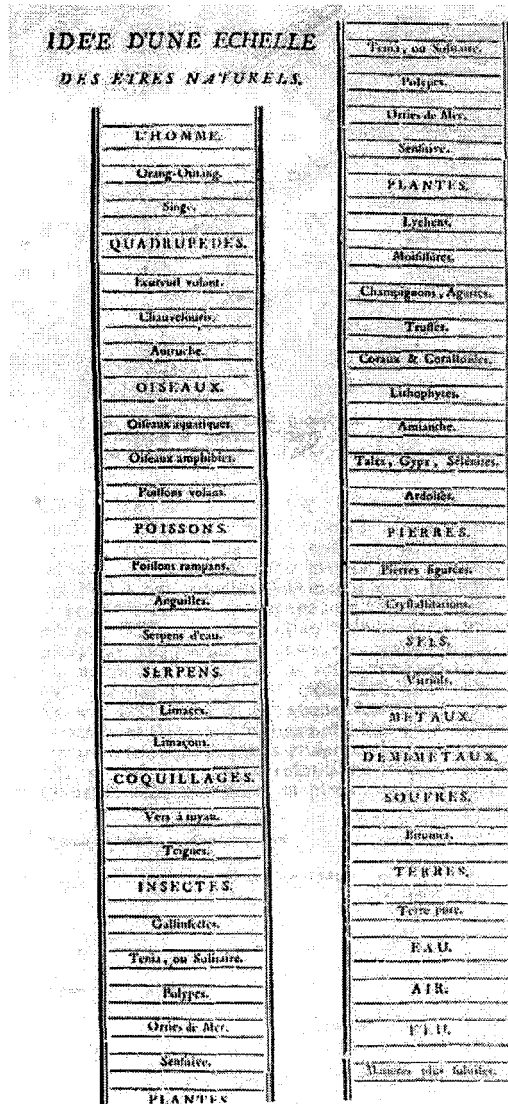


Figura 3.13. La *Scala Naturae* o Gran Cadena del Ser de Charles Bonnet, 1745 (tomada de O'Hara, 1991).

Algunas de estas representaciones son las de la *Escuela Quinaria de Sistématas*, que buscaban ilustrar la regularidad numérica de las relaciones de afinidad y analogía (Nelson & Platnick, 1981; O'Hara, 1996). Para esta escuela, la afinidad, —entendida como aquellas relaciones basadas en algún tipo de similitud esencial— era uno de los elementos principales del 'sistema natural' (Fig. 3.14).

Las ilustraciones de Strickland buscaban representar las relaciones entre las especies y como Darwin mantuvo un estrecho contacto con este personaje, sus ilustraciones fueron una poderosa fuente de inspiración, principalmente por la idea de un desorden e irregularidad en la naturaleza. Finalmente, Richards (1993) señala que el origen de la inspiración para el árbol evolutivo de Darwin proviene de una disciplina científica muy importante: la embriología. Para este autor hay un personaje cuyo diagrama fue de gran impacto en el pensamiento de Darwin: Martin Barry (1772-1876). Para comprender la influencia de este personaje, es necesario remitirnos a la teoría de la recapitulación y a las aportaciones de Von Baer.

A finales del siglo XVIII entre los anatomistas existía la noción extendida de que los embriones reflejaban una secuencia de adultos en miniatura de las especies inferiores, noción conocida en general como 'evolución', aunque algunos autores la emplean de forma diferente o con equivalentes semánticos (i.e. en inglés *theory of development* se usaba como sinónimo de *theory of evolution*). A medida que esta noción maduró se transformó en la teoría de la recapitulación, es decir, la idea de que la 'evolución' que ocurre en cada animal en su periodo más temprano (embriogénesis) corresponde a la evolución en las series animales. Esta noción era sostenida principalmente por los morfólogos alemanes, aunque encontró su camino hasta Inglaterra gracias al famoso anatomista William Hunter (Richards, 1993).

Sin embargo, no todos los embriólogos eran partidarios de la teoría de la recapitulación. El embriólogo estonés Karl Ernst Von Baer era oponente de este principio, sobre todo porque —tal como Cuvier— mantenía que la vida animal pone de manifiesto cuatro disposiciones fundamentales de las partes orgánicas o arquetipos. Para Von Baer, estos cuatro arquetipos representaban solamente cuatro organizaciones distintas de órganos que no podían deberse a un continuo desarrollo progresivo. El desarrollo individual necesariamente era dado por las características generales del arquetipo durante los primeros estados de la embriogénesis. Por esta idea es que Von Baer posteriormente fue oponente de la teoría darwiniana (Richards, 1993).

Darwin menciona el nombre de Von Baer en su libro *El Origen de las Especies*, sin embargo conocía la posición de este embriólogo desde antes y es aquí donde aparece Martin Barry en nuestra historia. Este médico escocés en 1837 escribió un informe titulado *On the unity of structure in the animal kingdom* para el *Edinburgh New Philosophical Journal*. Según Richards no hay pruebas directas de que Darwin se inspirase en Barry, pero las piezas del rompecabezas como veremos a continuación, encajan con facilidad y por ello los diagramas de ambos parecen homólogos (en el sentido biológico).

En su informe, Barry se dedica a explicar los cuatro tipos de Von Baer y para ello emplea un diagrama que denominó 'El árbol de desarrollo animal' (Fig. 3.16).

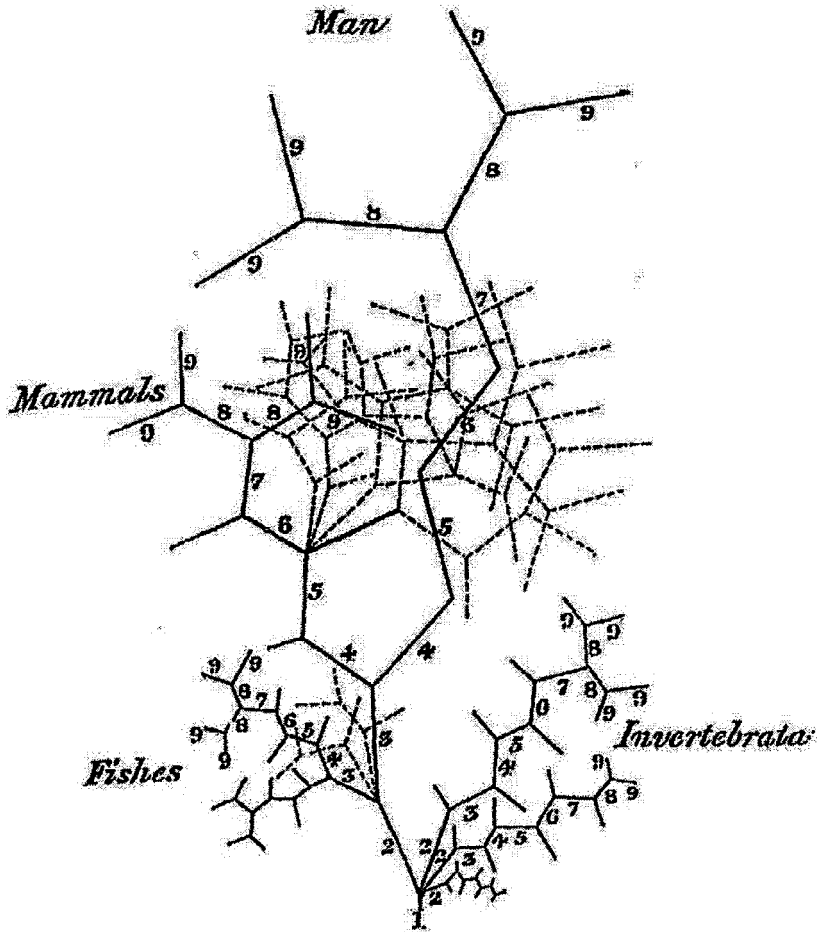


Figura 3.16. Árbol evolutivo de Martin Barry (1837), en el cual se aprecia la concepción de Von Baer de los cuatro arquetipos de organización en el reino animal y sus patrones evolutivos (tomado de Richards, 1993:130).

Este árbol tenía como raíz el germen, que sería morfológicamente similar en todos los animales; a partir de esta monada ancestral común se ramifican los invertebrados por una parte y los vertebrados por la otra; los peces, mamíferos y finalmente el hombre se van separando en ramas progresivamente superiores del árbol. Barry esboza esquemáticamente, sin etiquetas, los tres troncos principales de los invertebrados, procedentes cada uno directamente del germen; su esquema algo más elaborado de los

tres tipos de vertebrados también incluye representaciones elípticas de las ramas de los reptiles y las aves. En la ascendencia de las ramas, los nodos representan las clases, órdenes, familias y géneros más generales y las terminaciones de las ramas, las especies, variedades y caracteres individuales más particulares (Richards, 1993:129).

Aunque Barry con este diagrama —que fue publicado en abril de 1837, es decir, poco antes de que Darwin comenzara la escritura de su cuaderno B— pretendía explicar los principios de Von Bauer, es posible que Darwin lo mirara a través del velo de sus propias ideas, pues ambos diagramas se parecen notablemente. Incluso ambos diagramas plasman un número 1 en la raíz, que significa una mónada simple (Fig. 3.17).

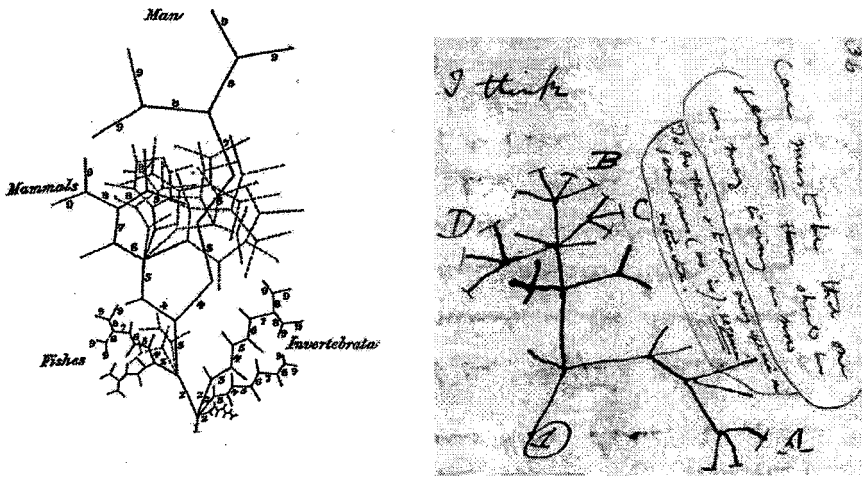


Figura 3.17. Comparación entre el diagrama de Martin Barry (izquierda) y el de Charles Darwin (derecha) en donde se aprecian varias semejanzas, como por ejemplo el número 1 para indicar el ancestro (izquierda, tomada de Richards, 1993) y el de Charles Darwin (derecha, tomada de www.peabody.yale.edu).

Poco después de la publicación del *Origen*, comenzaron a aparecer variados árboles evolutivos en la literatura sistemática (Figs. 3.18 y 3.19) y su historia, entre 1859 y 1900, es sumamente compleja y desconocida (O'Hara, 1996), por lo que únicamente estudiaremos las filogenias de Haeckel, por ser las más ampliamente publicadas.

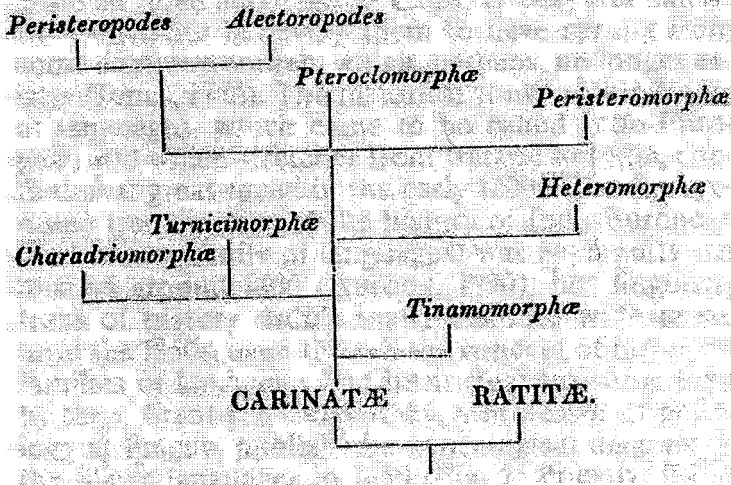


Figura 3.18. Filogenia de aves de Huxley, 1863 (tomada de O'Hara, 1991).

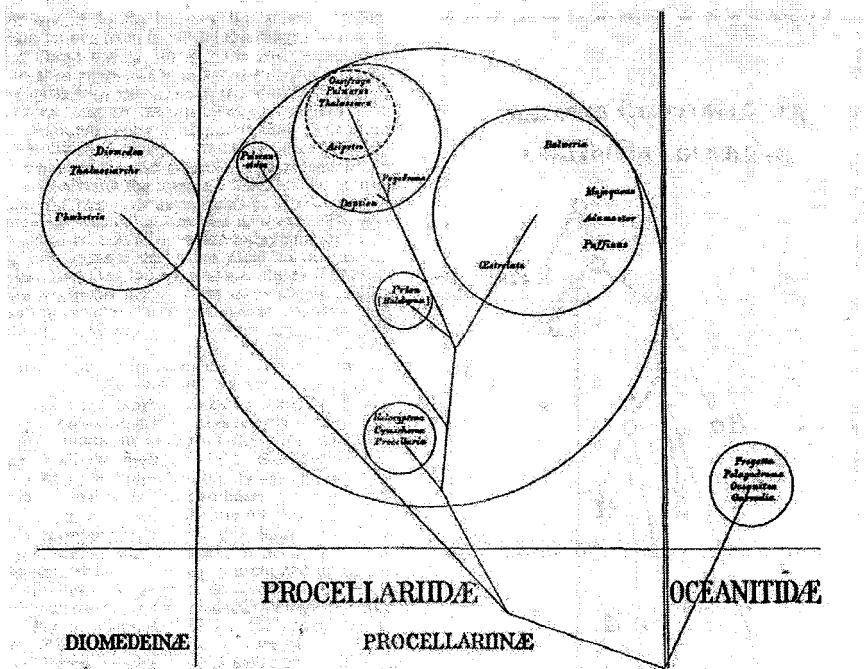


Figura 3.19. Evolución de las aves turbinariales, Forbes, 1882 (tomada de O'Hara, 1991).

3.3 Las raíces del árbol: Haeckel y sus filogenias

Ernst Haeckel leyó *El Origen de las Especies* en 1860; se impactó tanto que, en 1864, le escribió a Darwin: “[...] de todos los libros que he leído ni uno solo se había acercado a crear una impresión tan poderosa y duradera, como su teoría de la evolución de las especies [...] Desde entonces, su teoría —puedo decir sin temor a exagerar— ha ocupado mi mente todos los días” (Burkhardt & Smith, 2000:482). Y en verdad, Haeckel se convirtió en el propagandista más influyente de los que hablaron a favor de la evolución. De acuerdo con él, la teoría de Darwin consistía de dos ideas principales. La primera era que la selección natural es la causa del descenso con modificación a través de las generaciones y, la segunda, que el sistema natural es genealógico en su arreglo, tal como un pedigrí, como lo había mostrado Darwin en su diagrama ramificado. No obstante, el mismo Darwin había admitido que en la práctica “no contamos con representación alguna de genealogías” (Darwin, 1859:425), porque pensaba que no era posible construir líneas de descendencia con fósiles, debido a la imperfección del registro paleontológico (Dayrat, 2003).

Tan solo nos podemos imaginar la reacción que debió haber tenido Haeckel cuando decidió que él podría dibujar estos árboles genealógicos, al considerar que los sistemas de organismos recientes debían reflejar imágenes de su desarrollo filogenético. Teniendo como motor el desarrollo del darwinismo, Haeckel publicó en 1866 su *Generelle morphologie des organismen*, en el cual encontramos sus árboles genealógicos, los cuales estaban inspirados por la *escala natural* (Dayrat, 2003). Por lo que, aunque se ha dicho de él que era el Darwin alemán, nunca dibujó los diagramas ramificados que Darwin tenía en mente. No obstante, desde su introducción por Haeckel en 1866 los árboles se convirtieron en la imagen estándar para la representación de filogenias; esto ha resultado que se conviertan en la iconografía favorita de la evolución, de manera que es importante analizar cómo fue que Haeckel construyó sus bellas imágenes de verdaderos árboles con ramas retorcidas y copiosas.

En su famosa obra intitulada *Morfología general de los organismos*, Haeckel trazó su primera ilustración de un árbol, la cual ha sido considerada por muchos como el primer árbol filogenético o filogenia (por ejemplo, Mayr, 1969; Wiley, 1981; Hillis & Moritz, 1990; Nielsen, 1995). Sin embargo, parece que en toda interpretación que se ha hecho del trabajo de Haeckel, subyace un problema de semántica, pues como señalaron primero Ax (1987) y después Papavero y Llorente, *et* (1996), el título de esta imagen *Monophyletischer stammbaum der organismen* (Fig. 3.20) se debe traducir como *árbol genealógico monofilético de los organismos*. De hecho, Haeckel nunca llamó a ninguna de sus numerosas imágenes como árboles filogenéticos o filogenias.

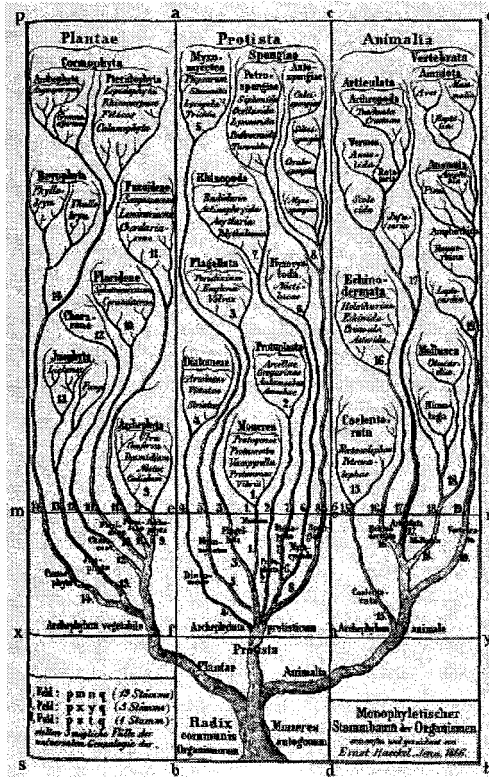


Figura 3.20. Primer árbol de Haeckel, 1866 (tomada de www.commonswikimedia.org).

Pero entonces, ¿qué tipo de información brindan los árboles de Haeckel? Si observamos algunas de las imágenes de los árboles de Haeckel, con sus respectivas explicaciones, nos brinca a la vista palabras tales como filogenia, monofilético, polifilético, etcétera. Efectivamente, estos y otros neologismos en ese momento (por ejemplo, ecología, metamerismo y metazoa) fueron acuñados e introducidos por Haeckel. Sin embargo, aunque en una primera lectura tendamos a considerar a nuestro autor como un evolucionista moderno, el significado de filogenia para Haeckel es muy diferente de aquel que se emplea actualmente en sistemática y evolución. En la actualidad se emplea el término filogenia para designar un diagrama que ilustra las relaciones evolutivas entre los diferentes grupos o *taxones*, mientras que para Haeckel esta palabra tenía diversos significados. Filogenia es sinónimo de historia evolutiva la cual, analíticamente se puede concebir en varios componentes y *v.gr.* polaridad, divergencia, cladogénesis, etcétera (Llorente, comunicación personal).

De manera que para establecer los significados del término *filogenia* para Haeckel, es necesario examinar las raíces de algunos términos. *Phylon*, es una de esas palabras cruciales para entender el trabajo de Haeckel. Esta palabra que se traduce del *stamm* en alemán significa 'tribu', 'rama' o 'tronco'. Para Haeckel significaba tanto una tribu ramificada, como una tribu lineal y nos dice: "por tribu me refiero a los ancestros que forman la cadena de progenitores de un individuo [de determinada especie]"

(1876a,I:309), lo cual representa una contradicción —que Haeckel tenía muy presente—y por lo tanto nos conduce a dos definiciones de filogenia dadas por él (Dayrat, 2003).

La ontogenia, o la historia del desarrollo individual de cada organismo, se nos presenta como una cadena simple de formas, sin ramificaciones; por lo tanto es esta porción de filogenia la que comprende la historia paleontológica del desarrollo de los ancestros directos de un organismo individual. Pero la filogenia completa —la cual encontramos en el sistema natural de todas las tribus orgánicas o phylum, y que comprende la investigación del desarrollo paleontológico de todas las ramas de esta tribu— forma una serie de desarrollo en forma de árbol ramificado, o pedigrí (1876b,I:314).

Entonces, una ‘porción de filogenia’ se refiere a una tribu como línea única de descenso, mientras que ‘filogenia completa’ se refiere a una tribu como a una rama completa del árbol. En la práctica, Haeckel nunca intentó lograr una filogenia completa, sino que considero únicamente porciones de filogenias en cada árbol.

Existe una frase muy famosa que todos los biólogos hemos escuchado una y otra vez: *la ontogenia recapitula a la filogenia*, la cual fue pronunciada por Haeckel en la trigésimo octava reunión de los físicos y naturalistas alemanes en 1864 y desarrollada a fondo en su *Generelle Morphologie* (Dayrat, 2003). El método de reconstrucción de sus árboles se basó de manera fundamental en esta ley biogenética. Pero, ¿qué quiere decir? La ontogenia se refiere a los estadios de desarrollo embrionario que ocurren en cualquier organismo, los cuales para Haeckel mostraban la historia evolutiva individual. Haeckel entonces dibujó los estadios embrionarios para ilustrar la historia evolutiva, porque pensaba que al estudiar la ontogenia de determinado grupo, se podía recapitular su filogenia porque el desarrollo de un organismo reflejaría el desarrollo evolutivo de la especie, es decir que la ontogenia refleja la serie de estadios morfológicos que ocurrieron en los ancestros durante su evolución paleontológica (Fig. 3.21).

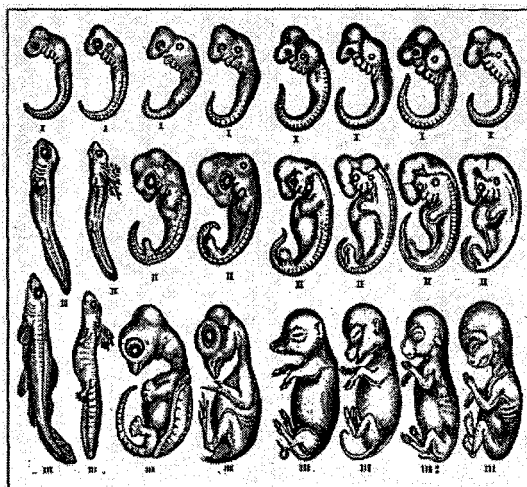


Figura 3.21. Dibujo de Haeckel (tomada de George Romene *Darwinism illustrated*, 1982). De izquierda a derecha embriones de pez, tortuga, gallina, cerdo, vaca, conejo, hombre (tomada de George Romene *Darwinism illustrated*, 1982).

No obstante, esta idea está hoy desacreditada, —aunque se pueden observar algunas conexiones entre la filogenia y la ontogenia que son explicadas por la evolución— y mucho se ha hablado sobre la falsificación de Haeckel del grado de apariencia externa de sus embriones, para exagerar las similitudes.

Pero lo importante aquí es que Haeckel empleó el término *historia paleontológica de la evolución* como sinónimo de filogenia, lo cual indica que ésta es una sucesión de morfotipos en el tiempo geológico. La ley biogenética, por tanto, no revela la serie de ancestros, sino sus principales estadios morfológicos. Es también por esto que genealogía (como la línea completa de descenso) y filogenia no pueden ser lo mismo y son referidas por Haeckel con dos términos diferentes: *Stammesgeschichte oder Philogenie des Menschen* (historia de la tribu o filogenia del hombre) se refiere a la sucesión de los cambios morfológicos principales a lo largo de la línea de descenso de los humanos, mientras que *Stammbaum des Menschen* (pedigrí del hombre) es un árbol que ilustra los linajes genealógicos (Fig. 3.22).

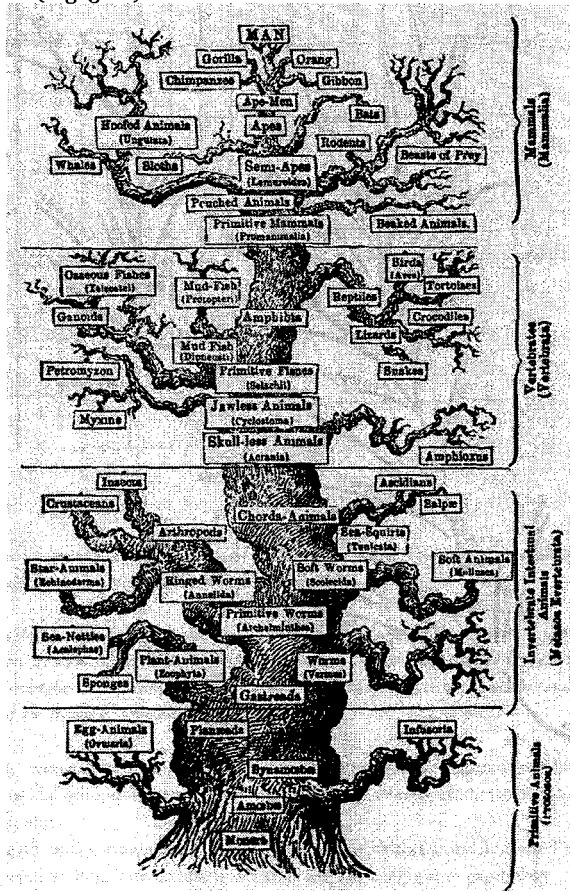


Figura 3.22. Árbol genealógico del hombre (1874, 1876a:imagen XV) (tomada de www.commonswikimedia.org).

“Este árbol muestra claramente cómo Haeckel construyó un árbol genealógico a partir de una sola filogenia lineal, en este caso, la filogenia del ser humano” (Dayrat, 2003). El grueso tronco representa los estadios morfológicos principales atravesados por nuestros ancestros. Haeckel asumió que los organismos vivientes que comparten la morfología de un estadio particular de la filogenia, se originaron a partir de ancestros correspondientes a ese periodo. Por ejemplo, los últimos 14 estadios morfológicos de este pedigrí corresponden a vertebrados: animales sin cráneo (Aracnia), bocas redondeadas (Cyclostomi), peces primitivos (Selachii), peces del tipo de las salamandras (Dipneusta), anfibios branquiados (Sozobranchia), anfibios con cola (Sozura), etcétera.

No cabe duda que ésta es la imagen más llamativa de Haeckel, sobre todo porque es una réplica de un verdadero árbol, con textura, ramitas y brotes. En este árbol se aprecia su visión sobre el continuo perfeccionamiento de las formas orgánicas, lo cual se debe a la lectura que hizo nuestro personaje de la selección natural. Para Haeckel, las consecuencias de la selección natural eran dos principios obvios: la diferenciación (que se refería a la multiplicación de especies) y el progreso. Darwin sostuvo la idea de progreso, pero mantenía que éste se podía dar en cualquier linaje del árbol de la vida. Para Haeckel el progreso sólo se daba en *algunos* linajes y por eso vemos al hombre coronando gloriosamente su árbol. Pero Haeckel no se detuvo ahí, puesto que no pudo evitar la aplicación de su razonamiento a todos los humanos y escribió:

Las varias ramas de la raza Indogermana son las que más se han desviado de la forma primaria común de simios parecidos al hombre. Durante la antigüedad clásica y la Edad Media, la rama románica (el grupo griego-italo-celta) [...] superó a las demás en la carrera hacia la civilización, pero en el presente, la misma posición es ocupada por la germana. Sus mayores representantes son los ingleses y alemanes, quienes se encuentran en el presente en la base de formación de un nuevo periodo de mayor desarrollo mental [...] (1876b, II:332)

Pero además del origen común de los organismos —para lo que Haeckel empleó la palabra monofilético, nuestro autor también se planteó la posibilidad de que el mundo orgánico debiera su origen a varios actos de generación espontánea. Denominó polifilético a este tipo de origen a partir de diferentes especies de ‘Monera’ y explicó lo siguiente:

Sin expresar aquí nuestra opinión a favor de una u otra concepción, debemos resaltar que en general, la hipótesis monofilética de descenso merece ser preferida a la polofilética [...] Debemos asumir esta simple raíz original, que es, el origen monofilético, en el caso de todos los grupos más desarrollados de los reinos animal y vegetal. Pero es muy posible que en el futuro, una teoría más completa del descenso involucre el origen polifilético de muchos de los grupos inferiores e imperfectos de los dos reinos orgánicos (Haeckel, 1876)

Por eso encontramos tres árboles polifiléticos en los trabajos de Haeckel (Fig. 3.23)

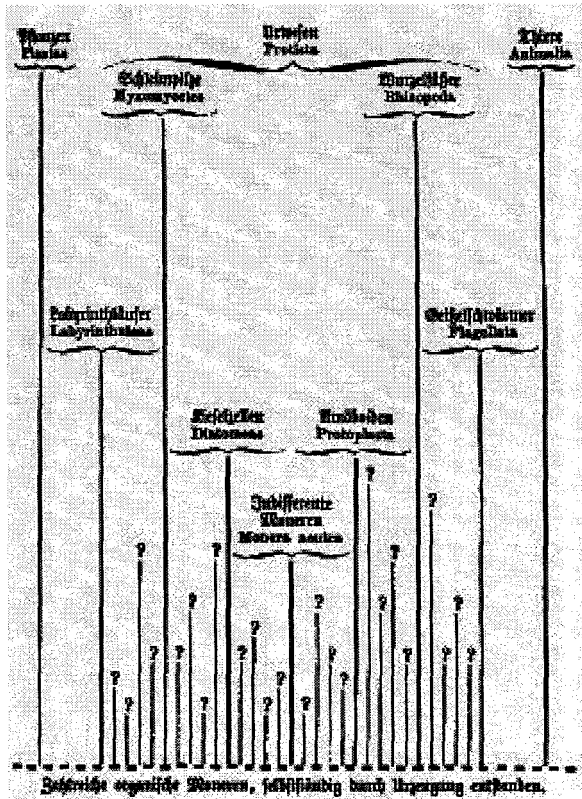


Figura 3.23. Árbol genealógico polifilético de los organismos. Cada rama se origina a partir de un acto separado de generación espontánea. Los signos de interrogación indican linajes extintos de protistas (1868:347) (tomada de Dayrat, 2003).

Después de todo esto, entonces podemos observar que los árboles de Haeckel combinan los temas de la escala del progreso creciente y los del árbol con forma de cono, lo cual se puede resumir en la idea de *a más, mejor*. “El árbol de los mamíferos [Fig. 3.24] ilustra espectacularmente la combinación de alto con avanzado, y la tergiversación de diversidad relativa que puede surgir cuando una pequeña ramita se iguala a todo un nivel superior de progreso” (Gould, 1999). En este árbol podemos apreciar que los artiodáctilos, que son un grupo muy diverso, fueron comprimidos por Haeckel a la mitad inferior, mientras que los primates, que forman un grupo mucho más pequeño ocupan más de la mitad del nivel superior. Nótese que además fueron colocados en el nivel superior derecho, que es el culturalmente favorecido (Gould, 1999).

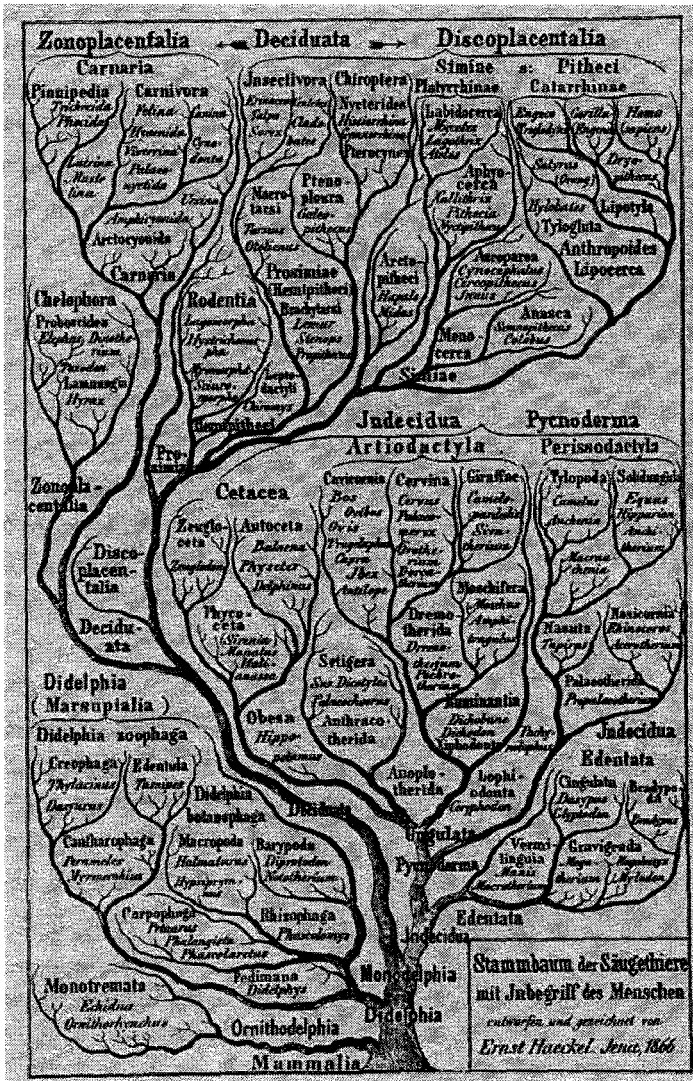


Figura 3.24. Árbol evolutivo de los mamíferos (Haeckel, 1866) (tomada de Dayrat, 2003).

3.4 Genealogía vs Filogenia

Charles Darwin le dio la espalda al esencialismo, que había impedido que muchos naturalistas anteriores a él se fijaran con detalle en la variación de los individuos que componen una especie. En esta filosofía, los individuos eran considerados como portadores de aquellas propiedades esenciales de la especie a la que pertenecían y dicha propiedad era resultado de una creación divina o una determinación lógica en la visión aristotélica. Por lo tanto no había que preocuparse por las variaciones individuales, pues

solo representaban accidentes o desorden; con los individuos no había posibilidad de hacer diéresis según Aristóteles. Sin embargo, dichas variaciones eran para Darwin el atributo más importante de los organismos y poblaciones, puesto que resultan el motor de la selección natural.

De acuerdo con su teoría, una población está compuesta por individuos que difieren entre sí. Bajo determinadas condiciones ambientales en un momento específico, algunas de estas variantes tendrán ventajas sobre otras, lo cual se reflejará en una mayor descendencia y mayor capacidad para sobrevivir. Esto conduce a la evolución de la población en el transcurso de varias generaciones, es decir, en el curso de su genealogía. Esta idea fundamental de la teoría de la evolución conocida como *descenso con modificación*, moldearía las clasificaciones de los seres vivos y el pensamiento filogenético posterior (Lecomte & Le Guyader, 2006).

No obstante, durante muchos años los científicos se encontraron en un limbo metodológico, pues no existía un vínculo entre las clasificaciones y la genealogía de las especies. Aunque los árboles evolutivos de Haeckel representan el florecimiento del 'pensamiento arbóreo', se le prestó poca atención al problema de cómo las especies, —que son las puntas de las ramas del árbol de la vida— se relacionan unas con otras hasta la década de los treinta, aunque no fue sino hasta la década de los cincuenta que las clasificaciones encontraron su nexa con la historia evolutiva (Llorente, comunicación personal).

Este limbo metodológico de finales del siglo XIX y principios del XX, trajo consigo confusiones de diversos tipos, pero la que nos interesa aquí es la que tiene que ver con las representaciones gráficas de los árboles. Una confusión muy importante que se refleja en diversos diagramas principalmente de esta época (finales del siglo XIX y principios del XX) es la de genealogía vs filogenia (Llorente, 1994 & Morrone).

Podemos definir genealogía como una serie de relaciones tocogenéticas entre taxones (grupos de organismos emparentados) monofiléticos, es decir, ¿quién desciende de quien? Y filogenia como la historia y las relaciones evolutivas entre diferentes taxones, es decir, ¿quién y cómo se relaciona más cercanamente con quien? (Fig. 3.25) —aquí relación no solo es genealogía. Por lo tanto, los diagramas genealógicos incluyen a los ancestros hipotetizados, debido a las relaciones de grupo hermano que comparten un ancestro inmediato, mientras que las filogenias no necesariamente reconocen a los ancestros sino que pueden manifestar relaciones de divergencia, dirección y diversificación evolutivas, entre otras. Es por ello que aunque podemos hablar por principio de una genealogía para todos los organismos vivos, el registro fósil no permite saber quién es ancestro de quién y por ello hasta el momento no es posible encontrar un esquema general de este tipo para toda la biodiversidad. Considérese que un fósil puede representar un grupo viviente, incluso una especie actual.

En resumen, el problema de la confusión entre genealogía y filogenia radica en que la primera solo es una parte de la segunda, que es más abarcadora de otro tipo de relaciones evolutivas (Llorente, comunicación personal). Debido a que el ancestro común de un grupo es en sí mismo una especie real, entonces tiene que colocarse en el mismo sistema taxonómico que sus descendientes, pero ¿debe ser considerado como un miembro del mismo taxón?, y ¿cómo se podría confirmar que una especie en particular fue el ancestro de otras? Como estas cuestiones son muy problemáticas, los cladistas han decidido ignorar las relaciones de ancestría-descendencia de sus taxonomías y enfocarse en la identificación de grupos estrictamente monofiléticos cuyos ancestros son *hipotéticos*.

Numerosos estudios biológicos actuales⁴ fracasan en distinguir entre descendientes y ancestros y conducen a interpretaciones incorrectas de las filogenias.

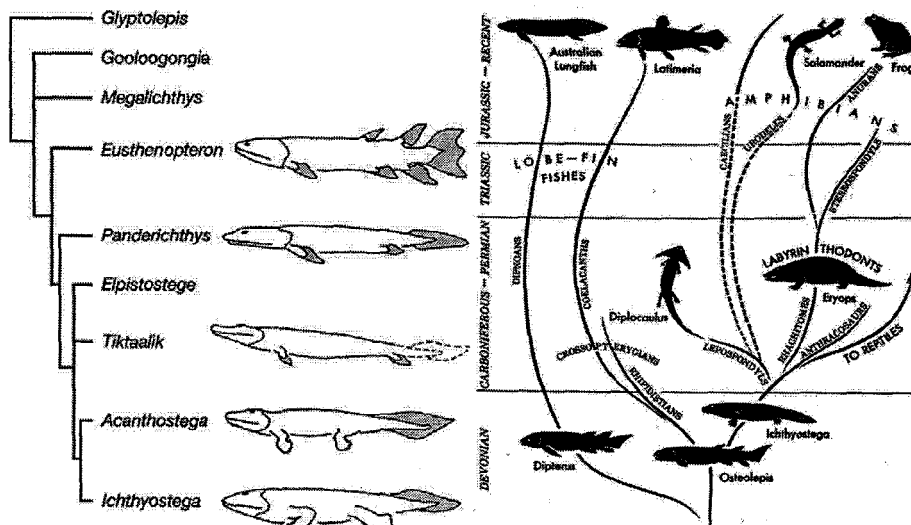


Figura 3.25. Ejemplo de una genealogía y una filogenia. Izquierda: cladograma de la evolución de los tetrápodos (tomada de Shubin, 2005) Hay que notar que implícitamente se trata de un árbol de especies. Derecha: filogenia de los tetrápodos (tomada de Colbert, 1980).

Ahora bien, aunque en el siguiente capítulo se discute ampliamente cuándo un árbol es una filogenia y cuándo no, así como los componentes más básicos de la construcción de árboles filogenéticos, es necesario añadir que un árbol se convierte en una filogenia en el contexto particular de hipótesis evolutivas realizadas a partir de ciertos métodos de clasificación y preguntas. En este caso, de la sistemática filogenética. Esta metodología *sensu* Hennig (1966) busca encontrar las relaciones genealógicas de un grupo de organismos mediante el reconocimiento de la sucesión de los estados primitivos (plesiomorfias) y los derivados (apomorfias) de determinados caracteres: distributividad de caracteres. Lo más importante a tomar en cuenta son las sinapomorfias o novedades evolutivas compartidas, es decir, caracteres homólogos apomórficos compartidos por dos o más taxones (Lecointre & Le Guyader, 2006).

Este concepto es el fundamento de la metodología de la sistemática filogenética, pues gracias a él se reconocen grupos hermanos y definen grupos monofiléticos (con un ancestro común hipotetizado): sinapomorfia + autapomorfia.

Si regresamos al desconcierto entre genealogía y filogenia, en la época anterior al desarrollo de la metodología en el análisis filogenético (1950-1990), diferentes representaciones contienen imbuídas las confusiones con respecto de dichas nociones. Un ejemplo es el diagrama del paleontólogo estadounidense Alfred Romer (1949) (Fig. 3.26), en el cual se muestran “únicamente las relaciones ancestrales de taxones superiores (los

⁴ Existen diversos estudios recientes que emplean genealogías para intentar contestar preguntas relacionadas con las características de ancestros, tales como Dawkins (2004); Endress (2001); Neprokoeff, *et al.*, (2003); Oakley & Cunningham (2002), con la coevolución de linajes Page (2003); Lutzoni (2001) y con la radiación de ciertos linajes Johannesson (2001) Mayhew (2002); Sanmartín & Ronquist (2004) y Cockburn (2003).

mamíferos descienden de los reptiles, los reptiles de los anfibios, etcétera). Los puntos de ramificación entre dos grupos incluyen ancestros identificados a partir del registro fósil” (Lecointre & Le Guyader, 2006: 13).

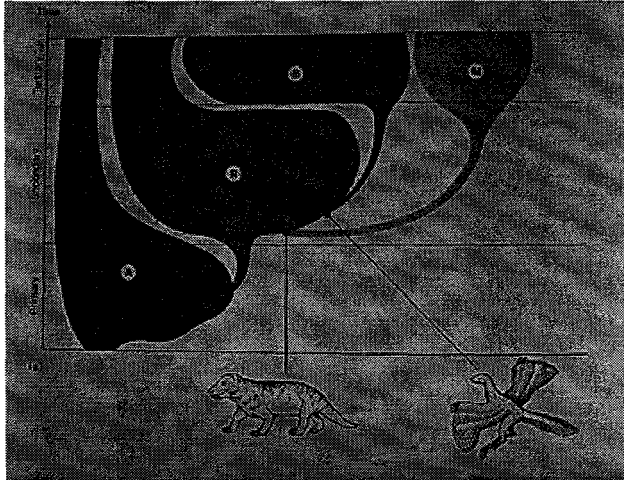


Figura 3.26. Representación de Alfred Romer (1949) de las relaciones entre los vertebrados tetrápodos, con la inclusión de algunos fósiles (Izquierda: *Cynognathus* y derecha: *Archaeopteryx*). A: anfibios; R: reptiles; B: aves y M: mamíferos (tomada de Lecointre & Le Guyader, 2006).

En la siguiente figura (3.27) se presenta un diagrama de las mismas relaciones entre vertebrados tetrápodos, pero utilizando el método, los conceptos y tipos de representación de la sistemática filogenética, es decir, un árbol genealógico

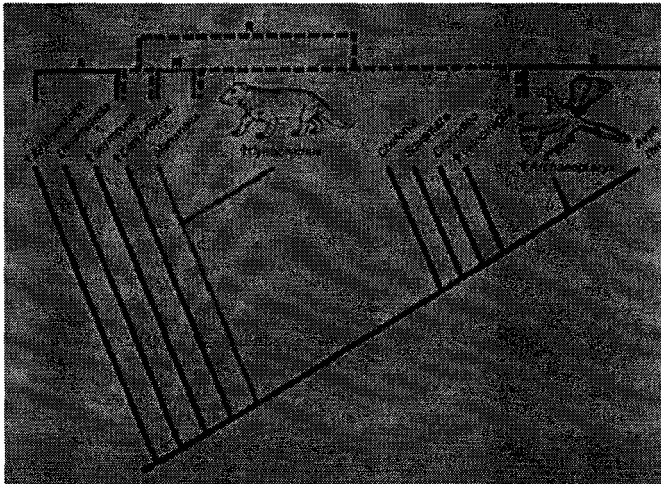


Figura 3.27. Genealogía de los vertebrados tetrápodos. Nótese que en las reconstrucciones genealógicas de los cladistas, los fósiles se colocan en las puntas de las ramas aunque sean especies extintas, lo cual está indicado por un símbolo de cruz (tomada de Lecointre & Le Guyader, 2006).

Mediante la comparación de los dos diagramas anteriores, podemos observar que algunas representaciones anteriores al desarrollo de la sistemática filogenética plasman las confusiones entre genealogía y filogenia, pero no solo eso. En el primer diagrama parece que dos especies fósiles —*Cynognathus* y *Archaeopteryx*— son los ancestros de los mamíferos y de las aves respectivamente. Esto es una idea incorrecta pues aunque ambas especies son consideradas como organismos intermedios, *Cynognathus* entre los reptiles y los mamíferos y *Archaeopteryx* entre los reptiles y las aves puesto que presentan características de ambos grupos, ninguno puede ser considerado como ancestro genealógico ni de los mamíferos ni de las aves⁵, de acuerdo con los principios metodológicos cladistas.

3.5 Epílogo: Entonces... ¿quién está relacionado con quién? O el nacimiento de la sistemática filogenética

Como ya se mencionó, un personaje crucial en el desarrollo de la teoría filogenética, fue el entomólogo Willi Hennig, quien en su publicación de 1950, in titulada *Phylogenetic systematics*, dio origen a la escuela de pensamiento taxonómico (Llorente, 1990), que conocemos como ‘enfoque cladista’, ‘filogenética’ o ‘neor aristotélica’. El objetivo de esta escuela fue desarrollar una metodología explícita y rigurosa que permitiera el reconocimiento de las relaciones evolutivas entre especies, mediante su agrupación en grupos estrictamente monofiléticos (grupos compuestos por el ancestro común y todos sus descendientes), poniendo fin así al limbo metodológico en el que se encontraban los sistématas evolutivos que hacían una mezcla de genética y filogenética al ponderar la divergencia alta en la formación de grupos taxonómicos (Llorente, comunicación personal).

Esta escuela emplea diagramas de ramificación conocidos como *cladogramas*, que enfatizan la importancia del reconocimiento de grupos monofiléticos —denominados *clados* en sus sistemas de clasificación— y la idea de caracteres derivados compartidos, denominados *sinapomorfias* (Fig. 3.28) (Cracraft & Donoghue, 2004).

La idea básica de Hennig podría sintetizarse así: las relaciones que permiten la cohesión de organismos y especies, vivientes y extintas, son relaciones genealógicas [...] Los caracteres deben ser interpretados a la luz de la evolución y sólo algunos de ellos son utilizables para la determinación de ancestría común [...] Las relaciones genealógicas pueden descubrirse al investigar caracteres particulares que documenten tales relaciones y la mejor clasificación general de organismos, es la que refleja exactamente sus relaciones genealógicas (Llorente, 1986, 1994).

⁵ Para saber más acerca de algunos conceptos que conducen a ideas incorrectas en filogenia, tales como fósiles vivientes, el *estatus* de los ancestros y los organismos intermedios, revisar el capítulo IV.

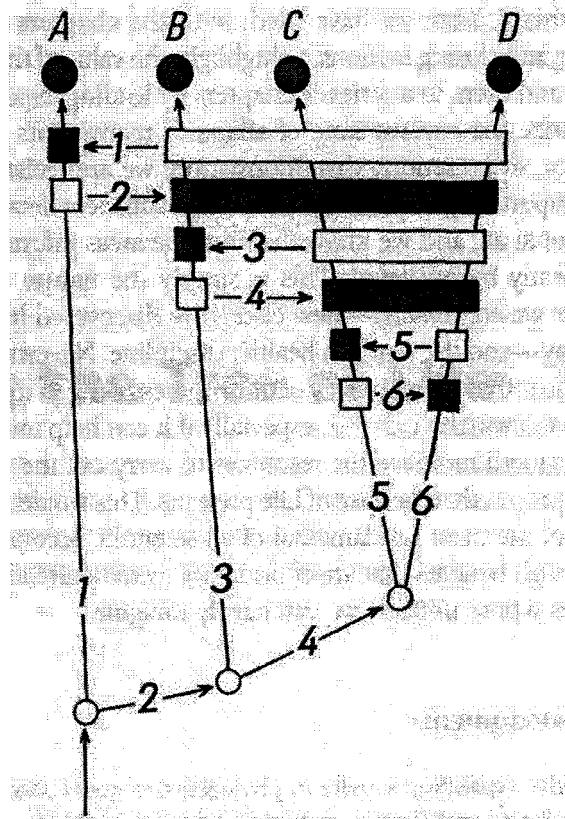


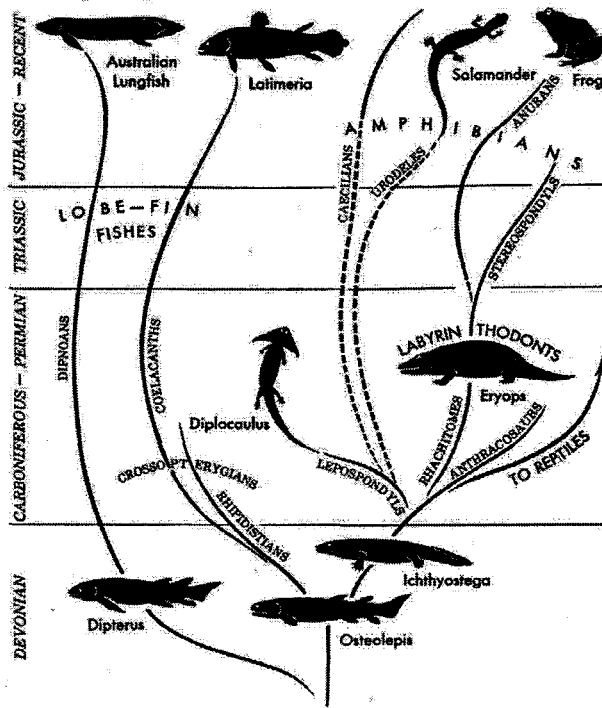
Figura 3.28. Esquema de argumentación conceptual filogenética de Hennig (1966:91), en el cual los rectángulos negros representan caracteres derivados (apomorfias) y los rectángulos blancos representan caracteres primitivos (plesiomorfias) (tomada de Hennig, 1966).

En esos mismos tiempos, se comenzaron a desarrollar algoritmos para representar el parentesco entre especies, y pronto fueron implementados gran variedad de programas de computación, los cuales en un principio tomaban en cuenta caracteres morfológicos principalmente. Posteriormente gracias a la posibilidad de realizar secuenciaciones de ADN, se comenzaron a utilizar también datos moleculares para las reconstrucciones filogenéticas, aunque con problemas conceptuales para ponderar caracteres derivados.

Podemos decir entonces que, actualmente, “contamos con la imagen y el significado del árbol de la vida, los desarrollos metodológicos y conceptuales que lo subyacen y la habilidad para organizar grandes cantidades de datos, así como de evaluar diferentes hipótesis filogenéticas alternativas” (Cracraft & Donoghue, 2004). Por lo que los diagramas modernos nos permiten apreciar las relaciones evolutivas de las principales ramas del árbol con considerable detalle.

Capítulo IV

La metáfora del árbol evolutivo y su problemática





Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

IV. La metáfora del árbol evolutivo y su problemática

“La vida es un copioso arbusto, cuyas ramas son continuamente cortadas por el severo segador de la extinción, no una escalera de progreso predecible”.

Stephen Jay Gould, *La vida maravillosa*, 1989

La imagen del árbol filogenético es la representación más directa del proceso de la evolución, pues en sus ramas se plasma la historia evolutiva de las especies. Charles Darwin propuso lo que hoy conocemos como evolución ramificada, que significa que las especies divergen a partir de un ancestro común a lo largo de caminos separados, con lo cual se puede explicar la enorme diversidad biológica de nuestro planeta. Así que mediante “líneas, ángulos y barras, Darwin consiguió representar el origen, la variación y la extinción de las especies” (Voss, 2003)

En la actualidad, 150 años después de la publicación de *El origen de las Especies*, la teoría de la evolución representa el pilar de la biología moderna, pues permite unificar todas las disciplinas de esta ciencia bajo un mismo marco explicativo. La clasificación filogenética entonces domina la investigación taxonómica y la evolución riga las metas que se persiguen en los laboratorios y en los estudios de campo. Sin embargo, desde la primaria hasta la universidad —y ya no digamos dentro de la cultura popular— lo que se enseña en la mayoría de los casos, son las clasificaciones tradicionales y las representaciones anquilosadas de la evolución, las cuales contienen numerosas ideas equivocadas, tales como una visión lineal de la organización de la biodiversidad, nociones de finalismo y de antropocentrismo, así como una asociación de evolución con progreso, confusiones acerca de grupos hermanos y ancestros —i.e. que los chimpancés son los ancestros de los seres humanos, de fósiles vivientes y de organismos intermedios.

Es por todo ello que resulta importante clarificar los términos y conocer las convenciones que permiten comprender cabalmente las filogenias para evitar interpretaciones erróneas y contribuir con el entendimiento de un hecho tan fundamental de la vida, como lo es la evolución.

4.1 Introducción

Este capítulo tiene la intención de comentar la problemática en la que se inserta la metáfora del árbol evolutivo, la cual se puede resumir en la siguiente cuestión ¿qué entienden los biólogos cuando ven un árbol filogenético y qué entiende el público lego? O dicho de otra manera, ¿cómo se debe estudiar el fenómeno de la recepción (lectura de la imagen) del árbol evolutivo para que no quede en simple ‘metáfora’?

Para explorar qué entienden los biólogos, se describirá de forma breve lo que representan los árboles evolutivos y las convenciones empleadas para poder comprenderlos. No obstante, debido a la naturaleza de este proyecto, no se profundizará en la manera en que se construyen los árboles, ni en los fundamentos de cada una de las escuelas actuales en sistemática, pues lo que interesa aquí es el modelo de árbol simplificado, el cual es el que se encuentra en libros de texto, revistas y museos¹. Baum, *et al.* (2005) mencionan que “cualquiera puede interpretar un árbol evolutivo y utilizarlo para organizar el conocimiento actual sobre la biodiversidad sin la necesidad de conocer los detalles de la inferencia filogenética. Lo contrario eso si, no es posible, uno no puede entender sistemática filogenética si no tiene bien claro lo que es un árbol evolutivo.”

Para explorar qué entiende el público lego se analizarán las dificultades cuando se ‘leen’ los árboles filogenéticos. Para ello se presenta una investigación bibliográfica sobre el análisis de algunas imágenes icónicas relacionadas con el árbol evolutivo que fueron pensadas para el público en general. En esta investigación, no se tomaron en cuenta los trabajos que consideran la reacción del público, sino únicamente aquellos que consideran la información disponible para éste en forma simbólica, para comparar la representación visual de las ideas científicas con el mensaje que los científicos buscan comunicar.

Pero primero, resulta fundamental dedicar un apartado breve a la importancia de la teoría evolutiva para comprender la relevancia de la interpretación correcta de diagramas evolutivos, seguido de una descripción de las dificultades más significativas que se dan cuando se enseña y se aprende evolución.

4.1.1 ¿Por qué es importante la evolución como teoría y como hecho?

La mayoría de las personas sentimos gran fascinación por los seres vivos, pero mientras que a algunos les interesan detalles que corresponderían más a la historia natural de los organismos, como por ejemplo por qué los calamares tienen costumbres tan misteriosas o por qué existen arañas que no tejen telarañas; a otros les interesan más los detalles de disciplinas más novedosas como la genética o la biología molecular que emplean tecnología de vanguardia. El vínculo que existe entre la descripción de las particularidades de los animales y la búsqueda mediante experimentación de los secretos de los seres vivos es la evolución. Cada organismo “nos instruye; su forma y su comportamiento encarnan mensajes de índole general si tan solo somos capaces de aprender a interpretarlos. El lenguaje de esta lección es la teoría evolutiva” (Gould, 1980).

Es por ello que decimos que la evolución es la piedra angular de la biología, pues es la teoría que unifica los diferentes campos de esta ciencia al agregarlos todos bajo un mismo marco explicativo y conceptual. La evolución “está situada en medio de un continuo que se extiende desde las ciencias que tratan de generalidades intemporales y cuantitativas hasta aquellas que trabajan directamente sobre las singularidades de la historia. Así pues, ofrece cobijo a todos los estilos y propensiones, desde aquellos que persiguen la pureza de la abstracción (las leyes del crecimiento de las poblaciones y la estructura del ADN) hasta los que se regocijan con el desorden de la particularidad irreductible (¿y qué hacía —si es

¹ El lector encontrará referencia terminológica y de método en el glosario de este trabajo.

que hacía algo— *Tyrannosaurus* con sus absurdas patitas delanteras?)” (Gould, 1980). Sobra decir que entre los biólogos, algunos trabajan más de cerca con las ideas de Darwin que otros, pero todos —biólogos o no— debemos estar familiarizados al menos con los puntos más importantes de la estructura de la teoría de la evolución, que así como una enredadera, se mete por todos los recovecos de la biología.

Además, la evolución es un hecho de la historia de la vida en la Tierra. “Los hechos son los datos del mundo” (Gould, 1980: 216) y las teorías son estructuras de ideas generadas para explicarlos². Gracias a la teoría de la evolución podemos explicar la existencia de la miríada de seres vivos presentes en nuestro planeta —más de un millón de especies descritas y muchos millones más por descubrir— provenientes todos de un ancestro común, con sus características particulares de forma, tamaño o comportamientos.

Ahora bien, si hablamos de la evolución como teoría, ésta ha sido fundamental por varias razones. Una de ellas es que representó un parteaguas en la forma en que entendemos y percibimos el mundo en que vivimos. Antes de que la teoría de Darwin fuera aceptada, la idea generalizada sobre la diversidad biológica era que todas las especies habían sido creadas independientemente unas de otras y que eran fijas e inmutables (las únicas extinciones habían sido provocadas por el Diluvio Universal); también se creía que la Tierra era relativamente joven puesto que cerca del año 1650, el arzobispo irlandés James Ussher había calculado la edad de la Tierra a partir de textos bíblicos, concluyendo que contaba con aproximadamente 6000 años.

La teoría de la evolución supuso un cambio profundo, una verdadera revolución conceptual al mostrar que los seres orgánicos sufren transformaciones constantes y que estos cambios necesitan tiempo, mucho más que el que posibilita la Biblia. Y esto nos lleva a otra de las razones de la importancia de la teoría de la Evolución, a saber, que introduce el elemento histórico en la interpretación de los fenómenos biológicos³.

“Una explicación realmente histórica de la naturaleza exige un tiempo profundo, para proporcionar un espacio suficiente en el que se desplieguen los acontecimientos” (Gould, 2000). Y eso fue precisamente lo que brindó Darwin: el componente histórico en el estudio de la vida.

Finalmente, la teoría de Darwin es tan importante porque a los biólogos nos ha dado una invaluable fuente de preguntas y problemas que requieren ser estudiados. Si pensamos en la famosa frase de Theodosius Dobzhansky (1964) que sostiene que “nada tiene sentido en la Biología si no se analiza a la luz de la evolución”, podemos comprender que Darwin realmente dio inicio al desarrollo de la biología moderna con todas las ramas y subdisciplinas con las que cuenta.

² En el mundo de la ciencia ‘hecho’ no significa certidumbre absoluta, sino la existencia de evidencia suficiente como para brindar un alto grado de confianza. En cuanto a la teoría, existen diversas hipótesis acerca de los mecanismos detrás de la evolución, las cuales se centran principalmente en tres problemas: los sucesos de cambio, si estos son graduales o rápidos; las entidades en las que ocurre la evolución, es decir si se da a niveles supra, infra o específicos, y la polaridad evolutiva o la dirección de cambio.

³ Es importante mencionar que Buffón fue el primer defensor del pensamiento histórico. En su primer volumen de 1749 de *La Teoría de la Tierra*, había formulado una edad larga para nuestro planeta de entre 55000 a 75000 años. Ya para 1778 en *Las épocas de la naturaleza*, —siguiendo a Leibniz— planteó una teoría completamente histórica de la Tierra. Sin embargo, decimos que una de las contribuciones centrales de Darwin es la introducción de elemento histórico en el estudio de la vida porque logró cambiar el paradigma del conocimiento biológico que afectó de forma determinante el desarrollo de esta ciencia.

Es por ello que en la ‘alfabetización científica’ no pueden faltar algunos conceptos relacionados con la evolución, que mas allá de brindar un rico y necesario bagaje cultural —como el mencionado con anterioridad, son útiles para interpretar y comprender fenómenos cotidianos, tales como la resistencia de las bacterias a los antibióticos, la actual diversidad humana y las variedades entre las especies domésticas y comerciales, por mencionar algunos (Grau & de Manuel, 2002).

4.2 Las dificultades más significativas que se dan cuando se enseña y se aprende evolución

Desde hace más de dos décadas se han invertido grandes esfuerzos para comprender y delimitar las dificultades que se presentan al enseñar y aprender los mecanismos básicos responsables de la evolución biológica. Algunos estudios muestran que gran parte de los alumnos de educación secundaria (Brumby, 1984; Jiménez & Fernández, 1989; Grau, 1993; Settlage, 1994; Wood-Robinson, 1994; Jeson & Finley, 1996; de Manuel & Grau, 1996), de los universitarios (Alters & Nelson, 2002) e incluso de los profesores de biología (Mengascini & Menegaz, 2005) tienen dificultades para comprender la evolución y presentan errores conceptuales profundos.

En términos generales es difícil comprender cómo funciona la evolución porque raramente puede ser observada y que se encuentra lejos de la cotidianidad de las personas. Para algunos autores (Jiménez Aleixandre, 1991; Grau & de Manuel, 2002; Mengascini & Menegaz, 2005), la fuente de dichas dificultades se encuentra en los siguientes puntos:

- En la simplificación de los conceptos,
- En el pensamiento causal simple,
- En el pensamiento antropocéntrico,
- En el pensamiento esencialista y
- En la influencia de los medios de comunicación y del lenguaje.

La simplificación de los conceptos se refiere a que muchas de las dificultades conceptuales provienen de determinadas formas de procesar lo que ocurre a nuestro alrededor. Normalmente, los seres humanos obtenemos concepciones espontáneas al explicarnos los fenómenos mediante causas simples y nuestro sentido común. Esto en procesos complejos —como los mecanismos responsables de la evolución y sus resultados—, conlleva a la incorporación de significados equívocos que “conforman una visión *naif* de los procesos” (Grau & de Manuel, 2002).

Quizá una de las dificultades más significativas al enseñar y comprender la evolución es el pensamiento causal simple que encontramos en las concepciones alternativas relacionadas principalmente con posturas lamarckistas. Tanto atribuir al uso y al desuso de determinados órganos o partes del cuerpo la causa del desarrollo de nuevas características anatómicas en los seres vivos, como pensar que el cambio en los seres vivos se produce como respuesta adaptativa a cambios en el ambiente, forma parte de un pensamiento causal simple y además intuitivo que interfiere en la apropiación de los conceptos científicos (Grau & de Manuel, 2002). Por ejemplo, Alters & Nelson (2002) mencionan que después de realizar un estudio sobre los errores conceptuales sobre evolución, en estudiantes universitarios, encontraron que se presentan graves dificultades para entender la idea clave de que el ambiente afecta la supervivencia de características *después* de su aparición en la población. Por el contrario, piensan que el cambio ocurre solamente por efecto de fuerzas ambientales que actúan sobre los organismos para producir los cambios.

Esta 'lógica del sentido común' —que busca encontrar causas cercanas en el tiempo y en el espacio para los fenómenos—, se combina con una visión teleológica que busca encontrar una finalidad o intención de mejorar en los organismos que evolucionan. Esta mezcla cognitiva "podría ser causante de que se atribuya a las mutaciones un origen adaptativo, en el sentido de que su aparición en los organismos sería una respuesta a un cambio externo, normalmente ambiental" (Grau & de Manuel, 2002). Por ello generalmente se piensa que los osos polares se adaptaron a su ambiente al cambiar gradualmente el color de su pelaje o que los topos son ciegos porque no *necesitan* emplear los ojos.

Lo anterior nos conduce a otra de las dificultades fundamentales, que ha sido señalada ampliamente por Gould y Lewontin (Gould & Lewontin, 1982; Gould, 1980; 2000; 2002; 2004), a saber, la creencia en una finalidad adaptativa para cada carácter aislado de los organismos. Esta concepción a menudo lleva a reduccionismos erróneos, ya que no considera el conjunto completo del organismo y, además, el hecho de que no todas las estructuras, comportamientos o características en general son 'adaptativas'.

La visión antropocéntrica del proceso evolutivo también es una concepción profundamente arraigada, la cual conduce a pensar que el ser humano está en la cúspide de la evolución y que por lo tanto es un ser superior y más evolucionado. En este sentido, como el ser humano es la medida de todas las cosas, excepto por los ángeles, los humanos en la Tierra nos encontramos en la cúspide de la Gran Cadena del Ser. Como habíamos visto en capítulos anteriores, esta visión está respaldada tanto por ideas religiosas, como por ciertas iconografías falsas de la evolución, especialmente la marcha del progreso y algunos árboles evolutivos que se revisarán más adelante. Para el público en general resulta difícil comprender que todos los organismos actuales somos igualmente evolucionados e igualmente modernos.

En cuanto al pensamiento esencialista, este mantiene la idea de que la evolución tiene una meta. Desde una perspectiva filosófica, el esencialismo afirma que la esencia de los seres —o de cualquier cosa— precede a su existencia, por lo que las entidades están construidas *a priori* y la realidad se debe encajar en esta 'idea' o esencia de lo que son.

Por lo tanto, las variaciones que mantienen los individuos de una misma especie son accidentes o desviaciones de esta esencia. La Gran Cadena del Ser está repleta de nociones esencialistas que dificultan la idea de cambio y modificación de los organismos y que conducen a pensar en metas fijas de la evolución. Según Lecointre y Le Guyader (2006), la idea de un ordenamiento lineal de los seres vivos ha provocado que los conceptos filogenéticos sean de los conceptos científicos menos asimilados por el público en general.

Finalmente, el uso que dan los medios de comunicación a algunos términos científicos, tales como mutación y evolución (el primero denotando seres extraños y deformes y el segundo progreso), y la transmisión de ciertas concepciones erróneas, como por ejemplo que la selección natural consiste en la supervivencia del más fuerte (Sánchez, 2000), o que el chimpancé es el ancestro de los seres humanos (Grau & de Manuel, 2002), es una fuente importante de confusiones y errores conceptuales, puesto que interfieren con la construcción y apropiación de conceptos científicos. Además, no es raro encontrar que muchos medios de comunicación cuentan con secciones de ciencia y de pseudociencia, encontrando reportajes yuxtapuestos sobre evolución y diseño inteligente (Alters & Nelson, 2002).

En cuanto al lenguaje, Bishop y Anderson (1986, 1990) han mostrado que aquellos términos científicos que tienen acepciones en el lenguaje coloquial contribuyen a dar interpretaciones erróneas del proceso evolutivo. Palabras como *teoría*, *adaptación* o *adecuación* tienen significados diferentes para los evolucionistas y para el público lego. Si no se revisa el significado que tiene una palabra para el público no especialista y se

reemplaza con su significado científico, lo que ocurrirá es que construya el conocimiento novedoso de manera errónea (Alters & Nelson, 2002).

En resumen y a partir de los resultados de investigación educativa enfocada en la revisión de concepciones en el área de la evolución (Jiménez Aleixandre, 1991; Grau Sánchez, 1993; Mengascini & Menegaz, 2001 y Alters & Nelson, 2002), podemos mencionar que los errores conceptuales más comunes son los siguientes:

- No se tiene claro el nivel de cambio biológico (si es a nivel individual, poblacional, de especie, genotípico o fenotípico).
- No se comprende la idea del tiempo en escala evolutiva.
- El cambio sucede en una sola generación.
- El cambio se explica casi exclusivamente a través de los cambios experimentados por el individuo sin considerar a la población como unidad de análisis.
- No aparecen las ideas de probabilidad y azar.
- El cambio se produce como respuesta adaptativa a cambios en el ambiente, es decir, tiene direccionalidad e intencionalidad.
- El medio acciona sobre el individuo produciendo el cambio.
- Se produce una expresión directa del genotipo en el fenotipo.
- Todos los cambios en el genotipo son visibles.
- La descendencia es idéntica a los padres.
- Las mutaciones se relacionan únicamente con anormalidades y no con la generación de variabilidad genética.
- La evolución es progresiva y el ser humano se encuentra en la cúspide del proceso.
- La evolución es 'solo' una teoría.
- El ser humano evolucionó o del gorila o del chimpancé.

Así, de acuerdo con Grau & de Manuel (2002), se puede entender que los estudiantes tengan dificultades para:

- Distinguir los diferentes procesos responsables de la aparición de variabilidad en las poblaciones y en el mantenimiento y transmisión a los descendientes de dichas variaciones a lo largo del tiempo: naturaleza de las mutaciones y herencia de los caracteres adquiridos.
- Identificar la importancia de la selección natural en la línea de favorecer o perjudicar determinadas diferencias entre los individuos que componen las poblaciones: la selección natural depende de estas diferencias.
- Interpretar la naturaleza del cambio evolutivo en las poblaciones, creyendo que los individuos cambian lentamente a lo largo del tiempo: la adaptación es una respuesta a una *necesidad* que *obliga* a cambiar a los organismos.

Una vez revisadas las dificultades más comunes que se dan cuando se enseña y se aprende evolución, podemos comenzar a tratar de responder la cuestión de cuáles son las diferencias en la interpretación entre un especialista y un no especialista al observar un árbol evolutivo.

4.3 ¿Qué es el Árbol de la Vida?

Ya se ha mencionado antes, pero vale la pena repetirlo. Darwin revolucionó el pensamiento biológico al poner de manifiesto que las especies no son entes inmutables y fijos, sino que son el resultado de un proceso histórico de cambio continuo. El árbol evolutivo representa

la historia de las especies y sus relaciones filogenéticas (quién está más emparentado con quien) y aunque fue propuesto por primera vez por Darwin, éste no poseía las herramientas conceptuales y metodológicas necesarias para producir clasificaciones estrictamente filogenéticas. No obstante, al señalar que para encontrar el orden de la naturaleza se deben establecer las relaciones genealógicas entre las especies, dio paso a un florecimiento inesperado de las disciplinas biológicas, principalmente de la sistemática y de la biogeografía.

No fue sino hasta mediados del siglo XX que el entomólogo alemán Willi Hennig fundó la sistemática filogenética o cladismo y brindó las herramientas conceptuales y operativas para la clasificación filogenética de las especies y para la construcción de genealogías de especies y taxones naturales. Así que en sentido estricto, el árbol de la vida se refiere a que si todos los organismos de nuestro planeta se encuentran relacionados genéticamente, entonces sus relaciones genealógicas y filogenéticas pueden ser representadas por un gran árbol evolutivo, *el árbol de la vida*.

En la actualidad se han descrito aproximadamente 1,700,000 especies, y los biólogos estiman que en nuestro planeta podrían habitar entre 5 y 10 millones. Esta disparidad tan sorprendente significa que no estamos cerca de poder representar el árbol de la vida y no solo por las muchas especies que faltan por describir, sino también por la escasa información que se puede obtener del registro fósil acerca de las relaciones de ancestría-descendencia, así como por la dificultad del análisis de caracteres moleculares⁴. No obstante, encontramos referencia en muchos libros e incluso en museos al árbol de la vida y es porque podemos tener representaciones de la genealogía de los organismos conocidos. En estos árboles se pueden encontrar series de grupos monofiléticos (grupo de especies descendientes de una sola especie que incluye todos los descendientes de esta última), también denominados clados. Los clados son conjuntos de grupos estrictamente monofiléticos, que pueden ser cada vez más incluyentes —por ejemplo, los primates son un clado, así como los mamíferos y los tetrápodos—. Cualquier organismo que uno pueda pensar se debe poder encontrar en un clado u otro. De forma que se discutirá a continuación qué es un árbol filogenético, así como la terminología y las convenciones necesarias para comprenderlos.

4.4 Todas las filogenias son árboles, pero no todos los árboles son filogenias

Vale la pena comenzar este apartado con la explicación de qué es un árbol y cuántos tipos de árboles —como instrumentos semióticos— pueden existir en la tradición científica. Para describir el término árbol se debe recurrir a términos tanto de las matemáticas como a metáforas de la tradición evolutiva (Lecointre & Le Guyader, 2006).

En su definición matemática, un árbol es una gráfica acíclica conectada mediante líneas o ramas. Es acíclica porque las ramas se unen unas con otras una sola vez, de lo contrario se trataría de una red. Los puntos internos se denominan nodos y las puntas externas son las hojas (taxones terminales o unidades evolutivas). Además, existen árboles enraizados o sin raíz. En los primeros cada rama interna da lugar a dos ramas hijas por lo que existe una direccionalidad y un orden parcial de los nodos, lo cual permite hablar de ancestros y descendientes (Fig. 4.1). En los segundos se unen cuatro hojas o taxones mediante un segmento intermedio (Fig. 4.2), pero como de esta forma no se puede representar el momento o condición de origen, no se puede construir una filogenia mediante árboles sin raíz.

⁴ Aunque los fósiles son fundamentales, la clasificación filogenética depende de la distributividad de los caracteres, es decir, determinar qué caracteres son anteriores (plesiomorfos) y cuáles son derivados (apomorfos) para establecer la serie de transformación evolutiva.

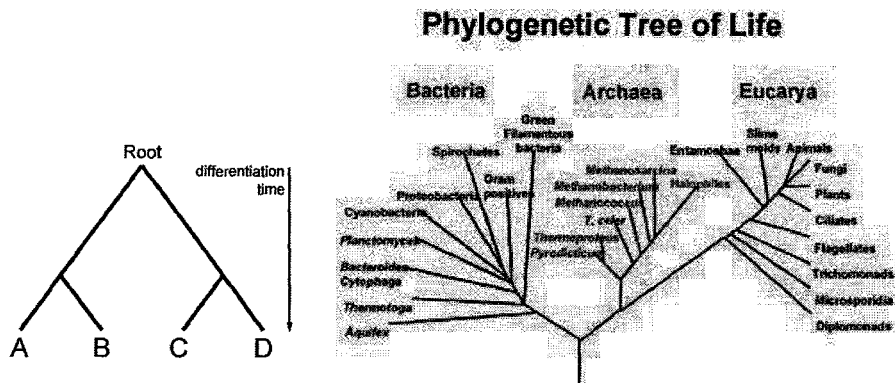


Figura 4.1. Dos ejemplos de árboles enraizados (tomado de www.nescent.org).

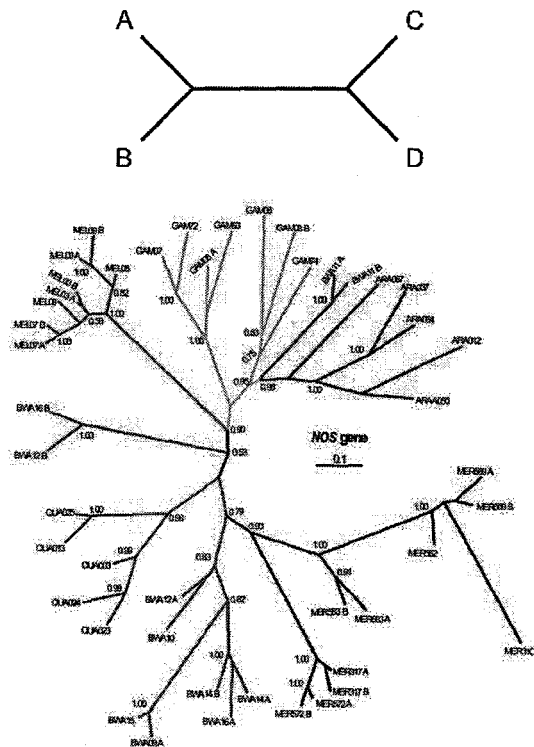


Figura 4.2. Dos ejemplos de árboles sin raíz, en los cuales es imposible definir el punto de origen y por lo tanto no se trata de filogenias (tomada de www.nescent.org).

Por otro lado, los árboles reciben su nombre de acuerdo con el método empleado para su construcción. Cualquier representación gráfica o diagrama ramificado en forma de árbol recibe el nombre de **dendrograma** (dendro=árbol). Los dendrogramas organizan los datos en forma de subcategorías que se van dividiendo una y otra vez hasta llegar al nivel de detalle deseado (tal como las ramas de un árbol que se van dividiendo en otras sucesivamente). Este tipo de representación permite apreciar claramente las relaciones de agrupación entre los datos e incluso entre grupos de ellos aunque no las relaciones de similitud o cercanía entre categorías. En términos biológicos, los dendrogramas pueden informar sobre cualquier tipo de relación biológica que pueda ser expresada de manera gráfica y, por lo tanto, pueden o no representar relaciones evolutivas (Fig. 4.3).

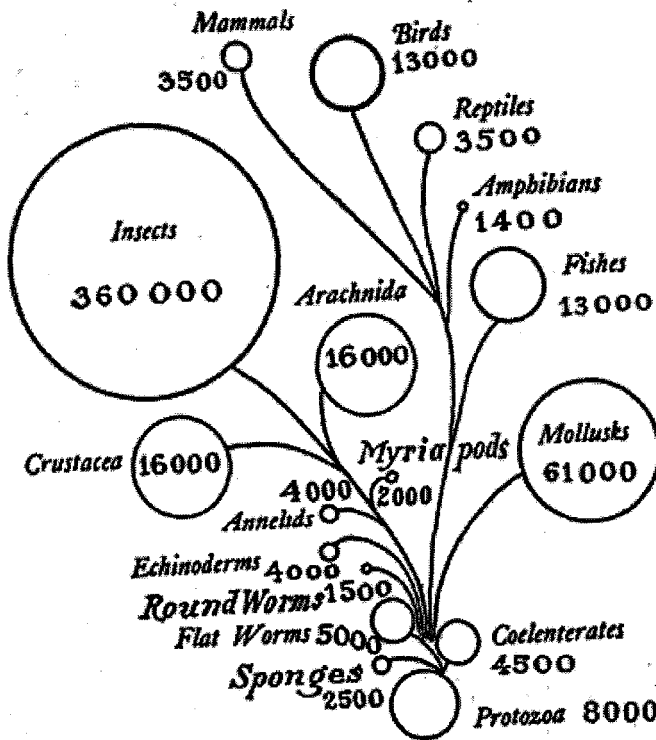


Figura 4.3. Este dendrograma de 1914 encontrado en el libro de texto *Civic Biology*, muestra relaciones taxonómicas al indicar el número relativo de especies descritas de las principales clases zoológicas (tomada de Areson 2001).

Los **fenogramas** son los diagramas empleados por la escuela fenética —o taxonomía numérica—, la cual es una de las principales en sistemática (Fig. 4.4). La escuela fenética busca inferir las clasificaciones en las semejanzas y diferencias entre los organismos, sin tomar en cuenta la historia evolutiva de los mismos, por lo cual, sus diagramas se construyen con base en las características 'observables' de los organismos que marcan su parecido. Mientras más extensa sea la lista de estas características, las clasificaciones serán más satisfactorias, puesto que los datos son analizados

estadísticamente. Esta escuela en la actualidad tiene pocos seguidores, debido a que presenta numerosos escollos. Tan solo por mencionar alguno, el hecho de que dos organismos posean rasgos en común no necesariamente implica que estén más relacionados, puesto que su similitud puede ser resultado de evolución convergente (Whitfield, 1993), además la escuela fenética mantiene principios sin relación con la biología (Llorente, comunicación personal).

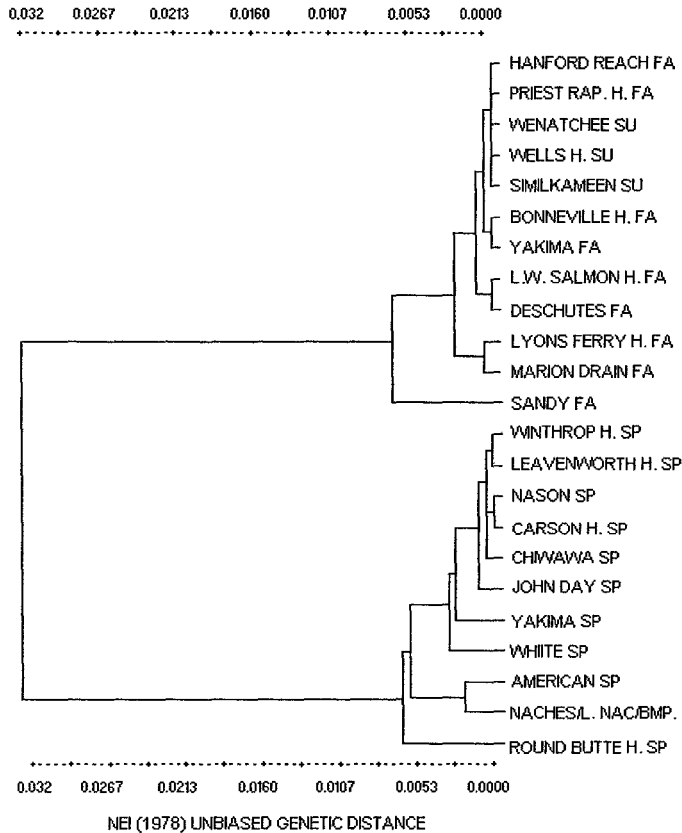


Figura 4.4. Ejemplo de un fenograma construido con el método de ligamiento promedio de la taxonomía numérica desarrollado por Sneath & Sokal en 1973. En él se muestran las relaciones genéticas entre poblaciones de salmón de la cuenca del Río Columbia (tomada del memorándum 22 de la NOAA, 1994)

Los **cladogramas** son los diagramas de la escuela cladista. El **cladismo** fue desarrollado por Willi Hennig desde finales de los años cuarenta y fue muy importante porque estableció las bases de la sistemática filogenética. Esta metodología toma en cuenta las relaciones evolutivas entre los organismos y propone que ciertas características resultan más fundamentales que otras, con lo cual permite sortear las dificultades de la inferencia filogenética. Estas características son los caracteres derivados. De ellos, los

esenciales para las clasificaciones cladistas son las **sinapomorfias**, que son las homologías compartidas derivadas⁵ (Tudge, 2000).

Las clasificaciones cladistas expresan relaciones en términos relativos; por ejemplo, el taxón A está relacionado más cercanamente con el taxón B que con el C. Se dice que A y B son grupos hermanos y que C es el grupo hermano del ancestro hipotético de A y B (Fig. 4.5).

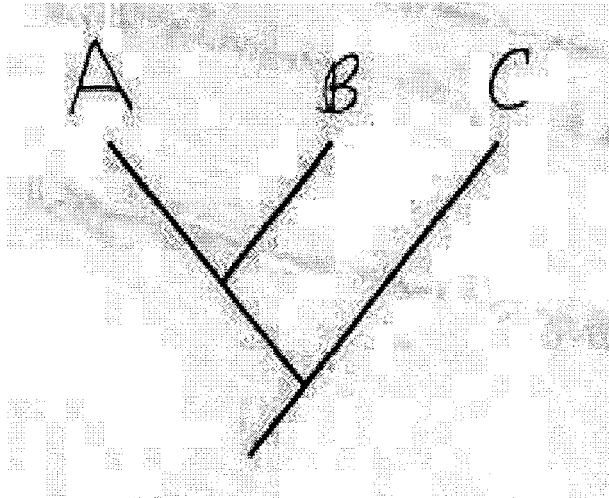


Figura 4.5. En este cladograma se observa que A y B son grupos hermanos porque están más relacionados entre sí puesto que comparten un ancestro común más próximo. C es el grupo hermano de A y B (modificada de www.evolution.berkeley.edu).

La meta del análisis cladístico es el descubrimiento de relaciones de grupo hermano mediante el reconocimiento de caracteres derivados compartidos y los que son únicos a ellos. Se asume que estos caracteres surgieron a partir del ancestro común inmediato (Forey & Janvier, 1995). Por ello, los **cladogramas**, son dendrogramas que expresan relaciones genealógicas, es decir, líneas de ancestría-descendencia con base en ancestros hipotéticos. Y aunque hay ocasiones en que ambos dendrogramas —fenogramas y cladogramas— son iguales, puesto que el análisis de las historias evolutivas y de las estructuras de los organismos puede brindar los mismos resultados (como en el caso de la clasificación de lobos, tigres y leones), el significado es muy diferente (Fig. 4.6). Por ello es que la mayoría de los sistématas y —con más razón— de los biólogos evolutivos prefiere el

⁵ De manera muy simplificada, las **homologías** son los caracteres que se heredan con o sin modificación a partir de un antepasado común, tales como las extremidades de todos los tetrápodos (aves, murciélagos, cocodrilos, etc.), los cuales pueden tener funciones diferentes. Las **analogías** son un tipo de homoplasias —como denominan los cladistas todo lo que no sea homología— con las estructuras que tienen una misma función y a veces estructura similar, pero que tienen un origen diferente (evolución convergente o paralela), tales como las alas de las aves y de los insectos. Ahora bien, para establecer verdaderas relaciones de parentesco entre los diferentes organismos es preciso hallar caracteres que estén lejos del estado ancestral (**apomorfias**), pero que sean compartidos recientemente. Estos se denominan **sinapomorfias**, las cuales son la base de las clasificaciones cladistas junto con caracteres derivados exclusivos (autapomorfias). Para saber más ver Nelson y Platnick, 1981; Llorente, 1994 y Tudge 2000.

cladismo, puesto que toma en cuenta el fundamento de la filogenia, es decir, las relaciones evolutivas fundamentales de los organismos (Whitfield, 1993): la genealogía.

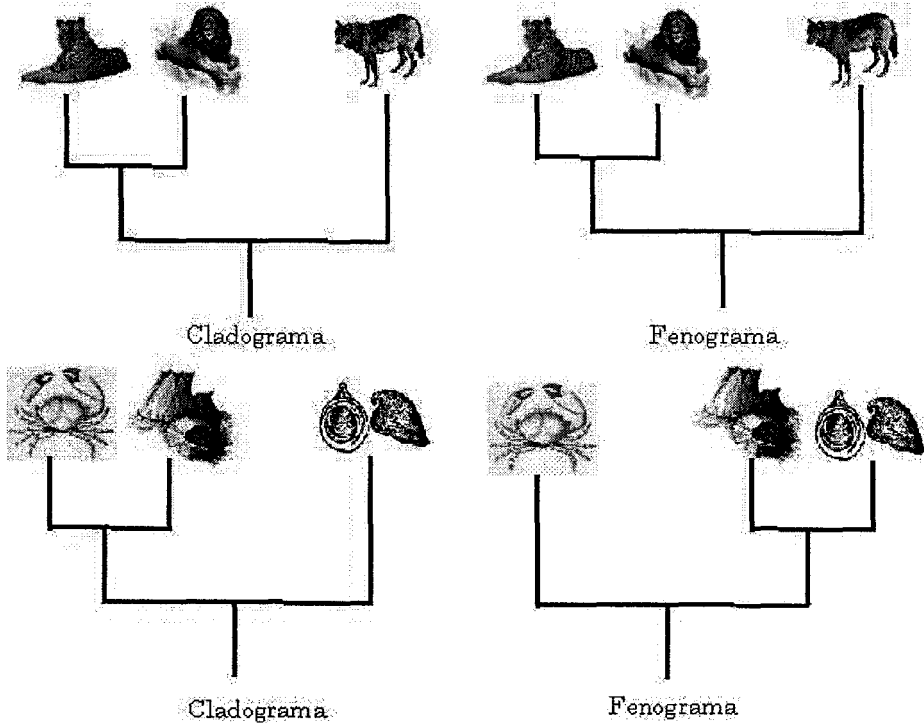


Figura 4.6. Las clasificaciones fenéticas se basan en las similitudes y diferencias de los organismos y las filogenéticas en sus relaciones genealógicas. Cuando se clasifican lobos, tigres y leones, ambas clasificaciones dan el mismo resultado, pero cuando se clasifican lapas, balanos y cangrejos se obtienen resultados diferentes (tomada de Whitfield, 1993).

Ahora bien, se puede hacer referencia a los árboles filogenéticos simplemente como árboles y no como cladogramas. ¿Cuál es la diferencia? Un cladograma es el árbol más básico en filogenia, el cual está compuesto de especies evolutivas y sucesos de especiación, por ello también se les denomina **árbol de especies** (Llorente, 1994) (Fig. 4.7).

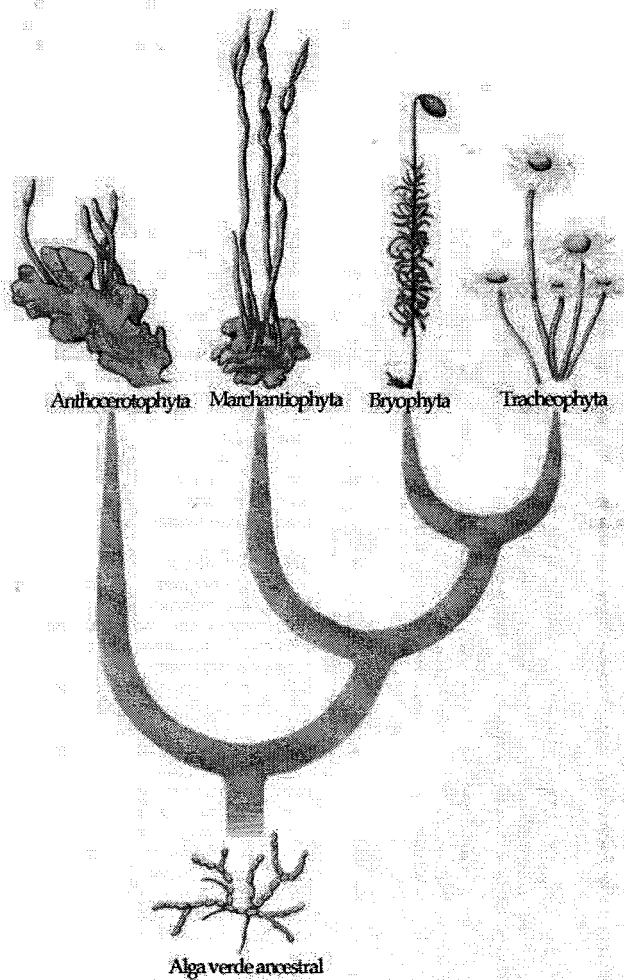


Figura 4.7. Los cladogramas son los árboles más básicos en filogenia. En esta figura se observan tres eventos de especiación a partir de un posible ancestro común (algas verdes) que dieron lugar a las briofitas y traqueofitas actuales (tomada de Gray & Shear, 1995:6).

Si a este diagrama genealógico se le introducen o adicionan otros componentes de la historia evolutiva, tales como la estimación de la diversidad, el enriquecimiento de especies (Fig. 4.8), el tiempo absoluto o relativo (Fig. 4.9), la direccionalidad del cambio evolutivo, la polaridad (dirección de cambio), las afinidades geográficas, información ecológica (Fig. 4.10) y otros aspectos (Fig. 4.11), se le denomina **filograma** (Llorente, *et al.*, 1994, p.127). Dichos componentes brindan una información más rica sobre los organismos de los que trata el árbol filogenético.

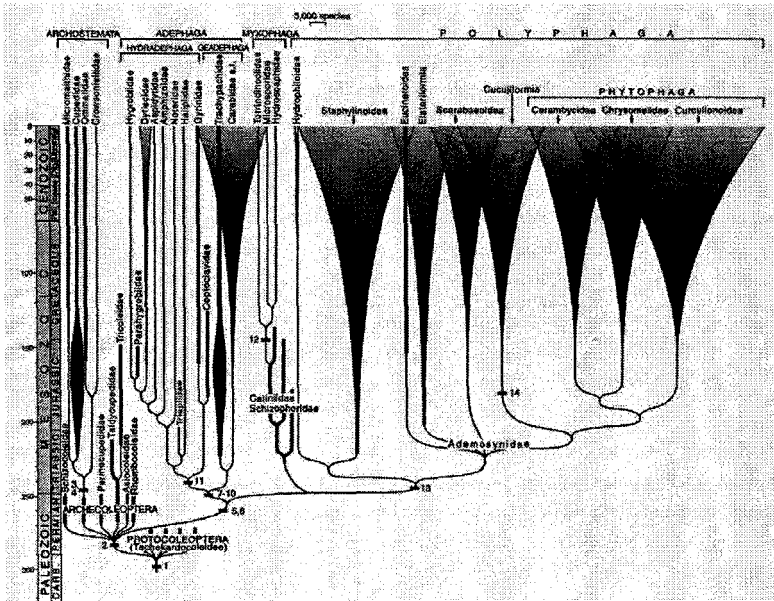


Figura 4.8. Filograma que muestra el enriquecimiento y diversificación de los linajes a través del tiempo (tomada de Lorente, comunicación personal).

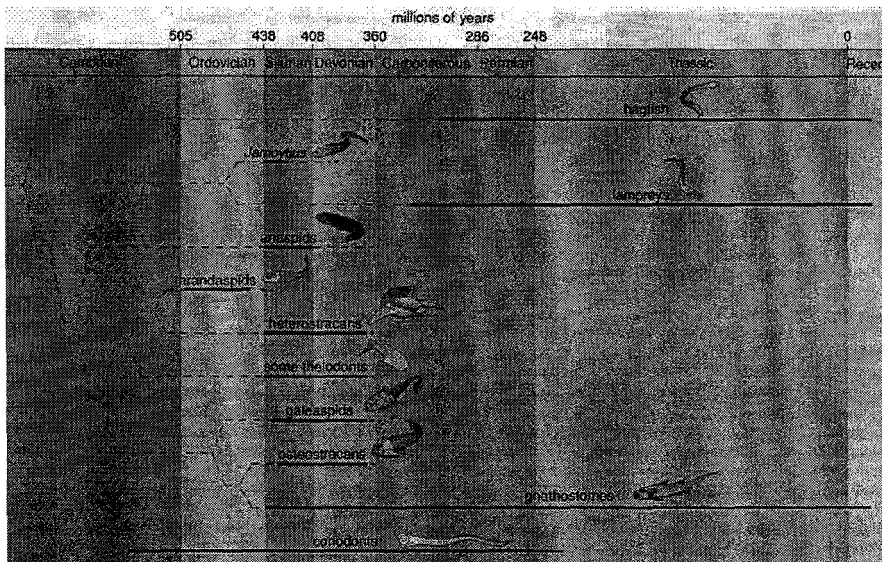


Figura 4.9. Árbol que muestra la aparición de los linajes en el tiempo geológico. En este caso se muestra la aparición de los primeros vertebrados hace más de 500 millones de años en el periodo Cámbrico (tomada de Forey & Janvier, 1995:38).

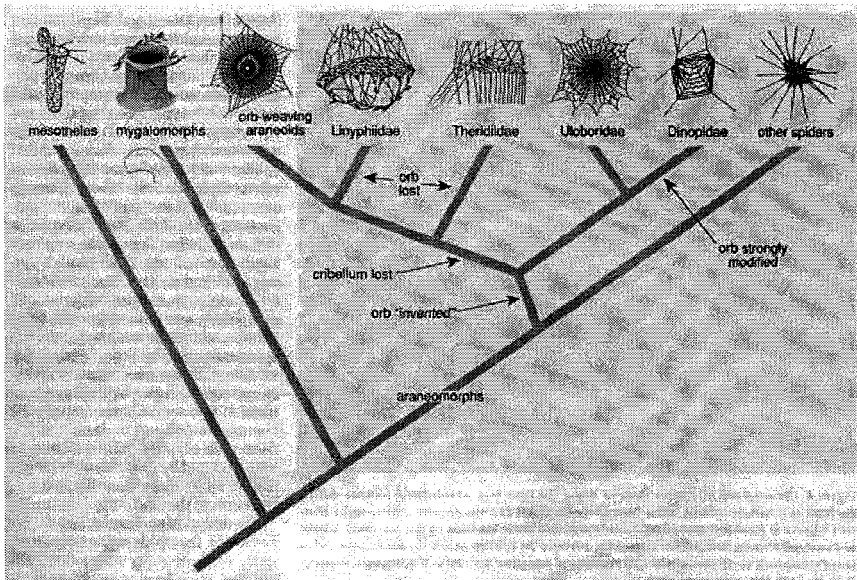


Figura 4.10. Los filogramas pueden contener componentes ecológicos, tales como adaptaciones o comportamientos. En este caso se muestra el origen de las telarañas y cómo algunas familias de arañas han desarrollado diseños semejantes o diferentes (tomada de Shear, 1995:271).

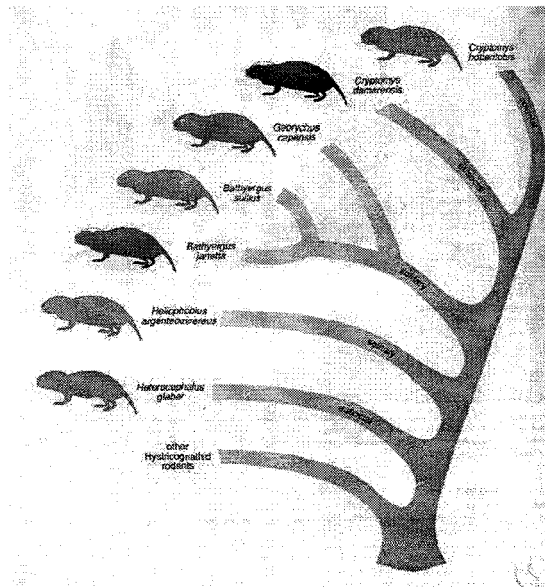


Figura 4.11. Filograma de la familia Bathyergidae (rata topo) que muestra las 'distancias' filogenéticas de las distintas especies según la evolución del comportamiento social (tomada de Honeycutt, 1995:282).

Sin embargo, aunque los filogramas pueden ser filogenias con diferentes componentes de la historia evolutiva de los organismos —cronología, diversificación, enriquecimiento de las especies, etcétera— (Llorente, comunicación personal), también existen dendrogramas con información ecológica que no deben ser confundidos con filogenias.

4.5 ¿Cuándo un árbol es una filogenia?

Las filogenias se pueden representar como árboles, pero un árbol no necesariamente es una filogenia. Esto se debe a que los diagramas ramificados se pueden usar en contextos diferentes al filogenético, siempre que sea necesario simbolizar una jerarquía. Un ejemplo biológico son los ‘árboles’ de identificación de especies que resumen jerárquicamente los criterios para dicha labor, pero que no representan relaciones evolutivas ni clasificaciones formales.

Para que un árbol sea estrictamente filogenético la idea de descenso con modificación debe estar implícita en el método empleado para su construcción. Según el método estrictamente hennigiano la propiedad de los organismos de haber evolucionado a través de la transmisión de modificaciones a su descendencia, es una parte integral a cualquier árbol que se sugiera como filogenia. No obstante, como este punto aún está sujeto a discusión por los expertos, en este trabajo emplearemos la descripción de Lecointre & Le Guyader (2006), que sostiene que un árbol es filogenético cuando permite que los investigadores detecten las similitudes heredadas a partir de un ancestro común *a posteriori* (homologías), así como las falsas homologías u homoplasias (analogías, reversiones y paralelismos).

Podemos decir entonces que en Biología, un árbol filogenético o filogenia es una hipótesis empleada para mostrar las relaciones genealógicas existentes entre los seres vivos (Fig. 4.12). Los árboles por tanto, comunican las relaciones evolutivas entre elementos, tales como poblaciones, especies individuales o clados, y son la representación más directa del principio de ancestría común, el cual es el núcleo mismo de la teoría evolutiva (Baum *et al.*, 2005).

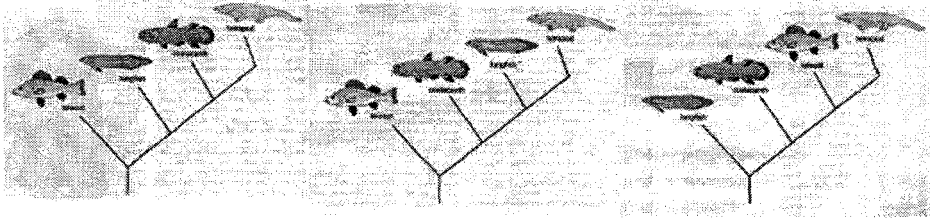


Figura 4.12. Tres árboles filogenéticos que muestran diferentes hipótesis sobre la relación entre los tetrápodos y los peces. En la figura de la izquierda se muestra la visión tradicional de que el celacanto es el grupo hermano de los tetrápodos. No obstante, la evidencia anatómica y molecular sugiere que o los peces pulmonados (centro) o los teleosteos (derecha) son los grupos hermanos de los tetrápodos (tomada de Gorr & Kleinschmidt, 1993:173).

De esta manera, el árbol de la vida muestra la ruta evolutiva más probable que los organismos siguieron hasta conformar la diversidad de vida actual (tomando en cuenta las extinciones), así como la genealogía. Al seguir con esta idea, tenemos un inmenso árbol que tiene una miríada de ramas, cada una con un número diferente de hojas o puntas. Cada una de éstas representa una especie individual o linaje de poblaciones coespecíficas

en la historia de la vida y el árbol representa millones de años en su altura o eje vertical (Flannery, 1998).

Se emplea esta metáfora en biología evolutiva porque actualmente no da cabida a percibir ramas especiales o direccionalidad en el curso de la evolución, es decir, todos los animales modernos que se encuentran en el final de cada rama, son resultado de gran cantidad de eventos azarosos, donde ninguno, incluyendo al ser humano, tiene garantizado el futuro. Cada rama es el resultado del análisis de la distributividad de los caracteres; éste solo permite retrodicciones (Llorente, comunicación personal).

Desde la década de 1960, el 'pensamiento arbóreo' se popularizó en el campo de la sistemática gracias al desarrollo de la sistemática filogenética (O'Hara, 1988; Maddison & Maddison, 1989; de Queiroz, 1992; Doyle & Donoghue, 1993; Wake, 1994). Podemos sostener sin temor a equivocarnos, que este tipo de pensamiento surgió como consecuencia de la revolucionaria idea de que toda la vida, desde los microorganismos hasta los grandes vertebrados, está relacionada genealógicamente y, por lo tanto, todas las especies somos partes interconectadas de un árbol evolutivo completo (Cracraft & Donoghue, 2004); pero más aún, por la aportación metodológica de Willi Henning a la clasificación basada en la filogenia: la filogenética. El cladismo, una filogenética derivada, brindó una solución a los problemas metodológicos que no habían encontrado solución durante casi cien años después de la muerte de Darwin (Llorente, 1990; Tudge, 2000).

El pensamiento arbóreo supuso un cambio radical, pues a diferencia de los pensamientos 'de grupo'—que consideraba que cada miembro de un grupo era una réplica independiente— y 'desarrollista' —que veía la historia evolutiva como una historia de desarrollo individual, de la mónada al hombre (O'Hara, 1997), este pensamiento sostiene que la evolución produce un patrón ramificado de relaciones evolutivas, el cual puede ser reconstruido mediante diferentes tipos de evidencia.

Ahora bien, los árboles evolutivos o filogenias, no solo son importantes como hipótesis de las relaciones entre organismos, sino que se han vuelto un elemento esencial de la biología moderna. Las filogenias juegan un papel importante en la clasificación de los organismos, pero también en el descubrimiento e identificación de nuevas formas de vida, en la interpretación del origen y subsecuente modificación de genes del desarrollo, en la identificación de enfermedades emergentes y en el descubrimiento de sustancias con actividad farmacológica, entre otras (Cracraft & Donoghue, 2004). Pero el árbol de la vida va incluso más allá, pues en la actualidad provee de un riguroso marco de trabajo para guiar cada una de las subdisciplinas de la Biología y por lo tanto es un modelo ideal para la organización del conocimiento biológico (Maddison y Schulz, 2004). Ya Hennig había señalado que la clasificación filogenética es la clasificación de referencia en la biología (Hennig, 1968).

Sin embargo, a pesar de la importancia del 'pensamiento arbóreo', éste aún no es ampliamente practicado, excepto por los biólogos evolutivos. Por ello es que uno de los objetivos principales de la comunidad de sistématas y de educadores debería ser la preparación de material educativo para que los estudiantes lo adquieran. O'Hara (1997) sostiene que "así como los nuevos estudiantes de geografía necesitan ser enseñados a leer mapas, los estudiantes de biología necesitan ser enseñados a leer árboles y a entender lo que éstos comunican".

4.6 ¿Qué se necesita saber para comprender un árbol evolutivo?

A continuación se revisará las convenciones empleadas entre los biólogos para comprender los cladogramas, para lo cual examinaremos algunos términos cladistas, así como uno que otro componente de los filogramas.

Entender una filogenia es similar a comprender un árbol familiar, puesto que en su aspecto general, los árboles evolutivos presentan los mismos elementos principales de los árboles genealógicos, a saber, nodos y líneas de descendencia. La raíz del árbol (que normalmente se coloca abajo, pero también puede estar arriba o a cualquiera de los lados) representa el linaje ancestral y las puntas de las ramas representan los descendientes de ese ancestro. Avanzar de la raíz a las puntas significa avanzar en el tiempo, la raíz es el pasado más remoto del linaje, mientras que las puntas son el presente (Fig. 4.12). Es importante hacer notar que el tiempo en los cladogramas se incluye solo en su estructura interanidada y solo en sentido relativo, puesto que la longitud de las ramas no tiene un significado especial. Por ejemplo, en un cladograma se podría apreciar que los tiburones se originaron antes que las ballenas, pero no se podría saber exactamente cuándo. La mayoría de los cladogramas no presentan escala alguna en el eje temporal, pues son varias razones:

1. El propósito de un cladograma es establecer relaciones genealógicas de acuerdo con la distributividad de los caracteres y con base en sinapomorfias y autapomorfias entre los grupos próximos (heterodotmia), el cual es el armazón o estructura fundamental para otros componentes de la filogenia a analizarse (Llorente, comunicación personal).
2. Muchos cladogramas se construyen a partir de ciertas características que no pueden ser datadas.
3. Cuando se construyen cladogramas a partir de secuencias moleculares de ADN o ARN se requiere de importantes aproximaciones de las tasas de cambio para poder establecer las edades relativas en años.
4. Incluso cuando existe información que permite estimar la fecha de la aparición de determinada característica o especie, colocar los diferentes clados sobre el eje temporal puede complicar demasiado los cladogramas y volverlos difíciles de comprender e incluso de representar.

Aunque la mayoría de los cladogramas no presentan escala alguna en el eje temporal, podemos encontrar algunos (pensados sobre todo para el público lego), cuya emisión de las ramas representa el momento de origen de una especie o característica.

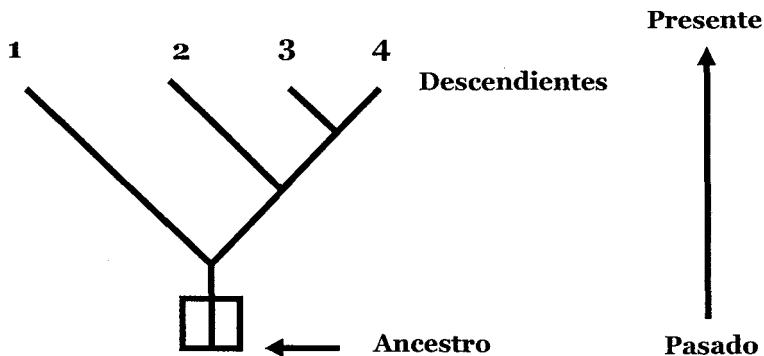


Figura 4.13. La raíz del árbol representa el linaje ancestral y las puntas los linajes descendientes. Si los descendientes son grupos supraespecíficos, implícitamente se estaría refiriendo a las especies ancestrales hipotéticas (ilustración de la autora).

En la terminología cladista, el punto de bifurcación de las ramas se llama **nodo**, es decir, el punto de partida de una rama a partir de otra. Se asume que los nodos, corresponden a entidades biológicas reales que existieron en el pasado (especies). Cada línea anterior al nodo por tanto, corresponde a un **ancestro común hipotético** (Fig.4.14). Los nodos corresponden a eventos de especiación.

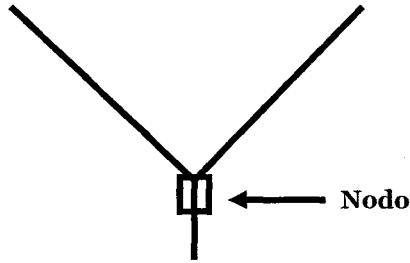


Figura 4.14. El punto de bifurcación de las ramas se denomina nodo (ilustración de la autora).

Cuando un linaje se divide por un evento de especiación (un único linaje ancestral da lugar a dos o más linajes descendientes) se representa como una dicotomía (Fig. 4.15).

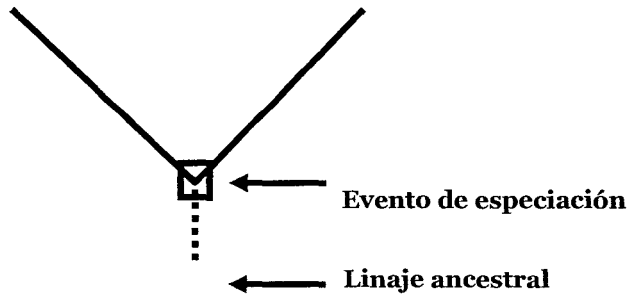


Figura 4.15. Cuando hay un evento de especiación, se representa como una dicotomía del linaje ancestral (ilustración de la autora).

Además, cada linaje de una filogenia tiene una parte de su historia que le es única y otras que son compartidas con otros linajes (Fig. 4.16). Y cada linaje tiene ancestros que le son únicos y otros que son compartidos con otros linajes, los cuales se denominan **ancestros comunes**.

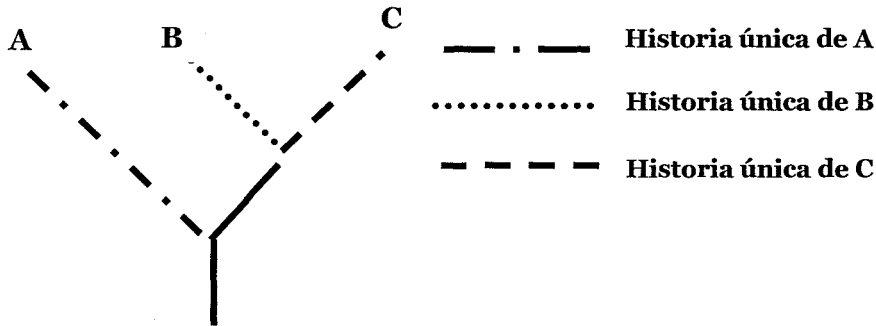


Figura 4.16. Cada linaje de una cladogenia tiene una parte de su historia que le es única. Las cladogenias permiten rastrear ancestros hipotéticos (ilustración de la autora).

Un clado o grupo monofilético estricto es una agrupación que incluye un ancestro común y todos sus descendientes, vivos o extintos. Gráficamente un clado incluye los organismos representados por la especie ancestral, el nodo y todas las ramas que se derivan de ese nodo. Así, puede haber clados más inclusivos que otros, puesto que unos se anidan dentro de otros —todas las categorías taxonómicas, como especie, género, familia, orden, clase, etc., son clados— (Fig. 4.17).

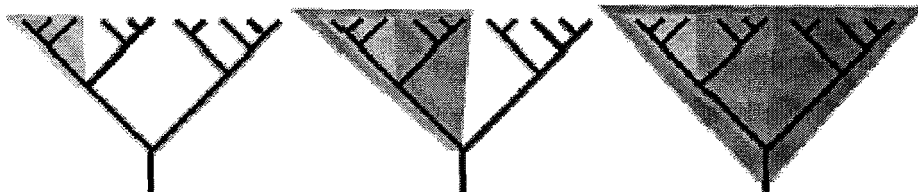


Figura 4.17. Un clado es un clado mientras contenga todos los organismos del grupo desde el antepasado común, e incluyendo a éste (tomada de www.evolution.berkeley.edu)

Un cladograma es un árbol de especies, es decir, el árbol más básico en filogenia, pero en una filogenia se pueden representar diferentes taxones. Es decir que las filogenias pueden ser tan inclusivas como sea necesario representar. Por ejemplo, podemos plasmar la sugerencia de Darwin de que todos los seres vivos compartimos el mismo árbol puesto que procedemos de un ancestro común, en el árbol de los seres vivos y extintos ‘completo’ (Fig. 4.18), podemos hacer filogenias de *reinos*, como el de los animales (Fig. 4.19), de *Phyla*, como la filogenia de los moluscos (Fig. 4.20), de *clases* como la de los condictrios (Fig. 4.21), de *ordenes* como el de los primates (Fig. 4.22) o de *familias*, como el de las plantas compuestas (Fig. 4.23).

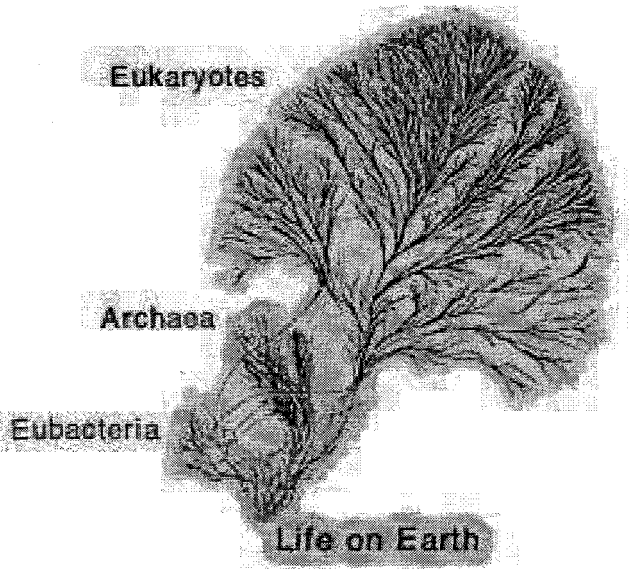


Figura 4.18. Árbol filogenético de los tres dominios (tomada de www.evolution.berkeley.edu)

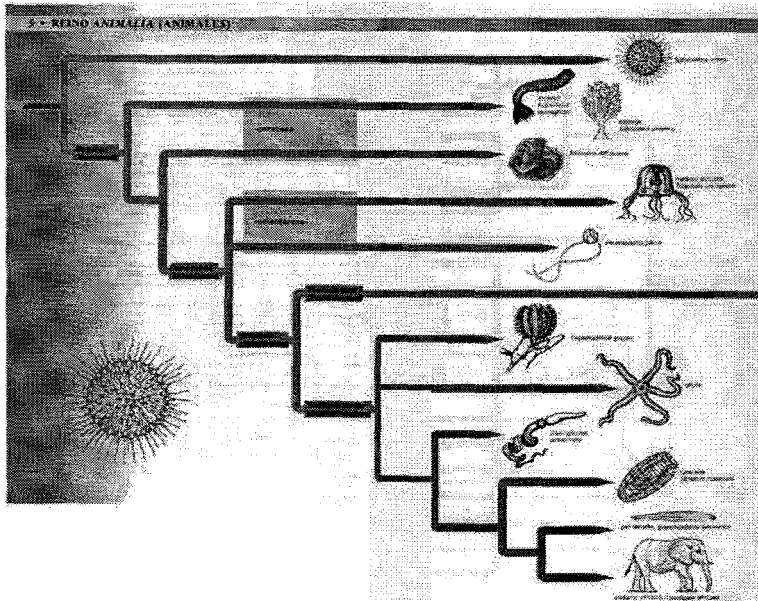


Figura 4.19. Árbol filogenético del reino de los animales (tomada de Tudge, 2000:196-197).

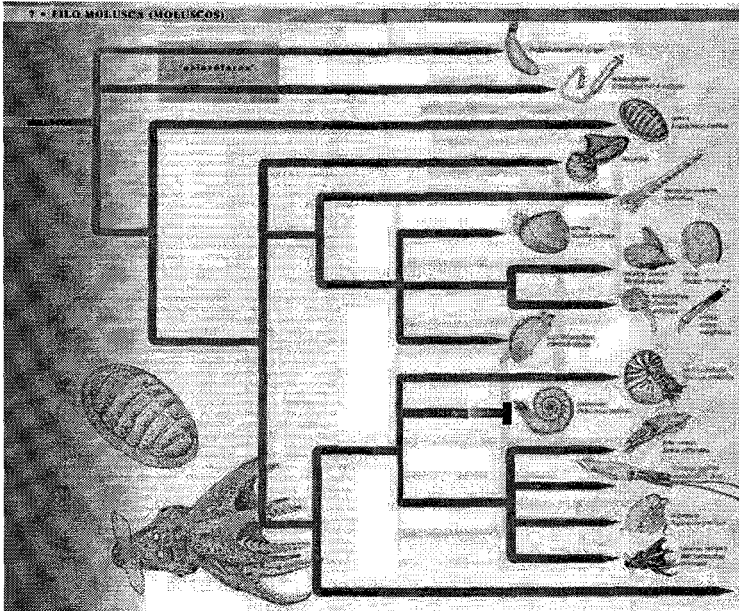


Figura 4.20. Árbol filogenético del filo de los moluscos (tomada de Tudge, 2000:240-241).

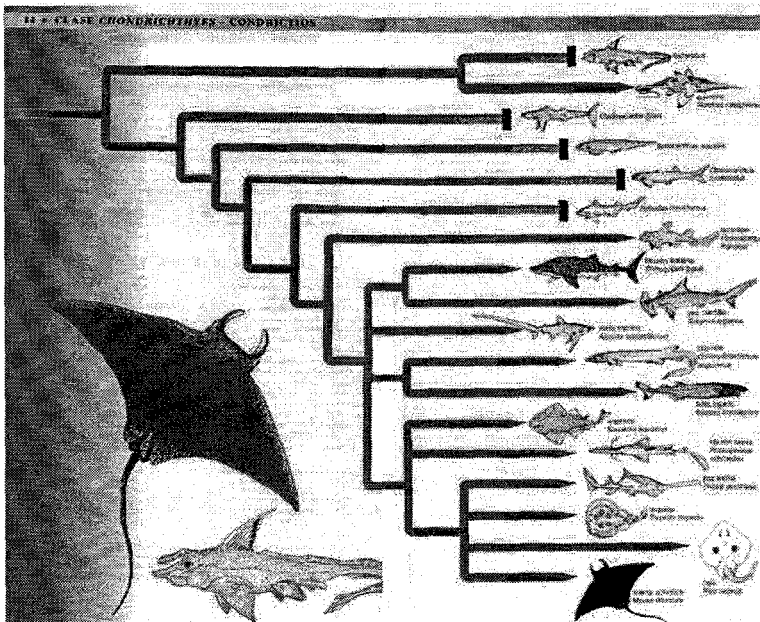


Figura 4.21. Árbol filogenético de la clase de los condriictios (tomada de Tudge, 2000:368-369).

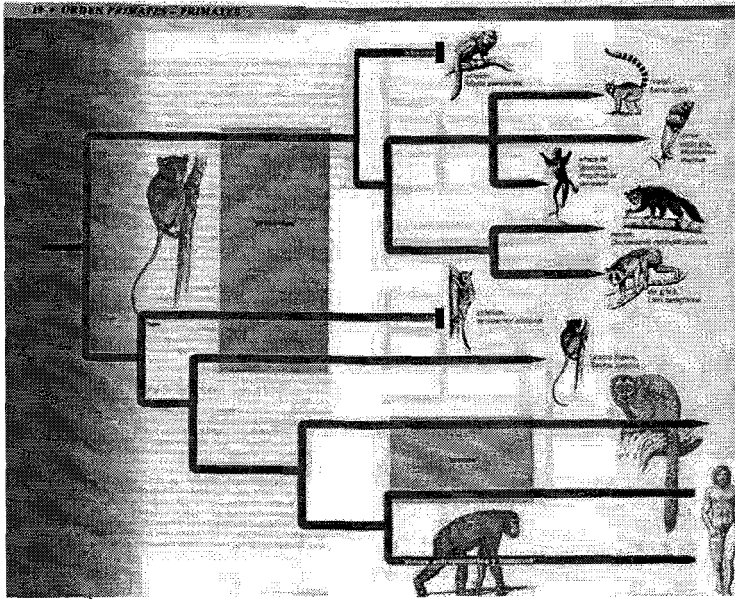


Figura 4.22. Árbol filogenético del orden de los primates (tomada de Tudge, 2000:474-475).

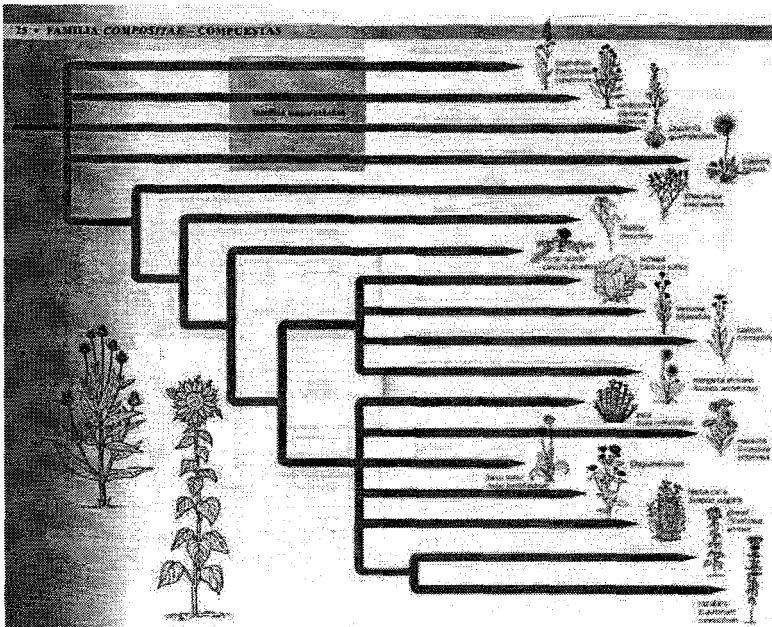
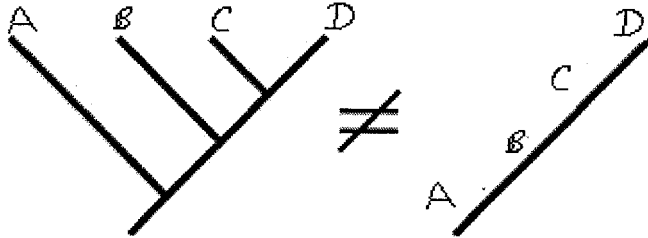


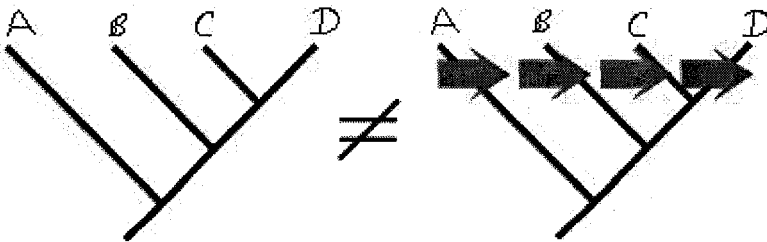
Figura 4.23. Árbol filogenético de la familia de las compuestas (tomada de Tudge, 2000:610-611).

En resumen, lo que se debe tener en cuenta al interpretar una filogenia es lo siguiente:

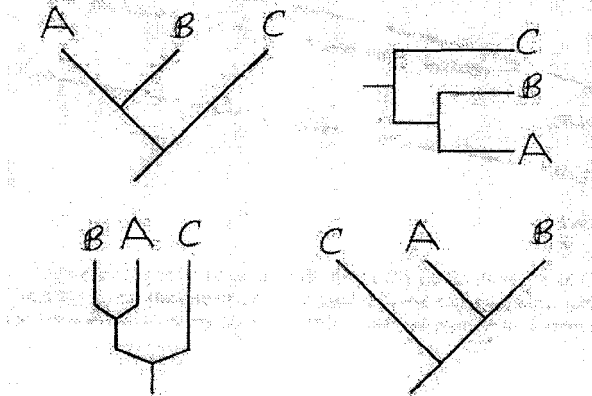
1. La evolución produce un patrón de relaciones entre los seres vivos en forma de árbol, no de escalera.



2. No porque en nuestra cultura tendamos a 'leer' las filogenias de izquierda a derecha debemos asumir que hay una correlación con el nivel de 'mejoría' de los organismos.



3. Para cualquier evento de especiación en una filogenia, la elección de cuál linaje va a la izquierda y cuál a la derecha es arbitraria. Normalmente se pone a la derecha el linaje de mayor interés que a menudo es el más divergente, pero pueden haber varias opciones de diagramas que transmiten exactamente la misma información.



Existen diagramas circulares como el de los *Tres Dominios*, de Carl Woese (1990) (Fig. 4.24), el de David Hillis (1990) o Cecarrelli *et al* (2001) (ver capítulo X), que al no tener

arriba-abajo e izquierda-derecha evitan una lectura lineal y progresiva, aunque se tenga que sacrificar el componente temporal. O como los de Tudge cuyas raíces se encuentran de lado izquierdo (ver Figs.4.25 y 4.26).



Figura 4.24. Árbol simplificado de los tres dominios de Carl Woese, 1990 (tomada de www.evolution.berkeley.edu).

4. Lo que denota la lectura de abajo hacia arriba en los árboles con forma de cono invertido (Fig. 4.25), de derecha a izquierda o de izquierda a derecha en los árboles laterales es un orden temporal relativo —que además puede incluir tiempo geológico— en cuanto a la aparición y sucesión de especies, no ‘grados de evolución’. En algunas filogenias el tiempo se representa dibujando la longitud de las ramas proporcionalmente al tiempo que ha pasado desde que se originó determinado linaje

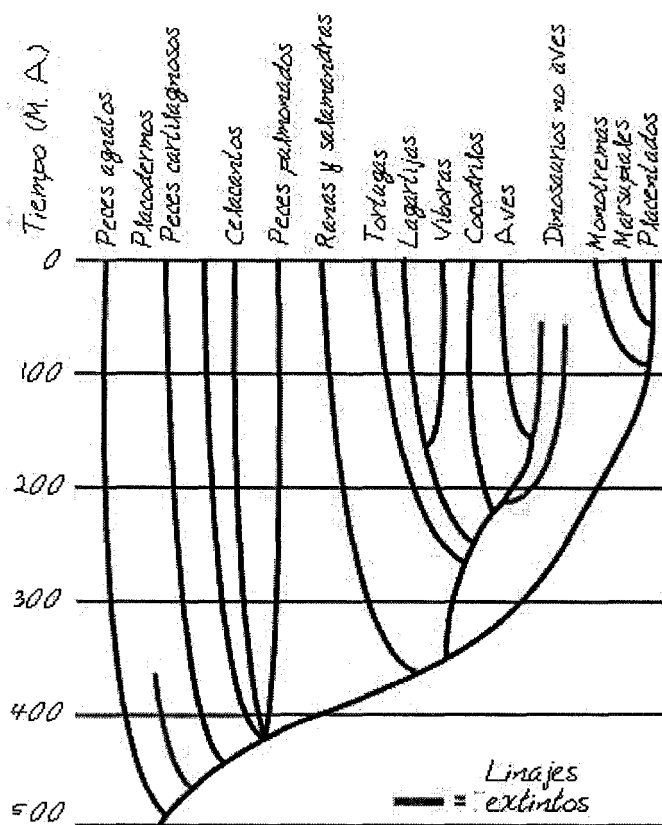


Figura 4.25. Filogenia que presenta tanto el tiempo como las extinciones (tomada de www.evolution.berkeley.edu).

5. En algunas filogenias se muestran las extinciones mediante ramas que han dejado de crecer, en las cuales la longitud se ha ajustado para mostrar hace cuánto tiempo pereció el linaje (Fig. 4.25). También se emplea un signo de daga o cruz (†) junto al nombre del grupo o taxón para indicar que ese grupo está extinguido o también con círculos abiertos⁶ (Fig. 4.26).
6. En algunas filogenias se busca representar el enriquecimiento de taxones o especies mediante ensanchamientos o adelgazamientos de las ramas. Mientras más ancha sea una rama, significa que el linaje se ha enriquecido o diversificado secundariamente y por el contrario, mientras más estrecha se vuelva una rama, significa que el grupo ha perdido riqueza o diversidad (Fig. 4.26).

⁶ En sistemática, metodológicamente se asume la existencia de extinciones aunque no se pueden establecer con absoluta certeza.

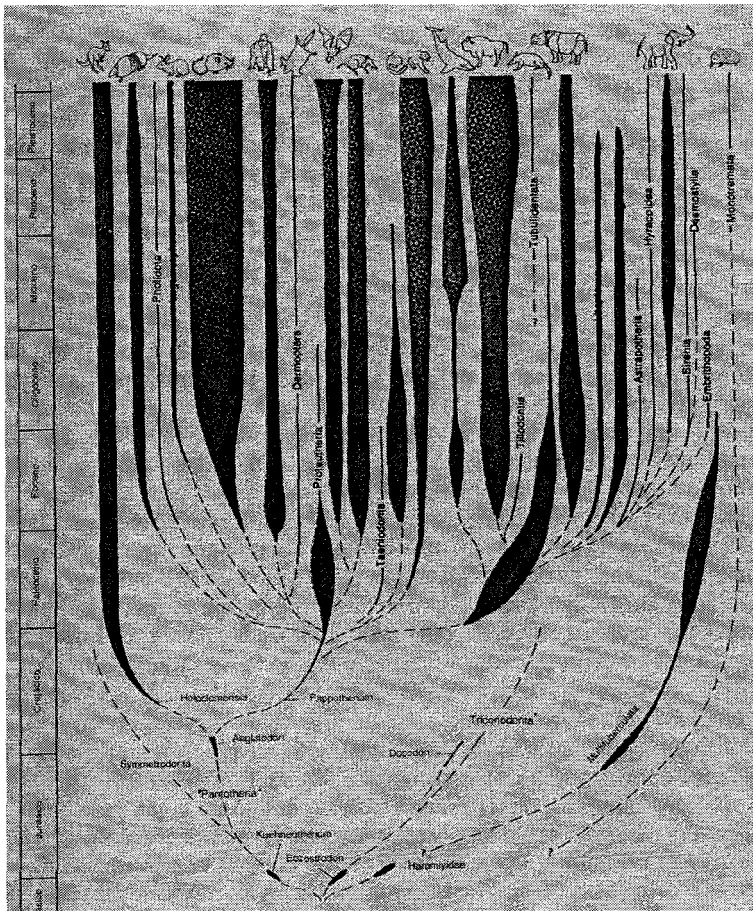


Figura 4.26. Árbol filogenético que muestra enriquecimiento de linajes a lo largo del tiempo geológico (tomada de Gould, 1989).

4.7 Taxones y su relación con las filogenias

Para concluir con la nomenclatura básica de una filogenia es necesario introducir el término **taxón**, pues es muy importante para la construcción de árboles filogenéticos. Los taxones son grupos de organismos que se reconocen como unidades formales. Por ejemplo *Homo sapiens* es un taxón al nivel de especie, *Homo* es el nombre a nivel de género; Hominidae es a nivel de familia, Primates a nivel de orden y así sucesivamente. En clasificación filogenética, se expresan series de taxones anidados (Fig. 4.27); las clasificaciones son conversiones o expresiones gráficas de la cladogenia.

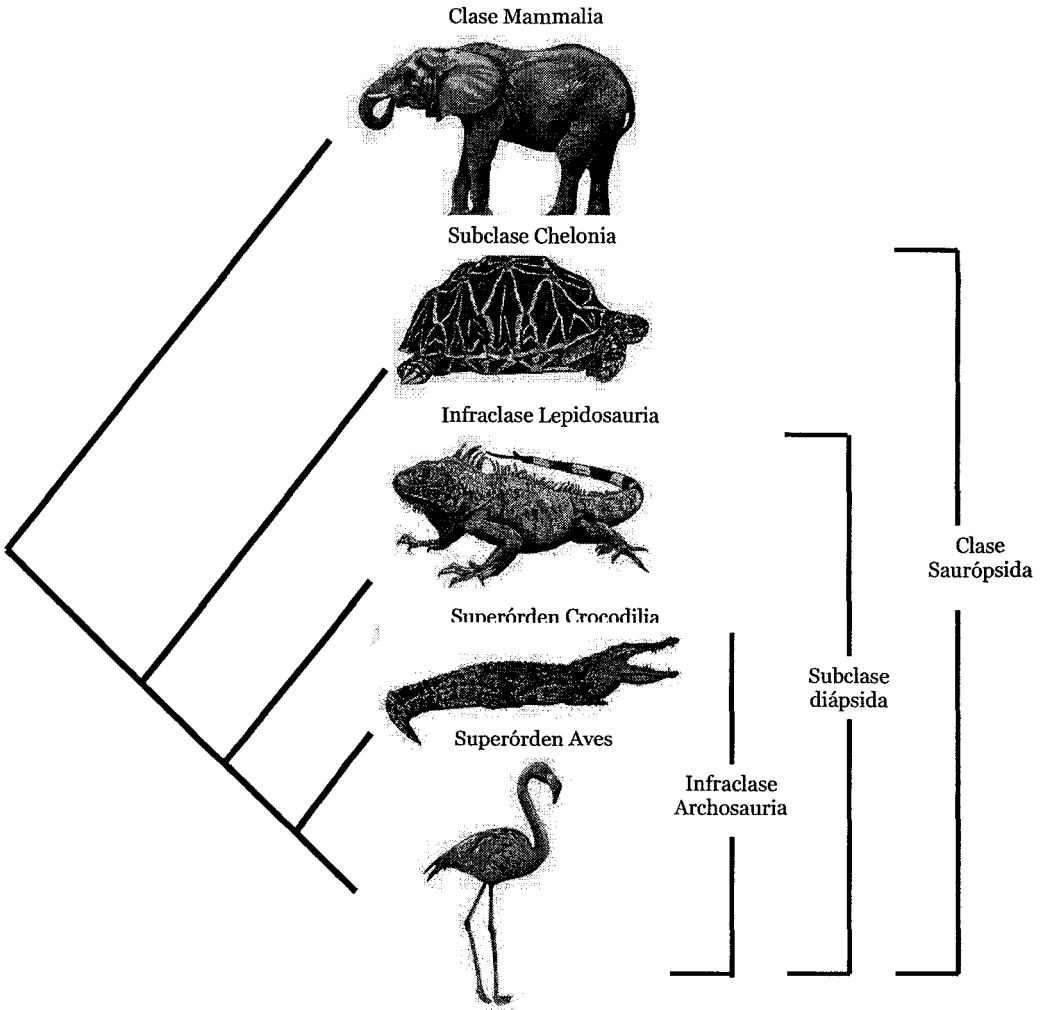


Figura 4.27. Clasificación anidada de los cladogramas (imagen de la autora).

Como se puede apreciar en la figura anterior, un taxón corresponde a cada rama del árbol filogenético porque los taxones se definen por heterobatmia, una sinapomorfía y al menos una autapomorfía. Además, los taxones son monofiléticos: incluyen al ancestro común hipotético —en el cual la sinapomorfía apareció por primera vez como autapomorfía— y todos sus descendientes conocidos que heredaron la autapomorfía como sinapomorfía. Algo muy importante es que dos taxones o grupos hermanos tienen la misma jerarquía, por ejemplo, los mamíferos son un taxón que tiene el mismo nivel que los saurópsidos (ambos son clases). No obstante se pueden encontrar a diferentes niveles de otros taxones. En el caso de los mamíferos, éstos se encuentran a un nivel inferior de los tetrápodos y a uno superior de los primates. Si lo anterior se tiene presente, entonces se

puede inferir el nivel taxonómico de un organismo por la posición de emisión de las ramas del árbol aunque los niveles taxonómicos no se encuentren especificados.

Lo anterior indica que cada ser vivo tiene una única 'dirección cladística' (para el hombre sería: eucariota, animal, deuterostomado, vertebrado, gnatostomado, tetrápodo, amniota, mamífero, eutherio, primate) y un orden relativo de aparición en el tiempo. Es importante tener presente que esta 'dirección' no representa el descenso de un grupo a partir de otro, sino la jerarquía o 'anidación' de un grupo entre otro.

4.8 De semiótica y convenciones: el árbol de la vida y su problemática

Ya sabemos la información más relevante que buscan transmitir los árboles evolutivos respecto a la historia evolutiva o filogenia, veamos ahora por qué son malinterpretados tan fácilmente.

En el capítulo II se mencionó que los libros de texto dedicados a la enseñanza de las ciencias presentan gran número de imágenes en sus diversas acepciones: fotografías, diagramas, ilustraciones, etc. Vimos que Ruse (1996) realizó un estudio sobre uno de los libros más importantes en biología, *Biología celular y molecular* de Lodish *et al.* (1990), determinó que hay 1050 ilustraciones en sus 1105 páginas. Algo similar ocurre en los libros de texto para primaria y secundaria editados en España, en los cuales las imágenes ocupan cerca del 50% de las páginas (Pérez de Eulate *et al.*, 1997; Jiménez & Perales 2001).

No obstante, esta abundancia de imágenes no siempre facilita la comprensión de conceptos como tradicionalmente se ha pensado. Algunos estudios muestran incluso que, en algunas ocasiones, las imágenes producen el efecto contrario del que se les atribuye (Martínez & Quilez, 2003). Existen trabajos que revelan que cuando la complejidad del tema aumenta, los estudiantes observan las imágenes más veces, por más tiempo, y aún así su aprendizaje es menor (Reid, 1990b; Reid & Beveridge 1990; Jiménez *et al.*, 1997; Pérez de Eulate & Llorente Cámara, 1998, Bandiera & di Macco, 2000). Otras investigaciones han mostrado la importancia de ciertos aspectos como las aptitudes espaciales para lograr una interpretación adecuada de las imágenes de los libros de texto (Macnab & Johnstone, 1990); la dificultad en el empleo de imágenes bidimensionales para ilustrar modelos espacialmente complejos (Pérez de Eulate *et al.*, 1997) o la dificultad en la comprensión de imágenes seccionales (Constable *et al.*, 1988; Macnab & Johnstone, 1990 y Bandiera & Macco, 2000).

Es por lo anterior que resulta necesario desarrollar una habilidad para 'leer' imágenes. Actualmente se le denomina 'alfabetización visual' a las imágenes que ilustran los libros de texto y a las habilidades que se requieren para comprender los mensajes visuales que éstos buscan transmitir (Goldsmith, 1984; Kress & van Leeuwen, 1990, y Heinrich *et al.*, 2002).

Particularmente, en la ilustración científica se emplean gran cantidad de convenciones gráficas (de hecho, el árbol de la vida es una convención de la ilustración científica para visualizar relaciones naturales). Tanto Hanson (1958) como Rudwick (1976) han mostrado que los científicos forman una comunidad que habla un lenguaje propio y, por lo tanto, las imágenes que emplean —al ser elementos fundamentales de un lenguaje visual— tienen un vocabulario especializado con su propia gramática y convenciones tácitas. Esto provoca que los diagramas científicos bien puedan quedar malentendidos por el no especialista. Es por ello que para que el observador interprete las imágenes científicas adecuadamente (aún las diseñadas para el público en general), debe conocer estas convenciones y ser capaz de decodificarlas. Al mismo tiempo, las imágenes deben tener referencias en textos asociados, los cuales idealmente deben contar con un lenguaje adecuado para comunicar la información que la imagen busca transmitir (Kearsey & Turner, 1999; Escovedo *et al.*, 2000).

La siguiente figura nos permite ilustrar este punto (Fig. 4.28). Al ver la imagen ¿Entiende lo mismo un físico que un no especialista? Un físico ve rápidamente un tubo de rayos catódicos, mientras que los demás vemos diferentes cosas según nuestra imaginación. Para ver lo que ve un físico, debemos aprender física (Hanson, 1958).

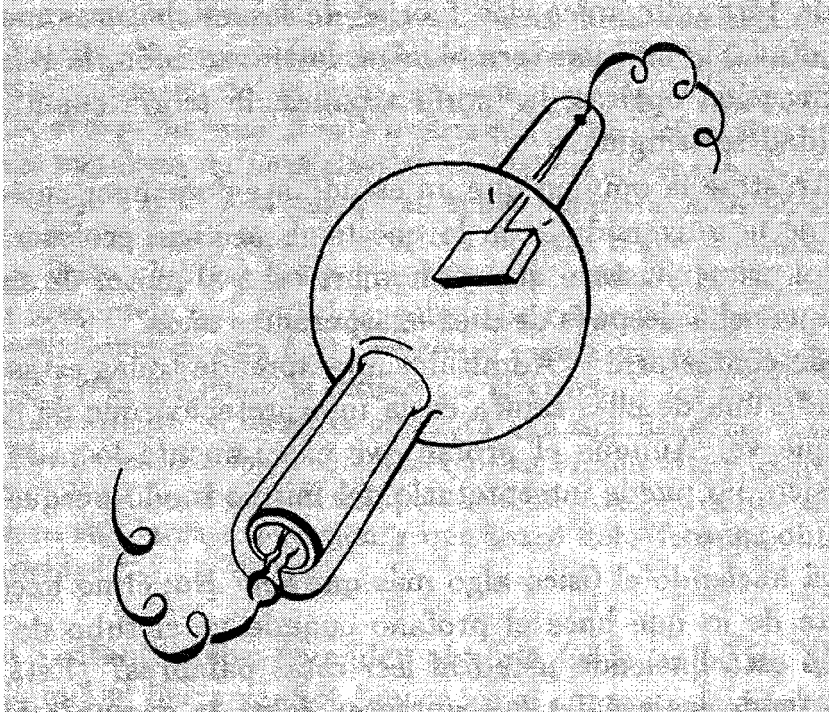


Figura 4.28. Imagen de un tubo de rayos catódicos visto desde el cátodo (tomada de Hanson, 1958).

“Lo mismo ocurre con cualquier palabra en un lenguaje que no nos resulte familiar. A nosotros no nos dice nada la palabra árabe para decir gato, puesto que tendríamos que saber árabe para poder ver lo que ve un árabe” (Hanson, 1958).

Siguiendo con esta misma idea, aunque los árboles filogenéticos comunican relaciones evolutivas entre organismos, si no estamos familiarizados con las convenciones empleadas en ellos podemos entender diferentes cosas. De acuerdo con Baum *et al.* (2005) la mayoría de la gente tiende a interpretarlos como ilustraciones de similitudes entre los organismos que se encuentran en las puntas de las ramas. Por ejemplo, según estos autores, cuando se presenta el siguiente árbol filogenético (Fig. 4.29) el público concluye erróneamente que las ranas están relacionadas más cercanamente con los peces que con los humanos, pero éste no es el caso, pues los seres humanos y las ranas compartimos un ancestro común que existió más recientemente que aquel que compartimos con los peces, lo cual indica que nuestra relación evolutiva con las ranas es más cercana que con los peces.

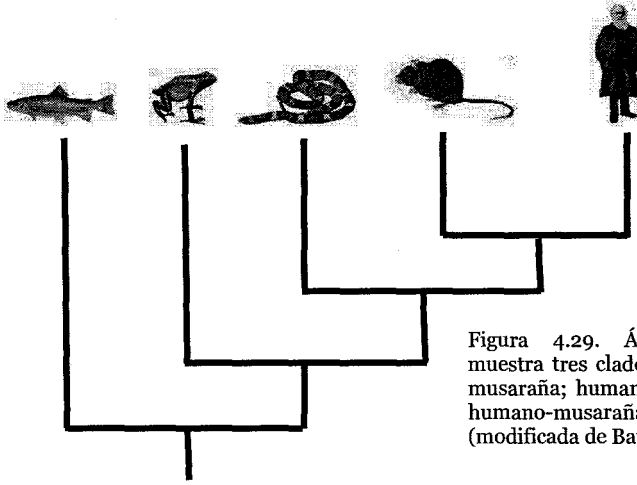


Figura 4.29. Árbol filogenético que muestra tres cladogramas principales: humano-musaraña; humano-musaraña-serpiente y humano-musaraña-serpiente-rana (modificada de Baum *et al.*, 2005).

Lo anterior quiere decir que el público no especialista tiende a leer los árboles tomando en cuenta únicamente las puntas y no los cladogramas (O'Hara, 1998; Baum *et al.*, 2005; Nee, 2005). Esto refuerza la visión errónea de que la evolución es progresiva y que existen organismos más 'evolucionados' que otros.

Una forma de evitar este tipo de lectura es rotando el orden de las ramas para que el árbol no tenga una apariencia de escalera y para que el ser humano no se encuentre en ninguno de los extremos. En la siguiente figura (Fig. 4.30) la composición de los cladogramas es idéntica que en el árbol anterior, pero la estructura permite enfatizar que no hay una secuencia lineal de progreso en la evolución (Baum *et al.*, 2005).

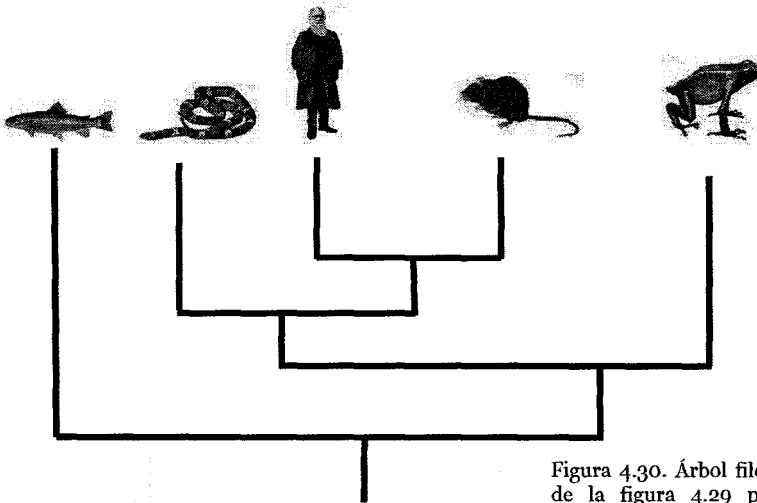


Figura 4.30. Árbol filogenético idéntico al de la figura 4.29 pero con las ramas rotadas para evitar transmitir un sentido de dirección (modificada de Baum *et al.*, 2005).

Otros problemas relacionados con la lectura de los árboles son los siguientes:

1. A veces se interpreta que la evolución ocurre solamente en los nodos, cuando éstos representan eventos de especiación.
2. Las especies vivientes se proyectan erróneamente hacia los nodos, como si éstas ocuparan los nodos internos de los árboles. De ahí que exista el error de interpretar que los chimpancés u otro mamífero actual sea ancestro de los seres humanos.

Ahora bien, Areson (2001) sostiene que no toda la culpa recae en los no especialistas que malinterpretan el mensaje buscado por los diagramas científicos. Según esta autora, muchas veces las imágenes revelan preocupaciones no científicas tales como prejuicios, predilecciones o suposiciones, de las cuales los científicos pueden ser inconscientes pero tienen un efecto en los observadores. “El esfuerzo de emplear diagramas científicos como herramientas persuasivas, puede oscurecer la sintaxis de las convenciones científicas necesarias para comprender la verdaderas intenciones de sus autores. Los mensajes extracientíficos, intencionales o no, en muchas ocasiones son más evidentes para la audiencia” (Areson, 2001:1294).

Un ejemplo de lo anterior son los diagramas de la década de los 1920's relacionados con la evolución, los cuales reflejaban ambivalencia de pensamiento —puesto que los biólogos no estaban de acuerdo con los mecanismos responsables del cambio— y fueron fuente de confusiones y errores conceptuales que seguimos percibiendo en la actualidad. Mencionaremos cuatro de estos diagramas por ser de gran interés para este trabajo, puesto que siguen inspirando iconografías falsas de la evolución y porque siempre es interesante conocer el origen y el contexto de las cosas.

El primero es un ejemplo típico de los diagramas presentes en los libros de texto de principios del siglo XX. El segundo y el tercero, fueron elaborados por investigadores del Museo de Historia Natural de Nueva York y tuvieron un gran impacto sobre las ilustraciones de los libros de texto y de divulgación de la época. El último pertenece al principal defensor del evolucionismo en tiempos de Darwin: Thomas Henry Huxley.

El primer diagrama que comentaremos fue elaborado por Benjamín C. Gruenberg en 1919. Recordemos que Darwin explícitamente elaboró su árbol de tal forma que tuviera un componente de orden temporal y que incluyera información sobre las extinciones. Además, el de Darwin no es un árbol literal, sino un diagrama ramificado para evitar transmitir sentido de direccionalidad. Sin embargo, a principios del siglo XX, la influencia de Haeckel era muy importante y sus árboles con apariencia literal de árboles resultaban prototípicos para la gran mayoría de evolucionistas; a pesar que éstos comunican una visión lineal y progresiva de la evolución, y no brindan información temporal ni plasman las extinciones (ver capítulo III). El diagrama de Gruenberg (Fig. 4.31) es un árbol muy similar al ‘pedigrí del hombre’ de Haeckel, en el cual se ilustran los grupos de animales en las ramas de un árbol realista. No hay ningún componente temporal, no existe información acerca de las extinciones y además da la impresión de que la evolución es una marcha lineal de progreso que culmina en el hombre (Areson, 2001). Para enmarcar los prejuicios que podemos encontrar en este diagrama, en la época en la que fue elaborado el hecho de que los seres humanos no ocupamos un lugar especial dentro del inmenso abanico de seres vivos era ya una convención establecida entre los científicos. Sin embargo, vemos que el ser humano se encuentra en la rama principal, que es un hombre blanco y que trae puesto un traje. Este árbol es un ejemplo de las imágenes ofrecidas al público por los mismos científicos.

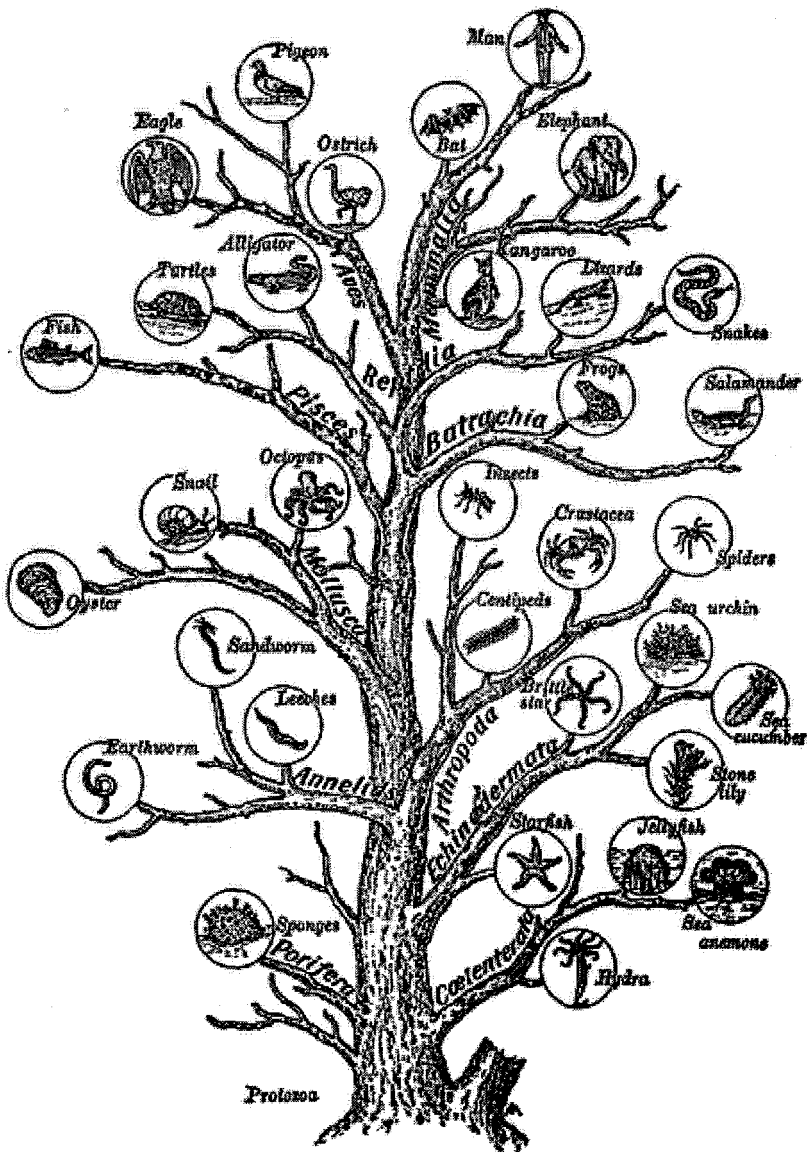


Figura 4.31. Diagrama del árbol de la vida de Benjamín C. Gruenberg, presente en su libro *The Story of Evolution*, 1919 (tomada de Areson, 2001).

Es interesante mencionar que muchas de las ilustraciones estadounidenses referentes a la evolución estaban dirigidas a reforzar la creencia en una jerarquía natural de los grupos humanos. La siguiente imagen (Fig. 4.32) fue elaborada por William King Gregory, en 1929, para ilustrar su libro *Our Face from Fish to Man*.

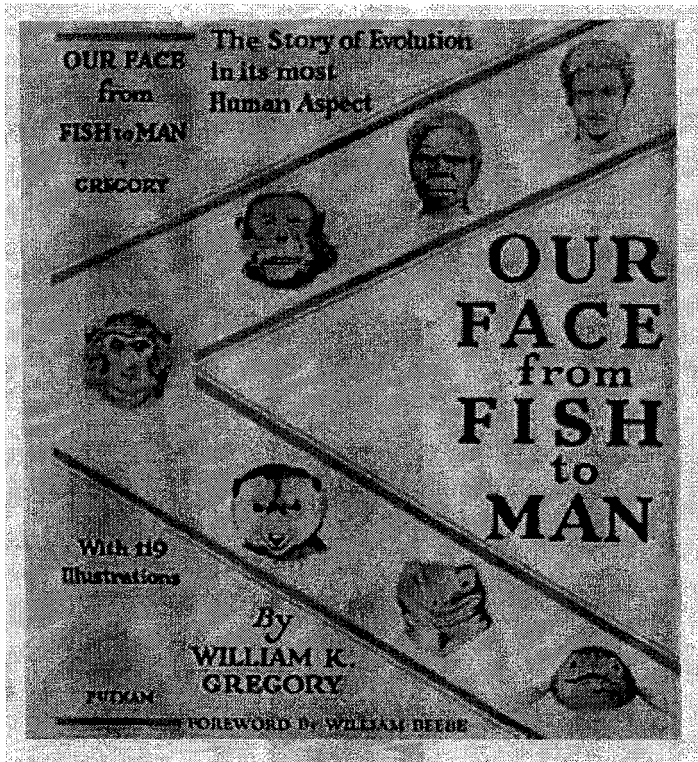


Figura 4.32. Portada del libro de William King Gregory *Our Face from Fish to Man*, 1929 (tomada de Areson, 2001).

Este personaje, trabajaba en el Museo de Historia Natural de Nueva York bajo la tutela de Henry Fairfield Osborn, uno de los principales defensores de la evolución y pionero en la creación de imágenes evolutivas que incorporaban información histórica y ecológica. King Gregory diseñó árboles evolutivos con la escala geológica, presentando a los seres humanos de lado izquierdo para minimizar la impresión de progreso. No obstante, en su libro *Our Face from Fish to Man*, a pesar del intento por transmitir la complejidad de la evolución, King Gregory hizo evidente su filiación con el movimiento eugenésista, al plasmar una variación del árbol en la que un ‘atleta romano’ encabeza la serie evolutiva, seguido por un ‘tasmanio’ y un chimpancé. Los libros de texto de aquel tiempo normalmente contenían mensajes referentes a la superioridad de la raza blanca y muchos árboles exhibidos en museos y publicados en periódicos representaban a los miembros de la familia de los primates alineados de cerca con las diferentes ‘razas’ humanas, reforzando la asociación de la evolución con el ‘hombre-mono’ (Areson, 2001).

El siguiente diagrama (Fig. 4.33) fue elaborado por el geólogo William Diller Matthew, en 1902, para ser exhibido en el Museo de Historia Natural de Nueva York. Éste muestra la evolución del caballo, la cual se convirtió en uno de los ejemplos favoritos para ilustrar el proceso evolutivo a partir de que Huxley la empleó como parte de su defensa del evolucionismo en su gira por Estados Unidos. No obstante, esta imagen era especial. Matthew había incorporado varias novedades en la ilustración como un intento de brindar

información histórica y ecológica sobre los caballos, tal como los estratos geológicos y los cambios en la anatomía asociados a ellos (Areson, 2001). Este diagrama fue ampliamente reproducido en numerosos libros de divulgación de la década de los 1920's.

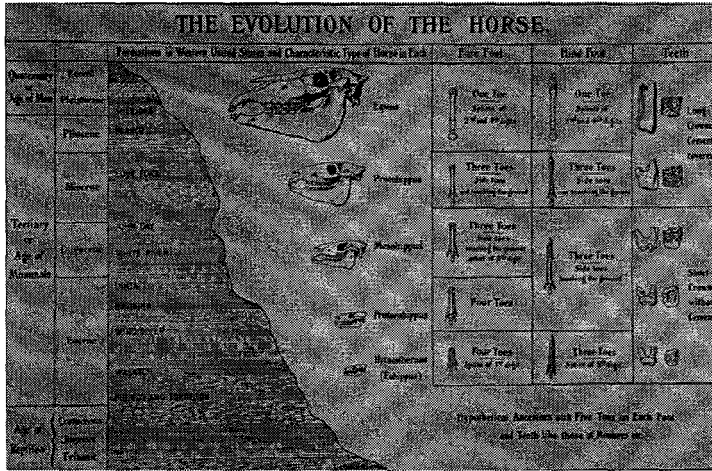


Figura 4.33. Diagrama de William Diller Matthew *La evolución del caballo*, diseñado en 1902 y exhibido en el Museo de Historia Natural de Nueva York en la década de los 1920's (tomada de Areson, 2001).

Para 1925 Matthew se dio cuenta que la evolución del caballo era mucho más compleja y, sin embargo, la imagen se siguió empleando por su poder didáctico. Se copió —y se sigue copiando— en numerosos libros para niños, en revistas de divulgación y en otros museos. No obstante, esta imagen presenta una trayectoria lineal simple y progresiva que para cualquiera que no esté familiarizado con la compleja evolución del caballo, lo conduce a conclusiones erróneas (ver capítulo II), pues la alineación es una 'tendencia', pero no representa la evolución real y ramificada de estos Equidae.

Finalmente, la ilustración de Thomas Henry Huxley (Fig. 4.34) nos muestra la importancia del contexto original en el que fueron diseñadas las imágenes para interpretar correctamente lo que buscan transmitir, y el daño potencial de sacarlas de dicho contexto.

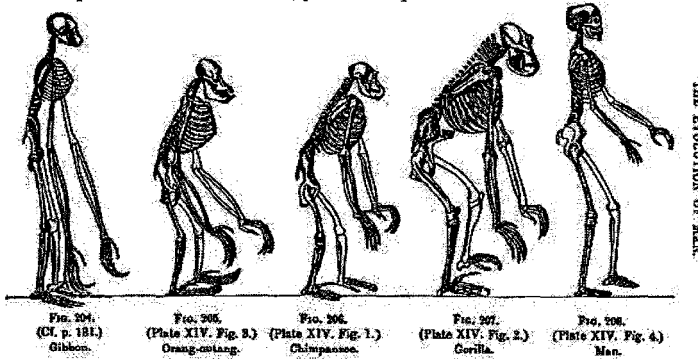


Figura 4.34. Imagen de la portada del libro de Thomas Henry Huxley, *Man's Place in Nature*, 1863 (tomada de Areson, 2001).

Esta imagen fue publicada por T. H. Huxley en 1863, durante los debates que siguieron a la publicación de *El origen de las especies*. Huxley, aunque nunca estuvo de acuerdo con el mecanismo de la selección natural, fue el defensor más acérrimo de la evolución. Este personaje buscaba transmitir con esta imagen las evidencias anatómicas entre los primates, las cuales apoyan la teoría de la evolución.

El diagrama de Huxley sirvió como modelo para uno de los principales clichés de la evolución, *la marcha de progreso* que resulta muy semejante a la vieja noción de la gran cadena del ser (Fig. 4.35). En esta visión de la evolución, lo que ocurre es una transformación progresiva de simios en el hombre. Normalmente se emplea en publicidad con implicación de progreso, en libros de texto no actualizados y en humorismo para burlarse del origen animal del hombre o de ser humano como una anomalía evolutiva (ver capítulo II).

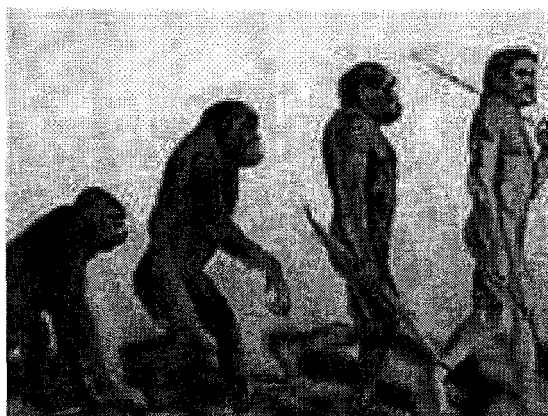


Figura 4.35. La típica imagen de la marcha del progreso que puede leerse como una transformación gradual de simios en hombres (tomada de www.wikimedia.org).

Estas ilustraciones son una prueba de que las imágenes publicadas en libros de texto, de divulgación o exhibidas en un museo, tienen mayor influencia y una larga duración.

4.9 Epílogo

Últimas consideraciones importantes para comprender la evolución y las filogenias

Existen ciertos términos que, aunque pertenecen al vocabulario científico, se emplean en los medios populares y en algunas representaciones de la evolución que conducen a ideas equivocadas sobre este proceso, tales como fósiles vivientes, especies intermedias, eslabones perdidos y ancestros.

En biología se emplea el término de fósil viviente —aunque el término taxón pancrónico es más adecuado— para referirse a una especie actual que se parece o es morfológicamente idéntica a un fósil conocido, es decir que ha sobrevivido con poco cambio aparente a lo largo de un amplio lapso de historia geológica.

Encontramos el término de fósil viviente en Darwin cuando afirmó “Es en agua dulce donde encontramos siete géneros de peces Ganoideos, sobrevivientes de un orden alguna vez preponderante. Y en agua dulce encontramos algunas de las formas más anómalas que se conocen en la actualidad, como el ornitorrinco y la lepidosirena, los cuales, como los fósiles, conectan ciertos órdenes existentes que hoy se encuentran muy

separados en la escala natural. Estas formas anómalas incluso se podrían denominar fósiles vivientes; han permanecido hasta el presente al habitar en áreas confinadas y por haber estado sujetos a competencia menos severa” (Darwin, 1859:172). Por ejemplo, el celacanto *Latimeria chalumnae* tiene una estructura corporal idéntica a ciertos fósiles del periodo Cretácico (Fig. 4.36). De hecho, es el único sobreviviente de un grupo de especies que se extinguieron hace 65 millones de años. Una reliquia.

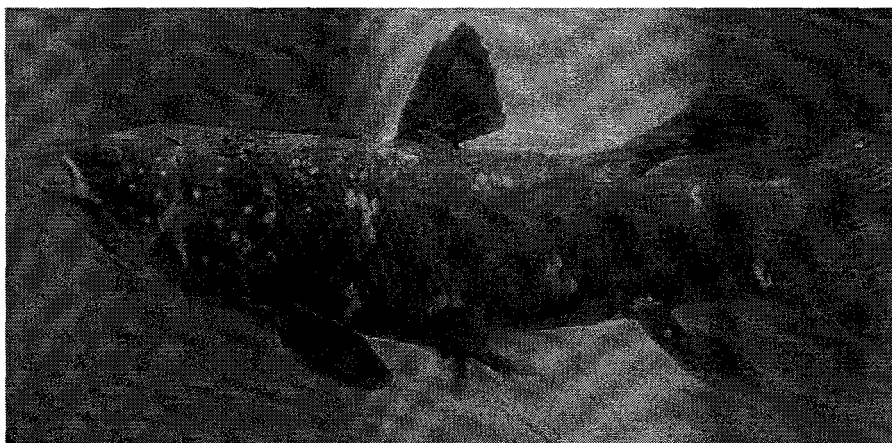


Figura 4.36. Arriba: fósil de un celacanto, *Caridosuctor populsoum*; Abajo: Imagen de un celacanto actual, *Latimeria chalumnae* (tomada de www.wikimedia.org).

El primer celacanto vivo se encontró en 1938 por Marjorie Courtenay-Latimer, y a partir de ese entonces se han hallado otros en el océano Índico, en las costas del este de África y en la región de Indonesia, donde se identificó una nueva especie: *Latimeria menadoensis*.

No obstante, el celacanto y los especímenes fósiles a los cuales se parece no son de forma alguna de la misma especie y el celacanto, al ser una especie que vive en la actualidad, es igual de moderna que el resto de los organismos existentes en nuestro planeta. Otros ejemplos de 'fósiles vivientes' son las lampreas, las cícadas y las cazuelitas de mar (Fig. 4.37).

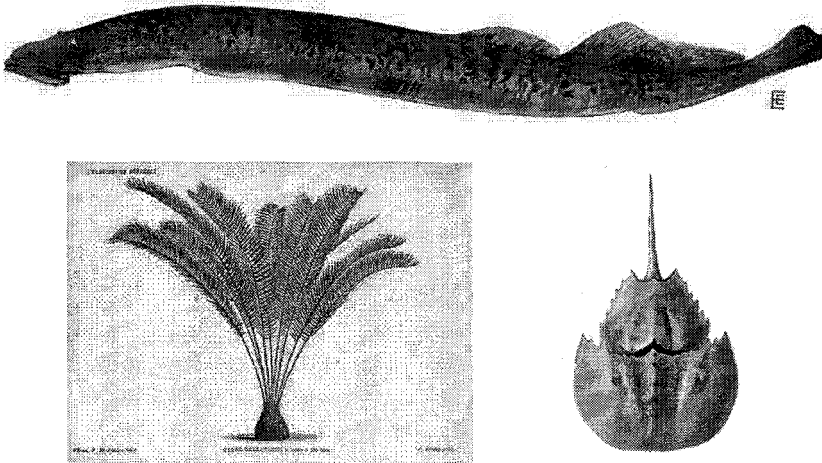


Figura 4.37. Arriba: lamprea; Abajo izquierda: cícada; Abajo derecha: cazuelita de mar *Limulus polyphemus* (tomada de www.wikimedia.org).

4.9.1 ¿Intermedio o ancestro?

Una genealogía muestra quién desciende de quién, siendo los ancestros organismos reales identificados individualmente. Las uniones en los árboles genealógicos simbolizan las relaciones genéticas de los ancestros a los descendientes. Y aunque existe una genealogía para todas las formas de vida, resulta extremadamente complicado conocer con exactitud los ancestros reales de los diferentes grupos de organismos. Esto se debe a que a partir del descubrimiento de un fósil es imposible saber genéticamente de quién es ancestro.

Al momento de construir filogenias los sistématas deben clarificar el estatus de los ancestros. Deben enfatizar que no se cuenta con ancestros individualmente identificados, de lo contrario, se provoca una confusión entre una filogenia y una genealogía y se termina construyendo grupos parafiléticos⁷. Sin embargo, la noción de ancestría es la base de toda

⁷ En sistemática filogenética, un grupo parafilético es aquel grupo de animales que contiene al ancestro común más reciente pero no a todos sus descendientes. Un ejemplo paradigmático son los reptiles y las aves, pero muchas de las clasificaciones tradicionales contienen grupos parafiléticos, especialmente en la división clásica de los vertebrados y en los sistemas tradicionales de 2-6 reinos. En muchas ocasiones los grupos parafiléticos se construyen con base en simplesiomorfias (similitudes ancestrales) en lugar de en sinapomorfias (similitudes derivadas compartidas). Algunos ejemplos son: El orden de los artiodáctilos (ungulados con dedos pares) porque excluyen a los cetáceos (ballenas, delfines, etc.) y la clase Reptilia porque excluye a las aves, entre otros.

la lógica de reconstrucción filogenética, por lo que resulta imposible negar a los ancestros. Lo que ocurre en las filogenias es que los ancestros se infieren, más no se identifican.

En los nodos de los cladogramas se simbolizan los estados de carácter más parsimoniosos, pues no hay que olvidar que se trata de hipótesis y que por lo tanto se pueden obtener distintos cladogramas a partir de la misma información. No obstante, mediante el método de mínima parsimonia, se elige el cladograma que muestra dichos estados de carácter. Esto significa que los ancestros se reconstruyen a partir de la información de especies actuales (sinapomorfías).

Por ejemplo, el ancestro de todos los tetrápodos nos heredó su número de patas, junto con otras características, y es mediante estas características que se infiere al ancestro.

Lo anterior conduce a la confusión entre ancestro e intermedio o eslabón perdido. Como ya se ha dicho, las filogenias no expresan nociones de ancestría (quién desciende de quién) sino de parentesco (quién está más relacionado con quién). Es por ello que un organismo (vivo o fósil) que se considera como un intermedio, no es un ancestro. Un organismo resulta un intermedio únicamente cuando tiene un grupo de características desconocidas para los seres vivos. Por ejemplo, *Archaeopteryx* (Fig. 4.38) resulta un intermedio puesto que la fauna conocida antes de su descubrimiento consistía de dinosaurios terópodos (sin plumas ni furcula, con el esternón expandido y con cola y dientes) por un lado y de aves modernas (plumas, furcula, esternón expandido, sin cola y sin dientes) por el otro.

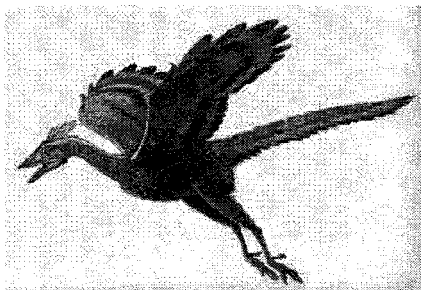


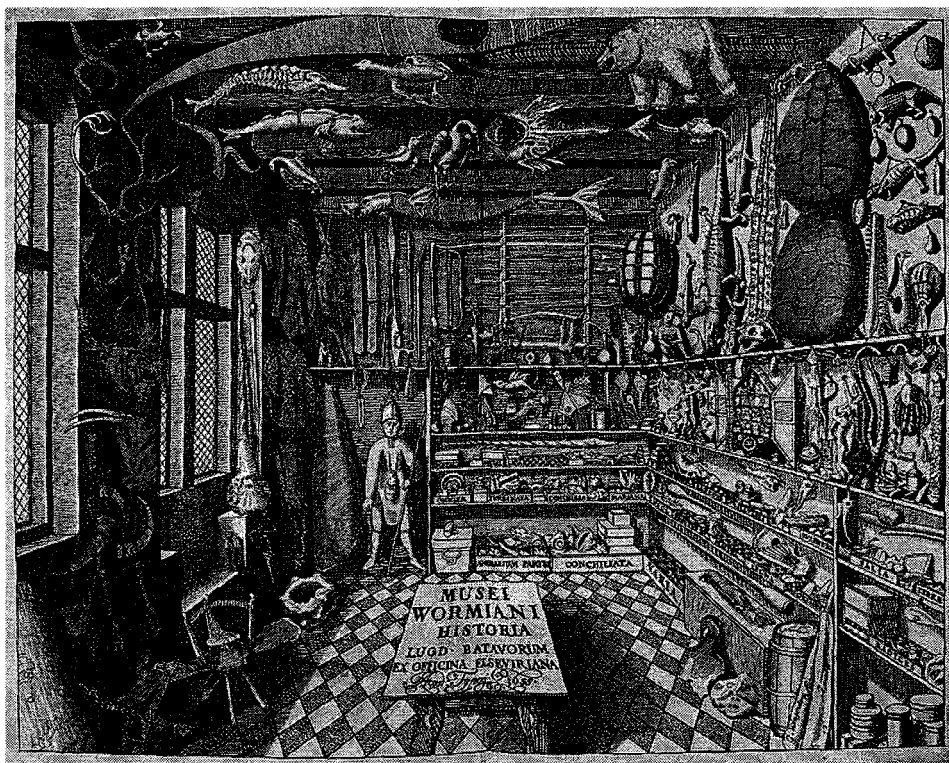
Figura 4.38. Los *Archaeopteryx* representan los principales fósiles de los yacimientos de Solnhofen en Alemania. Los primeros se encontraron en 1861 y desde entonces han aparecido un número diverso de hallazgos, diez en total (hasta 1988), aunque algunos de ellos son muy incompletos. Algunos de los especímenes fueron clasificados inicialmente como pterópodos, hasta que se observó en ellos la presencia de plumas. El primer espécimen completo fue anunciado en 1862, tres años después de que Charles Darwin publicara *El origen de las especies*. Los arqueópteryx se convirtieron en una de las tantas evidencias que confirmaron la evolución (tomada de www.wikimedia.org).

Archaeopteryx entonces resulta un auténtico mosaico de estas características, es decir, un intermedio morfológico entre los reptiles y las aves. Sin embargo, esto no significa que *Archaeopteryx* sea el ancestro genealógico de las aves.

Lecoindre y Le Guyader (2006) proponen que para eliminar las confusiones entre ancestros e intermedios, se debería hablar de intermedios estructurales. “Un intermedio no se representa en los nodos de las filogenias sino en la punta de su propia rama, en medio de dos ramas ya conocidas”. Los dinosaurios con plumas, las aves de la era Secundaria son intermedios estructurales, al igual que los terápsidos (un grupo parafilético de reptiles similares a los mamíferos) y muchos otros ejemplos.

Segunda Parte

Museos de Historia Natural





Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

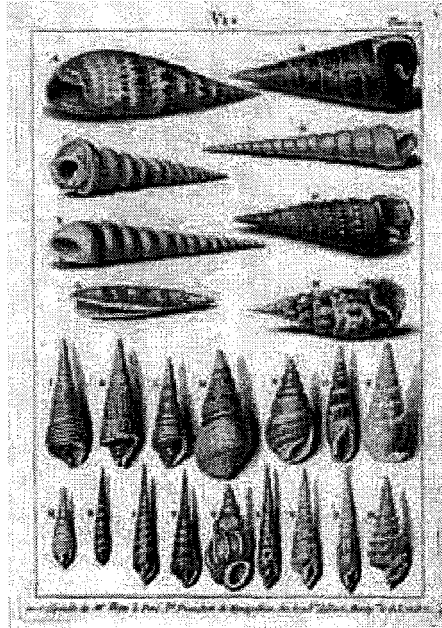
DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Capítulo V

Museos de historia natural



V. Culturas de representación: Museos de Historia Natural

“En general, los museos se ven a sí mismos como instituciones que transmiten conocimiento, conocimiento útil. Desde su creación, han buscado educar al público en varias disciplinas, tanto artísticas como científicas. Algunos van tan lejos como para sostener que buscan inspirar un despertar estético en sus visitantes. Sin embargo, cuando uno los visita se encuentra con que estos nobles ideales son virtualmente imposibles de conseguir. Exhibiciones obsoletas, información antigua, incluso herramientas conceptuales rudimentarias abundan hasta en las más respetadas instituciones. Lo anterior es particularmente preocupante en los museos de ciencia. Tomemos ilustraciones del átomo como ejemplo: es increíble cómo la representación estándar para dicho concepto es un modelo que resulta obsoleto desde los primeros años del siglo XX. En este caso, un salto cuántico es urgente para actualizar una iconografía que ha dejado de tener valor científico”.

Sofia Vackimes

Los museos son una parte fundamental de nuestra cultura. Su historia se remonta al siglo XVIII y quizá fue el Zar Pedro el Grande (1672-1725) quien fundó el primer museo público al abrir las puertas de sus colecciones (Asma, 2001). No obstante, la idea de conocimiento que se tenía en aquel entonces y la que mantenemos en la actualidad ha cambiado, así como las cosas que son dignas de exhibirse —y lo que es científico o meramente sensacionalista. En aquel gabinete de curiosidades de Pedro el Grande se podía encontrar de todo, incluyendo huesos, insectos y animales, pero también ‘monstruos’. Foma era un espécimen vivo de este museo, un niño que tenía solo dos dedos en manos y pies. También se encontraban las cabezas ‘encurtidas’ de sus amantes y los de su esposa.

Todo lo anterior no es para provocar un interés macabro en la historia de los museos, sino para resaltar algunas cuestiones interesantes que se desprenden de estas instituciones y que se tratarán en el presente capítulo:

¿Cómo y por qué cambia lo que consideramos conocimiento?, ¿Cómo influye la cultura de cada nación en la construcción, el diseño y la experiencia del público en las exhibiciones de los museos de historia natural?, ¿Dónde se encuentra el significado que transmiten los especímenes de los museos?, ¿en su arreglo, en la narrativa que se busca con ellos, en los textos que los acompañan?

5.1 Introducción

Este capítulo no pretende exponer una investigación exhaustiva sobre los museos modernos de Historia Natural, sino sobre las diferentes formas de representación de éstos, las cuales están influidas por la cultura, la historia y la idiosincrasia de cada nación, reflejadas en la forma de concebir las exhibiciones de evolución. Particularmente el árbol de la vida.

A pesar que los museos pretenden mostrar los objetos de la naturaleza de manera neutral y objetiva, la realidad es que en ellos, tanto la naturaleza como los fenómenos bajo escrutinio científico se construyen y se representan. Por tanto, en las exhibiciones se crean y se reflejan convicciones teóricas y culturales particulares. Esto último, por ser un fenómeno de una dimensión que corresponde más a la sociología y la psicología, será abordado sin la profundidad que —de forma ortodoxa— un académico en la materia lograría.

No es de sorprender entonces que los museos revelen diversas tendencias cuando diseñan las exposiciones. Es más, incluso la arquitectura destinada a fines científicos nos muestra la elusiva idea del conocimiento fijo y universal, pues muchos de los museos construidos *ex profeso* durante el siglo XIX, ya sea para albergar y mostrar colecciones de historia natural u obras de arte, son ahora “fantasmas de verdades pasadas” (Yanni, 2005). Un ejemplo es el Museo de Historia Natural de Londres, concebido y diseñado por el renombrado zoólogo y anatomista Richard Owen, quien era superintendente de la colección de historia natural del Museo Británico en 1856, junto con el arquitecto Alfred Waterhouse.

Owen estaba convencido de la necesidad de un edificio pensado exclusivamente para albergar las colecciones de historia natural y persuadió al gobierno para construir un museo con este fin. Lo que nos interesa aquí es que según la concepción de Owen, el museo debía mostrar la grandeza de Dios, es decir, el mayor número de especímenes posible. Además, para él los seres vivos eran más o menos perfectos y por ello las colecciones debían encontrarse de forma perpendicular a la fachada, con los organismos más complejos cerca del centro y los más simples hacia los extremos. Finalmente, las exposiciones debían hacer hincapié en la división entre biología y paleontología y por ello las especies vivas se encontrarían en el lado opuesto a las extintas. Todo ello sería impensable en un museo moderno.

Es por ello que en el terreno de las exhibiciones sobre Evolución, podemos encontrar mezclas complejas de identidad nacional, teorías científicas, suposiciones ideológicas, compromisos ontológicos y preferencias museológicas o museográficas, que hacen del estudio de las prácticas de representación en los museos un tema interesante y de vital importancia.

Determinar si el tema que subyace a las exposiciones de evolución es la taxonomía, la biodiversidad, la historia de las ideas, las posibilidades de la ciencia actual o los mecanismos del proceso evolutivo, así como estudiar qué objetos e ideas se incluyen y qué otras se dejan de lado, echa luz tanto sobre las políticas de las exhibiciones y las prácticas educativas, como sobre las teorías científicas que se defienden, ya que las colecciones son cuerpos de evidencia de naturaleza promiscua¹, puesto que dependiendo del lugar, la época y el contexto de la exhibición, pueden ser arregladas para significar cosas distintas y para servir a diferentes fines dependiendo de cómo se utilicen. Con lo anterior me refiero a que las colecciones son necesariamente polisémicas, pues dependiendo de su arreglo en una exhibición pueden crear argumentos visuales que se combinan para producir narrativas particulares. Por ejemplo, los huesos de las extremidades de diferentes animales pueden significar rarezas naturales en un gabinete de curiosidades, diversidad adaptativa en una exhibición de ecología o ejemplos de homologías en una de sistemática o evolución. En

¹ Según el diccionario de la Real Academia Española, promiscuo: mezclados confusamente y sin orden.

otras palabras, un ala de murciélago no significa lo mismo en una sala de ecología, en una de anatomía o en una de evolución. En la primera puede emplearse para mostrar cómo los murciélagos son polinizadores, dispersores de semillas y/o controladores de plagas, en la segunda para mostrar los huesecillos de estas extremidades superiores y en la tercera la evolución de las alas o como ejemplo de homologías o analogías según sea el contexto e intención.

Más adelante analizaremos si el significado de estas narrativas está abierto a diferentes interpretaciones y cómo la construcción de significado depende de la combinación de diversos elementos. Por ello, en este trabajo se examinó la manera en la que algunos museos representan la teoría de la evolución y particularmente la imagen del árbol evolutivo. Se eligieron para este fin la Grande Galerie de l'évolution de París, el Museum für Naturkunde de Berlín, el American Museum of Natural History de Nueva York y el Natural History Museum de Londres, no solo porque son los museos más influyentes de su tipo, sino porque presentan, permanentemente, exhibiciones contemporáneas de la evolución. Se incluye, además, el Museo de Historia Natural de la Ciudad de México, por ser pionero en nuestro país.

5.2 La Teoría de la Evolución y los Museos de Historia Natural

El objetivo de los primeros museos era simplemente coleccionar, tener un inventario completo de la naturaleza.

La presentación de los organismos en estos museos descansaba sobre conceptos radicalmente distintos de la práctica moderna, pero completamente acordes con las preocupaciones victorianas. Actualmente, tendemos a exhibir uno o varios especímenes clave, rodeados por una extraña mezcla de ostentidad y explicaciones más útiles, todo bajo la premisa de enseñar o simplemente sorprender. Los victorianos, quienes veían sus museos como microcosmos de la meta nacional de expansión territorial y la fe en el progreso impulsada por el incremento en el conocimiento, trataban de disecarlo todo, hasta el último espécimen en sus gloriosamente repletos gabinetes, con la finalidad de mostrar el completo alcance y la maravilla de la diversidad global (Gould, 1994:16).

Después de Darwin, toda esta gran variedad de organismos y especímenes presentes en los gabinetes comenzaron a adquirir un nuevo valor desde un punto de vista evolutivo. En este sentido, algunos especímenes fueron agrupados juntos porque de hecho estaban emparentados de forma cercana; algunos de los huesos resultaron una fuerte evidencia de extinciones y de cambios a través del tiempo, diversos órganos reflejaban analogías y otros especímenes más, diferentes mecanismos evolutivos (Asma, 2001)².

Así, buena parte de los Museos de Historia Natural tuvieron que reinventarse a finales del siglo XIX, y se volvieron almacenes de 'evidencias' de la teoría de la evolución. Por ello, a finales del siglo XIX y principios del XX, los museos europeos y estadounidenses de Historia Natural comenzaron a preocuparse por mostrar y educar al público en la teoría de la evolución, explicando sus principios y mecanismos y mostrando la evidencia disponible. De esta manera, las suposiciones epistemológicas cambiaron de la idea de que la gente aprende mediante la pura observación —como se asumía en el siglo XIX— a embeber el conocimiento científico en distintos medios y rehuir a la epistemología basada únicamente en los objetos. Por ello los museos en el siglo XX introdujeron la 'interactividad', entre otras cosas, para incrementar el

² Las muestras tridimensionales pueden concebirse como testimonios de muchas cosas, pero especialmente de nomenclatura, de poblaciones o de variabilidad, antes que ponerlas al servicio de la ciencia y sus teorías (Llorente, comunicación personal).

aprendizaje —aunque, desde luego, existe una fuerte discusión si verdaderamente las actividades promueven el aprendizaje (Yanni, 2005).

No obstante, una vez que la evolución pasó de ser novedad a constituir un hecho de la historia de la vida en la Tierra, los museos se enfrentaron con el reto de definir su función. ¿Se debe poner el énfasis en la educación?, ¿los museos educan o entretienen?, ¿son principalmente para científicos o para el público en general?, ¿es mejor presentar un fósil en una vitrina o como parte de un espécimen reconstruido?, ¿conviene mostrar animales disecados solos o como parte de un diorama? Fueron solo algunas de las preguntas con las que se enfrentaron y se siguen enfrentando los museos hoy en día.

En la actualidad, estamos tan acostumbrados a encontrarnos con exhibiciones que abordan el tema de la evolución, que no nos detenemos a pensar en la lógica que se encuentra detrás, ni en la influencia cultural e idiosincrásica que les da la forma. Desde mediados del siglo XVIII, los curadores comenzaron a entender que los especímenes aislados —incuso los más fantásticos, no aportan conocimiento científico alguno por sí mismos (Asma, 2001), y que los beneficios intelectuales de las colecciones y de las exhibiciones se crean por el orden u organización de los objetos. No solo por su observación dentro de las vitrinas.

Por ello es que para comprender la disposición de las diferentes exhibiciones y la importancia que se le da a ciertos temas, es decir, la museografía, en primer lugar debemos explorar la ciencia del arreglo y la clasificación que prefiere cada país y, en segundo lugar, los alcances y las limitaciones culturales de cada uno de ellos, puesto que la cultura de la representación está fuertemente influida por la historia y la ideología de cada nación.

Un ejemplo esclarecedor son los dioramas portátiles que el Field Museum de Chicago tiene como parte de su programa educacional. Estos más de 900 dioramas de 23x25 pulgadas, están hechos de cajas de caoba con una cubierta de plexiglas y muestran diferentes ecosistemas en miniatura, así como diversos aspectos de antropología (símbolos religiosos, tótems, íconos, estatuas, etcétera). Sin embargo, ni uno solo está dedicado a la evolución y la razón es que resulta un tema demasiado controvertido (Asma, 2001). De hecho, en las cédulas de numerosos museos estadounidenses, así como de los zoológicos, se prefiere la palabra 'desarrollo' que 'evolución', aunque en la biología actual son cosas completamente diferentes (Fig. 5.1).

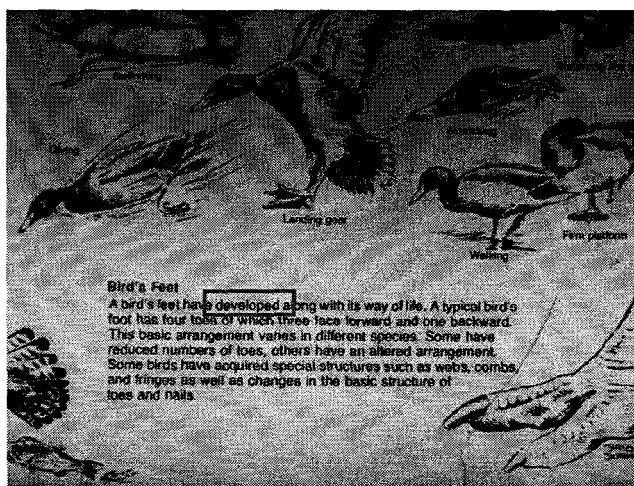


Figura 5.1. Cédula que se encuentra en la Casa de los Pájaros en el Zoológico Nacional de Washington, D.C. (Foto: Colin Purrington, tomada de www.flicr.com).

De manera interesante, muchos museos —tales como el de Ámsterdam, Washington DC y Nueva York— presentan la evolución como un hecho y la ciencia occidental como acultural y libre de prejuicios y valores. No obstante, estos mismos museos exhiben artefactos culturales de sociedades no occidentales reflejando, aún en la actualidad, una perspectiva colonialista y la idea de que las habilidades de los pueblos ‘primitivos’ (africanos, de Oceanía o nativos de América) deben exhibirse en museos de historia natural y no de arte o antropología (Fig. 5.2) (Yanni, 2005).

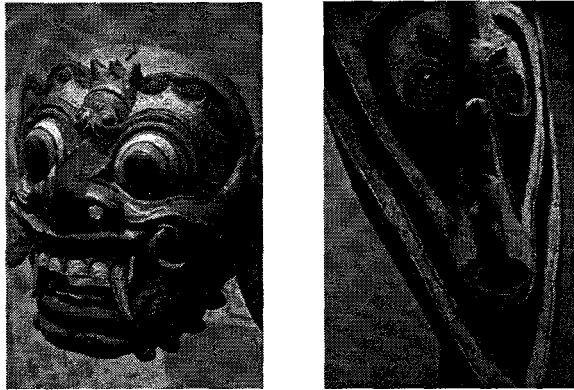


Figura 5.2. Izquierda: máscara de Bali. Derecha: máscara de Nueva Guinea, ambas en el *American Museum of Natural History* (tomadas de www.amnh.org).

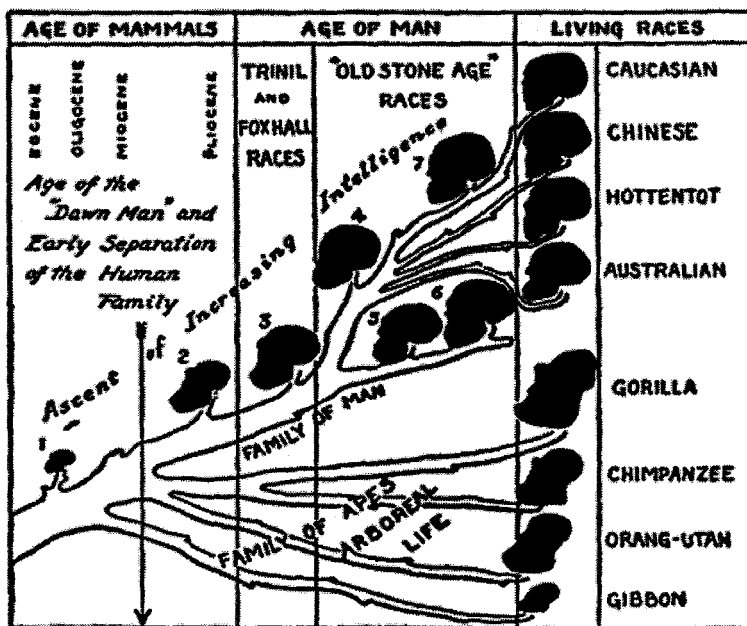
Otro caso interesante, que ejemplifica la cultura de la representación, es el de los bustos de los ancestros del hombre que se encontraban en el *American Museum of Natural History* de Nueva York, durante las primeras décadas del siglo XX (Fig. 5.3). Esta serie de bustos fue obra de James Howard McGregor ejecutada entre 1914 y 1919, por orden del influyente presidente del Museo de aquel tiempo: Henry Fairfield Osborn.



Figura 5.3. Bustos de los ancestros del Hombre presentes en el *American Museum of Natural History* de Nueva York durante las primeras décadas del siglo XX (tomada de www.amnh.org).

Este último personaje era un enérgico defensor de la teoría de evolución y estaba muy involucrado en la creación y el diseño de muchas de las representaciones más influyentes de ideas y conceptos evolutivos del momento (Areson, 2001). No obstante, para un eugenicista como él, con profundos prejuicios raciales, era impensable que el ancestro del *Homo sapiens* se encontrara en África. Por ello, incluso descartó el descubrimiento del primer espécimen de *Australopithecus*, en 1924, y arregló que el Museo financiara expediciones a través de Asia central, en búsqueda de fósiles de homínidos que evidenciaran el verdadero lugar de origen de la humanidad (Areson, 2001).

Todo esto se refleja tanto en los bustos de la figura 5.3, los cuales representan de izquierda a derecha: *Pithecanthropus*, Neandertal, Cro-magnon y *Homo sapiens*, como en el árbol evolutivo de Osborn (1926) que muestra una jerarquía de las razas dominada por el hombre blanco (Fig. 5.4).



EXISTING FACTS OF HUMAN ASCENT

1, 2. Dawn stage of human prehistory. 3. First known walking stage, the erect Trinil race of Java. 4. Pittdown race of Sussex. 5, 6. The low-browed Heidelberg-Neanderthal race. 7. Cro-Magnon and related races of high intelligence. The races 3, 4, 5, 6, 7 are scattered throughout the entire period of the Age of Man, conservatively estimated at 500,000 years. Altogether, upward of 136 skulls and skeletons of the fossil men of this period are known.

Figura 5.4. Árbol evolutivo de Osborn (1926). Reimpresión de Henry Fairfield Osborn, *Evolución y Religión en la educación: Polémica de la controversia fundamentalista de 1922 a 1926* (1926) (tomada de Areson, 2001) (tomada de Areson, 2001).

Ambas representaciones encontraron su camino hasta los salones de clases y los libros de texto y se volvieron una herramienta muy utilizada por los educadores y divulgadores de la ciencia del momento, para ejemplificar el proceso de evolución. En

ellas, se hace evidente la idea de Osborn de que nuestro ancestro más cercano debía ser el *Pithecanthropus* u 'hombre de Java' y que nuestro ancestro reciente, el Cro-Magnon —que provenía de Asia— contaba con gran inteligencia. Un paleontólogo británico, colega suyo, Arthur Keith escribió: "mi preferencia por Asia se basa en la creencia de la virtud de las razas [...] Mi prejuicio racial me lleva a buscar en el Cro-Magnon, la cuna de la evolución del hombre blanco, parcialmente porque los pueblos nativos de África carecen del genio de los asiáticos" (Keith, 1930).

Un último ejemplo es el de la mayoría de los primeros homínidos que se muestran en muchos de los museos estadounidenses. Según la siguiente cédula (Fig. 5.5), una de las características del *Homo ergaster* es que era de piel oscura y sin embargo, la imagen nos muestra una piel bastante clara. Lo mismo ocurre en muchos libros de texto, como si hubiera algo malo en tener la piel oscura.

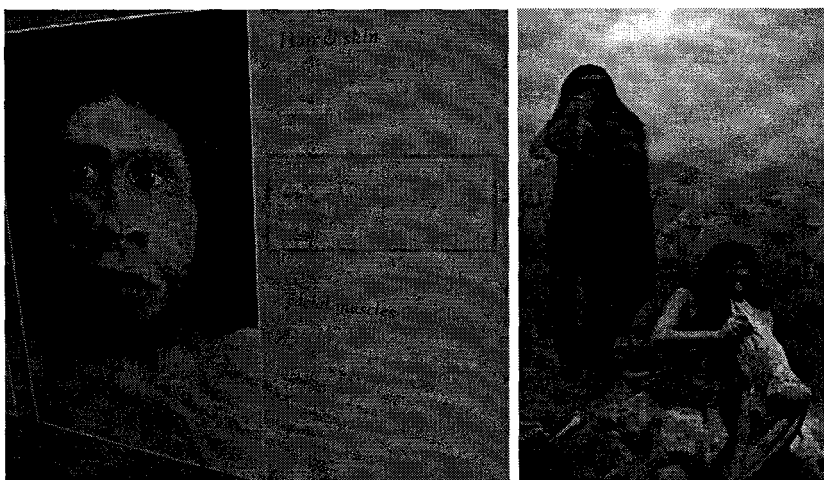


Figura 5.5. Izquierda: cédula del *Homo ergaster* donde se explica la coloración oscura de su piel "*Homo ergaster* vivió en ambientes cálidos y en condiciones abiertas por lo que casi con certeza tenía la piel oscura para protegerse del sol [...]". Derecha: Neandertales en el AMNH, también con la piel muy clara (tomada de www.amnh.org).

Por el contrario, en el *Musée de l'Homme* de París, dentro de la exhibición de diversidad humana, existe una fotografía de Jean Luc Dubin que muestra 20 personas de tamaño real, todas ellas completamente desnudas (Fig. 5.6). Este es un ejemplo significativo de cómo la cultura y la ideología influyen en las exhibiciones, puesto que esta manera tan natural de exhibir la 'igualdad de las razas' a pesar de las diferencias, resulta difícil de encontrar en casi cualquier otro país, particularmente en Estados Unidos, que siempre se ha caracterizado por sostener una doble moral.

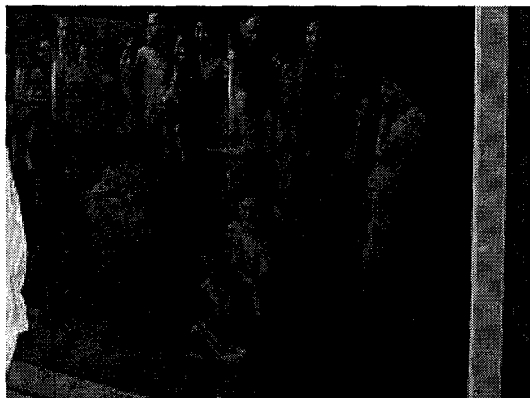


Figura 5.6 Fotografía de Jean Luc Dubin en el Museo del hombre de París (tomada de Flickr.com).

Ahora bien, cuando uno se pasea por una exhibición en un Museo de Historia Natural, resulta interesante la cuestión de la construcción de significado mediante narrativas visuales, es decir, la retórica de las exhibiciones. ¿Cómo es que los bustos de los ancestros del hombre comunicaban las intenciones de los curadores?, ¿Cómo es que los especímenes agrupados nos dicen ciertas cosas, mientras que los objetos por si solos resultan mudos? La construcción del significado en los museos es un tema de gran importancia para establecer las posibilidades de los museos como lugares de enseñanza-aprendizaje, así como para entender la cultura de la representación, que es el tema que nos interesa principalmente en este capítulo.

5.3 La construcción de significado en los Museos de Historia Natural

Sorprendentemente son pocos los estudios que se han llevado a cabo sobre el papel pedagógico de los museos. Se da gran énfasis al estudio de la educación formal en colegios y universidades y mucho se han subrayado las prácticas erróneas que hay que evitar a toda costa en estos espacios, lo cual ha resultado en un profundo cambio en los procesos y dinámicas educativas. También escuchamos sobre la importancia de las ideas previas y el cambio conceptual, sobre el papel del constructivismo dentro de las aulas y el contenido del *curriculum* siempre es sujeto de análisis. Sin embargo —y aunque el concepto de educación se ha ampliado, no queda claro cuál debe ser el papel de los museos a la hora de recibir a los visitantes y cuáles son las dinámicas que ocurren dentro de sus paredes.

¿Es necesario el conocimiento previo y ciertas habilidades para comprender la intención de las exposiciones?, ¿qué pasa cuando alguien observa las exhibiciones? ¿Cómo construye el visitante significados a partir de lo que ve y cómo este significado es influido por las intenciones de los curadores? ¿Cuál es el papel pedagógico de las exhibiciones? ¿Cuál es el potencial de los museos para el aprendizaje a largo plazo? Son solo algunas cuestiones que requieren ser revisadas para comprender el potencial de los museos como lugares de enseñanza-aprendizaje y para — ¿por qué no? , reinventar estas instituciones a la luz del nuevo milenio (Spiegel *et al.*, 2006).

Hasta hace poco tiempo se pensaba que la sola colocación de objetos en vitrinas resultaba suficiente para mostrar conocimiento y las exhibiciones eran empleadas para transmitir las leyes universales de las disciplinas basadas en el estudio de objetos (siendo la historia natural el paradigma). Además, dichas leyes eran presentadas de forma autoritaria y formal para una audiencia indiferenciada. En la actualidad se ha hecho evidente que estas prácticas no son apropiadas; el reconocimiento de que la

audiencia tiene diferentes necesidades de aprendizaje y distintos niveles culturales, económicos y educativos hace que los museos tengan que buscar nuevas formas de relacionarse con los visitantes y procurar diferentes métodos de comunicación que abarquen el *qué* se dice y el *cómo* se dice para una audiencia diversa (Hooper-Greenhill, 2000).

Lo anterior nos conduce al tema de las narrativas visuales. Los museos de historia natural son espacios principalmente visuales, llenos de textos, imágenes, diagramas, especímenes y objetos que tienen la intención de mostrar y explicar algo. El visitante, al enfrentarse a esta diversidad de recursos tiene que echar mano de sus propias estrategias de interpretación y es entonces cuando nos encontramos con la construcción de significados.

En los museos, el significado se construye en relación con los objetos y las colecciones que se exhiben, puesto que los objetos se reúnen y se combinan para lograr argumentos visuales que a su vez producen narrativas (Hooper-Greenhill, 2000). Algo interesante es que —como ya se había dicho anteriormente, los objetos son mudos por sí mismos, no significan nada a menos que se combinen con otros elementos visuales o lingüísticos que los hagan hablar. El problema radica en que el visitante entienda lo que el curador desea.

La forma principal de construir una narrativa dentro de un museo de historia natural es mediante los dioramas, las exhibiciones y los escaparates. Para la mayor parte de la audiencia por lo tanto, la experiencia de observar estas exhibiciones es lo que define el museo y es en donde se produce y se comunica el conocimiento, mediante el arreglo teórico y la organización de los objetos que las conforman. Este arreglo depende de las ideas que los curadores y museógrafos consideren significativas, pues las exhibiciones expresan implícitamente ideas y valores históricos, culturales y científicos particulares.

Ahora bien, existen diferentes estrategias para establecer una comunicación entre los objetos y la audiencia, las cuales implican relaciones sumamente complejas con la construcción de significados. Quizá la forma más clara de comunicar algo es mediante textos, puesto que éstos idealmente sugieren la interpretación preferida que el visitante debe hacer de todos los elementos visuales que se encuentra observando. No obstante, estamos lejos de poder afirmar que mediante el empleo de textos (cédulas, leyendas, rótulos, etcétera) se garantiza una unificación de la experiencia dentro del museo. Además, ¿cómo podemos estar seguros de que el visitante está de acuerdo con lo que ve o lo descarta por no estar acorde con las ideas previas que tiene sobre el tema? En realidad, la construcción del significado en los museos se dificulta enormemente por las actitudes, las percepciones y los conocimientos que la audiencia tiene previamente y que incorpora a su vivencia del museo³.

El significado de las exhibiciones generalmente puede ser percibido en diferentes niveles. Una colección de colmenas en el Museo de Artes Populares de París, por ejemplo, ilustra la gran variedad de soluciones a un problema: aquel del hábitat de las abejas. ¿Pero esto ilustra cómo distintas formas (tubulares, cónicas, esféricas),

³ En mayo de 2007, se publicó en la revista *Science* que los adultos pueden resistirse a incorporar datos científicos debido a sus experiencias en la infancia. Además, se ha demostrado que desde antes de que los niños aprendan incluso a hablar, ya comienzan a desarrollar suposiciones acerca del mundo físico que pueden persistir hasta la edad adulta y entrar en conflicto con descubrimientos científicos. Por ejemplo, intuitivamente, los niños tienden a apreciar todo lo que les rodea como si tuviera un propósito —el propósito de las nubes es la lluvia— lo que los puede llevar a rechazar eventualmente los principios de la evolución. Asimismo, cuando tanto los adultos como los niños obtienen información de otros, juzgan sus argumentos de acuerdo con el nivel de confianza que les produce la fuente. Esto sugiere que la ciencia encontrará mucha resistencia en sociedades o grupos sociales donde ciertas autoridades —figuras políticas o religiosas— la confrontan con visiones alternativas (*Scientific American*, 297 (2)).

y el empleo de distintos materiales (madera, paja, corteza) puede ser usado para el mismo fin?, ¿Esto demuestra variaciones regionales?, ¿Celebra la creatividad del mundo animal?, ¿Nos habla sobre las diferencias entre los campesinos franceses? Todas estas interpretaciones son posibles; los paneles con texto de los curadores pueden indicar la intención de la exhibición, pero en definitiva los visitantes pueden darle otros significados (Hooper-Greenhill, 2000:5).

Podemos decir entonces que la construcción de significado en los museos no es unidireccional. Por una parte tenemos el lado de la producción y por la otra el de la recepción; la interacción entre ambas es lo que resulta en la construcción del significado. En la parte de producción, los curadores exhiben objetos, artefactos, especímenes, diagramas etcétera (los cuales son los recursos para la comunicación visual y el aprendizaje) y los arreglan de tal manera que exista un discurso visual, asumiendo que el visitante reconocerá aquello que está observando. Por el lado de la recepción, el visitante debe reconocer los elementos de la exhibición, siendo necesario para ello que tenga ciertos conocimientos sobre dichos elementos. De esta manera al interpretar su experiencia, el visitante podrá construir el significado de la exhibición.

Debido a que la observación es un fenómeno complejo y que se relaciona con lo que se conoce, con quién lo ve, desde dónde y con qué fin, la intención de los curadores debe ser lo más clara posible y para ello debe valerse de todos los recursos disponibles (textos, diagramas, dispositivos para interacción, imágenes, etcétera) para tratar de indicar el fin de la exhibición, pero el visitante será quien produzca su propio significado de acuerdo con sus puntos de vista particulares, su conocimiento sobre el tema y el interés que le despierte la 'narrativa' visual. Todo esto depende a su vez de las colecciones que tenga el museo y las experiencias que se pueda ofrecer a través de ellas. En este sentido se puede decir que las experiencias se ofrecen a través de lo que se dice y cómo se dice, es decir, el *estilo* y el *contenido* de las exhibiciones.

Lo que se dice —el contenido— es la narrativa que se busca lograr mediante el arreglo de los objetos en las exhibiciones y cómo se dice —el estilo— se logra mediante las estrategias de comunicación que prefiera cada museo en particular, lo cual incluye la manera de redactar los textos, la forma de ordenar los objetos, el uso del espacio, de los colores y de los sonidos, entre otros aspectos (Hooper-Greenhill, 2000). Este lado de la producción más que el de la recepción del mensaje, lidia con la naturaleza elusiva de la verdad, puesto que la *construcción* de narrativas implica el diseño y la manipulación de dichas verdades para revelar ciertas ideas sobre el mundo. Por eso no es de extrañarnos que cada periodo histórico tenga su propia retórica a la hora de diseñar sus exhibiciones, pues cada uno tiene sus propias verdades que mostrar, pero también que esconder. Además, a través de las cosas que se hacen visibles en los museos —y las que se dejan invisibles— se crean valores relacionados con los espacios, con los objetos y con la propia identidad; se construyen versiones 'oficiales' de las cosas, de la sociedad, del mundo e incluso del pasado (Asma, 2000).

Un ejemplo claro de la agenda que se puede perseguir mediante el diseño de las exhibiciones es el de la Galería de Paleontología y Anatomía Comparada del Museo de Historia Natural de París, la cual fue planeada por Georges Cuvier a principios del siglo XIX (Fig. 5.15). Aunque este caso se detalla en el siguiente capítulo, basta decir que Cuvier propuso un sistema taxonómico de cuatro grandes divisiones o *embranchements*, basado en las diferencias funcionales de los organismos. Cuvier estaba en contra de las ideas transformistas de su contemporáneo Lamarck y con este sistema estableció clases completamente discontinuas de seres vivos (Caponi, 2004). Esta taxonomía de Cuvier se refleja en las prácticas curatoriales de sus exhibiciones (las cuales se pueden apreciar aun en la actualidad) por tres aspectos principales. En primer lugar el arreglo de los especímenes lo realizó de acuerdo con su función, no con su forma y por ello encontramos exhibiciones de sistemas olfativos, circulatorios, digestivos, etcétera de diversos animales. En segundo lugar, todos los especímenes mostrados en las exhibiciones corresponden a la misma clase, no mezcla reptiles con

aves, con peces o con mamíferos, para no dar lugar a ideas de relaciones de parentesco; en tercer lugar, Cuvier no deja espacio para interpretaciones evolucionistas al colocar de forma separada las especies vivas de las extintas, para que el visitante no asociara formas pasadas con aquellas recientes. Para este personaje, la evolución no podía ocurrir porque un solo cambio, por insignificante que fuera alteraría la compleja armonía del todo con sus partes y esta idea tan importante se encuentra detrás de la retórica de sus exhibiciones. La persuasión en la construcción de significado se basa, por tanto, en el acomodo de los grupos de especímenes Asma, 2000).

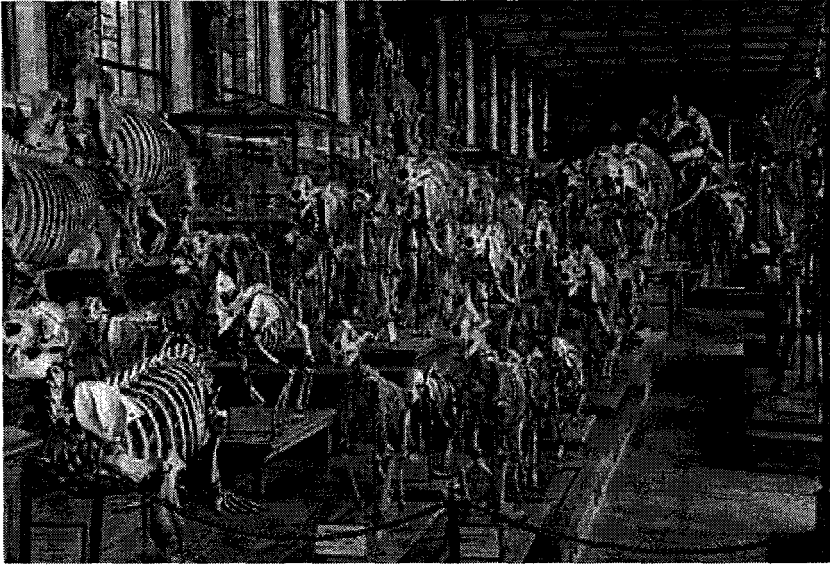


Figura 5.7. Desfile de esqueletos en la Galería de Paleontología y Anatomía Comparada del Museo de Historia Natural de París (tomada de www.shutterbug.com).

Ahora bien, en realidad cualquier museo de ciencia nos recuerda que las exposiciones tienen su propia retórica y su agenda particular. Las exhibiciones de los museos de medicina, por ejemplo, tienen como tema principal el cuerpo humano y sus patologías. No obstante, en su mayoría, estas exhibiciones nos presentan la autoridad de la ciencia médica mediante narrativas de conquistas de poder cultural y aceptación social (Fig. 5.8). La retórica es pragmática y se echa mano de numerosas estrategias para comunicar la seriedad de la medicina, su respetabilidad y su importancia como parte de la política cultural de las naciones occidentales (Jordanova, 1995). Ilustraciones de figuras médicas como símbolos de autoridad, libros y atlas profusamente ilustrados, preparaciones en alcohol y disecciones en frascos, más que mostrarnos la línea que divide la salud de la enfermedad, buscan grabar la medicina como una ciencia de prestigio, certera e importante, que carece de prejuicios sociales, dudas y distinciones de género. Pero ¿realmente es así? o existen fines políticos y económicos detrás de esta imagen de poder.



Figura 5.8. Edward Jenner, el descubridor de la vacuna contra la viruela aplicando una dosis. Jenner es uno de los médicos más representados como héroe. La razón es que durante finales del siglo XVIII y principios del XIX la medicina se percibía como caótica y necesitaba de algo que empujara su proceso de transformación en una ciencia respetable. Curiosamente, aunque existe un museo y un Instituto Edward Jenner para la investigación de vacunas, y que la mayoría de los textos lo describen como un científico brillante y el padre de la vacunación moderna, parece que dichos elogios estaban políticamente motivados, pues después de haber aplicado obligatoriamente su vacuna en Inglaterra, hubo una proliferación de la sífilis y de la misma viruela (tomada de www.franceshunter.wordpress.com).

De regreso a la construcción de significados, ya establecimos que se trata de un proceso de dos vías, representadas por la intención de los curadores —las verdades científicas que se quieren mostrar— y por las interpretaciones de los visitantes —con sus características particulares de género, edad, nivel cultural, socioeconómico, etcétera. ¿Cómo se construye el discurso visual? En la actualidad, el curador se vale de diversos métodos para comunicarse con el visitante, los cuales suelen ser más informales, menos autoritarios y con mayores posibilidades de interacción física y mental que en el pasado. Aunado a esto, cada vez se hace más evidente que hay que tomar en cuenta la diversidad de la audiencia para obtener conocimiento de los contenidos y, por tanto, a la hora de diseñar una exposición debe existir una *negociación* (Roberts, 1997).

Esta negociación entre lo que se quiere comunicar y lo que resulta significativo para el visitante, es uno de los procesos más difíciles de llevar a cabo a la hora de diseñar las exposiciones. No se trata únicamente de llamar la atención mediante exhibiciones espectaculares que brinden oportunidades de tocar montajes, manipular equipos y jugar con computadoras, pues si los conceptos en los que éstos se basan son difíciles para el visitante no se habrá logrado el objeto de la exposición.

Para lograr esta negociación se requiere entonces de una investigación sobre las audiencias, la evaluación de los contenidos y el establecimiento claro de los objetivos de aprendizaje. Sin embargo, como ya se había mencionado antes, son pocos los museos que se interesan por incorporar este tipo de investigaciones a sus procesos de desarrollo de exposiciones a pesar que cada vez se hace más evidente su importancia. Además y de manera muy importante, se debe tener presente el poder que tienen los museos a la hora de construir significados, pues éstos pueden representar cuestiones de todo tipo, éticas y morales, así como promover actitudes y sentimientos étnicos, culturales, científicos y ambientales (Roberts, 1997).

Los museos por ello son casos de estudio tan interesantes, pues pueden incidir en la vida de las personas desde diferentes ángulos. Son sitios de espectáculo y espacios

de exposición donde —como parte de la cultura de una nación— se producen representaciones, se crean versiones, se toman posiciones y se discuten puntos de vista.

A continuación se presentarán tres ejemplos de la construcción de significado en diferentes exhibiciones, la primera sobre Linneo, la segunda sobre el diseño inteligente y la tercera sobre indígenas australianos. Con ello se pretende poder mostrar el complejo proceso por el que atraviesa la planeación de una exhibición, los resultados que se obtienen en la audiencia y la agenda política subyacente a las narrativas.

En 1988 se organizó una exhibición sobre Linneo en el Jardín Botánico de Chicago intitulada 'Linnaeus: Lessons and Legacy'. El equipo encargado de la organización y el diseño estaba compuesto por seis personas con diferentes especialidades: educación, diseño, curación y ciencia. El resultado fue "un panel de ocho metros de largo que presenta las tres contribuciones más importantes de Linneo: su sistema de clasificación, su nomenclatura y su sistema de 'identificación' de especies (las enseñanzas de Linneo); un segundo panel del mismo tamaño que hace una comparación de la ciencia del pasado con la del presente (el legado de Linneo)" (Roberts, 1997). El resultado se dice fácil, pero el proceso fue un arduo camino de negociación, cuya versión final distó mucho de su concepción original. Esto se explica por las tensiones existentes entre cada uno de los miembros del equipo y la lucha por sus intereses e ideas particulares. ¿Qué es más importante, el contenido o el diseño?

Por ejemplo, para la parte de la clasificación inicialmente todos los miembros del equipo estuvieron de acuerdo en que debía ser un juego. No obstante, para el educador, el éxito de la exhibición dependía del contenido, mientras que para el diseñador y el curador, recaía en la habilidad de atraer la atención de los visitantes. Para el diseñador, el juego debía ser colorido y vistoso, en tres dimensiones e interactivo. El educador, a pesar de estar consciente de que el acercamiento pedagógico moderno implica actividades que motiven el aprendizaje activo, temía que se perdiera la intención de la exhibición en un juego que 'metafóricamente' simulara especímenes para ser clasificados⁴.

Al final, después de mucha discusión, se impuso el punto de vista del educador y el resultado fue el empleo de plantas verdaderas para lograr una demostración literal del sistema de Linneo. "Una desafortunada consecuencia de esta decisión fue que el empleo de plantas complejas en lugar de objetos más simples significó gran dificultad para diseñar el juego, lo cual amenazó con restringir la efectividad del mensaje de la exhibición" (Roberts, 1997:19). La idea de utilizar modelos coloridos en tres dimensiones se transformó en el empleo de fotografías, lo cual impidió que los visitantes manipularan los objetos. Así, el juego se transformó en la posibilidad de agrupar plantas con base en tres criterios diferentes. La participación de la audiencia se restringió a levantar etiquetas con las características de las plantas en lugar de manipular de forma activa diferentes objetos para organizarlos en grupos.

La exhibición sobre 'Indígenas Australianos', se inauguró en Sidney, Australia en 1997:

Los temas de esta exhibición: espiritualidad, herencia cultural, familia, tierra, salud, justicia y el futuro, fueron consultados con indígenas australianos después de un extenso estudio de intereses entre los visitantes del museo. La exhibición aborda temas que raramente están abiertos a discusión en la mayor parte de Australia mediante imágenes, artefactos y relatos. Destacan, por ejemplo, las extremas diferencias en estadísticas de salud entre indígenas y no indígenas y los intentos por destruir la cultura de los primeros [...] Esta exhibición se inauguró al mismo tiempo que el Parlamento australiano pasó únicamente 30 minutos discutiendo las alarmantes estadísticas reveladas por la Comisión Real de los Aborígenes acerca de

⁴ Se sabe que en los museos de ciencia que contienen muchos equipos interactivos, los visitantes disfrutaban más de jalar las palancas y apretar los botones, que de observar los efectos que producen.

las muertes de éstos —tiempo que fue incluso demasiado largo para el Primer Ministro, quien dejó la cámara durante el debate.

Estudios posteriores realizados por el museo acerca de la reacción de los visitantes, revelaron que se dieron varios tipos de actividades estimuladas por la exhibición, entre las que destacan: la compra de libros relacionados con el tema, la adquisición de artesanías aborígenes, el empleo de la información para proyectos escolares, la recomendación de la exhibición a terceros, la toma de conciencia y —quizá lo más importante— el aumento de respeto por los indígenas australianos.

Lo anterior demuestra que las exhibiciones en los museos son generadoras de cultura al construir sistemas de entendimiento social. Las metáforas y la retórica, así como el contenido y el estilo de las exhibiciones, juegan papeles pedagógicos importantes en la construcción de conocimiento y de identidades al producir potencial para el aprendizaje (Hooper-Greenhill, 2000:20).

Finalmente, el Museo de la Creación de Petersburg, Kentucky abrió sus puertas el 28 de mayo de 2007. Como la mayoría de los museos de historia natural, en él podemos encontrar exhibiciones de dinosaurios pululando por la tierra. La diferencia es que aquí podemos observar cómo los dinosaurios comparten su espacio con Adán y Eva, pues —según la biblia— todos los seres vieron la luz durante el sexto día de la creación y por lo tanto todos hemos compartido el planeta desde ese momento. Las extinciones que ha habido fueron provocadas por el diluvio universal (Figs. 5.9 y 5.10).



Figura 5.9. Humanos y dinosaurios comparten el mismo espacio en el Museo de la Creación de Kentucky, a pesar que el registro fósil indica que los dinosaurios se extinguieron unos 60 millones de años antes de la evolución de los humanos. No obstante, como los huesos no están fechados —argumentan los creacionistas— no se deben creer las locuras acerca del fechamiento radioactivo que emplean los científicos (tomada de www.creationmuseum.org).



Figura 5.10. Jardín del Edén en el Museo de la Creación de Kentucky de Kentucky, donde se muestra que los humanos y los animales vivían en pacífica armonía (tomada de www.creationmuseum.org).

Antes de que se me acuse de hacer referencia a un recinto anticientífico que no debería llamarse museo por muchas razones —no contiene datos facticos, a menos que se considere información a las especulaciones acerca de cómo Noé logró acomodar a las parejas de animales en su Arca. No ofrece observaciones novedosas acerca de la naturaleza y no tiene ningún componente de investigación, el hecho de que implícitamente propone un debate entre Dios y la bondad *vs.* Darwin y la maldad, resulta interesante y permite el análisis de la construcción de narrativas con algunos objetos en común con los museos de historia natural, aunque la historia que se cuenta resulta diametralmente opuesta.

Reproducciones de dinosaurios, fósiles, huesos, aves, anfibios, reptiles y mamíferos tienen aquí su lugar. Se brindan explicaciones acerca de sus hábitos y de su origen, lo cual es un buen ejemplo de que la construcción de significado depende del arreglo y organización de los objetos, así como del qué y cómo se produce el discurso. La ciencia es representada mediante profesores que enseñan ‘doctrinas dudosas’ como la geología, la evolución o la cosmología y durante el recorrido se le dice al visitante que la pornografía, el suicidio y el aborto han aumentado debido al nihilismo que ha provocado la evolución (Asma, 2008).

Lo que nos interesa aquí es que la narrativa de este museo está inspirada en la Biblia, en la interpretación literal del Génesis que arguye que Dios lo creó todo hace apenas 6000 años. Mediante el arreglo de colecciones de especímenes, textos, dioramas y *animatronics*; el fin que se persigue en este museo es mostrar que las conclusiones de la ciencia no son creíbles, puesto que son el producto del razonamiento humano. Lo único creíble es el libro del Génesis, pues es la palabra de Dios (Fig.5.11). “Las exhibiciones repetidamente les ruegan a los visitantes a dudar de la capacidad de explicación de las teorías científicas. Es un ‘empirismo’ diseñado para brindar a los visitantes tan solo un poco de escepticismo para dudar de la ciencia y de la cultura secular en la que están inmersos, pero no el suficiente como para dudar de su propia cultura Bíblica” (Asma, 2008).

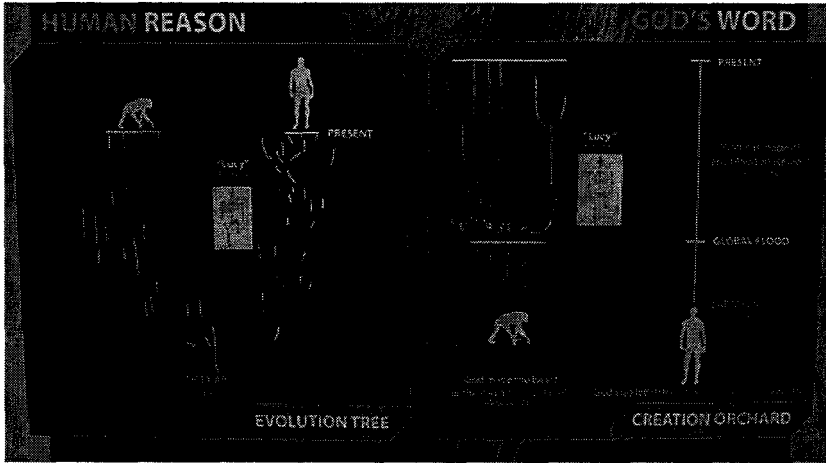


Figura.5.11. Diagrama que muestra la diferencia entre el razonamiento humano y la palabra de Dios (tomada de www.creationmuseum.org).

Este museo tiene miles de visitantes, contó para su construcción con un presupuesto de 27 millones de dólares y sus diseñadores lo comparan con cualquier museo de ciencia. Además, la encuesta más reciente (Gallup) muestra que el 41% de los estadounidenses comparte completamente los puntos de vista del *Creation Museum* y solo el 28% cree que la evolución es un hecho de la vida en la Tierra. Los demás se manifiestan confundidos (<http://www.gallup.com/poll/27847/Majority-Doubt-Theory-Evolution.aspx>).

La agenda política es clara. El fundamentalismo religioso está ganando terreno y la defensa del diseño inteligente⁵ ha alcanzado instituciones tan importantes como lo es la Corte de Justicia de Estados Unidos para que se imparta en los salones de clases. Tal es el caso de estados como Florida, Kansas, Kentucky y Oklahoma.

Entre los defensores del diseño inteligente existen algunos ‘científicos’, por lo que emplean el mismo tipo de discurso que la ciencia, es decir, falacias a la autoridad para comunicar su ideología y resultar creíbles. Su principal centro es el *Discovery Institute*, el cual brinda becas lucrativas a aquellos que están dispuestos a legitimar sus esquemas anticientíficos. Su principal interés es enseñar la ‘controversia’ que existe entre el creacionismo y la teoría de la evolución, como si existiera una variedad de explicaciones posibles para el origen de las especies y la diversidad de la vida (Fig. 5.12). Los creacionistas apelan a la libertad de pensamiento y con ello pretenden ganar terreno en la introducción del diseño inteligente en la vida religiosa, política y cultural de aquel país, así como en los *curricula* de las instituciones educativas. Lo anterior está enraizado en la extendida creencia de los estadounidenses en que el poder de decisión y el libre pensamiento implican poder escoger sobre cualquier cosa, incluso entre diferentes historias sobre el origen. “Tomar la posición de que una creencia es buena y

⁵ A pesar que los defensores del diseño inteligente (DI) tienen diferentes nombres para sus argumentos—complejidad irreducible, complejidad específica y el universo en sintonía— todos pueden reducirse a la siguiente premisa: como los organismos son tan complejos y tan perfectamente organizados, la evolución no puede explicar dicha perfección y por lo tanto algo o alguien debió diseñarlos. Incluso las variaciones genéticas que ocurrieron hace miles de años, solo pueden ser explicadas mediante la intervención de una fuerza divina. Todos estos argumentos no se sostienen bajo ninguna interrogación científica y es por ello que los defensores del DI mantienen sus campañas en sus propias revistas, en CD’s y DVD’s cristianos, así como en sitios de opinión.

valiosa porque la hemos elegido —a pesar de su contenido— puede ser un buen modelo para lidiar con los gustos particulares en cuanto a arte, música o incluso religión. Pero es una forma errónea de proceder en el dominio de la ciencia” (Asma, 2008).



Figura 5.12. Este diorama del Museo de la Creación de Kentucky, muestra los dos acercamientos posibles —que sostiene esta institución— ante el mismo fenómeno: la ciencia y la religión. Uno de los personajes sostiene una biblia, mientras que el otro un libro de paleontología. Ambos se encuentran en la misma excavación y ante el mismo dinosaurio (tomada de www.creationmuseum.org).

Hasta el momento el creacionismo ha sido exitoso. Cuenta con gran apoyo de la extrema derecha de ese país⁶ y parte de su agenda es lograr reducir el apoyo a la ciencia, así como disminuir los derechos reproductivos de las mujeres, evitar que los grupos homosexuales ganen derechos básicos y satanizar a los árabes y musulmanes para incrementar el apoyo al imperialismo militar de Estados Unidos. De hecho una de las frases célebres del presidente G. W. Bush dice así: “En el tema de la evolución, el debate sigue siendo cómo Dios creó la Tierra” (Associated Press. 2, agosto, 2005). Es por todo ello que resulta aterrizante que exista el Museo de la Creación y debería ser considerado como un foco rojo. El creacionismo no solo va en contra de la teoría de Darwin, sino de toda la ciencia moderna: geología, bioquímica, genética, astrofísica, etcétera, a pesar que las diferentes religiones son compatibles con la ciencia y con el darwinismo. Los científicos —y los políticos, sociólogos, historiadores— deben hacer hincapié en que el creacionismo es tan solo una doctrina religiosa disfrazada de ciencia y que por lo tanto se debe quedar en su campo de acción que es la iglesia.

⁶ Sarah Palin (quien hubiera sido la vicepresidenta de Estados Unidos si hubiese ganado el partido republicano en las elecciones de 2008) en una entrevista en el periódico de Alaska *Anchorage Daily News* contestó en 2002 a la siguiente pregunta:

P: La sección de educación del Partido Republicano de Alaska dice “Apoyamos que se imparta Ciencia de la Creación de manera igualitaria con otras teorías acerca del origen de la vida. Si se enseña la evolución, debe hacerse hincapié en que es sólo una teoría” ¿Por qué?

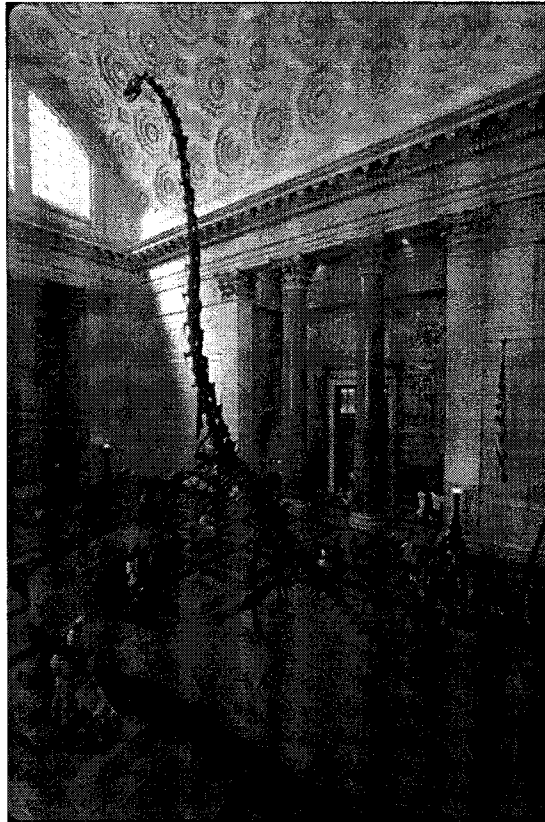
R: Apoyo este acercamiento del Partido Republicano. Creo que es sano que la sociedad se entere de los debates que existen en cuanto a las teorías científicas, así que la enseñanza por igual de la ciencia de la creación y de la evolución no debe resultar una ofensa.

Y después en 2006 dijo en la televisión durante un debate:

Enseñen las dos teorías. No hay que tener miedo de la información. El debate sano es muy importante y valioso para nuestras escuelas. Yo apoyo que se enseñen las dos.

Capítulo VI

Los grandes museos de historia natural del mundo





Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

VI. Los grandes museos de historia natural del mundo

"[There is an] immense advantage to be gained by ample space and appropriate surroundings in aiding the formation of a just idea of the beauty and interest of each specimen [...] Nothing detracts so much from the enjoyment [...] from a visit to a museum as the overcrowding of the specimens exhibited".

Sir William Henry Flower, *Essays on museums*, 1898

En el capítulo anterior se revisó lo que se encuentra subyacente a las exhibiciones. Es función del presente capítulo describir lo que hay explícitamente, es decir, los especímenes, dioramas, instalaciones y demás artefactos que se le presentan al público y que construyen una determinada narrativa.

Desde el siglo XIX los museos son las instituciones encargadas de producir el conocimiento sobre la naturaleza y los lugares más importantes para conseguir una interacción entre las ciencias y el público en general. No obstante, en el siglo XIX no se tenía una visión unificada de las disciplinas dedicadas al mundo natural —que en la actualidad conocemos como biología y geología— lo cual se reflejaba a la hora de crear y diseñar museos. En la actualidad, la evolución es el principio unificador de la biología y sin embargo, en las exhibiciones de evolución de los distintos museos de historia natural se enfatizan temas diferentes, se le da más o menos importancia a ciertos aspectos del proceso e incluso se defienden teorías diversas que se reflejan en el arreglo y organización de los especímenes.

Las exhibiciones de evolución del museo de historia natural de Berlín, del de Londres, del de Nueva York, del de la Ciudad de México y del de la Gran Galería de la Evolución de París son las protagonistas de este capítulo. Mediante la descripción de cada una de ellas se pretende establecer cuál es el tema principal que las subyace y por qué. Pero las exhibiciones no solo están determinadas por las teorías que las sostienen, muchas de ellas también lo están por la historia particular de los museos que las albergan e incluso por su arquitectura y es por ello que también se hace referencia a estos temas cuando resultan significativos para el resultado de las exhibiciones.

6.1 Museo Británico de Historia Natural de Londres

British Natural History Museum

La creación del Museo Británico de Historia Natural de Londres es una muestra de la tensión que puede haber entre la idea de un museo como un lugar de exhibición, educación y entretenimiento y un centro de investigación científica (Yanni, 2005).

6.1.1 Origen e historia breve

Sir Hans Sloan (1660-1753) fue un personaje crucial para el nacimiento del Museo Británico de Historia Natural. Aunque no fue uno de los fundadores directos de dicha institución, sus colecciones fueron el catalizador de la fundación del Museo Británico primero en 1753, posteriormente del Museo Británico de Historia Natural en 1881 y finalmente del Museo de Historia Natural en 1992.

Como muchos grandes hombres del siglo XVIII, Sir Hans Sloan sentía gran deseo por identificar y clasificar las obras de la naturaleza y por tener ejemplos de cada una de ellas en sus propios gabinetes. Fue así como logró conseguir una colección notable de especímenes, así como de antigüedades de todo tipo —monedas, medallas, pinturas, grabados, etcétera— que además de llenar todos los rincones de su casa, se expandieron a la casa vecina en el barrio de Bloomsbury en Londres (Fig. 6.1).

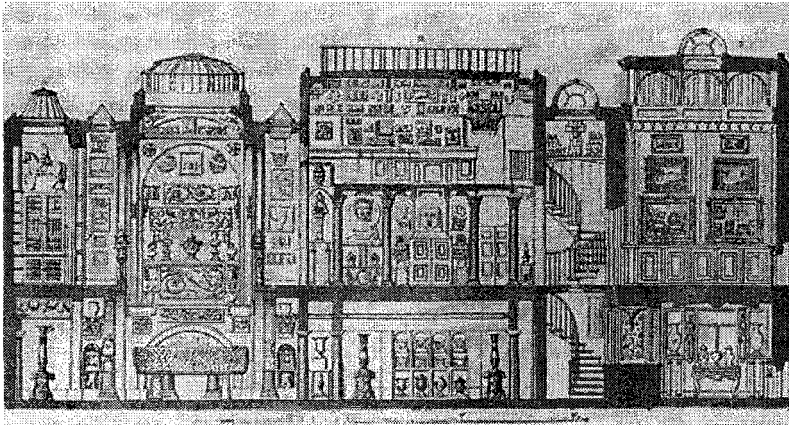


Figura 6.1. Boceto del Museo de Sloan, 1827 (tomada de Yanni, 2005).

En el siglo XVIII existían pocos museos públicos, pero Sloan permitía el acceso a sus colecciones; para 1710 eran una de las principales atracciones de Londres, las cuales fueron incluso visitadas por Linneo en 1736.

Sloan murió en enero de 1753 y en su extenso testamento indicó que deseaba que sus colecciones permanecieran juntas. Para lograrlo nombró a varios representantes para que hicieran lo posible por vendérselas al Rey Jorge II por la suma de £ 20,000. Si fallaban, debían ofrecerlas a la Real Sociedad, a la Universidad de Oxford, al Colegio de Cirujanos de Edimburgo y como último recurso a distintas academias extranjeras. En el peor de los casos, si ninguna institución sentía interés por ellas, las debían desmembrar y colocar poco a poco.

Fue así como la inmensa colección de Sloan pasó a manos del Rey y junto con las colecciones de la librería Cotton y los manuscritos Harleian se estableció el Museo Británico en ese mismo año (1753), en la casa Montagu en Bloomsbury (Fig. 6.2); se abrieron sus puertas al público seis años después. Según la cámara de representantes

el objetivo de este Museo era “servir no solo para la inspección y el entretenimiento de los eruditos y los curiosos, sino para el beneficio y uso general del público” (Thackray & Press, 2001).

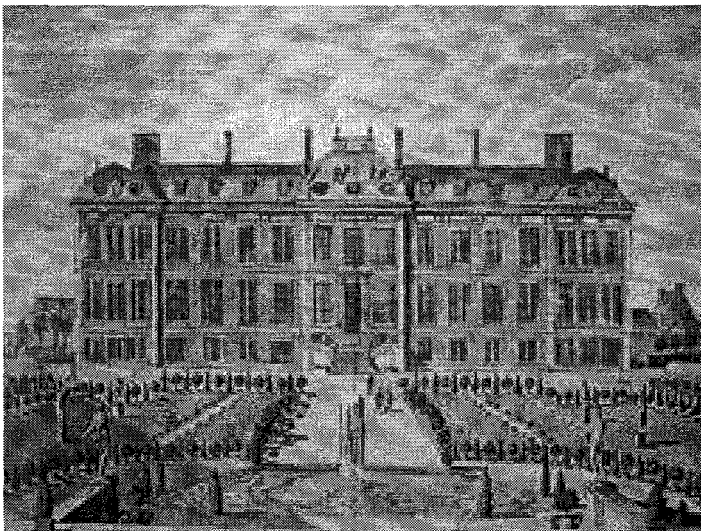


Figura 6.2. Montagu House, era una mansión del siglo XVII, localizada en la calle Great Russell en el barrio de Bloomsbury en Londres. Fue sede del primer Museo Británico (tomada de Yanni, 2005).

Este primer Museo en realidad era un gran gabinete de curiosidades, en cuya entrada se recibía a los visitantes con un esqueleto de un pez unicornio, seguido por salas repletas de cristales, mármoles, gemas y otras piedras preciosas; además de fósiles, huesos, dientes, esqueletos, insectos, y otros objetos.

Poco tiempo después comenzaron a llegar donaciones, como la de Sir William Hamilton de minerales y rocas del Vesuvio en 1768, las colecciones de los viajes del Capitán Cook en 1773, la colección de rarezas de la Real Sociedad en 1781, los tesoros egipcios confiscados a los franceses —incluida la piedra Rosetta— en 1801, la gran colección de minerales de Charles Greville en 1810 o los mármoles del Partenón en 1816 (Thackray & Press, 2001). Fue así como se añadieron miles de objetos y especímenes a los gabinetes del museo y pronto comenzó a resultar difícil mantener un orden y clasificar y nombrar cada uno de ellos. Durante ese tiempo las especies por clasificar aumentaron de cientos a miles y por ello (entre otras cosas) los jardines botánicos, los gabinetes de historia natural y los grandes museos se convirtieron en los centros de estudio taxonómico.

Para el siglo XIX, Inglaterra se había constituido en el imperio más poderoso del mundo. Habían derrotado a los franceses y españoles en la batalla de Trafalgar y se habían coronado como los reyes de los mares. Sin embargo, “el único lugar donde el crecimiento del Imperio Británico estaba fuera de control era en las instituciones zoológicas” (Voss, 2007:6).

Inglaterra poseía la colección más grande de especímenes del mundo. Su rival más cercano, el Museo de Historia Natural de París, hace tiempo que había sido dejado muy atrás y Londres era ahora la ‘Meca’ de los naturalistas. Por ello, para 1807 las colecciones de Historia Natural se colocaron separadamente en el “Departamento de

Historia Natural y Curiosidades Modernas” y por primera vez se comenzó a pensar en la necesidad de un nuevo edificio.

En 1823 se comenzó la construcción de las nuevas instalaciones del Museo Británico, también en el barrio londinense de Bloomsbury y durante las décadas de 1830 y 1840 se trasladaron las diversas colecciones. Una vez abiertas sus puertas, las galerías del Museo que resultaron más exitosas fueron aquellas de historia natural, pues la gente prefería leones y tigres disecados sobre cerámicas y estatuas. En 1851 más de dos millones de visitantes acudieron a sus salas, atraídos por la Gran Exhibición (Fig. 6.3).



Figura 6.3. Gran Exhibición, Londres 1851 (tomada de www.gallery.nen.gov.uk).

¿Qué había que ver en las colecciones de historia natural del Museo Británico?

Un visitante en 1851 habría comenzado a subir por la gran escalera para comenzar la visita. Primero se habría encontrado las tres salas de zoología con antílopes disecados, cabras y ovejas, elefantes y rinocerontes, gorilas y orangutanes y casi escondidos de la vista en los contenedores más altos, las marsopas, los delfines y las focas. Después, girando a la izquierda, hacia la esquina sureste del edificio, se habría encontrado la Galería Zoológica del Este, la cual contenía 166 vitrinas verticales con aves, incluyendo el famoso Dodo y 49 vitrinas horizontales llenas de conchas y moluscos. Una vuelta a la izquierda lo habría conducido a la Galería Zoológica del Norte donde una serie de cuartos mostraban reptiles, anfibios, peces, diferentes invertebrados y una sala dedicada exclusivamente a los animales de la Gran Bretaña. Posteriormente el visitante podía desplazarse hacia el norte para observar la colección de minerales, exhibida en orden sistemático en 60 vitrinas. Por último se encontraban los seis cuartos de fósiles, en los cuales se exhibían los restos de un ictiosaurio, un plesiosaurio, un mamut y un mastodonte, así como numerosos amonites, trilobites y otros monstruos extintos (Fig.6.4) (Thackray & Press, 2001:48).

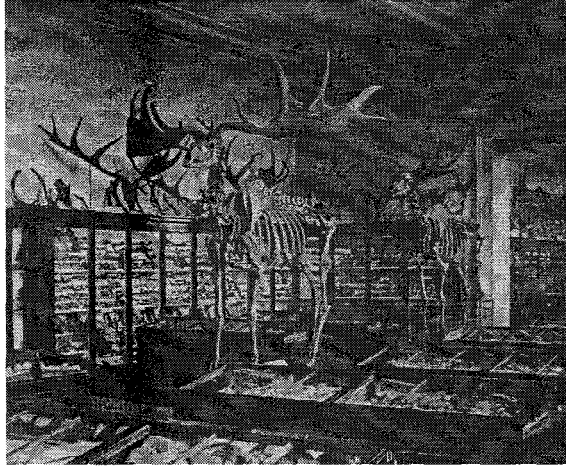


Figura 6.4. Galería de los mamíferos fósiles. Museo Británico, 1875. Hoy ocupada por las antigüedades de Egipto (tomada del catálogo histórico del Museo Británico de Historia Natural, 2009).

Hacia mediados del siglo XIX, Richard Owen era uno de los más distinguidos anatomistas del Imperio Británico y una autoridad en el diseño de museos pues había supervisado la creación del museo del Colegio Real de Cirujanos (Fig. 6.5).



Figura 6.5. Richard Owen sosteniendo un hueso de la pata de un Moa gigante (tomada de www.nzbirds.com).

Conocido por sus reconstrucciones de animales extintos y por acuñar el término 'dinosaurio', Owen se convirtió en el superintendente de los departamentos de historia natural del Museo Británico en 1856, los cuales incluían botánica, geología, mineralogía y zoología. Hasta esta fecha prevalecía la tendencia de mostrar los tres reinos de la naturaleza según Linnaeus: Mineral, Vegetal y Animal; con los distintos tipos de almas según Aristóteles (Llorente, comunicación personal).

La principal contribución de Owen, fue la de luchar por un espacio separado para las colecciones de Historia Natural, es decir, por un museo dedicado exclusivamente a la conservación de éstas. Sin embargo, no era el único pues Thomas H. Huxley y otros ocho científicos importantes, entre ellos Charles Darwin habían escrito una petición en 1858 para que las colecciones zoológicas del Museo Británico se dividieran en dos partes, una de las cuales se destinaría a los hombres de ciencia y se colocaría cerca del zoológico y otra que sería para el público en general y se trasladaría al centro cultural de Londres que en aquel entonces era South Kensington (Yanni, 2005).

Por un lado, Owen sostenía que el propósito de un museo de historia natural debía ser el de mostrar la grandeza de la obra de Dios. Defendía que todos los especímenes debían ser de acceso público, puesto que resultaba necesario brindar una perspectiva completa de la naturaleza y que nada debía ser reservado para uso exclusivamente científico. "Owen, quien se preocupaba por la teología natural, por el fervor nacionalista y por su propio ego, quería mostrarlo todo" (Yanni, 2005:149).

La siguiente figura muestra la visión de Owen para la construcción de un museo que albergara las colecciones de historia natural. En primer lugar consideraba que debía de haber una sala inmensa a la entrada que sirviera como centro de introducción para los visitantes a las diferentes ramas del conocimiento natural. Las colecciones debían ser acomodadas de forma perpendicular a la fachada con los mamíferos más cerca del centro y las criaturas menos complejas hacia los extremos. Además, las exposiciones debían dividirse en especies vivas y extintas en los lados opuestos del centro, remarcando la división entre biología y paleontología (Fig. 6.6).

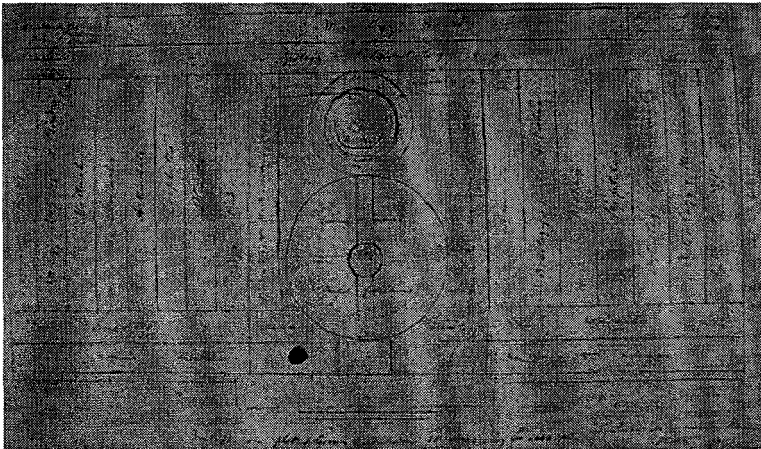


Figura 6.6. Plano del Museo de Historia Natural de Owen, 1859 (tomada de Thackaray & Press, 2001).

En contraste, Huxley abogaba por un museo simple y claro, dedicado a la educación de la clase trabajadora. Para ello, en ese museo se debían elegir cuidadosamente los especímenes de las exhibiciones para no agobiar ni confundir a la audiencia, pues cada exhibición debía abordar un tema científico. Todos aquellos

especímenes no mostrados en el museo debían ser de uso científico y localizarse en una institución diferente.

Así tenemos las ideas encontradas de dos de los más grandes naturalistas del siglo XIX en Inglaterra, quienes se encontraban librando una batalla para diseñar el Museo de Historia Natural de South Kensington. No obstante, debido a su tenaz carácter, ésta institución debe su existencia a Richard Owen (Thackray & Press, 2001:50).

El diseño de este nuevo edificio comenzó a ejecutarse en 1870 a cargo de Alfred Waterhouse, quien se inspiró en las catedrales germánicas para darle forma a este 'templo' de la naturaleza, con sus curiosos animales prehistóricos que pululan por el techo o los monos que trepan por sus columnas, todos ellos observados por gárgolas de animales vivos y extintos. "Estos adornos reflejan el plan de Owen de dividir rigurosamente las exposiciones del museo entre pasado y presente, con los seres vivos ubicados en la parte oeste, mientras que los fósiles, rocas y minerales se situarían en la parte este" (Natural History Museum Guide:5).

El edificio se construyó durante toda la década de 1870, en los terrenos que le habían pertenecido al edificio de la Exhibición de 1862, sede de la segunda feria mundial en South Kensington y se terminó a mediados de 1880, siendo los departamentos de Mineralogía, Botánica y Geología los primeros en trasladarse desde Bloomsbury (Fig. 6.7).

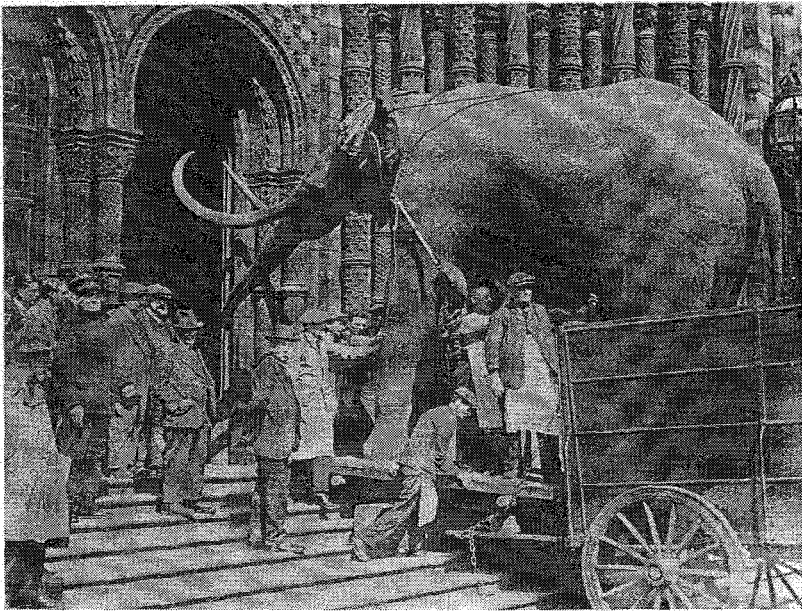


Figura 6.7. El departamento de zoología fue el último en trasladarse a las nuevas instalaciones de South Kensington (tomada del catálogo histórico del Museo Británico de Historia Natural, 2009).

Algo interesante es que desde la concepción, hasta el diseño y la elección de los especímenes a exhibirse, fue obra de Richard Owen y su visión particular de la naturaleza. Owen estaba en desacuerdo con la teoría de la evolución propuesta por Darwin y esto se apreciaba en la disposición y concepción de las salas del museo, las cuales parecían obsoletas incluso a fines del siglo XIX (Thackray & Press, 2001). Tanto la división de la ornamentación, como la planeación enciclopédica del museo, eran

manifestaciones físicas de conceptos científicos que habían dejado de tener sustento a partir de la teoría de la evolución de Darwin. Cuando Owen se jubiló en 1883, el *Times* escribió “Es posible que al tratar con las cuestiones que sorprenden y dividen a los biólogos, el Profesor Owen, quien resulta ser un naturalista de la época predarwinista, sea considerado por sus contemporáneos como obsoleto” (*The Times*, 1881).

El sucesor de Owen resultó ser William Henry Flower, un colega y amigo de T. H. Huxley, con lo cual, rápidamente comenzaron los rearrreglos del museo según las ideas de éste. Sin embargo, la arquitectura del museo complicó la introducción de las ideas evolucionistas y no hubo nada que se pudiera hacer con la división de la fachada entre biología y paleontología, reforzada por la separación de especies vivas y extintas en lados opuestos del museo (Yanni, 2005).

Así, desde 1881, este inmenso edificio de terracota (Fig. 6.8) alberga las ricas e inmensas colecciones de historia natural de Gran Bretaña, que incluyen el material recolectado por personajes como Charles Darwin, Alfred Russel Wallace y John Gould. Aproximadamente 70 millones de especímenes se encuentran tanto a la vista, como en los varios kilómetros de estanterías apiladas de sus almacenes que guardan desde animales microscópicos conservados en alcohol hasta calamares gigantes y cráneos de ballenas de más de tres metros de longitud.



Figura 6.8. Fachada de terracota del Natural History Museum de Londres en South Kensington (tomada de www.wikiwak.com).

También en posesión del Museo de Historia Natural de Londres encontramos casi la mitad (850,000) de los especímenes tipo¹ principales del mundo (holotipos,

¹ En biología, un tipo es un ejemplar de una especie dada sobre el que se ha realizado la descripción de la misma y que de ese modo, válida la publicación del nombre científico basado en él. Existen varias clases de tipo: los **holotipos** son los especímenes empleados para dar la nomenclatura a la especie; el **isotipo** es un duplicado del holotipo que forma parte de la colección zoológica o botánica; el **lectotipo** es un espécimen o elemento seleccionado a partir de material original para servir como tipo nomenclatural cuando no fue asignado un holotipo con la publicación o por pérdida del mismo; el **sintipo** es uno de los especímenes citados originalmente por el autor que no designó holotipo o que ha enumerado simultáneamente varios ejemplares como tipos y el **neotipo**: es un espécimen o cualquier otro elemento elegido para servir de tipo nomenclatural cuando falta todo el material sobre el cual está basado el nombre del taxón.

neotipos, lectotipos). Estas colecciones son objeto de estudio de más de 350 investigadores que trabajan en dichas instalaciones (British Natural History Museum Guide, 2007).

6.1.2 El tema de la Evolución y la cultura de representación

A pesar que Inglaterra fue la cuna de la teoría de la evolución por selección natural y que uno de sus personajes más importantes es Charles Darwin —quien incluso está presente en los billetes de £20— el Museo de Historia Natural de Londres no le dedica mucho espacio a ninguno. Antes de 2004, en el primer piso existía una exposición sobre el *Origen de las Especies*, en la cual Darwin era el centro de atención y el eje de las exhibiciones: un diorama de su estudio, a partir del cual se introducía al visitante a su revolucionario libro y diez secciones dedicadas a sus ideas, tales como la importancia de la selección doméstica, qué es una especie, el argumento de Darwin y la selección natural en acción. En ningún lugar se abordaban las ideas evolucionistas anteriores a Darwin y el tema subyacente a la exposición era la selección natural y la producción de adaptaciones, aunque una cédula al final advertía que existen otros mecanismos importantes como las mutaciones genéticas.

Esta galería fue clausurada en 2004, dejando solo una pequeña vitrina con la foto de Darwin, así como algunos datos. Sorprendentemente la única otra sección que aborda el tema de la evolución es una pequeña exposición intitulada ‘nuestro lugar en la evolución’, que deja mucho que desear. Este espacio muestra la evidencia fósil sobre los orígenes del ser humano, la migración de los primeros grupos de homínidos hacia Europa y Asia, el ‘choque’ entre humanos modernos y neandertales y numerosos árboles genealógicos que reflejan las diversas hipótesis que existen acerca de nuestro origen.

La práctica curatorial de esta exhibición es escasa y no refleja de manera alguna el cambio en el enfoque hacia las exhibiciones que mantienen la mayoría de los otros museos. Quizá uno de los primeros cambios importantes que sufrieron los museos ocurrió a principios del siglo XX, cuando se volvió importante que los descubrimientos científicos fueran accesibles al público en general. Esto llevó a un cambio en la museografía, pues el factor del ‘entretenimiento’ se comenzó a introducir en la mente de los curadores. Así fue como los dioramas empezaron a mostrar aspectos ecológicos y a tener un papel estelar; las exhibiciones se transformaron en una especie de libros de texto tridimensionales. No obstante, la excitación por los dioramas cedió y como resultado el diseño de las exhibiciones sufrió otro cambio. Los objetos originales se fueron reemplazando paulatinamente por modelos y, en la actualidad, los museos echan mano de gran variedad de herramientas y tecnologías —además de los especímenes originales que siguen siendo de vital importancia— tales como interactivos, monitores de televisión, películas, pantallas que reaccionan al tacto, y otros más.

En *Nuestro lugar en la evolución* (Fig. 6.9) no se aprecia esta preocupación por evitar la imagen del museo como obsoleto y aburrido, pues fuera de cédulas y diagramas explicativos, no hay mucho más. Pareciera como si el tema no fuera lo suficientemente importante como para dedicarle un mayor espacio y una museografía más actual como hicieron en las galerías de ecología, de invertebrados o por supuesto, en la dedicada a los dinosaurios. Además, las exhibiciones se han vuelto obsoletas ante el vertiginoso desarrollo de áreas tales como arquitectura, comunicación, artes visuales y otras más, cuyos resultados son esperados muchas veces por la audiencia.

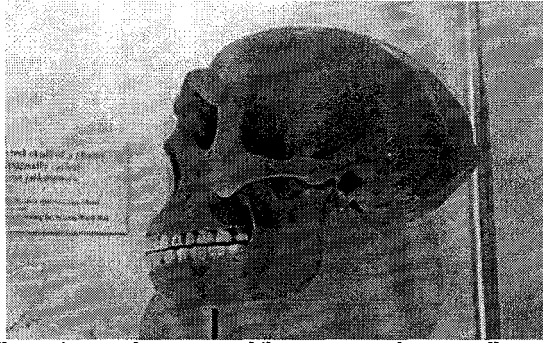


Figura 6.9. Fósiles, cráneos y huesos se exhiben en esta sala y con ellos se relata la posible historia del origen del hombre (foto de la autora).

Por último, es importante mencionar que además de la sorpresa por no encontrar una sala de evolución consistente y completa en este museo, que es uno de los más importantes del mundo, llama la atención que la estatua de Darwin que antes fuera colocada en el descanso de las escaleras del 'Gran salón', se encuentre ahora relegada a la cafetería.

6.2 Museo de Historia Natural de Berlín

Berlin Museum für Naturkunde

6.2.1 Origen e historia breve

La historia del *Museum für Naturkunde* de Berlín es interesante, pues está marcada por muchos de los incidentes ocurridos en Alemania durante los últimos 200 años, como la mayor parte de sus instituciones. Este museo es el edificio central de lo que fuera un ensamble arquitectónico construido entre 1885 y 1889 por el arquitecto August Tiede (Fig. 6.10) y surgió por la unión de tres museos separados que fueron establecidos durante la fundación de la Universidad de Berlín en 1810: el museo de anatomía y zootomía, el museo de mineralogía y el museo de zoología.



Figura 6.10. Fachada del *Museum für Naturkunde* en Berlín (tomada de www.dumontreise.com).

La fundación de las colecciones zoológicas comenzó con la donación de los especímenes del Conde Johann Centurias von Hoffmannsegg, así como por las aves recolectadas por el explorador de Liberia, Peter Simon Pallas. En cuanto al museo de mineralogía, éste contenía tesoros que incluían hallazgos paleontológicos de diversos expedicionarios entre los que destaca Alexander von Humboldt. En contraste, el museo de anatomía y zootomía era un recinto dedicado primordialmente a la investigación y debe su fama a médicos y zoólogos de la talla de K. A. Rudolphi, Johannes Müller, Ernst Haeckel y Robert Virchow.

Desde sus inicios, las colecciones se mantuvieron abiertas al público. Alrededor del año 1880, éstas ocupaban dos terceras partes del edificio principal de la universidad, pues ya desde 1875 el inventario de objetos zoológicos se estimaba en unos 600,000 especímenes. Esto quiere decir que los objetos llenaban buena parte de los corredores y salones de la universidad y habían comenzado a impedir tanto la investigación científica como la visita del público. Fue por ello que se decidió construir un museo especial para las diversas colecciones. Este nuevo edificio fue inaugurado por el emperador Wilhelm II el 2 de diciembre de 1889 en Invalidenstraße, donde se encuentra el Museo de Historia Natural desde entonces (Fig. 6.11).

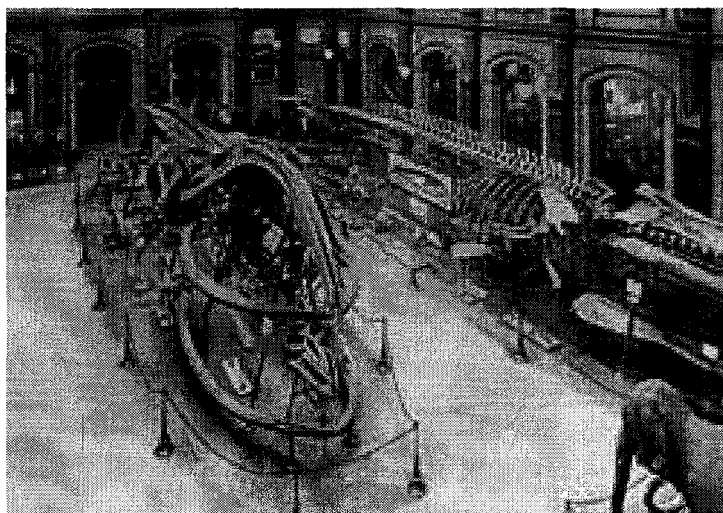


Figura 6.11. Vista de las colecciones en el nuevo edificio de Invalidenstraße (tomada de Glaubrecht *et al.*, 2008).

No obstante, las adiciones más importantes ocurrieron entre 1875 y 1910, debido a las grandes expediciones y a numerosas donaciones. Las expediciones más importantes de aquella época fueron la del *SMS Gazelle*, la expedición del plancton del *SMS National*; las exploraciones del mar profundo por el *SMS Valdivia* y la expedición al Tendaguru en África, que le valió al museo la obtención de numerosos esqueletos de dinosaurios (250 toneladas) entre los que se encuentra el brontosaurio más grande del mundo (Fig. 6.12).

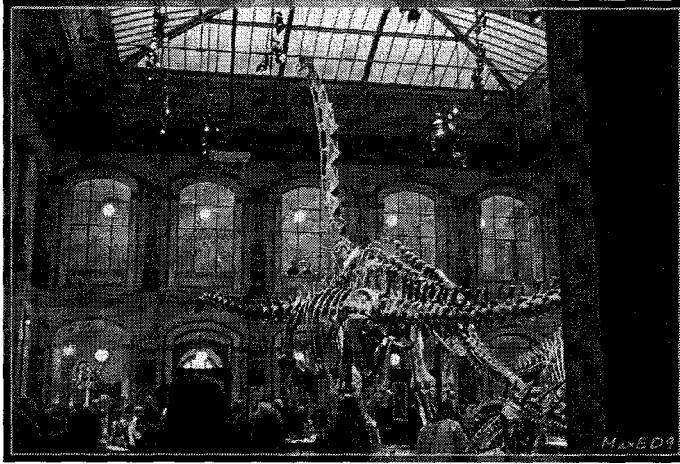


Figura 6.12. El Museum für Naturkunde tiene en exhibición el esqueleto del dinosaurio más grande del mundo (tomada de [www. blog.max-fun.de](http://www.blog.max-fun.de)).

Por otro lado, a partir de 1889, el museo tuvo que comenzar a lidiar con una enorme cantidad de objetos traídos a Berlín de las diversas colonias alemanas. En 1905 el museo realizó una adquisición fundamental: la colección de mariposas más grande del mundo, en aquel entonces, de Otto Staudinger. Así, el tamaño de las colecciones zoológicas se incrementó dramáticamente y comenzó a requerir de mayor espacio. Por ello se añadió una sala de cinco secciones al edificio original durante el lapso de 1914-1917.

La Segunda Guerra Mundial significó una catástrofe para el museo, pues el 3 de febrero de 1945 la sala Oriente fue destruida por un bombardeo, mientras que otras secciones del museo fueron severamente dañadas. No obstante la destrucción de la sala de los grandes mamíferos y de las ballenas, afortunadamente la mayoría de las colecciones permanecieron resguardadas y a salvo.

En cuanto terminó la guerra comenzó la reconstrucción del museo, lo cual fue un proceso difícil y por ello fue que las exhibiciones no sufrieron cambios ni fueron modernizadas sino hasta la década de los sesenta. A pesar de todo, las colecciones siguieron en aumento gracias a diversas donaciones y a nuevas expediciones a países como Cuba, Mongolia y la entonces Unión Soviética.

Finalmente, el Museo de Historia Natural fue reorganizado después de la caída del muro y de la reunificación alemana, dividiéndolo en tres institutos: el Instituto de Sistemática Zoológica, el Instituto de Paleontología y el Instituto de Mineralogía. En 1992 los techos y parte de la fachada fueron renovados y se construyeron laboratorios modernos para cada uno de los institutos. En dicha fachada de estilo barroco y renacentista se pueden observar las esculturas de dos personajes importantes de la ciencia alemana, que representan las disciplinas que se exhiben en el museo: Johannes Müller (zoología y anatomía) y Leopold von Buch (geología). Al centro se encuentra el retrato de Alexander von Humboldt.

En agosto de 2003 la exposición 'Preparaciones' (Fig. 6.13) —en la cual el visitante se puede dar una idea del trabajo de la taxidermia, de la construcción de dioramas y de la fabricación de especímenes de diversos materiales, fue abierta al público como parte de las exhibiciones permanentes. Al mismo tiempo se creó el 'Exploratorium de Humboldt', para que los visitantes más pequeños puedan familiarizarse con el trabajo científico y realizar algunos experimentos propios con ayuda de científicos y educadores.



Figura 6.13. En la exhibición ‘preparaciones’ se muestran las diferentes técnicas de montaje y presentación de especímenes (tomada de www.naturkundemuseum-berlin.de).

Para 2006 los institutos fueron disueltos y en su lugar se crearon tres departamentos: de Investigación, de Colecciones y de Exhibiciones y Educación. Para finales de ese año se comenzó la reconstrucción del ala este que fue bombardeada; la última adición del museo fue la exposición ‘Evolución en acción’ como parte de sus exhibiciones permanentes, la cual fue abierta al público en julio de 2007.

El museo en la actualidad es un importante centro de investigación que cuenta con una colección de 30 millones de especímenes, entre los que destacan miles de ejemplares tipo. Estos especímenes son resultado de las grandes expediciones realizadas por naturalistas alemanes, como aquella al Tendaguru en el Oriente de África, que resultó en el descubrimiento de numerosos restos de dinosaurios, las expediciones del mar profundo del *Valdivia* o las de Alexander von Humboldt.

Recientemente, este Museo atravesó por un gran proceso de renovación y abrió sus puertas nuevamente al público en julio de 2007, con diversas exhibiciones completamente nuevas que presentan las últimas teorías científicas acerca de la interacción de nuestro planeta con la vida que en él habita.

6.2.2 El tema de la Evolución y la cultura de representación

Entre las nuevas exhibiciones se encuentra la galería de acceso, que es una muestra de la gran diversidad de animales que existieron alguna vez en nuestro planeta. Un desfile sorprendente de esqueletos de dinosaurios de la expedición de Tendaguru da la bienvenida al visitante, quien con asombro puede observar el gran esqueleto de *Brachiosaurus branquiai*, que resulta el más grande jamás exhibido (13.27m). Sin embargo, a diferencia del Museo de Historia Natural de Londres que tiene una exhibición tipo Jurassic Park, en Berlín no se presenta una imagen fantástica de estos animales, sino las conclusiones a las que han llegado los científicos mediante los huesos y huellas fosilizados. Un ejemplo de esto es que no es casualidad que *Brachiosaurus brancai* no se encuentre más con la cola y el cuello en el suelo como solía estar, sino que ahora lo vemos erguido y con la cola en el aire, puesto que los últimos descubrimientos han mostrado tanto su posición correcta, como las características ecológicas en las que se desempeñaba.

Además, en esta sala se puede observar una gran muestra de fósiles originales, entre los que destaca el del ave prehistórica *Archaeopteryx lithographica*, que es un ícono de la evolución y cuyo original se exhibe por primera vez en la historia. Hay también numerosos fósiles de amonites, de peces prehistóricos y de invertebrados marinos. Alrededor de esta sala, numerosas vitrinas con cédulas explicativas —la mayoría interactivas— permiten conocer las relaciones de parentesco entre las

diferentes especies de dinosaurios y saber más acerca de los procesos de fosilización y de tipos de vida que se hallan hoy extintos, así como diversas referencias a las ideas evolutivas de Darwin.

En cada una de las salas de este museo, se deja claro que la teoría de la evolución es la idea más revolucionaria de la Biología y que ninguna otra ha tenido una influencia comparable en el pensamiento humano. Es por ello que aunque en casi todo el museo se hace referencia al origen y a la genealogía de los organismos, se construyó una exhibición permanente titulada 'Evolución en acción', que muestra la evidencia que sustenta a la evolución como un fundamento de la vida en la Tierra.

En cuanto uno accede a esta sala se introduce en la penumbra. La primera cédula que nos da la bienvenida tiene de fondo el árbol de Darwin de 1837 (*I think*) y dice lo siguiente:

Evolución en acción. Por millones de años los procesos evolutivos han producido nuevas formas de vida, nuevos hábitats y una sorprendente diversidad de animales y plantas. ¿De dónde venimos?, ¿cómo llegamos a ser lo que somos?, y ¿cómo estamos relacionados con los millones de otros organismos que habitan la Tierra? Son preguntas que actualmente pueden ser respondidas mediante la Teoría de la Evolución. La idea de un origen común de toda la vida y de su desarrollo a lo largo de millones de años proviene del naturalista inglés Charles Darwin (1809-1882). De acuerdo con su teoría, los ingredientes principales de la evolución son los cambios pequeños que ocurren en todos los organismos y profundos lapsos de tiempo. La teoría de Darwin del cambio evolutivo a través de mutaciones genéticas, selección natural y sexual, así como de adaptaciones, ha sido sólidamente confirmada por un gran cuerpo de evidencia. No obstante, la teoría original ha sufrido añadidos y modificaciones que la han expandido, para lo cual este museo también ha contribuido.

Después de la lectura anterior, nos encontramos de frente con un inmenso montaje que busca mostrar la riqueza de organismos que habitan en nuestro planeta (Fig. 6.14). Perezosos disecados, pintorescas aves de todos tamaños, reptiles y crustáceos, así como insectos montados y frascos de alcohol con invertebrados marinos, nos dan una imagen fascinante de la biodiversidad del reino animal.



Figura 6.14. Exhibición que muestra 'la diversidad de la vida' (foto de la autora).

Un sorprendente árbol evolutivo nos recibe justo detrás (Fig. 6.15). En ningún otro museo hay una exhibición de este tipo. Este árbol se presenta en una pantalla de aproximadamente 1.5x2m y representa toda la biodiversidad presente en nuestro planeta descrita hasta el día de hoy y de la cual se conoce la filogenia. Al ser interactivo, las miles de ramas se encuentran en movimiento continuo hasta que el visitante toca una de ellas. En tal caso, se despliegan diferentes niveles de información, comenzando por la fotografía del organismo en cuestión, su lugar en la clasificación e información ecológica, entre otros aspectos.

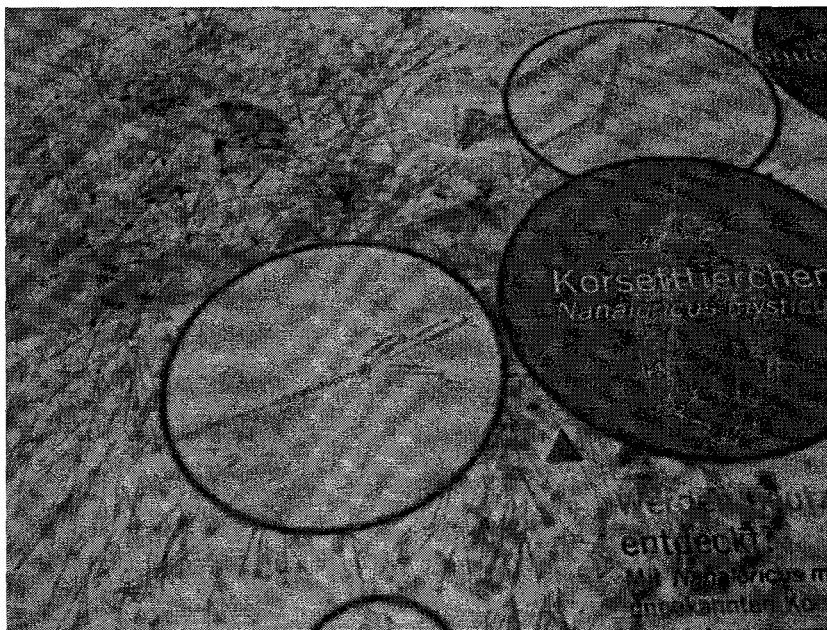


Figura 6.15. Árbol evolutivo interactivo que representa la filogenia conocida de las especies descritas hasta hoy (foto de la autora).

Una cédula en la pared explica al visitante lo que se busca representar con la intrincada colección de líneas que se desplazan continuamente frente a él:

El 'Árbol de la Vida' representa la gran diversidad de organismos sobre la Tierra en el orden natural de sus relaciones evolutivas. Basado en los datos del 'Tree of Life Project' (www.tolweb.org/tree), que es un proyecto de internet que busca recopilar información acerca de la biodiversidad, este árbol muestra el estado del conocimiento actual acerca de la historia evolutiva de todos los organismos. Ejemplos selectos del reino animal te pueden dar una idea más precisa sobre los eventos evolutivos que han acontecido en nuestro planeta. Toca el animal de tu preferencia y síguelo a través de las ramas del árbol.

Y posteriormente en la pantalla se lee lo siguiente:

El 'árbol de la vida' como lo conocemos en la actualidad, sólo representa uno de los posibles caminos de la evolución. Debido a la compleja interacción de diversos

factores, el curso de la evolución siempre es impredecible. Si la evolución comenzara otra vez desde el principio, este árbol filogenético luciría muy diferente.

Con lo cual se comunica al visitante la noción de que todos los organismos estamos relacionados así seamos en apariencia muy diferentes. Lo curioso es que a pesar de ser un árbol en apariencia complicado, los curadores dejaron mucho a la intuición del visitante. No obstante, basta aventurarse a tocar la pantalla, para comenzar a entender de qué se trata la exhibición y debido a que tiene diferentes niveles de información —fotografías, diagramas y texto— está dirigido a cualquier audiencia.

En este mismo espacio, se aborda un poco de historia de la biología y de la teoría de la evolución, pero sin profundizar demasiado. Los personajes principales de esta sección son Linneo y Darwin, quienes están representados por bustos de mármol y nos invitan a escuchar acerca de sus descubrimientos más importantes. En este montaje interactivo, la idea es que el visitante coloque sus brazos a los lados de cada uno de los bustos para activar una voz que comienza a explicar ya sea el sistema de clasificación y la nomenclatura binomial del primero o la formulación de la teoría de la evolución del segundo.

Algo interesante de esta moderna exhibición es que emplea las colecciones de especímenes originales, tales como animales disecados, preparaciones en alcohol, huesos, moluscos o insectos, junto con los montajes diseñados especialmente. Esto nos muestra que las colecciones son cuerpos de naturaleza promiscua, pues pueden emplearse para diferentes fines dependiendo del contexto en el que se utilicen y de la idea que explica su organización. Por ejemplo, las preparaciones en alcohol de seres monstruosos pudieron ser empleadas en otros tiempos para mostrar las aberraciones de la naturaleza, mientras que en la actualidad se utilizan para ejemplificar el mecanismo más importante de cambio evolutivo: las mutaciones (Fig. 6.16). Igualmente, las grandes colecciones de amonites que antaño resultarían en curiosidades extintas, hoy nos muestran las grandes transformaciones que han sufrido los seres vivos a lo largo del tiempo (Fig. 6.17). Los numerosos moluscos e insectos son empleados para explicar el concepto de variación, mientras que las osamentas y otros animales disecados el poder de la selección sexual; los esqueletos completos resultaron ideales para un montaje novedoso sobre homologías (Fig. 6.18) y diferentes aves para comunicar el concepto de variación geográfica y polimorfismo (Fig. 6.19).

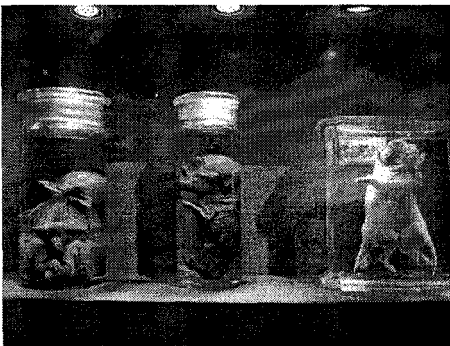


Figura 6.16. Exhibición sobre mutaciones.

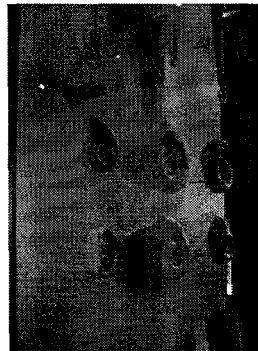


Figura 6.17. Grandes transformaciones.



Figura 6.18. Exhibición sobre Homologías



Figura 6.19. Variación geográfica y polimorfismo.

(Fotos de la autora)

Por otro lado, la mayoría de los montajes están ingeniosamente colocados en vitrinas de vidrio por lo que parece que estuvieran flotando, efecto que se ve realzado por la falta de luz. Las cédulas de sección son más amplias y se encuentran en un espacio propio, pero las explicativas se localizan sobre las mismas vitrinas de manera translúcida y extraordinariamente atrayente.

Para finalizar se comenta un montaje particularmente llamativo. Un fragmento de ADN aislado que se muestra en un matraz suspendido. Quizá se deba a que grandes proyectos científicos que tienen que ver con el ADN, tales como el proyecto genoma humano o el fenómeno de la clonación han pasado a ser un punto focal tanto del discurso científico, como de los medios de comunicación e incluso del público en general, que la imagen del ADN como una doble cadena que se enrolla no requiere de más explicaciones. Quizá sea porque los alemanes están conscientes de que los museos tienen el importante papel de crear conexiones entre los científicos y el público en general, y, con ello brindar las herramientas más adecuadas para que estos últimos saquen sus propias conclusiones, que en el *Museum für Naturkunde* decidieron reemplazar la típica imagen de libro de texto tridimensional del ADN por una molécula real, que aunque no tan espectacular, es lo que se obtiene mediante un centrifugado del núcleo celular.

No obstante, a pesar de esta búsqueda por mostrar la 'realidad' científica, algo curioso es que esta exhibición presenta el ADN descontextualizado, en un matraz de vidrio suspendido en medio de una vitrina y con una especie de aura mística, como si se tratara de un objeto religioso (Fig. 6.20).

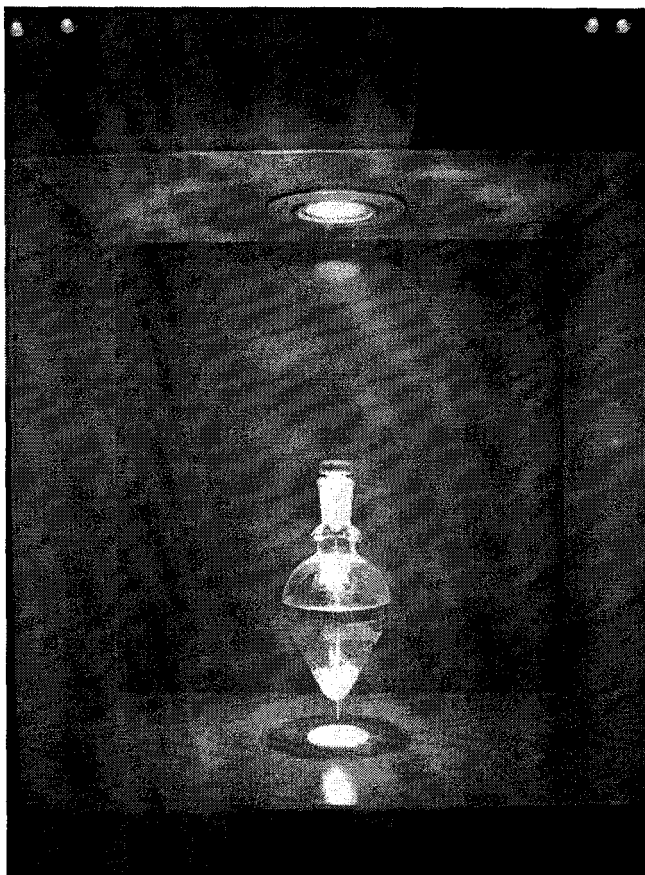


Figura 6.20. Fragmento de ADN (foto de la autora).

En términos de retórica de la comunicación científica, podemos aventurarnos a decir que esta construcción o representación busca transmitir la idea de que esta molécula que resulta la sustancia más fundamental de la vida, está a nuestro alcance y contiene las respuestas a los ‘misterios’ de la vida.

Sin embargo, la realidad es que la molécula está muy por encima del alcance del visitante que la observa desde lejos. Esta intangibilidad es el componente integral de esta construcción mística que oscurece nuestra concepción de la ciencia al encontrarse en una frontera frágil de demarcación entre ciencia y no ciencia. Al estar frente al vial suspendido recordamos dos cosas, “la primera es ese culto que se le ofrece a las reliquias y la segunda es esa esperanza medieval de los alquimistas depositada en una sola sustancia—la piedra filosofal, el elixir de la vida o la quintaesencia—que revelaría las soluciones para todo lo imposible” (Vackimes, 2003).

6.2.3 Análisis de la cultura de la Representación

Los temas que subyacen a este museo son: la historia de nuestro planeta y la *evolución*. Excepto por *el cosmos y el sistema solar*, y *el salón de los dioramas*, cada una de las

salas está relacionada ya sea con la evolución de la biodiversidad, con la teoría de la evolución o con los mecanismos evolutivos. Encontramos la evolución del caballo, de los artiodáctilos, de los mamíferos y del ser humano, entre otros. Y quizá porque Alemania es la cuna de Haeckel, es evidente que existe gran fascinación por los árboles evolutivos, pues podemos observar al menos diez árboles filogenéticos en las diferentes salas de este museo (Fig. 6.21).

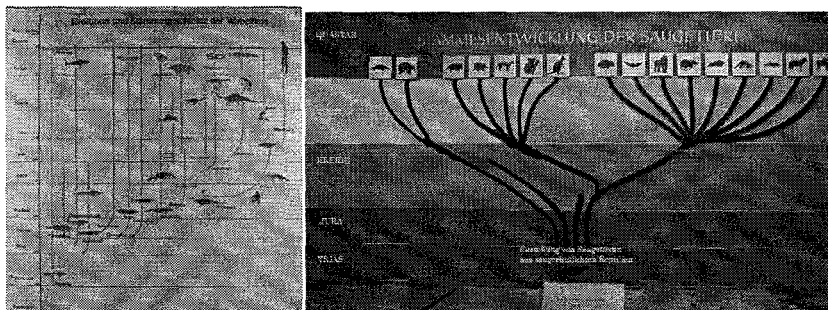


Figura 6.21. Dos de los árboles evolutivos que se encuentran exhibidos en el Museo de Historia Natural de Berlín (fotos de la autora).

La exhibición ‘Evolución en acción’ muestra aquellos mecanismos evolutivos que nos permiten explicar la apariencia, el comportamiento y la diversidad de animales y plantas presentes en nuestro planeta. La retórica de esta exhibición en particular nos dice mucho acerca de la filosofía del Museo, pues en lugar de darle la mayor importancia a la muestra de material educativo, se hace énfasis en su papel como un traductor o mediador entre la investigación científica actual y el público lego. Es por ello que el protagonista principal sigue siendo la colección de especímenes original (aquellos animales disecados o suspendidos en frascos de alcohol), muy por encima de las pantallas de televisión o las computadoras con pantalla de tacto (*touch screen*), pues el *Museum für Naturkunde* es un centro de investigación taxonómica de primer nivel.

Algo notable, que sugiere que la museografía está determinada por las convicciones teóricas particulares de cada época, es que para esta exhibición —como se dijo anteriormente— se echó mano de las invaluable colecciones del museo y se emplearon los gabinetes originales de 1889 como característica central. No obstante, éstos solían estar alineados en un patrón rígido para optimizar el espacio y mostraban a los especímenes según las teorías taxonómicas del siglo XIX. En este caso, los animales se agrupaban de acuerdo con sus semejanzas morfológicas. De forma que para diseñar una exhibición moderna, estos gabinetes tuvieron que ser modificados y ahora albergan tanto algunos de los especímenes originales, —como en el caso de los escarabajos que el día de hoy ejemplifican los conceptos de variabilidad y polimorfismo, o las rarezas conservadas en alcohol que ahora explican las mutaciones genéticas— como exhibiciones novedosas. Un ejemplo de estas últimas es aquella de homologías. En este caso no se presentan las típicas extremidades de distintos mamíferos, sino que se muestran diferentes animales completos, que si se observan de un lado se ven únicamente sus esqueletos, mientras que del otro lado su aspecto natural.

Las cédulas de esta exhibición contienen información compleja y no hay concepto alguno que se haya simplificado demasiado. Aun así, cientos de niños acuden diariamente a esta exhibición —que resulta en realidad la atracción principal del Museo— y parece que ninguno se siente intimidado por las cascadas de información.

6.3 Museo de Historia Natural de Nueva York

American Museum of Natural History

6.3.1 Origen e historia breve

El origen del Museo Americano de Historia Natural de Nueva York (AMNH) se remonta a 1869. Fue fundado por Albert Smith después de que su propuesta para la construcción de un museo de historia natural fuera elegida. Lo que se buscaba era un gran centro de investigación y enseñanza tanto de las ciencias naturales como de la antropología y que además mantuviera en contacto cercano al público y a los investigadores (AMNH official guide, 2007).

Las primeras exhibiciones del museo fueron montadas en *Central Park*, al noreste de la ciudad. Sin embargo, pronto comenzó a crecer y se comenzaron los planes de su traslado a un sitio conocido como *Manhattan Square* que fue donado por la ciudad. Así comenzó la construcción del primer edificio en 1874 (Fig. 6.22).

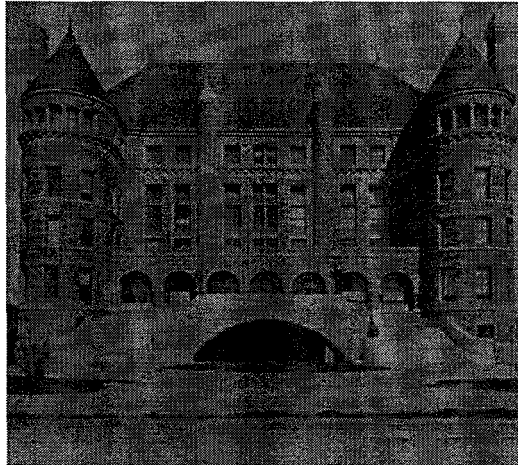


Figura 6.22. American Museum of Natural History *circa* 1910 (tomada de www.amnh.org).

Las décadas siguientes marcaron una era dorada para la exploración; así el museo patrocinó expediciones a lugares como Mongolia, Siberia, el Congo y el Polo Norte, que trajeron consigo cientos de especímenes que ampliaron las colecciones. Por ello el museo comenzó a ampliarse entre 1920 y 1930 con la construcción del planetario Hayden y del *Theodor Roosevelt Memorial*. Además, durante este tiempo, las investigaciones transformaron campos importantes como la antropología y la biología evolutiva y se diseñaron novedosas exhibiciones sobre aves, reptiles, evolución humana y grupos culturales alrededor del mundo, así como programas de educación (AMNH official guide, 2007).

Desde 1994, el museo ha creado 17 salas nuevas que abordan temas como fósiles —que incluyen las sorprendentes exhibiciones sobre dinosaurios, los orígenes del ser humano y todo lo relacionado con el planeta Tierra y el espacio.

Algo interesante de este museo que vale la pena resaltar, han sido sus cambios en cuanto a filosofía pedagógica y al resultado en el diseño de sus exhibiciones que

muestran la tensión que existe entre ciencia *vs* espectáculo en los museos de historia natural. Para abordar lo anterior es necesario tocar el tema de los dioramas.

Los dioramas —que son materiales o elementos en tres dimensiones que conforman una escena de la vida real— hicieron su aparición en los museos de historia natural de Estados Unidos a finales del siglo XIX, cuando se volvió popular el empleo de la taxidermia para dramatizar escenas de la vida silvestre. En 1880 William T. Hornaday, quien era jefe de taxidermia del Museo Nacional de Historia Natural en Washington DC —uno de los primeros en todo Estados Unidos— comenzó a agrupar animales en frente de escenas de hábitats (Yanni, 2005).

En 1883 montó una de las primeras exhibiciones que representaban la vida silvestre. Dicha exhibición mostraba un par de orangutanes en medio de una lucha territorial (Fig. 6.23) y constituyó uno de los primeros intentos por alejarse de las exhibiciones taxonómicas que predominaban en aquella época —especímenes disecados sin tomar en cuenta su ecología, anatomía o actividad.

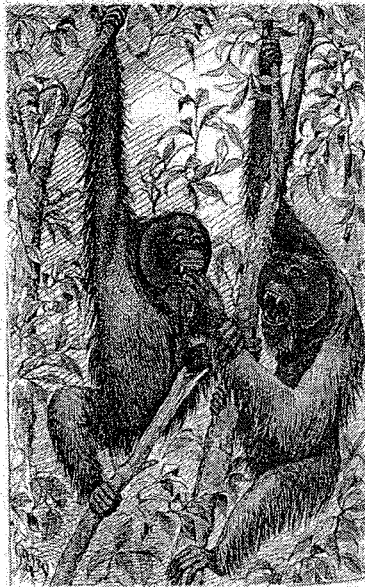


Figura 6.23. ‘Lucha en las copas de los árboles’. Este diorama de William Hornaday fue exhibido en el American Museum of Natural History en 1883 (tomada de Yanni, 2005).

El siguiente éxito de Hornaday fue su ‘Grupo de búfalos americanos’ de 1888; a partir de entonces “comenzó una callada revolución en la filosofía de los museos” (Asma, 2001:42), al incorporar el ambiente con la vida de los especímenes y así despertar una conciencia creciente sobre la importancia de las relaciones ecológicas y de las interconexiones que ocurren entre los organismos. Para Hornaday, además, los dioramas incrementaban el potencial artístico y estético de los museos:

“En veinticinco años los museos de zoología de este país serán tan atractivos como las galerías de arte y enseñarán diez veces más de lo que hacen ahora. En el presente el museo promedio carece de vida como carece un diccionario; pero los museos del futuro serán la vida misma” (Hornaday, 1891:222, en Yanni, 2005:150).

Yanni (*Op . cit.*) argumenta que la sobriedad de los museos del siglo XIX actuaba como una analogía de la biblioteca, con los especímenes alineados en vitrinas como libros en repisas y es por ello que Hornaday aborda este aspecto de los museos.

De forma que este personaje comenzó a crear dioramas de hábitat, no solo como entretenimiento para los espectadores mostrando 'trofeos de caza', animales en actitudes teatrales y otras curiosidades en taxidermia, sino las típicas posiciones y actitudes de los animales para que pudieran ser estudiados, así como aspectos éticos que involucraban la conservación de la naturaleza. Porque "la exhibición de especímenes no es únicamente el proceso objetivo que uno pensaría. La mayoría de los diseñadores de las exhibiciones entienden que además de diseminar información, tienen el poder de evocar emociones importantes a través de las imágenes. Así, los curadores tienen una agenda y las exhibiciones no carecen de trasfondo" (Asma, 2001:43).

Por ello, Hornaday pensaba que las exhibiciones dramáticas y teatrales debían reservarse para las ferias, puesto que en los museos de historia natural las reglas de composición debían ser diferentes al presentar objetos de estudio científico. Los dioramas entonces pretendían racionalizar nuestra fascinación por los animales, colocando cada espécimen disecado en la representación de su hábitat junto con información científica

El Museo Americano de Historia Natural de Nueva York, adquirió dos grandes dioramas en 1887 y en 1888 para ilustrar las relaciones entre los animales; éstos fueron definitivamente instituidos durante la década de 1920 por el entonces director, Henry Fairfield Osborn, quien conocía muy bien el poder epistémico y retórico de las imágenes. Así se comenzaron a construir salones de dioramas como vehículos para comunicar las investigaciones en biología evolutiva y en aspectos de conservación (Asma, 2001), tales como el *Hall of North American Mammals*, el *Akeley Hall of African Mammals* (Fig. 6.24) o el *Whitney Memorial Hall of Pacific Bird Life*.



Figura 6.24. Búfalo africano en el *Akeley Hall of African Mammals* del American Museum of Natural History (tomada de www.amnh.org).

Así, en el periodo entre 1900 y 1935 los dioramas de tamaño real se convirtieron en la forma más prominente de exhibición en los museos de historia natural.

Para la década de 1940, el director del AMNH era Albert Eide Parr, cuyas propuestas para renovar el museo muestran cómo y por qué las instituciones de educación mantienen relaciones complejas entre visión/función y educación.

Esta época estuvo marcada por una profunda depresión financiera en Estados Unidos que significó un recorte importante en el presupuesto del AMNH, lo cual limitó la construcción de los característicos dioramas espectaculares, que eran la forma principal de exhibiciones educativas (Reynolds, 1995). Por otro lado, como los dioramas en buena medida representaban los estudios evolutivos y taxonómicos que se realizaban en el museo, comenzaron a ser fuente de conflicto acerca de su valor tanto científico como educativo al enfrentarse con tiempos marcados por dudas sobre los mecanismos de cambio evolutivo y con la creciente fuerza de la investigación en genética². Así, los dioramas se encontraban en el centro de un acalorado debate concerniente con la identidad del museo como una institución educativa y de investigación.

Por ello, Alfred Parr comenzó a crear una estrategia para sustituir los dioramas de acuerdo con su filosofía de la educación. Para él tanto los estudios evolutivos como la taxonomía zoológica, eran disciplinas moribundas que necesitaban ser reemplazadas por la ecología y además pensaba que ninguna exhibición debía llevar el título de 'permanente' (Reynolds, 1995). Por otro lado, según un estudio que hizo sobre la percepción y comprensión de los visitantes sobre las diferentes exhibiciones, Parr decidió diseñar una sala introductoria que ofrecería un modelo completamente nuevo para los museos de historia natural. Debido a que la mayoría de los visitantes evitan la lectura y el material textual suplementario de las exhibiciones, la idea de esta sala introductoria era mostrarle al visitante aspectos familiares de la ciencia apelando a su experiencia cotidiana, para que posteriormente pudiera relacionarlos con el resto de los montajes (Reynolds, 1995).

Así, el nuevo diseño del AMNH incluyó el relato de una historia unificadora mediante las exhibiciones, historia basada en lo familiar y cotidiano para el neoyorkino promedio, haciendo énfasis en los hábitats locales y en la fauna y ecología del estado de Nueva York. La propuesta de Parr tuvo tanto éxito que se financiaron los nuevos salones: *Felix Warburg Memorial Hall* del hombre y la naturaleza, que abrió sus puertas el 14 de mayo de 1951.

En la actualidad, el AMNH está dedicado principalmente a la taxonomía y a mostrar el orden en la naturaleza. Todavía se puede apreciar gran diversidad de dioramas y especímenes disecados que datan de aquellos años en los que la taxidermia era el medio principal para mostrar ejemplares tridimensionales, así como la influencia de Parr. No obstante, la presentación de las relaciones históricas de los organismos, así como aspectos de antropología, son la principal atracción de este importante centro de educación e investigación.

6.3.2 El tema de la Evolución y la cultura de representación

Existen dos galerías en el *American Museum of Natural History* de Nueva York que nos interesan especialmente para este trabajo: la Galería de los Fósiles o *Sala del Origen de los Vertebrados* y aquella de los orígenes del hombre. A diferencia de la *Grande Gallerie de l'Evolution* de París, el AMNH es acerca del orden. La intención de este museo es que los visitantes conozcan un poco de taxonomía y que aprecien el orden de la naturaleza.

² Hay que recordar que a pesar del redescubrimiento de las leyes de Mendel a principios del siglo XX, la teoría de la evolución no incorporó las explicaciones provenientes de la genética sino hasta después de la síntesis que unificó la teoría de la evolución. Esta síntesis se produjo en cerca de una década, de 1936 a 1947 y se relaciona directamente con el desarrollo de la genética de poblaciones.

6.3.2.1 Sala del Origen de los Vertebrados

En 1996 se abrió al público la *Sala del Origen de los Vertebrados* que ocupa todo el cuarto piso del Museo. Esta galería relata la evolución de los vertebrados e incluye la exhibición del mayor número de fósiles del mundo —cerca de un millón de especímenes de vertebrados. Algo interesante de esta exhibición, es que a diferencia de la mayoría de los museos que ordenan las series de fósiles de acuerdo con su aparición en el tiempo, el AMNH lo hace de acuerdo con las relaciones evolutivas de los organismos, ilustrando de esta manera las ramas principales del árbol de la vida. Adviértase que el AMNH es la cuna del cladismo o neofilenética durante las décadas 1970-1980.

El espacio de esta exhibición es muy diferente al de otros museos y contrasta con la *Grande Galerie de l'Evolution* de París, tanto en su diseño como en el aspecto conceptual. En primer lugar, nos encontramos con una galería llena de luz que permite que el visitante aprecie todo el conjunto desde el primer momento. El espacio está organizado en una geometría de senderos ramificados que, junto con el arreglo de los especímenes, comunica el método preferido por el museo para definir las relaciones evolutivas: el cladismo, el cual el AMNH ayudó a desarrollar. Y aunque pocos visitantes han escuchado alguna vez del cladismo, éste resulta la piedra angular de las exhibiciones.

De esta manera, el eje central de esta galería representa el tronco del árbol de la vida, el cual está interrumpido por aquellos cambios sucesivos que indican el origen de los principales grupos taxonómicos. Por ello, a lo largo de este eje central y hacia ambos lados, surgen pequeñas ramificaciones que representan los diferentes taxones que comparten los principales caracteres. Por ejemplo, el carácter 'mandíbula' se encuentra en un nodo del árbol que lo ramifica en dos grandes categorías de vertebrados: aquellos mandibulados y aquellos que no lo son (Fig. 6.25).

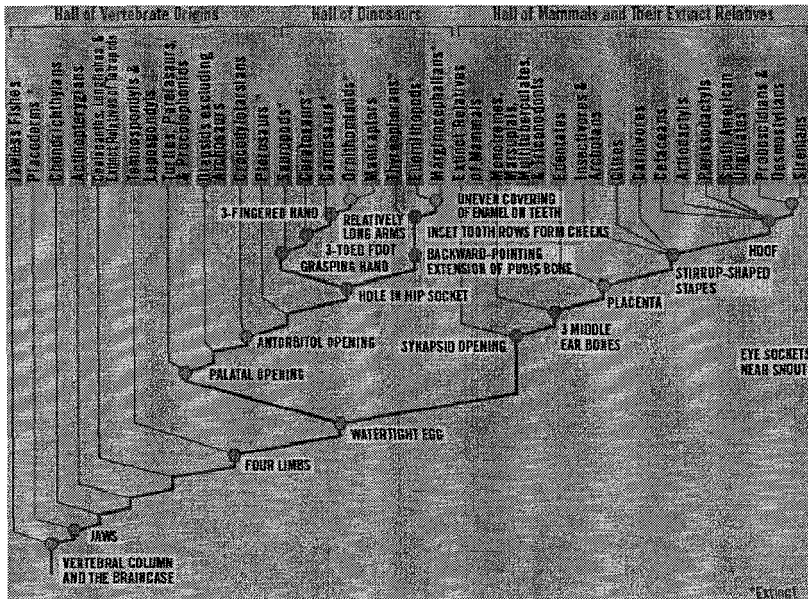


Figura 6.25. Cladograma del arreglo de la exhibición del *Origen de los vertebrados* del American Museum of Natural History (tomada de www.amnh.org).

Así, en las distintas ramificaciones podemos encontrar la evolución de los tetrápodos (organismos con cuatro extremidades como sapos, salamandras, lagartijas, etcétera), posteriormente en la misma rama la evolución de los amniotas y a partir de ahí las ramificaciones se hacen cada vez más finas conforme nos adentramos en la lógica de la taxonomía cladista que nos guía por la evolución de los diferentes grupos. Cada uno de los cladogramas incluye al ancestro común y a todos sus descendientes vivos y extintos, así que conforme uno recorre la galería va viajando en el tiempo. No obstante, al comienzo no encontramos únicamente fósiles que nos muestran vertebrados extintos, sino que podemos observar un tiburón incluso antes de llegar a los dinosaurios. Esto se debe a que el origen de este grupo tuvo lugar hace 400 millones de años, 200 millones antes que se originaran los dinosaurios pero aún siguen habitando los mares de nuestro planeta. Por ello, como el cladismo se basa en la distributividad sucesiva de caracteres derivados y compartidos y exclusividad de apomorfías en sus terminales (heteropatmía), en el cladograma (árbol evolutivo) de los vertebrados, los tiburones se colocan cerca del principio de éste, pues aunque son especies que viven en la actualidad, varios de sus caracteres taxonómicos se denominan plesiomórficos.

Por todo lo anterior, la novedosa retórica del AMNH de las exhibiciones enfatiza el orden de la naturaleza basado en la metodología filogenética y quizá más importante aún, el componente *histórico* en el estudio de la vida.

6.3.2.2 Galería de los Orígenes del Hombre

La recién renovada galería de los orígenes del hombre presenta, de forma sorprendente, el rastro de la evolución humana desentrañando temas relacionados con la biología, la anatomía y la psicología de esta especie. Al ser la galería más reciente, en ella encontramos los descubrimientos más actuales tanto del registro fósil, como de la ciencia genómica que ayudan a dar sentido a la evolución del ser humano desde sus orígenes hace algunos millones de años.

Algo importante de hacer notar de esta sala es que exhibe un árbol evolutivo circular (Fig. 6.26). La idea de este árbol es que el visitante conecte cualquier par de especies presentes en él y que concluya qué tan relacionadas se encuentran. En este árbol únicamente se presentan 479 especies de las más de 1.7 millones que se han identificado hasta la fecha. No obstante, el objetivo de comunicar la idea de la gran diversidad de organismos con los que compartimos nuestro planeta es bien logrado.

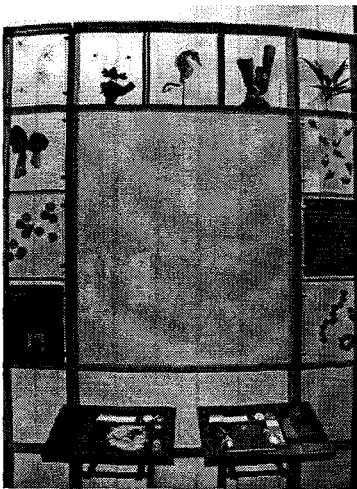


Figura 6.26. Árbol evolutivo circular en la galería de los *Orígenes del Hombre* (foto de la autora).

Este árbol en particular, fue construido mediante la comparación de secuencias de ADN de las diferentes especies y el *Homo sapiens* se distingue porque está marcado con color verde.

6.3.3 La influencia del AMNH en la comunicación de la ciencia

El Museo Americano de Historia Natural de Nueva York, al ser un centro activo de investigación, siempre ha estado a la vanguardia del conocimiento científico y sus exhibiciones han popularizado ideas y conceptos científicos más allá de sus paredes, pues tanto imágenes e ilustraciones como montajes se han empleado en libros de texto y de divulgación.

Un ejemplo importante para este trabajo de investigación son las imágenes sobre evolución que se derivaron del paleontólogo Henry Fairfield Osborn, antiguo presidente del AMNH. Este personaje fue enormemente influyente pues era un enérgico defensor de la teoría de la evolución durante el 'Monkey Trial'³ y porque estaba involucrado en el diseño de muchas de las representaciones visuales más publicadas de ideas evolucionistas —puesto que el museo brindaba muchas de las ilustraciones para libros de texto y de divulgación. Junto con sus colegas, popularizaron imágenes que seguimos observando en la actualidad con temas como el lugar del hombre en la naturaleza o la evolución del caballo, las cuales conllevaban mensajes científicos, pero también ciertas preferencias y prejuicios. Entre las ilustraciones más famosas podemos mencionar la de la evolución del caballo de William Diller Matthew (Fig. 4.33).

Las representaciones del registro fósil de los caballos han sido una de las ilustraciones favoritas de la evolución, desde que en 1876, Thomas Henry Huxley visitó la colección de Othniel Charles Marsh en la Universidad de Yale. Estos fósiles le brindaron a Huxley un ejemplo perfecto de la evolución e inmediatamente los incluyó en sus argumentos de defensa de la teoría durante su gira por Estados Unidos en ese año (Areson, 2001).

La ilustración de William Diller Matthew se publicó en 1920 (aunque data de 1902), puesto que la evolución del caballo seguía siendo una de las evidencias más convincentes de la evolución.

Un árbol evolutivo famoso fue el de otro paleontólogo del museo, William King Gregory, quien hizo explícita la dimensión del tiempo geológico y su importancia para el proceso evolutivo (Fig. 6.27).

³ El 'Monkey Trial' se refiere al caso de John Scopes, quien era un maestro de Tennessee que fue acusado por impartir la clase de evolución durante la década de los veinte. Este juicio marcó un momento importante en la historia de Estados Unidos, pues enfrentó a varios segmentos de la sociedad tales como los tradicionalistas y a los modernistas.

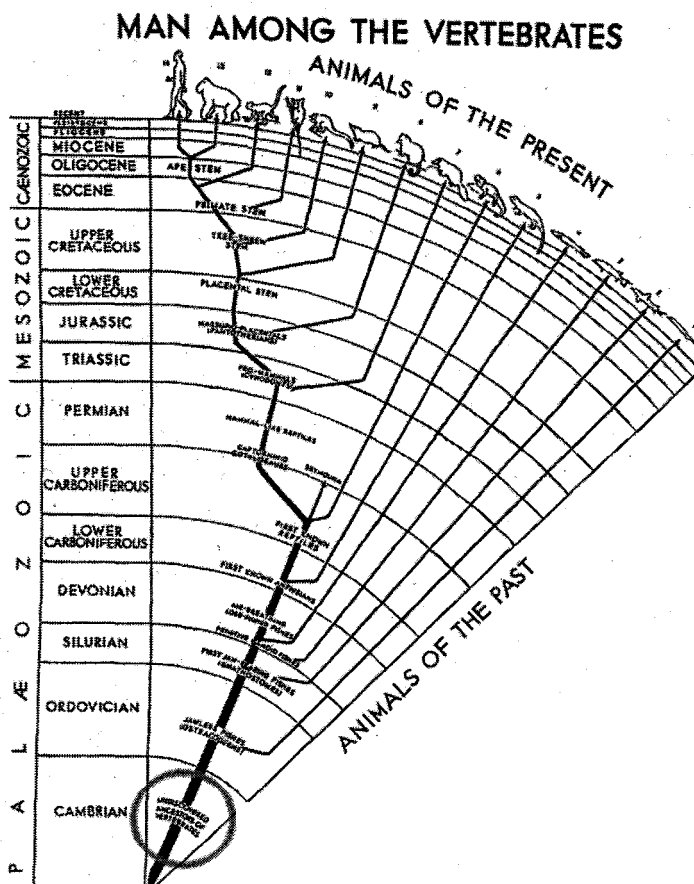


Figura 6.27. El diagrama de William King Gregory de 1934 hace explícita la dimensión temporal del proceso evolutivo, cualidad que normalmente se deja a un lado en los libros de texto. Además, esta ilustración coloca al ser humano a la izquierda en lugar de a la derecha como se acostumbraba para evitar la idea de progreso o de un proceso ‘dirigido’ (tomada de Areson, 2001).

Otra ilustración famosa proveniente del AMNH es la de la secuencia de cráneos diseñada por el mismo Henry Fairfield Osborn que ilustra los ancestros del ser humano y la metodología de su reconstrucción a partir de los fósiles (Fig. 5.3). A pesar de que esta figura buscaba enfatizar la objetividad científica, refleja los prejuicios raciales de la época al considerar Asia como la ‘cuna’ de los ancestros del hombre, entre otras cosas.

El AMNH proveyó con reproducciones de la serie a muchas escuelas y ésta además se empleó en diversos libros de texto, de divulgación e inclusive en libros con temas no relacionados con la evolución como la edición de 1925 de H. G. Wells: *Outline of History* (Areson, 2001) y en anuncios para libros antievolucionistas. Pero eso no es todo, pues esta imagen encontró su camino hasta nuestro país en el libro de texto de segundo de secundaria ‘Biología’ de la editorial Porrúa, empleado a partir de la década de 1960 (Fig. 6.28).

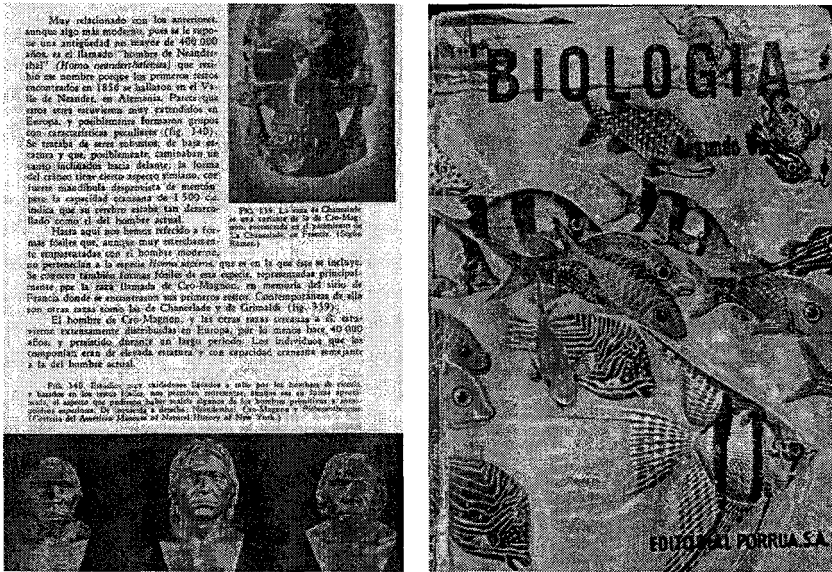


Figura 6.28 (izquierda). La misma serie presente en el libro de texto ‘Biología’ de la editorial Porrúa (1963). En el pie de página se lee: Estudios muy cuidadosos llevados a cabo por los hombres de ciencia y basados en los restos fósiles, nos permiten representar, aunque sea en forma aproximada, el aspecto que pudieron haber tenido algunos de los hombres primitivos y antropoideos superiores. De izquierda a derecha: Neandertal, Cro-Magnon y *Pithecanthropus*. (Cortesía del American Museum of Natural History de Nueva York) (tomada del libro de Texto ‘Biología’ de la editorial Porrúa, 1963).

Lo anterior sirve para ilustrar la importancia que ha tenido el AMNH en la popularización de la ciencia, a pesar que los temas raciales y mensajes eugenésicos siempre fueron prominentes. Por ello, los libros de texto de principios el siglo XX normalmente contenían mensajes referentes a la superioridad de la raza blanca y muchos árboles exhibidos en museos y publicados en periódicos representaban a los miembros de la familia de los primates alineados de cerca con las diferentes ‘razas’ humanas, reforzando la asociación de la evolución con el ‘hombre-mono’.

6.4 Gran Galería de la Evolución de París

Grande Galerie de l’Evolution

6.4.1 Origen e historia breve

La Grande Galerie de l’Evolution es parte del *Musée National d’Histoire Naturelle* al igual que las galerías de anatomía comparada y paleontología —donde trabajó Georges Cuvier— y las galerías de mineralogía y geología, entre otras. Dicha institución tiene una larga e interesante historia, que incluye a algunos de los personajes más importantes de la historia natural como son Louis Jean-Marie Daubenton, Antoine-Laurent de Jussieu, Georges Louis Leclerc Conde de Buffon, Jean Baptiste de Lamarck, Geoffroy Saint Hilaire y Georges Cuvier. Formalmente fue fundado el 10 de junio de 1793, durante la Revolución Francesa, aunque sus orígenes se remontan al *Jardin Royal des plantes médicinales* (Jardín Real de plantas medicinales) creado por el Rey

Luis XIII en 1653, uno de los establecimientos científicos más antiguos de Francia. Posteriormente, en 1718, el Rey Luis XV suprimió las funciones medicinales del jardín y a partir de eso fue conocido simplemente como el *Jardin du Roi* (Jardín del Rey), dedicado a la historia natural (guía oficial del *Musée National d'Histoire Naturelle*).

A principios de 1980, para ciertos científicos y museólogos parisinos, se comenzó a hacer evidente la necesidad de una institución que abordara el tema de la Evolución. Así, en 1994 se abrió al público la *Grande Galerie de l'Evolution* de París (Fig. 6.29).

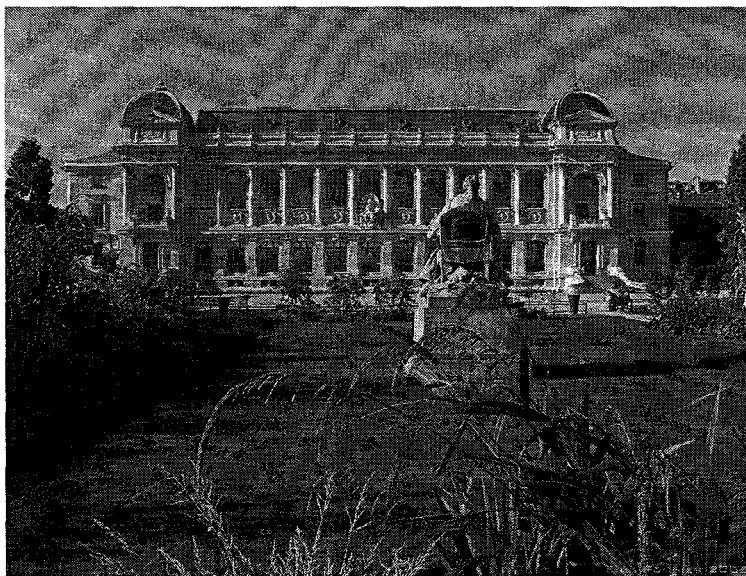


Figura 6.29. Fachada de la *Grande Galerie de l'Evolution* (tomada de parisconnected.files.wordpress.com).

6.4.2 El tema de la Evolución y la cultura de representación

En cuanto se accede a este museo, parece que uno se adentra en una atmósfera acuática de luz tenue y azulada. Incluso el sonido es de agua. Y es que en este primer nivel de la exhibición por el cual se accede, el tema es el ambiente marino y tanto la luz como el sonido contribuyen a evocar este mundo. Una miríada de animales acuáticos se encuentra suspendido por doquier en medio de paredes de vidrio: esponjas, corales, peces, cefalópodos, tiburones, y mamíferos marinos; algunos verdaderos y otros de fibra de vidrio, muestran al visitante los diferentes hábitats marinos, tales como el ambiente pelágico, las planicies abisales, los arrecifes de coral, el litoral o las chimeneas hidrotermales, en un recorrido por la biodiversidad de estos diferentes ecosistemas acuáticos (Fig.6.30).



Figura 6.30. El primer nivel de la Galería está dedicado al ambiente acuático (foto de la autora).

En el centro de la exhibición se encuentra el gran esqueleto de una ballena austral que fue capturada en 1844 en Nueva Zelanda, la cual también se puede apreciar desde el nivel superior que corresponde al mundo terrestre. Con esto se busca comunicar la idea, respecto a las ballenas, que habitan el medio acuático pero tienen orígenes terrestres y además las amenazas para la biodiversidad que representan las prácticas humanas como la pesca indiscriminada (Fig. 6.31).

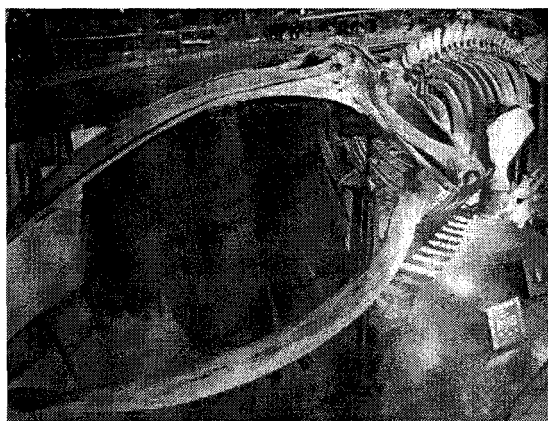


Figura 6.31. Ballena Austral que comunica la idea de que el origen de estos organismos es terrestre (foto de la autora).

Algo que vale la pena hacer notar es que hay pocas cédulas y explicaciones a simple vista. De hecho, ninguna de las vitrinas presenta explicaciones textuales y tan solo en algunos casos se observan líneas translúcidas que representan los hábitats locales de la fauna exhibida (Fig. 6.32). Pero esto no quiere decir que los franceses releguen la importancia de la contextualización de los especímenes, puesto que posteriormente uno se da cuenta que toda la información científica se encuentra en las bancas, en las cuales hay cédulas retraíbles de plexiglas. Esta práctica curatorial que

libera el espacio de textos, permite que el visitante se sumerja más en la atmósfera del mundo tanto marino como terrestre del piso posterior.



Figura 6.32. En la Grande Galerie de l'évolution el espacio está libre de textos y solo en algunos casos existen líneas translúcidas que representan los hábitats locales de la fauna exhibida (foto de la autora).

Arriba del nivel marino se encuentra el terrestre. Esta vez la gran sala está bañada por luces de tonos dorados en cuyo centro se exhibe un desfile de distintos animales de todas formas y tamaños (Fig. 6.33). Nuevamente se invita al visitante a observar, conocer y comprender la gran biodiversidad de organismos —insectos, mamíferos, aves, etcétera— que se desempeñan en el medio terrestre.

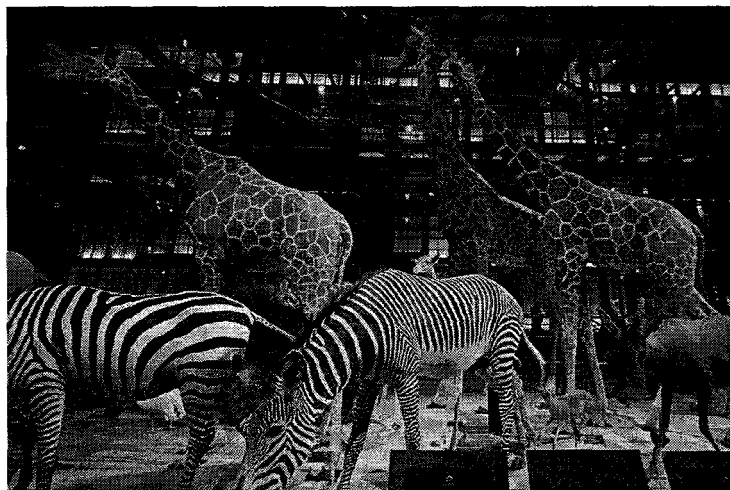


Figura 6.33. Un desfile de animales terrestres es el centro de atención de la sala principal del museo (foto de la autora).

Lo interesante del diseño del espacio es que todo es tan abierto e interconectado que se pueden observar tanto las especies marinas del piso inferior, como aquellas que

transitan entre ambos medios. Esto permite que cada espécimen pueda ser observado desde múltiples perspectivas. Además, el arreglo de los organismos se basa en parámetros ecológicos y no en similitudes morfológicas, es decir que en una exhibición se puede encontrar un ecosistema conformado por reptiles, insectos y aves.

Los niveles superiores rodean esta gran sala del mundo terrestre, de manera que desde los balcones se puede ver el desfile de elefantes, jirafas y cebras. Ninguno es tan grande como aquellos dedicados a la muestra de la biodiversidad. En ellos se abordan los temas de la clasificación, de la evolución de la vida, del hombre como factor de evolución y la historia de la teoría evolutiva. Pero vayamos por partes. En el segundo piso, que está dedicado a la influencia del hombre, se aborda la destrucción de la naturaleza. Todas las exhibiciones de este nivel tienen la intención de mostrar la influencia negativa del hombre, ya sea mostrando numerosos animales disecados que se encuentran hoy extintos o el incremento en contaminación, producción de desechos y destrucción de hábitat que ha acontecido en los últimos años.

El último nivel de la galería se dedica a la historia de la teoría de la evolución. Las exhibiciones consisten de pequeños dioramas que muestran especímenes y libros que relatan la historia de los personajes más importantes que tuvieron que ver con el desarrollo de la teoría, tales como Geoffroy Saint Hilaire, Lamarck, Cuvier, Darwin, Mendel y Watson y Crick. Sin embargo, el énfasis se les otorga a los naturalistas franceses.

Es importante mencionar que en todos los niveles se presenta la conocida exhibición de las homologías de extremidades de murciélago, humano, delfín, topo, y otros. Sin embargo, en los primeros niveles esta exhibición no cuenta con ninguna explicación y cuando el visitante se comienza a preguntar el motivo de esta repetición, finalmente en el tercer nivel se ofrece una explicación en el contexto evolutivo. Pareciera como si la intención es primero despertar curiosidad, para después introducir el elemento teórico.

6.4.3 Análisis de la cultura de la representación

Indudablemente el tema que subyace a la exhibición de la *Grande Galerie de l'Evolution* de París es la *Biodiversidad*. Es decir que el tema de la variedad de vida sobre la Tierra resulta bastante más importante que el de la evolución *per se* (aunque la idea detrás es que todos los hábitats y organismos diferentes son resultado de la evolución, pero no hay énfasis en el origen o la ancestría). De forma que se presenta la biodiversidad en todas sus formas y en todos los niveles de organización, desde el genético y el de especies, hasta el ecológico.

A diferencia de otros museos, en este no se hace hincapié en el tema de la taxonomía o de los mecanismos de cambio evolutivo. Incluso el espacio principal está destinado al tema de la biodiversidad y los otros temas que se abordan en el museo parecen subsidiarios.

Resulta importante para la retórica de las exhibiciones, el empleo de los espacios disponibles. Mediante la colocación selectiva de los especímenes, se comunica tanto la idea de su rareza o abundancia, como su importancia dentro de todo el ecosistema. Así, por ejemplo en las profundidades abisales, los especímenes se encuentran muy separados unos de otros, dando la impresión de un ambiente remoto y solitario, mientras que las selvas tropicales rebosan de vida y los insectos superan en número, dando a entender su diversidad y abundancia. De forma que mediante el uso del espacio y no de textos y cédulas, los curadores comunican conocimiento acerca de la biodiversidad de nuestro planeta (Fig. 6.34).



Figura 6.34. La abundancia de peces pelágicos contrasta con la poca cantidad de vida de las profundidades abisales (foto de la autora).

Por otro lado, existen varios niveles de interacción con el público y mediante distintas técnicas, la audiencia a la que se dirigen las exhibiciones es variable. Los espacios principales son ocupados por los especímenes, los cuales son parte de las inmensas colecciones del Museo o fueron contruidos especialmente para ser presentados. Éstos pueden ocupar grandes espacios como en el caso del calamar gigante, del pez luna y de los elefantes y jirafas, o espacios pequeños como en el caso de algunos de los invertebrados marinos. Este primer nivel de interacción es el más atractivo para el público infantil (Fig. 6.35).

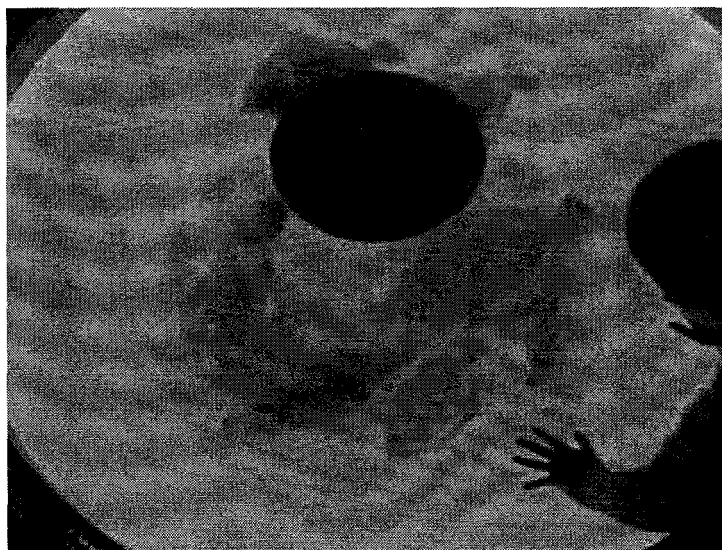


Figura 6.35. La exhibición de especímenes es el principal atractivo para el público infantil (tomada de www.flickr.com).

Pantallas, comentarios con soporte gráfico y bancos de imágenes completan o precisan cierta información que involucra procesos más complejos. Este nivel es útil para aquellos que desean profundizar en las exhibiciones. Además, hay cédulas con información especializada escritas por científicos. Este tipo de práctica curatorial permite la existencia de multiniveles en las explicaciones y, de esta manera, la exposición resulta más dinámica; lo más importante es que está dirigida a todo público.

En resumen, la intención de este Museo de Historia Natural es hacer reflexionar al público acerca de la biodiversidad, presentada primero en todo su esplendor y después —mediante exhibiciones moralizadoras— en toda su fragilidad. El tema tan popular de las últimas décadas de protección y educación ambiental se hace palpable en cada una de las exhibiciones y así el visitante sale más con una lección de preservación del entorno que con una idea clara de las aportaciones de Lamarck y Darwin o de la dinámica de la evolución. Por otra parte, el intenso cuidado en la estética también es reflejo de una preocupación cultural: la belleza.

6.5 Museo de Historia Natural y Cultura Ambiental de la Ciudad de México

6.5.1 Origen e historia breve

El Museo de Historia Natural y Cultura Ambiental de la Ciudad de México (MHNCA) tiene una historia interesante que se remonta a finales del siglo XVI, época en la que las expediciones científicas de los cronistas españoles, formaron las primeras colecciones de animales y plantas, marcando así el inicio de la historia natural en América.

Como ya se había mencionado con anterioridad, a partir del siglo XVI, Europa vivió una euforia sin precedentes por descifrar los secretos de la historia natural, motivada en parte por los nuevos horizontes que se abrían a la exploración y la conquista. España no fue una excepción y, gracias a sus colonias, experimentó una serie de transformaciones importantes en diversos ámbitos. En el científico, se crearon Sociedades, Gabinetes de Historia Natural, Academias, Jardines Botánicos, etcétera.

Una vez que la corona española se satisfizo con el envío desmedido de las riquezas naturales de sus colonias en América, procedió un interés por realizar inventarios, descripciones y colecciones de la enorme diversidad de animales y plantas que, en su mayoría, resultaban exóticas y novedosas para los europeos.

En 1786 se organizó una expedición botánica, auspiciada por los borbones, con la finalidad de recolectar especímenes medicinales de la Nueva España. Entre los participantes de dicha expedición se puede mencionar al cirujano José Longinos Martínez y algunos dibujantes pertenecientes a la real Academia de San Carlos como atanasio Echeverría y Vicente de la Cerda. El resultado fue una profusa colección de especímenes, principalmente plantas, semillas, aves y minerales (Maldonado, 2000).

En 1790, Longinos se dedicó a establecer un Museo de Historia Natural para facilitar el acopio y albergue de las especies de plantas y animales que se iban sumando durante cada nueva expedición botánica y zoológica. Es importante recordar que durante el siglo XVIII, la clasificación era una de las actividades científicas más importantes y ésta necesitaba de la conservación de los animales para su posterior descripción.

La apertura del *Primer Gabinete de Historia Natural* ocurrió el 27 de abril de 1790 en la calle de Plateros 89 (Fig. 6.36) y fue construido de acuerdo con la filosofía de la época, según la cual, el público se debía instruir por la mera observación de una serie de vitrinas dedicadas a los tres reinos naturales —conforme al *Sistema Naturae* de Linneo— más algunos objetos diversos como piezas de cera del cuerpo humano, máquinas e instrumental de investigación como microscopios, barómetros, termómetros, matraces, etcétera. Además contaba con una pequeña biblioteca (Maldonado, 2000).



Figura 6.36. Primer Gabinete de Historia Natural de la Ciudad de México ubicado en Plateros 89 (tomada de www.sma.df.gob.mx).

Desafortunadamente, el destino de este gabinete con el transcurso de los años fue quedar relegado a un simple cúmulo de ejemplares amontonados y finalmente fue destruido durante la guerra de Independencia. Los especímenes y objetos que pudieron salvarse fueron trasladados a distintos recintos, hasta que la Universidad Real y Pontificia decidió incluir la colección en el colegio de San Ildefonso en 1802 y fue así como nació el primer Museo de Historia Natural de la Ciudad de México (Fig. 6.37).



Figura 6.37. Primer Museo de Historia Natural de la Ciudad de México en San Ildefonso, 1802 (tomada de www.sma.df.gob.mx).

En 1822, una vez finalizada la lucha por la independencia, Iturbide creó un *Conservatorio de Antigüedades*, con la finalidad de comenzar a reconocer la 'identidad' del pueblo mexicano emergente. A pesar de que éste contaba con una incipiente colección de animales y plantas, así como de piezas prehispánicas, representó un esfuerzo importante por comenzar el Estado Mexicano y por promover y transmitir una identidad cultural. Posteriormente en 1825, por decreto del presidente Guadalupe Victoria, se fundó el *Museo Nacional Mexicano* que reunió lo que quedaba de las colecciones del Gabinete de 1790 y del Conservatorio de Antigüedades (Fig. 6.38).

La primera actividad que se desarrolló en ese Museo Nacional fue la colección de piedras esculpidas por las culturas prehispánicas en todo el territorio mexicano. En 1830, se da entrada al museo a una colección de los retratos de los virreyes, que tiene el significado de reconocer y reunir las dos culturas matrices del país. En ese mismo año, tanto el diputado Domingo Lazo, como Antonio Gama ceden al museo sus colecciones minerales y de antigüedades.

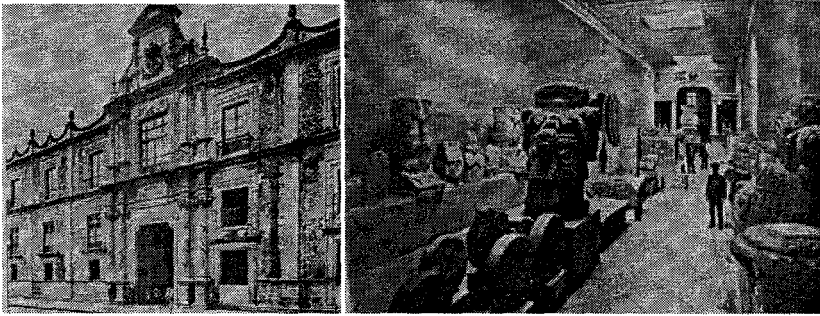


Figura 6.38. Fachada del Museo Nacional en la calle de Moneda y vista interior del estilo ecléctico del Museo (tomada de www.sma.df.gob.mx).

En 1865, el emperador Maximiliano cerró la Universidad, pero fundó el *Museo Público de Historia Natural, Arqueología e Historia* al siguiente año, en el cual se pretendía concentrar todo aquello que resultara interesante para la ciencia.

Posteriormente, el presidente Benito Juárez (1806-1872) —quien vivió una de las épocas más importantes de México pues fue cuando se consolidó la nación como una República— se caracterizó por su gran apoyo a la ciencia y a la educación. No es de extrañar, por tanto, que haya creado la Academia Nacional de Ciencias, el Observatorio Astronómico, el Jardín Botánico, la Biblioteca Nacional y que haya rescatado el Museo Nacional, que incrementó su acervo y se erigió como sede de la Sociedad Mexicana de Historia Natural.

Gracias a la política educativa y científica que se mantuvo durante el gobierno de Porfirio Díaz, que abarcó de 1876 a 1911, se incrementaron grandemente las colecciones del Museo Nacional, hasta que eventualmente éste fue dividido en tres departamentos: Historia, Arqueología e Historia Natural y además se diseñaron áreas dedicadas a la investigación científica, por lo que se consolidó como un espacio importante para la investigación y la docencia. Para finales de siglo, el departamento de Historia Natural llegó a contar con cerca de 100,000 especímenes.

En 1913, se decidió que las colecciones de Historia Natural merecían un espacio propio y fueron trasladadas al *Palacio de Cristal* (actualmente el Museo del Chopo) dando lugar así al *Museo Nacional de Historia Natural* en Santa María la Ribera (Fig. 6.39).

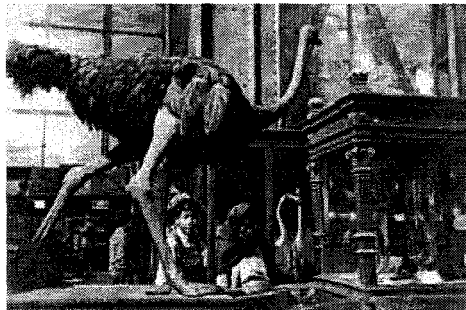


Figura 6.39. *Museo Nacional de Historia Natural* en Santa María la Ribera (tomada de www.sma.df.gob.mx).

Este edificio, albergó a la exposición industrial y artística japonesa en la celebración del Centenario de la Independencia. Era de hierro, tabique y cristal, por lo que no resultaba conveniente para contener las colecciones de historia natural, principalmente por la incidencia directa de los rayos del sol y el polvo que se acumulaba. Fue por ello que los ejemplares sufrieron un deterioro masivo (Fig. 6.40).

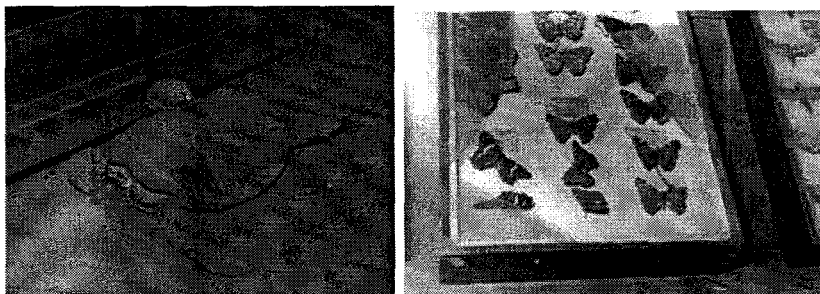


Figura 6.40. Deterioro masivo de las colecciones en el Museo del Chopo debido al polvo y a los rayos directos del sol (tomada de www.sma.df.gob.mx).

En 1929, la Universidad Nacional obtuvo su autonomía y el Museo Nacional de Historia Natural pasó a manos de esta institución. A pesar de ello, para la década de 1940, el museo estaba prácticamente abandonado, por lo que esta institución cerró sus puertas.

Durante la presidencia de Adolfo López Mateos se comenzó la construcción del Museo de Historia Natural en la segunda sección del Bosque de Chapultepec (Fig. 6.41), el cual fue inaugurado el 24 de octubre de 1964.



Figura 6.41. Construcción del Museo de Historia Natural en Chapultepec (tomada de www.sma.df.gob.mx).

Este distintivo museo es un conjunto arquitectónico que consta de diez amplias estructuras semiesféricas formando bóvedas que representan una superficie total de exhibición de 7,500m², lo cual lo hace el museo más grande de México de su género. El diseño estuvo a cargo de Leónides Guadarrama, mientras que la museografía fue de Dionisio Peláez Fernández y Ernesto Valdés (Fig. 6.42).



Figura 6.42. Diez bóvedas conforman el museo de historia natural de la Ciudad de México (tomada de www.sma.df.gob.mx).

En junio de 1999 la administración del Museo de Historia Natural pasó a la Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal, debido a sus contenidos temáticos de la diversidad biológica del planeta, ecología y educación ambiental. Lo anterior tuvo sus raíces en el cambio de la forma de presentar las colecciones y en la crisis ambiental que vive el planeta, todo lo cual obligó a la transformación de las exhibiciones y de sus contenidos para incluir principalmente aspectos de conservación, así como del desarrollo de nuestro país.

A partir del 1 de enero de 2001 pasó a formar parte de la Dirección General de la Unidad de Bosques Urbanos y Educación Ambiental, órgano desconcentrado de la citada Secretaría. En la actualidad, esta institución recibe el nombre de Museo Historia Natural y Cultura Ambiental de la Ciudad de México.

6.5.2 El tema de la Evolución y la cultura de representación

En el Museo de Historia Natural y Cultura Ambiental de la Ciudad de México existen dos salas que nos interesan en particular. Aquella de la evolución de los seres vivos y la de evolución de la especie humana.

Antes de comenzar a describir las particularidades de estas exhibiciones y de analizar la cultura de representación que las subyace, es importante enfatizar que todos los especímenes que podemos encontrar en las colecciones de los museos pueden analizarse bajo la óptica de cómo se emplean en la actualidad. No obstante, muchas de estas colecciones y exhibiciones fueron diseñadas hace varios años y, por lo tanto, el análisis de lo que podemos conocer y observar a partir de ellas en la actualidad debería tomar en cuenta el lapso de origen. Los especímenes y objetos de las colecciones de los museos agrupan ideas y valores de las sociedades del pasado, esto es, del momento en que fueron creadas y por ello el análisis de la cultura de representación en el presente necesariamente debe considerar qué tan lejos y en qué dimensiones, las interpretaciones y el conocimiento de otras épocas sigue circulando en la actualidad. Esto se hace particularmente evidente en el museo de la ciudad de México, en el cual aunque en la época de su última etapa, fue uno de los primeros museos en promover dentro de sus exhibiciones el acercamiento e incorporación a nivel curatorial de teorías científicas como el origen de la vida, en la actualidad tanto el aspecto conceptual como de diseño se percibe especialmente anquilosado.

Asimismo es importante mencionar que las exposiciones visitadas “enfrentan décadas de olvido” —según el propio director del MHNCA, Eduardo Vázquez (2009)— y no han tenido ningún vínculo con centros de generación de conocimiento desde 1964,

por lo cual, existe en la actualidad un plan de renovación que “considera otro guión, otra museografía y otra infraestructura” (Vázquez, 2009).

Una vez sentado lo anterior, lo primero que llama la atención al entrar a las galerías de este museo es la poca iluminación y la carencia de cédulas explicativas y de sección (Fig. 6.43).



Figura 6.43. La oscuridad domina en las salas del museo (foto de la autora).

Los espacios son abiertos por lo que algunas paredes están aprovechadas con dioramas. Algo curioso es que, como se mencionó en la sección del Museo de Historia Natural de Nueva York, durante el siglo XIX los montajes de especímenes disecados trataban de ser sorprendentes y espectaculares, por ello se recurría a la postura forzada de los animales, las cuales no reflejaban las verdaderas relaciones ecológicas o de comportamiento que mantenían en su hábitat natural. Posteriormente se fue haciendo conciencia de lo anterior y se procuró evitar estas prácticas en los museos.

En el Museo de Historia Natural de la Ciudad de México, encontramos una y otra vez este gusto por la teatralidad (Fig. 6.44) que resulta sorprendente si pensamos que, aunque el diseño del museo data de 1964, ha sufrido varias remodelaciones, siendo una de ellas en 1999.

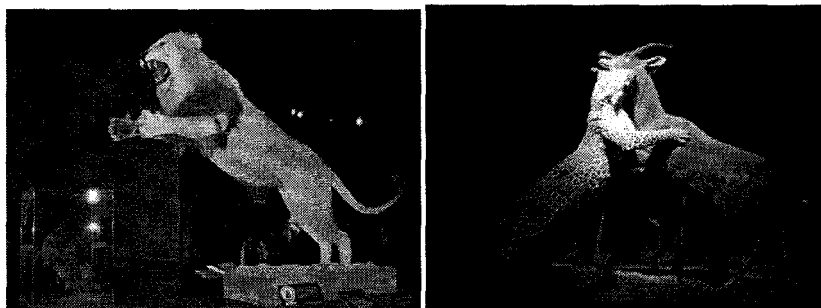


Figura 6.44. Numerosos dioramas del Museo de Historia Natural de la Ciudad de México representan de forma circense o exagerada el comportamiento de los animales (fotos de la autora).

La mayoría de las exhibiciones están pasadas de moda, son aburridas y carecen de información. Lo interesante es que si uno visita algún museo de historia natural europeo cuyas colecciones datan de los siglos XVII, XVIII y XIX como el de Viena, que es sorprendente, se puede percibir la filosofía que subyace a las exhibiciones —se pensaba que el solo hecho de observar los especímenes permitía el aprendizaje del público— y de ninguna manera nos sentimos ante un montaje anquilosado o pasado de moda, por el contrario. No obstante, el sentimiento que predomina cuando uno visita el Museo de Historia Natural de la Ciudad de México es precisamente ese, que no está actualizado; el descuido, la carencia de diseño y la información nos remiten al año de su creación. Además, la falta de colecciones se hace particularmente evidente en los montajes sobre taxonomía y biodiversidad que muestran contados animales disecados en malas condiciones y sin relaciones claras entre sí. Incluso mucha de la tipografía empleada y de las técnicas de rotulación están desactualizadas (siguen siendo las de los años setenta). Tanto que algunas cédulas se encuentran en pizarrones corzo ranurados que no están acorde con el paso de los tiempos ni a la vanguardia en comunicación gráfica y museografía en general.

En cuanto a la sala de Evolución, ésta pretende revelar el proceso mediante dioramas dispuestos en una larga vitrina panorámica que muestra los diferentes aspectos de la vida en la Tierra a lo largo de la historia evolutiva. La fauna de Ediacara, los primeros trilobites, la aparición de los peces, la diversidad de dinosaurios, el surgimiento de los grandes mamíferos hasta llegar al ser humano y las especies actuales (Fig. 6.45).



Figura 6.45. En una larga vitrina se muestra una ‘síntesis’ de la evolución de los seres vivos (fotos de la autora).

La cédula de sección —la cual contrasta con el resto, pues se nota que fue creada recientemente— que se encuentra al comienzo de esta vitrina nos explica lo siguiente:

¿Qué es la evolución? Desde sus comienzos, hace unos 3500 millones de años, la vida ha estado en cambio constante. Hace cien millones de años los dinosaurios eran los animales más poderosos y reinaban sobre los frágiles mamíferos. Hoy ya no existen los dinosaurios y los mamíferos son los vertebrados dominantes pues se distribuyen en prácticamente todos los ambientes del planeta. Al principio de la vida había solo organismos unicelulares microscópicos. Los animales y plantas multicelulares se cuentan hoy por millones. A lo largo de la evolución de la vida en la Tierra aparecieron incontables variedades de organismos que después de prosperar se extinguieron para dar lugar a otras especies. Este continuo proceso de transformación, el hecho fundamental de la vida, es la evolución.

Y le sigue un diagrama de las relaciones evolutivas entre los distintos animales y plantas que contrasta con la explicación, pues aunque plasma la aparición de los organismos en el tiempo (aunque no brinda idea de hace cuánto), no nos da información de que algunos de los grupos se han diversificado, como el caso de los mamíferos o de las plantas con flor, mientras que otros han reducido su número, como en el caso de los reptiles. Es decir, no se muestran las extinciones o los cambios en la riqueza y diversidad de grupos. (Fig. 6.46).

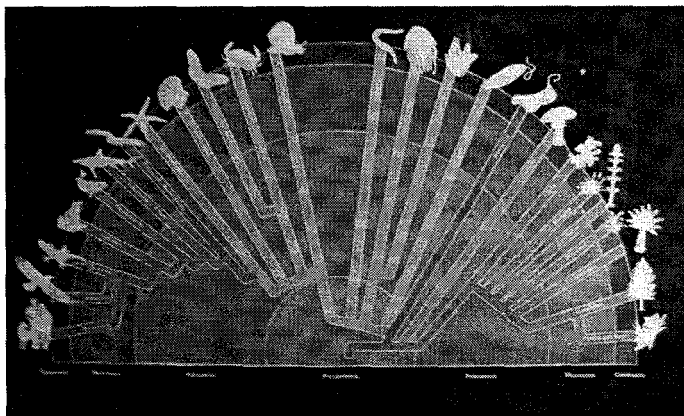


Figura 6.46. Diagrama que acompaña a la cédula de sección en la cual se muestra la aparición de los diferentes grupos de animales y plantas en el tiempo (foto de la autora).

En esta sala también encontramos las dos piezas quizá más espectaculares del museo: la reproducción del esqueleto del *Diplodocus carnegii* (Fig. 6.47), que mide cuatro metros de altura y 27 metros de largo, el cual fue un regalo que la viuda del industrial del acero Andrew Carnegie hizo al pueblo de México, en 1928, y una gran mandíbula del tiburón Megalodon, la cual a pesar que fue recientemente restaurada carece de cédula y el visitante no sabe lo que está observando (Fig. 6.48).

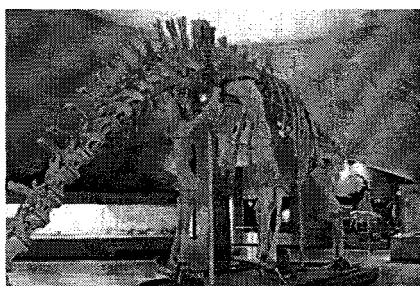


Figura 6.47. *Diplodocus carnegii* (foto de la autora).



Figura 6.48. Mandíbula del gran Megalodon (obsérvese que no existe cédula explicativa) (foto de la autora).

En la última parte de esta sala, después del recorrido por las diferentes épocas con su respectiva biodiversidad, nos encontramos con un diagrama sobre la evolución

del caballo, sin cédula, sin rótulos y sin leyendas (Fig. 6.49). Lo más increíble es que se trata de la marcha del progreso.

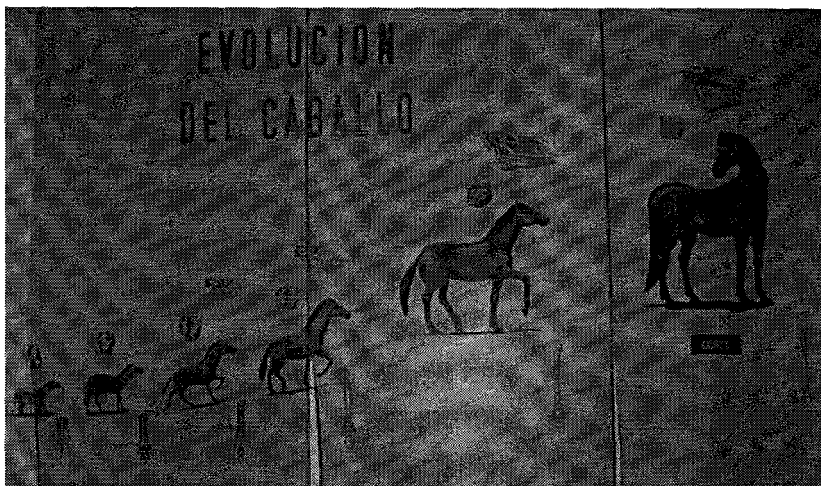


Figura 6.49. Diagrama que ilustra la evolución del caballo de manera lineal y progresiva (foto de la autora).

En cuanto a la sala de *Evolución de la especie humana*, en ningún lugar encontramos un árbol evolutivo que nos explique las relaciones entre las diferentes especies de homínidos, con lo cual persiste la idea de que unos dieron lugar a otros en una secuencia lineal y progresiva. Lo anterior está reforzado por los dioramas que muestran a los neandertales, seguidos por el hombre de cro-magnón y del *Homo erectus*, sin ninguna relación entre sí (Fig. 6.50).



Figura 6.50. Dioramas de diferentes grupos de homínidos (fotos de la autora).

El diorama es una técnica que ofrece al visitante una 'ventana' a otro mundo — típicamente animales en su hábitat— y permite que se relacione con los especímenes que se encuentran del otro lado casi como si estuvieran vivos. No obstante, la representación de seres humanos y homínidos mediante dioramas, resulta un problema especial pues se corre el riesgo de reforzar las creencias estereotipadas y los prejuicios en cuanto a nuestro propio linaje. Una investigación reciente (Scott & Giusti, 2006), encontró que la mayoría de los visitantes interpretan la evolución humana como

si el *Homo sapiens* hubiera descendido directamente de los primates actuales, sin comprender que ambos ocupamos distintas ramas del árbol evolutivo compartiendo el mismo ancestro.

Además, existen dos problemas de interpretación relacionados con los grupos de edad. Para los mayores, los dioramas se perciben como verdades absolutas, como si los diseñadores realmente supieran todos los detalles de la apariencia y comportamiento de los primeros homínidos; es decir que los interpretan como verdades absolutas que presentan evidencia científica incontrovertible. Para los más jóvenes, el problema radica en que interpretan los modelos evolutivos como si fueran reales —como animales disecados (Scott & Giusti, 2006).

6.5.3 Análisis de la cultura de la representación

Sobra decir que ambas salas de evolución se han mantenido al margen de los debates actuales en cuanto a las representaciones del proceso evolutivo y a los mecanismos de cambio. En ambas salas se ilustra el proceso de manera lineal y progresiva, ya sea mediante diagramas o dioramas.

El tema principal que subyace a la galería de la evolución es algunos aspectos de la vida a través del tiempo geológico. La exhibición conduce al visitante a través de la historia de nuestro planeta mediante dioramas que recrean los diferentes ambientes con su flora y fauna asociada desde que apareció la vida (Fig. 6.45).

En la sala de *Evolución de los seres vivos* encontramos tres árboles evolutivos, uno de la vida en general (Fig. 6.51), otro de los mamíferos (Fig. 6.52) y uno más de los reptiles (Fig. 6.53). Los tres están pintados en alguna pared y ninguno tiene cédulas explicativas ni rótulos; solo dos tienen leyenda. No están representadas las extinciones, ni el componente temporal, ni otra información acerca del proceso evolutivo, lo cual hace difícil su interpretación y los hace parecer más un aspecto decorativo que un elemento informativo al estar descontextualizados. Posteriormente se analiza con detalle estos árboles (ver la sección de resultados y discusión), pero basta decir que son los típicos árboles en forma de cono de diversidad creciente que plasman erróneamente la historia de las relaciones de los seres vivos de nuestro planeta. Existe además una representación de la evolución del caballo mediante la típica marcha del progreso, la cual conlleva a distintos problemas conceptuales e interpretativos que se analizaron en el capítulo II.

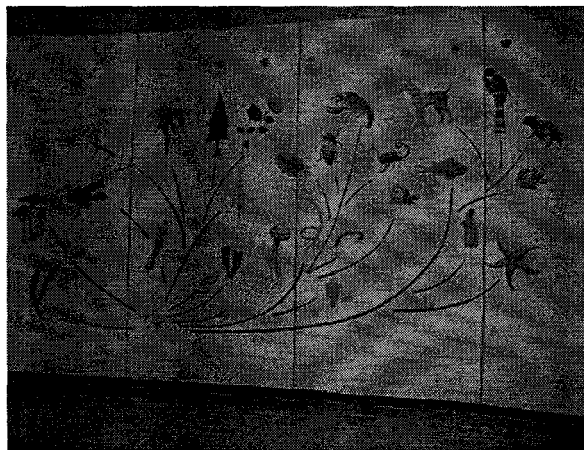


Figura 6.51. Árbol evolutivo de los seres vivos (foto de la autora).



Figura 6.55. Árbol evolutivo de los mamíferos (foto de la autora).

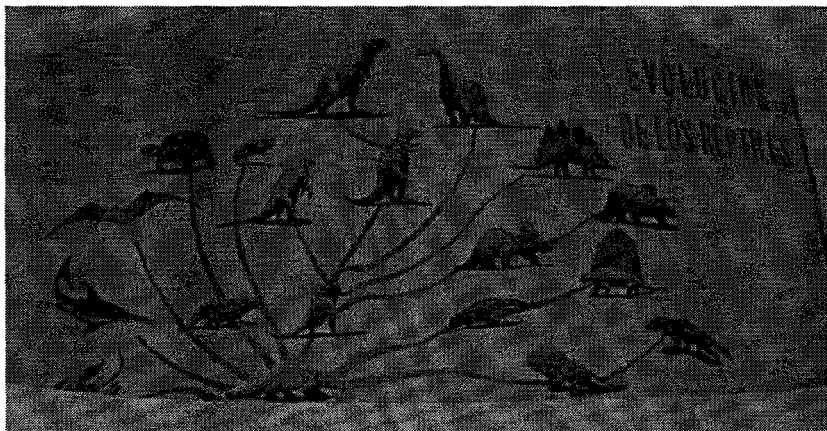


Figura 6.56. Árbol evolutivo de los reptiles (foto de la autora).

Capítulo VII

Análisis de imágenes y exposiciones





Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

VII. Análisis de imágenes y exposiciones

Se analizaron un total de 28 imágenes contenidas en cinco de los principales museos de historia natural: el de Londres, París, Berlín, Nueva York y el de la Ciudad de México.

Mediante la adecuación de las metodologías propuestas por Shapley (2004) y Donovan & Wilcox (2004), se logró obtener la información más relevante acerca de la utilidad didáctica de los árboles evolutivos presentes en los museos antes mencionados. Se tomaron en cuenta tres aspectos fundamentales:

1. La información más importante que deben presentar los árboles para ser comprendidos por el público, es decir, conceptos y características de los árboles que apoyan el entendimiento de los componentes de la filogenia, tales como guías de interpretación, información acerca de la naturaleza de las filogenias o de los taxones, entre otras.
2. Presencia de confusiones que conducen a errores conceptuales, es decir, conceptos y características de los árboles que pueden interferir con el entendimiento de la evolución, tales como la inclusión de ancestros identificados pues en cladística los ancestros son estrictamente hipotéticos, la presencia de intermedios como ancestros, la implicación de progreso o la colocación de grupos actuales en nodos internos, entre otros.
3. La visualización de los árboles, es decir las características de su representación, tales como dimensionalidad, interactividad, estructura, simetría, orientación, entre otras. Esto para conocer si existe un tipo de árbol evolutivo favorito para emplearse en los museos, así como para encontrar tendencias en la representación de filogenias pensadas para diversas audiencias y con fines didácticos.

A continuación se presentan los resultados de las diferentes visualizaciones de árboles filogenéticos en los museos visitados. Primero se muestra una galería de imágenes con los árboles evolutivos encontrados en cada uno de los museos comenzando por el de Berlín, seguido del de Londres, de la Galería de la Evolución de París, del de Nueva York y finalmente del de la Ciudad de México. En seguida se presenta un cuadro con las características y los conceptos a evaluar —establecidos en la metodología para caracterizar y clasificar filogenias— de cada uno de los árboles por museo, comenzando por los de Berlín. Posteriormente para facilitar el análisis de los resultados, se presentan cuadros con información específica de los árboles sin importar su procedencia.

Galería de imágenes
Museum für Naturkunde, Berlín

Museo de Historia Natural de Berlín



Figura B1. 'Filogenia' de los seres vivos (foto de la autora).

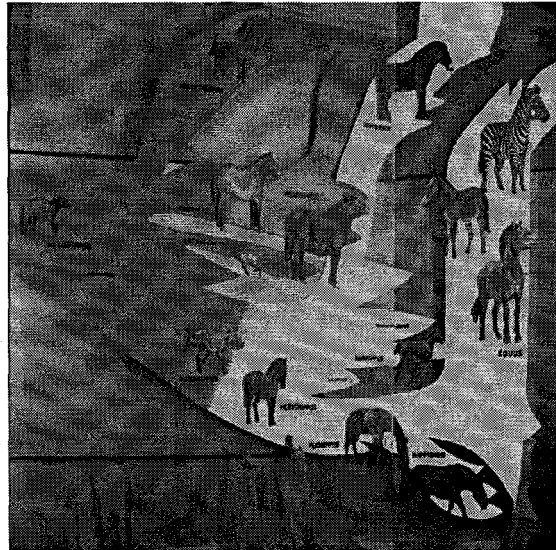


Figura B2. 'Filogenia' de los caballos (foto de la autora).

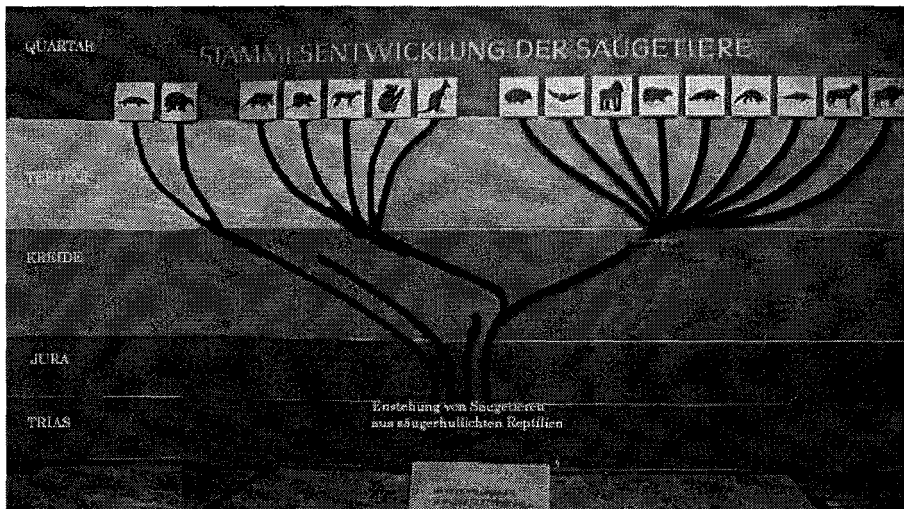


Figura B3. 'Filogenia' de los mamíferos (foto de la autora).

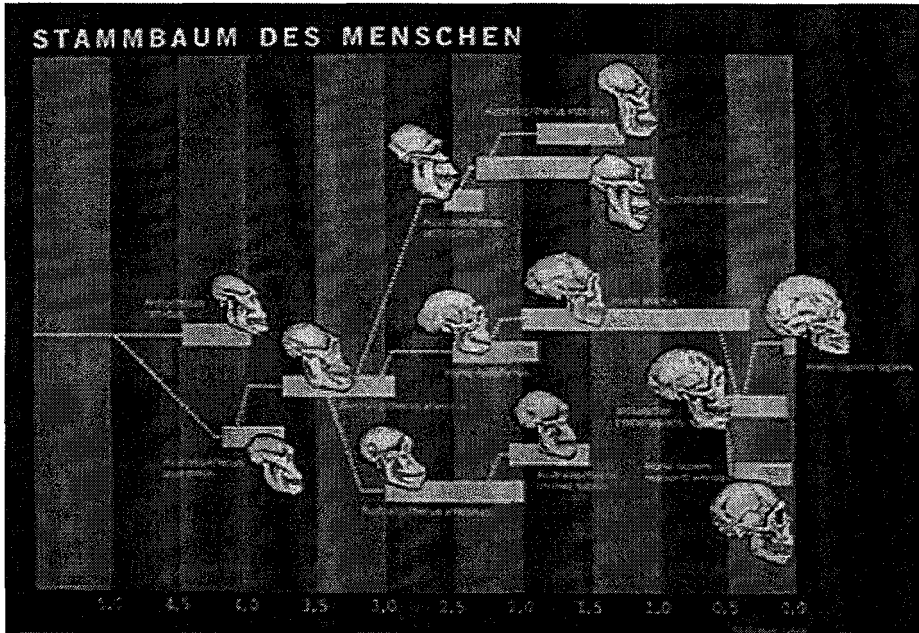


Figura B4. 'Filogenia' del ser humano (foto de la autora).

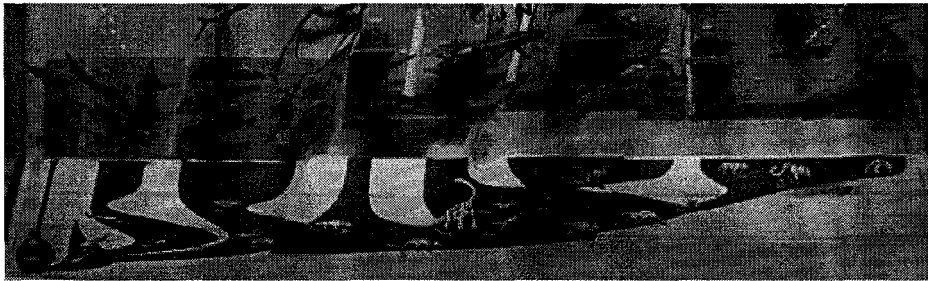


Figura B5. 'Filogenia' de los vertebrados. (foto de la autora).

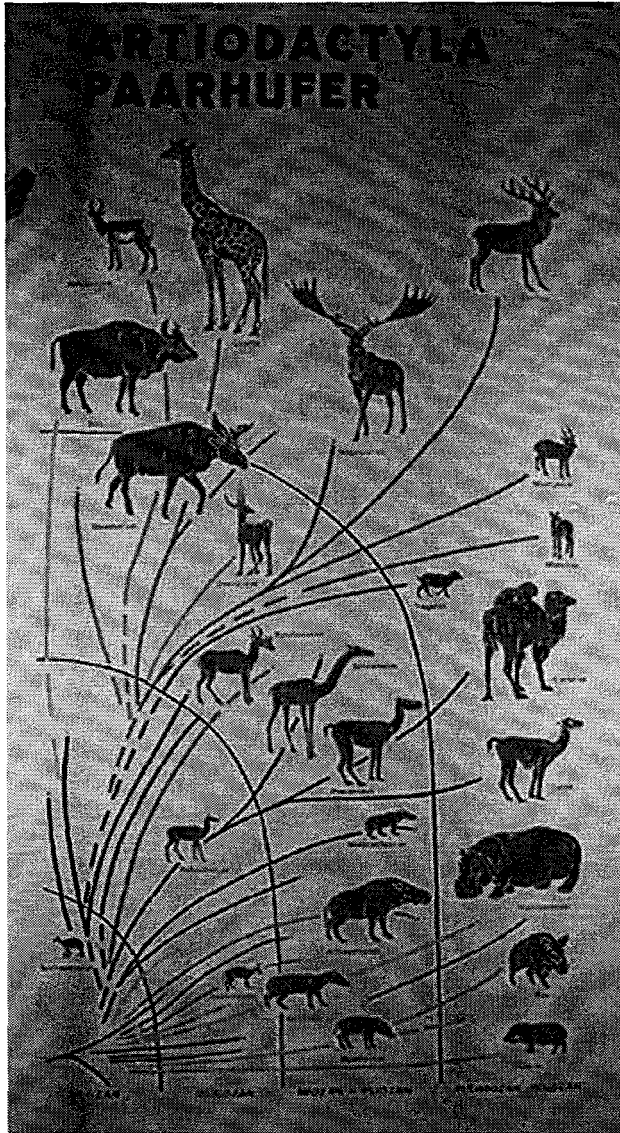
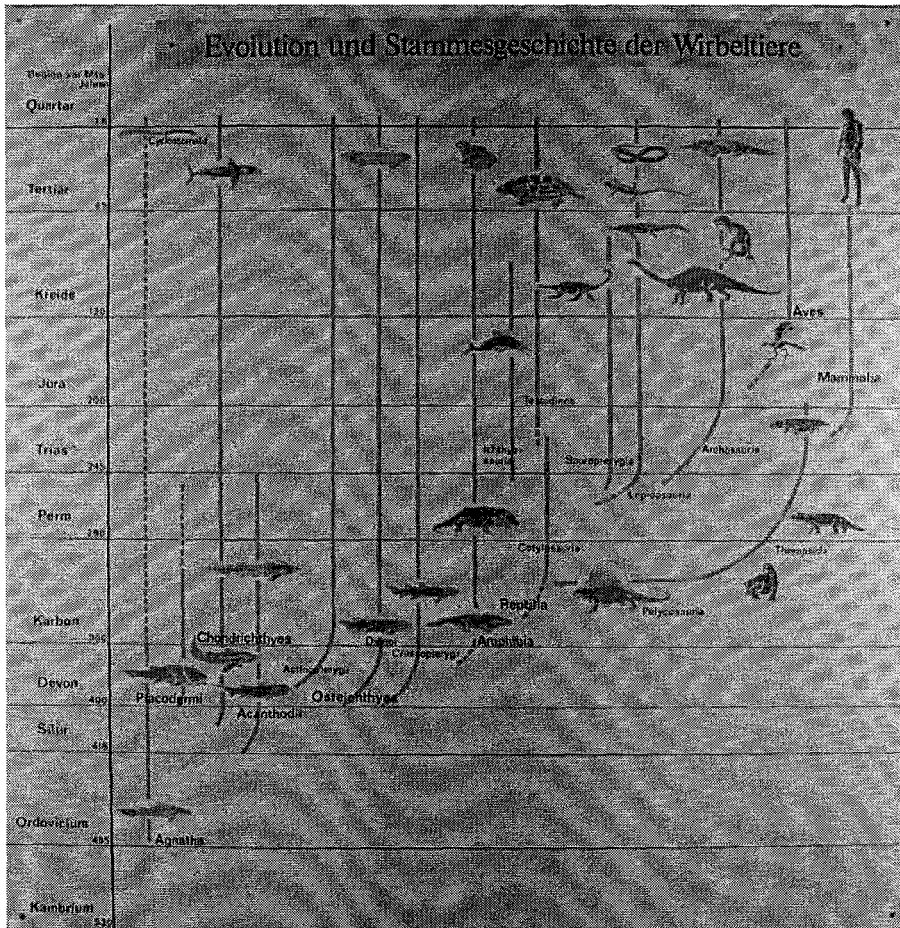


Figura B6. 'Filogenia' de los artiodáctilos (foto de la autora).



Filogenia B7. 'Filogenia' de los vertebrados
(b) (foto de la autora).

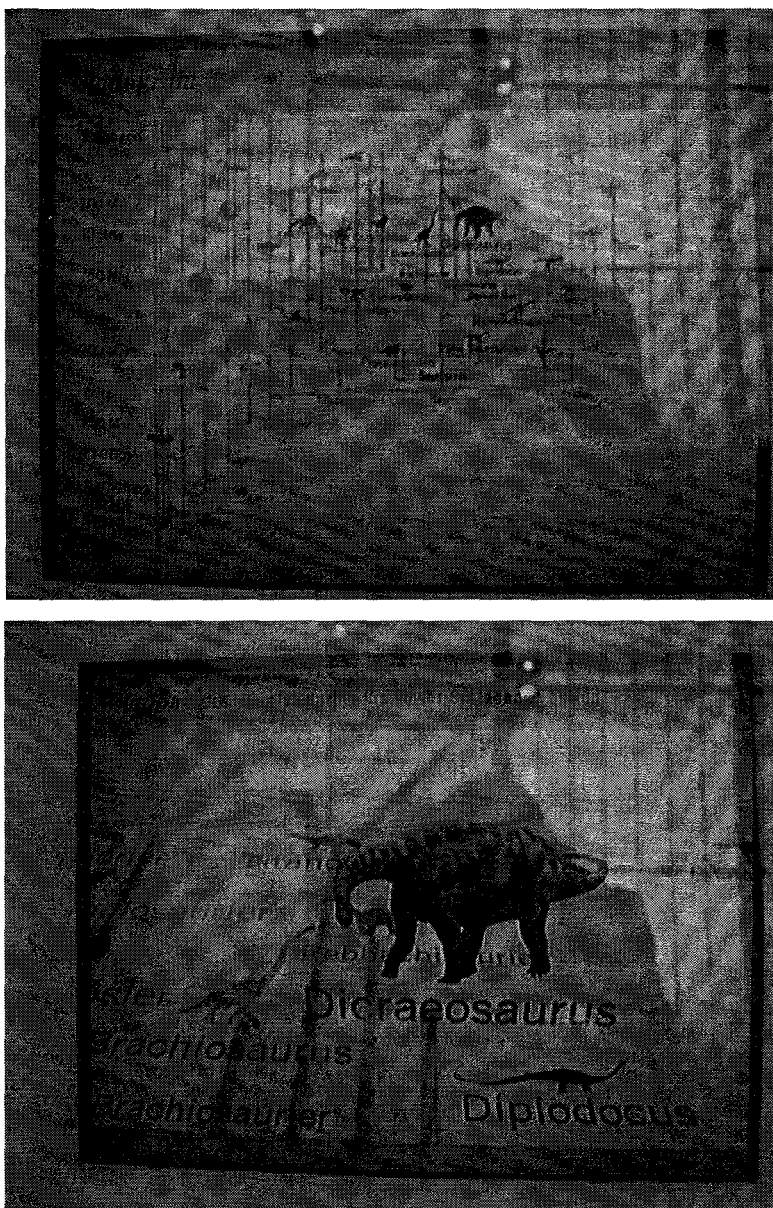


Figura B8. 'Filogenia' de los saurios (fotos de la autora).

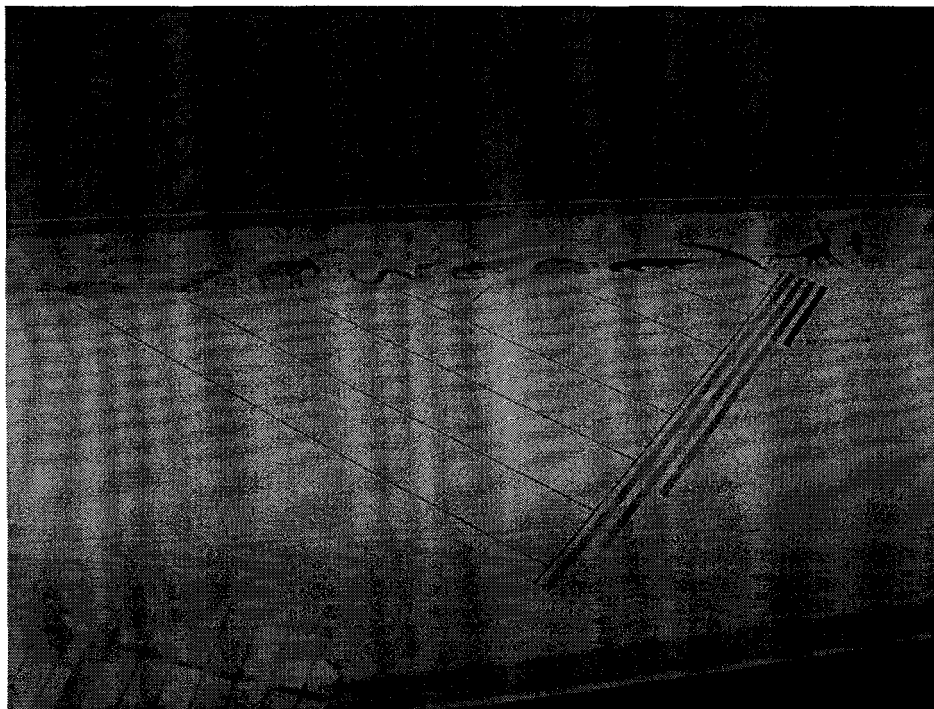


Figura B9. 'Filogenia' de los vertebrados (c (foto de la autora).

British Natural History Museum, Londres

Museo Británico de Historia Natural, Londres

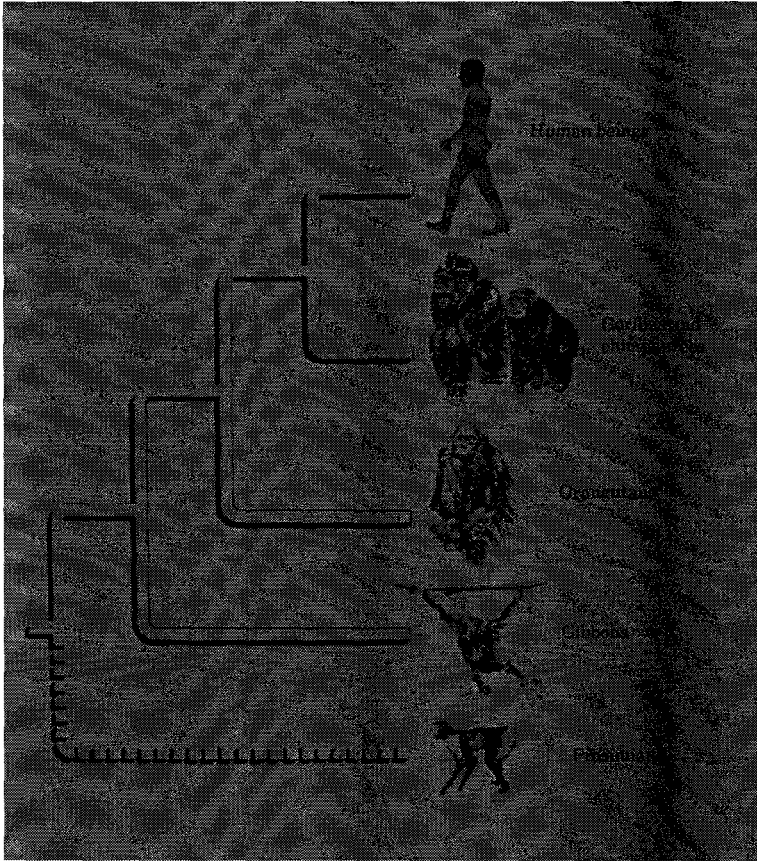


Figura L1. 'Filogenia' de los primates (foto de la autora).

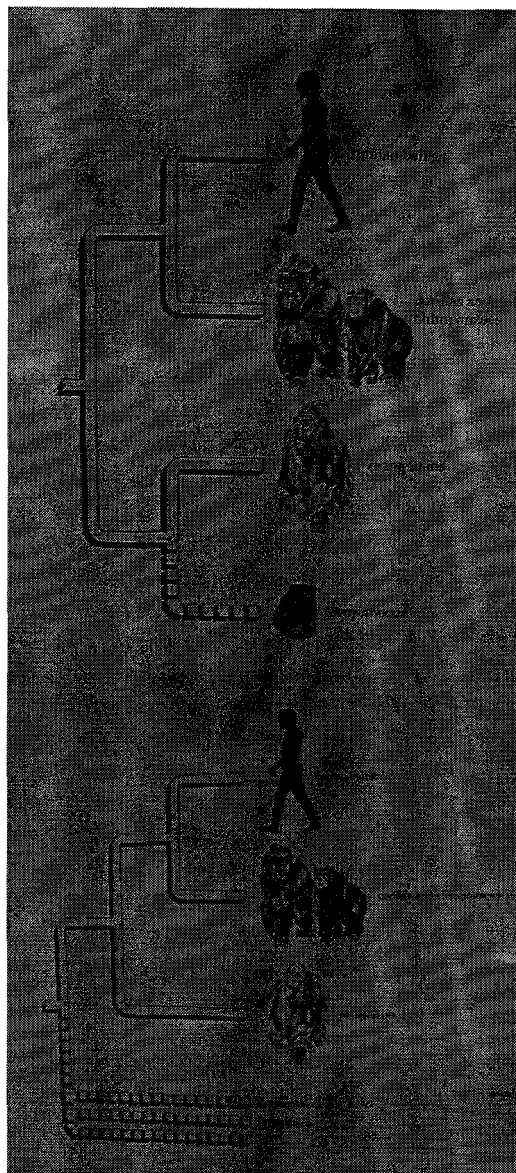


Figura L2. Hipótesis gráfica sobre relaciones ancestrales (foto de la autora).

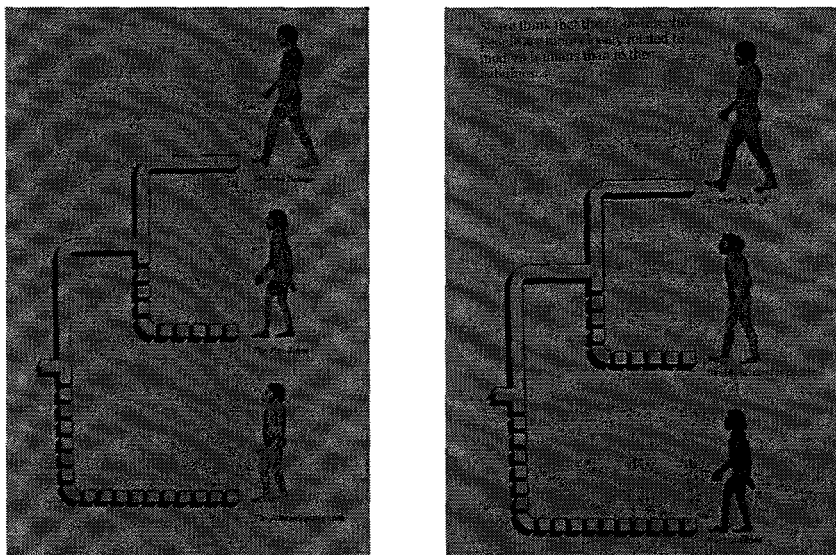


Figura L3. Hipótesis gráfica sobre nuestro pariente extinto más cercano (fotos de la autora).

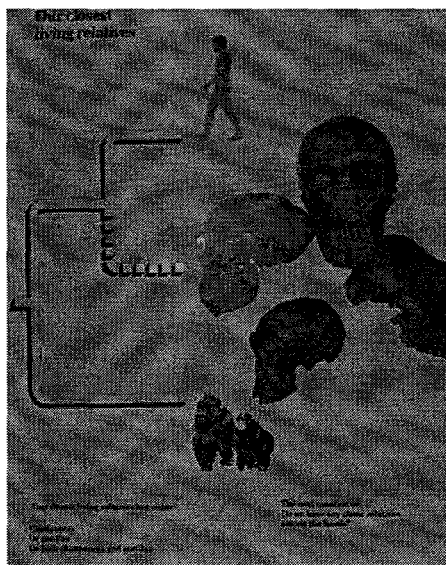


Figura L4. Nuestro pariente vivo más cercano (foto de la autora).

Grande Galerie de l'Evolution, París

Gran Galería de la Evolución de París



Figura P1. 'Filogenia' de los tres dominios (foto de la autora).



Figura P2. 'Filogenia' de los seres vivos (foto: cortesía de Carlos Guevara).

American Natural History Museum, Nueva York

Museo de Historia Natural de Nueva York

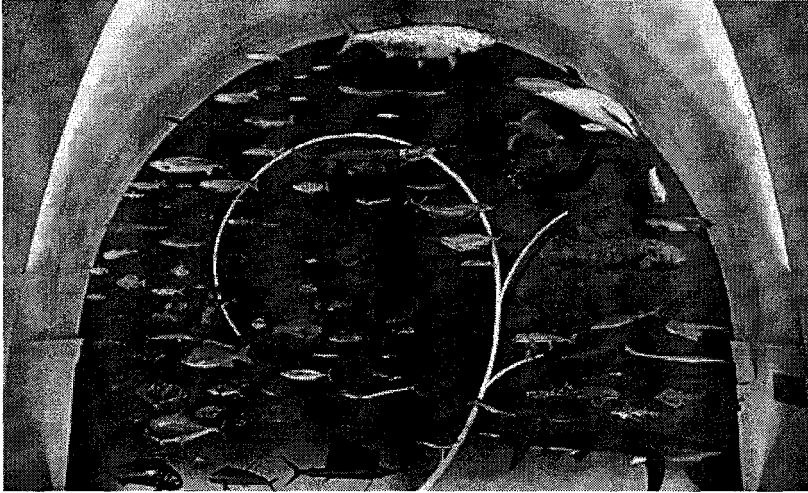


Figura NY1. 'Filogenia' de los vertebrados (foto de la autora).

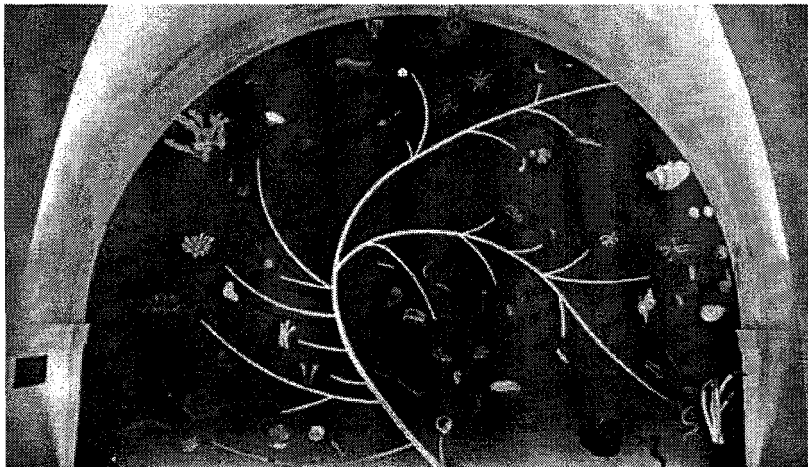


Figura NY2. 'Filogenia' de los principales grupos marinos (foto de la autora).

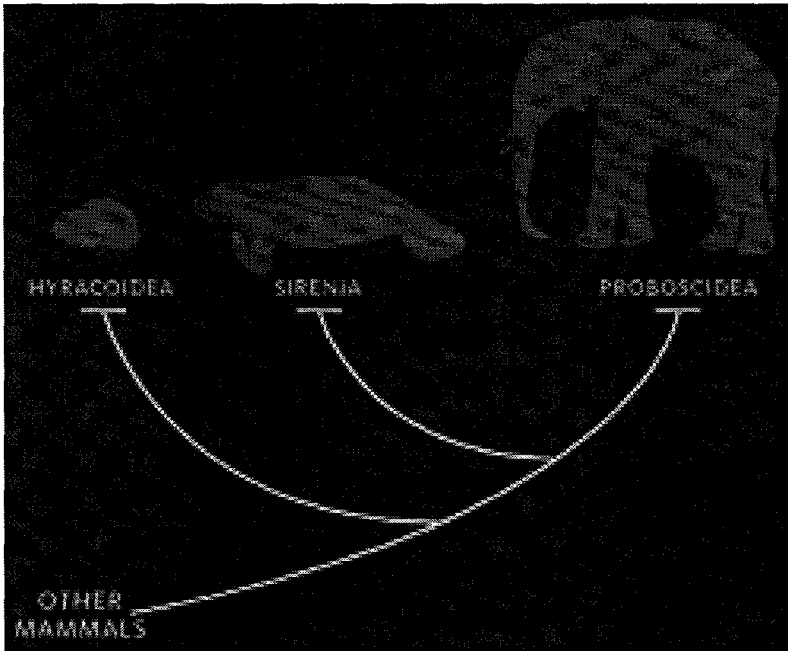


Figura NY3. 'Filogenia' de los sirénidos (tomada de www.amnh.org).

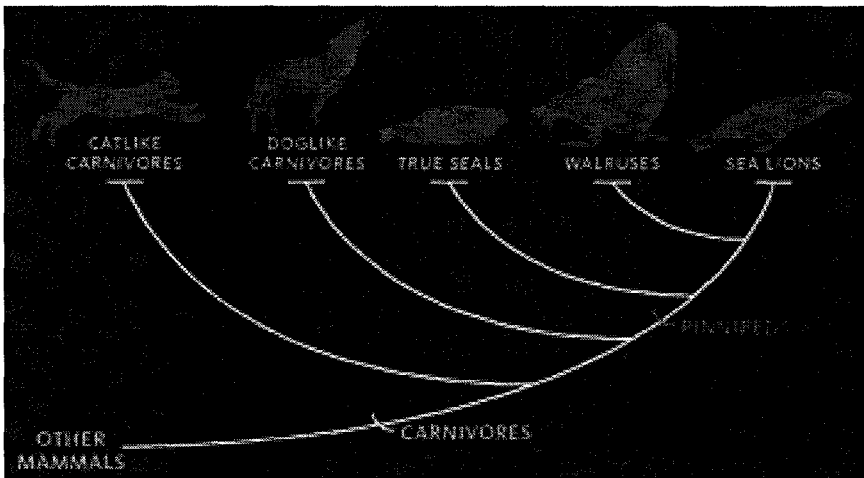


Figura NY4. 'Filogenia' de los pinnípedos (tomada de www.amnh.org).

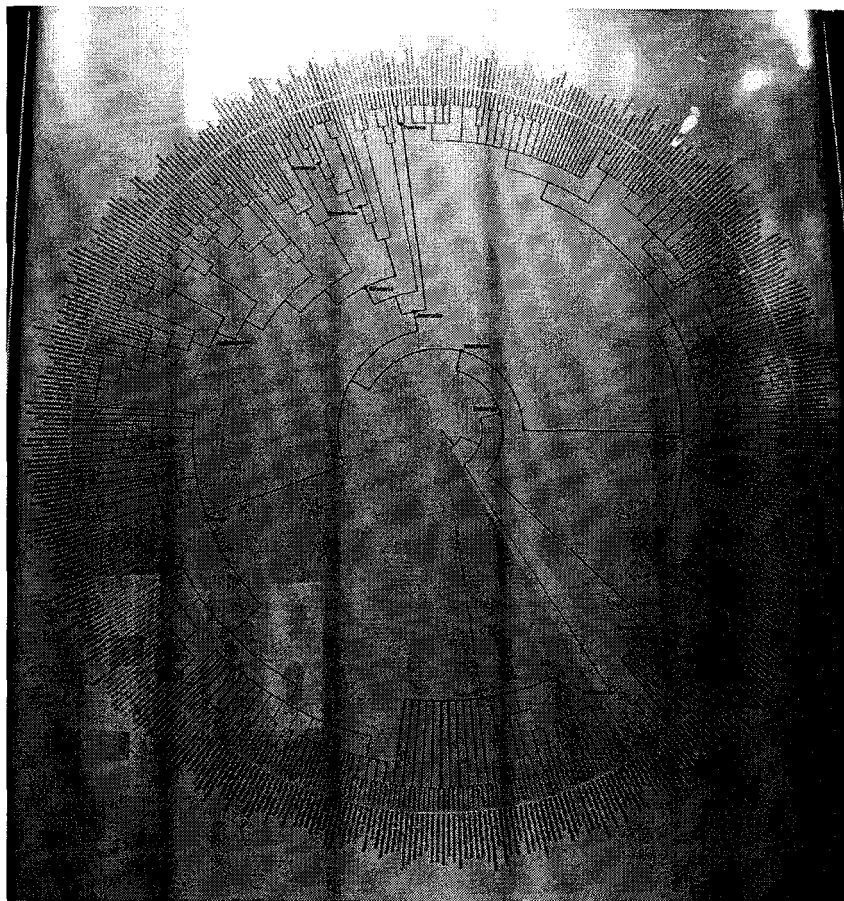


Figura NY5. 'Filogenia' de los seres vivos (fotos de la autora).

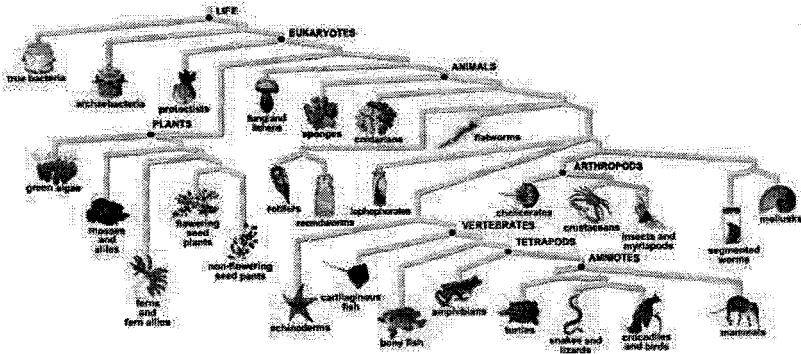


Figura NY6. 'Filogenia' de la diversidad de vida (tomada de www.amnh.org).

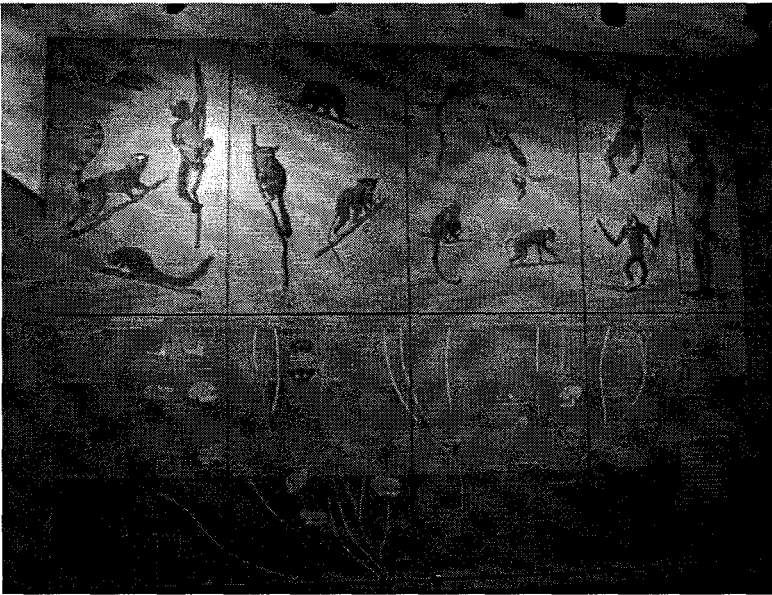


Figura NY7. 'Filogenia' de los primates (foto de la autora).



Figura NY8. 'Filogenia' del ser humano (foto de la autora).

Museo de Historia Natural de la Ciudad de México



Figura M1. Árbol evolutivo de los reptiles (foto de la autora).

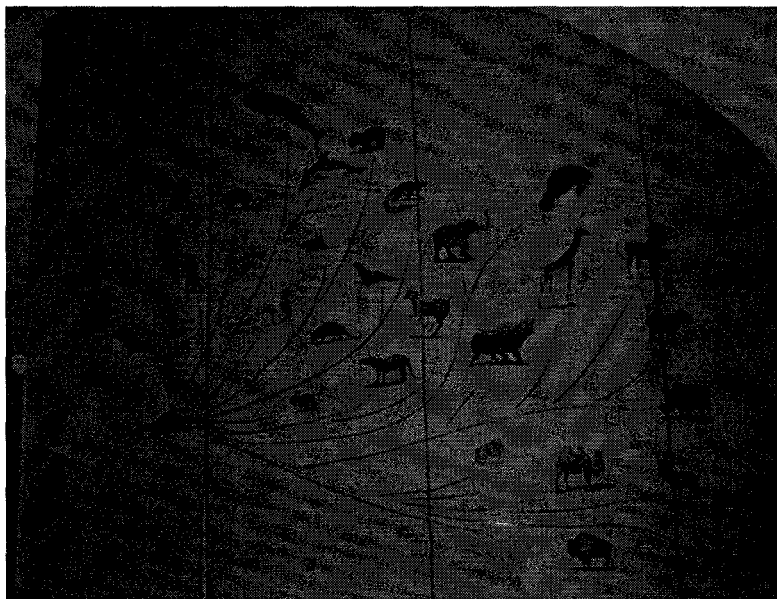


Figura M2. Árbol evolutivo de los mamíferos (foto de la autora).

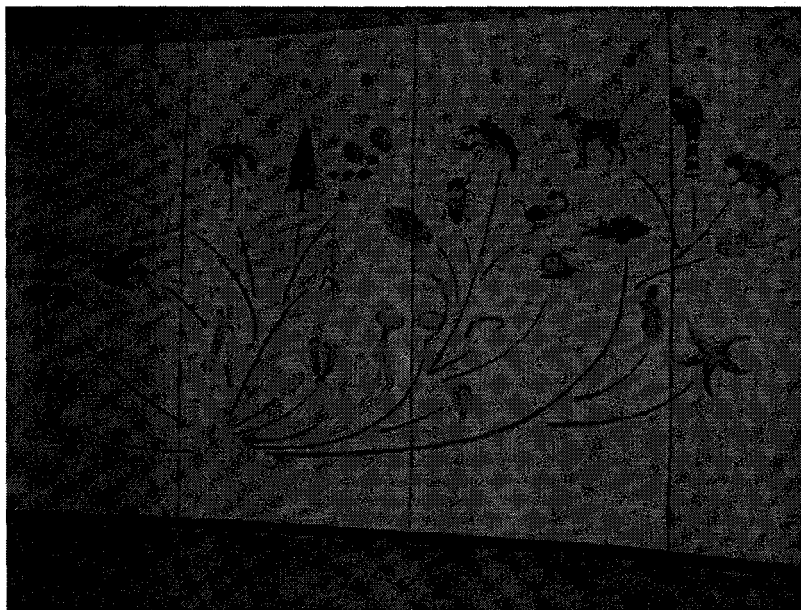


Figura M3. Árbol evolutivo de la vida (foto de la autora).

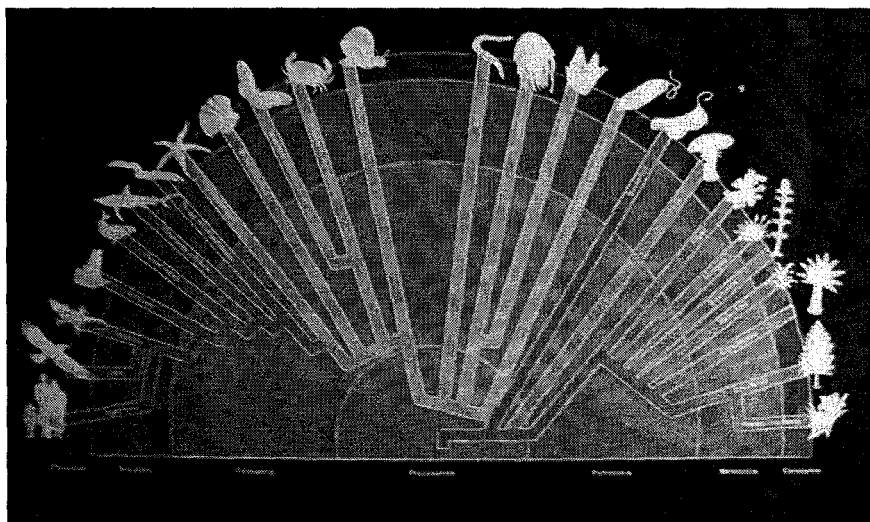


Figura M4. Evolución de la vida (foto de la autora).

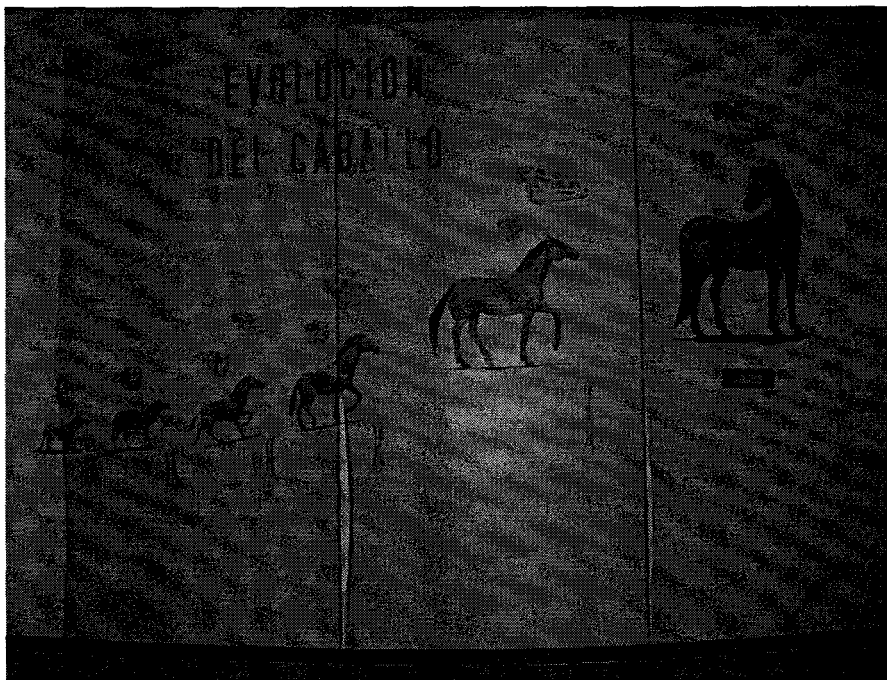


Figura M5. Evolución del caballo (foto de la autora).

MUSEO DE HISTORIA NATURAL DE BERLÍN

Clave de identificación de los árboles (ver galería de imágenes)

- B1. Filogenia de los seres vivos
- B2. Filogenia de los caballos
- B3. Filogenia de los mamíferos
- B4. Filogenia del ser humano
- B5. Filogenia de los vertebrados
- B6. Filogenia de los artiodáctilos
- B7. Filogenia de los vertebrados (b)
- B8. Filogenia de Dicraeosaurus
- B9. Filogenia de los vertebrados (c)

Cuadro 7.1. Resultados de los árboles evolutivos del Museo de Historia Natural de Berlín mediante la adecuación de la metodología de Donovan & Wilcox (2004).

Conceptos y características	Berlín								
	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9
1. Con información acerca de taxones específicos	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗
2. Con información acerca de patrones y procesos evolutivos	✗	✓	✗	✓	✓	✗	✓	✓	✗
3. Presencia de clasificación	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
4. Información acerca de la naturaleza de las filogenias (que son hipótesis)	✓	✗	✗	✓	✗	✗	✓	✓	✓
5. Guía de interpretación (leyendas, rótulos)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
6. Representación de las extinciones	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗
7. Colocación de los grupos actuales en nodos internos	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
8. Ancestro común	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
9. Implicación de progreso	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
10. Presencia de ancestros hipotéticos	✗	✗	✓	✗	✗	✗	✗	✓	✗
11. Presencia de ancestros identificados	✗	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✗	✗
12. Presencia de intermedios como ancestros	✗	✗	✗	✗	✓	✓	✓	✗	✗

Cuadro 7.2. Resultados de los árboles evolutivos del Museo de Historia Natural de Berlín mediante la adecuación de la metodología de Shapley (2004).

Facetas	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9
1. Estructura <ul style="list-style-type: none"> • En forma de cono (árbol clásico) (CN) • Circular (C) • Ramificada (R) 	R	R	CN	CN	R	CN	CN	CN	CN
2. Interactividad <ul style="list-style-type: none"> • Estático (E) • Interactivo (I) 	I	E	E	E	E	E	E	I	E
3. Descripción espacial <ul style="list-style-type: none"> • Dimensionalidad <ul style="list-style-type: none"> ➢ 2D (tradicional) (T) ➢ 2D con relieve ➢ 3D • Orientación <ul style="list-style-type: none"> ➢ Izquierda-derecha (a) ➢ Arriba-abajo (b) ➢ Abajo-arriba (c) ➢ Del centro hacia afuera (d) 	2D	2D	T	T	2D	T	T	2D	2D
	d	a	c	a	a	c	c	c	c
4. Datos mostrados <ul style="list-style-type: none"> • Descripción de nodos <ul style="list-style-type: none"> ➢ Nombres de los clados ➢ Nombres para otros grupos ➢ Pictogramas o representación de los organismos ➢ Estadísticas u otra información numérica • Longitud de las ramas <ul style="list-style-type: none"> ➢ Distancia o tiempo (t) ➢ Ambiguo (a) ➢ Molecular (m) 	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
	a	a	t	t	t	a	t	t	t
5. Visualización <ul style="list-style-type: none"> • Perspectiva <ul style="list-style-type: none"> ➢ Completa (C) ➢ Localizada (L) 	C	L	L	L	L	L	L	L	L
	L								

MUSEO DE HISTORIA NATURAL DE LONDRES

Clave de identificación de los árboles (ver galería de imágenes)

- L1. Filogenia de los primates
- L2. Hipótesis sobre relaciones ancestrales
- L3. Hipótesis sobre nuestro pariente extinto más cercano
- L4. Nuestro pariente vivo más cercano

GRAN GALERÍA DE LA EVOLUCIÓN DE PARÍS

Clave de identificación de los árboles (ver galería de imágenes)

- P1. Filogenia de los tres dominios
- P2. Filogenia de los seres vivos

Cuadro 7.3. Resultados de los árboles evolutivos del Museo de Historia Natural de Londres y de la Gran Galería de la Evolución de París mediante la adecuación de la metodología de Donovan & Wilcox (2004).

Conceptos y características	LONDRES				PARÍS	
	L1	L2	L3	L4	P1	P2
1. Con información acerca de taxones específicos	✓	✓	✓	✓	✗	✗
2. Con información acerca de patrones y procesos evolutivos	✓	✓	✓	✓	✗	✗
3. Presencia de clasificación	✗	✗	✗	✗	✗	✗
4. Información acerca de la naturaleza de las filogenias (que son hipótesis)	✓	✓	✓	✓	✗	✗
5. Guía de interpretación (leyendas, rótulos)	✓	✓	✓	✓	✓	✗
6. Representación de las extinciones	✓	✓	✓	✓	✗	✗
7. Colocación de los grupos actuales en nodos internos	✗	✗	✗	✗	✗	✗
8. Ancestro común	✗	✗	✗	✗	✗	✗
9. Implicación de progreso	✗	✗	✗	✗	✗	✗
10. Presencia de ancestros hipotéticos	✓	✓	✓	✓	✓	✓
11. Presencia de ancestros identificados	✗	✗	✗	✗	✗	✗
12. Presencia de intermedios como ancestros	✗	✗	✗	✗	✗	✗

Cuadro 7.4. Resultados de los árboles evolutivos del Museo de Historia Natural de Londres y de la Gran Galería de la Evolución de París mediante la adecuación de la metodología de Shapley (2004).

Facetas	Londres				París	
	L1	L2	L3	L4	P1	P2
1. Estructura <ul style="list-style-type: none"> • En forma de cono (árbol clásico) (CN) • Circular (C) • Ramificada (R) 	R	R	R	R	C	CN
2. Interactividad <ul style="list-style-type: none"> • Estático (E) • Interactivo (I) 	E	E	E	E	E	E
3. Descripción espacial <ul style="list-style-type: none"> • Dimensionalidad <ul style="list-style-type: none"> ➢ 2D (tradicional) (T) ➢ 2D con relieve ➢ 3D • Orientación <ul style="list-style-type: none"> ➢ Izquierda-derecha (a) ➢ Arriba-abajo (b) ➢ Abajo-arriba (c) ➢ Del centro hacia afuera (d) 	T	T	T	T	2D	2D
	a	a	a	a	d	c
4. Datos mostrados <ul style="list-style-type: none"> • Descripción de nodos <ul style="list-style-type: none"> ➢ Nombres de los clados ➢ Nombres para otros grupos ➢ Pictogramas o representación de los organismos ➢ Estadísticas u otra información numérica • Longitud de las ramas <ul style="list-style-type: none"> ➢ Distancia o tiempo (t) ➢ Ambiguo (a) ➢ Molecular (m) 	✓	✓	✓	✓	✗	✗
	✓	✓	✓	✓	✓	✗
	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	✗	✗	✗	✗	✗	✗
	a	a	a	a	a	a
5. Visualización <ul style="list-style-type: none"> • Perspectiva <ul style="list-style-type: none"> ➢ Completa (C) ➢ Localizada (L) 	C	L	L	L	C	C
	L					

MUSEO DE HISTORIA NATURAL DE NUEVA YORK

Clave de identificación de los árboles (ver galería de imágenes)

NY1. Filogenia de los principales grupos marinos

NY2. Filogenia de los vertebrados

NY3. Filogenia de los sirénidos

NY4. Filogenia de los pinnípedos

NY5. Filogenia de los seres vivos

NY6. Filogenia de la diversidad de vida

NY7. Filogenia de los primates

NY8. Filogenia del ser humano

Cuadro 7.5. Resultados de los árboles evolutivos del Museo de Historia Natural de Nueva York mediante la adecuación de la metodología de Donovan & Wilcox (2004).

Conceptos y características	NY1	NY2	NY3	NY4	NY5	NY6	NY7	NY8
1. Con información acerca de taxones específicos	✓	✗	✓	✓	✗	✗	✓	✓
2. Con información cerca de patrones y procesos evolutivos	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✓	✓
3. Presencia de clasificación	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
4. Información acerca de la naturaleza de las filogenias (que son hipótesis)	✗	✗	✗	✗	✓	✗	✗	✓
5. Guía de interpretación (leyendas, rótulos)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
6. Representación de las extinciones	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✓
7. Colocación de los grupos actuales en nodos internos	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
8. Ancestro común	✗	✗	✗	✗	✓	✓	✓	✓
9. Implicación de progreso	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
10. Presencia de ancestros hipotéticos	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
11. Presencia de ancestros identificados	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
12. Presencia de intermedios como ancestros	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗

Cuadro 7.6. Resultados de los árboles evolutivos del Museo de Historia Natural de Nueva York mediante la adecuación de la metodología de Shapley (2004).

Facetas	NY1	NY2	NY3	NY4	NY5	NY6	NY7	NY8
1. Estructura <ul style="list-style-type: none"> • En forma de cono (árbol clásico) (CN) • Circular (C) • Ramificada (R) 	CN	CN	CN	CN	C	CN	CN	CN
2. Interactividad <ul style="list-style-type: none"> • Estático (E) • Interactivo (I) 	E	E	E	E	E	I	E	E
3. Descripción espacial <ul style="list-style-type: none"> • Dimensionalidad <ul style="list-style-type: none"> > 2D (tradicional) (T) > 2D con relieve > 3D • Orientación <ul style="list-style-type: none"> > Izquierda-derecha (a) > Arriba-abajo (b) > Abajo-arriba (c) > Del centro hacia afuera (d) 	2D	2D	T	T	2D	2D	2D	3D
4. Datos mostrados <ul style="list-style-type: none"> • Descripción de nodos <ul style="list-style-type: none"> > Nombres de los clados > Nombres para otros grupos > Pictogramas o representación de los organismos > Estadísticas u otra información numérica • Longitud de las ramas <ul style="list-style-type: none"> > Distancia o tiempo (t) > Ambiguo (a) > Molecular (m) 	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	x	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	x	x	x	x	x	✓	x	x
	a	a	a	a	a	a	t	t
5. Visualización <ul style="list-style-type: none"> • Perspectiva <ul style="list-style-type: none"> > Completa (C) > Localizada (L) 	L	C	L	L	C	C	L	L

MUSEO DE HISTORIA NATURAL Y CULTURA AMBIENTAL DE LA CIUDAD DE MÉXICO

Clave de identificación de los árboles (ver galería de imágenes)

- M1. Árbol evolutivo de los reptiles
- M2. Árbol evolutivo de los mamíferos
- M3. Árbol evolutivo de la vida
- M4. Evolución de la vida
- M5. Evolución del caballo

Cuadro 7.7. Resultados de los árboles evolutivos del Museo de Historia Natural de la Ciudad de México mediante la adecuación de la metodología de Donovan & Wilcox (2004).

Conceptos y características	M1	M2	M3	M4	M5
1. Con información acerca de taxones específicos	*	*	*	✓	*
2. Con información cerca de patrones y procesos evolutivos	*	*	*	*	*
3. Presencia de clasificación	*	*	*	*	*
4. Información acerca de la naturaleza de las filogenias (que son hipótesis)	*	*	*	*	*
5. Guía de interpretación (leyendas, rótulos)	*	*	*	✓	*
6. Representación de las extinciones	*	*	*	*	*
7. Colocación de los grupos actuales en nodos internos	*	*	*	*	*
8. Ancestro común	✓	✓	✓	*	✓
9. Implicación de progreso	*	*	*	*	✓
10. Presencia de ancestros hipotéticos	*	*	*	✓	*
11. Presencia de ancestros identificados	✓	✓	✓	*	✓
12. Presencia de intermedios como ancestros	✓	✓	✓	*	*

Cuadro 7.8. Resultados de los árboles evolutivos del Museo de Historia Natural y de Cultura Ambiental de la Ciudad de México mediante la adecuación de la metodología de Shapley (2004).

Facetas	M1	M2	M3	M4	M5
1. Estructura <ul style="list-style-type: none"> • En forma de cono (árbol clásico) (CN) • Circular (C) • Ramificada (R) 	CN	CN	CN	R	P
2. Interactividad <ul style="list-style-type: none"> • Estático (E) • Interactivo (I) 	E	E	E	E	E
3. Descripción espacial <ul style="list-style-type: none"> • Dimensionalidad <ul style="list-style-type: none"> ➢ 2D (tradicional) (T) ➢ 2D con relieve ➢ 3D • Orientación <ul style="list-style-type: none"> ➢ Izquierda-derecha (a) ➢ Arriba-abajo (b) ➢ Abajo-arriba (c) ➢ Del centro hacia afuera (d) 	T	T	T	T	T
4. Datos mostrados <ul style="list-style-type: none"> • Descripción de nodos <ul style="list-style-type: none"> ➢ Nombres de los clados ➢ Nombres para otros grupos ➢ Pictogramas o representación de los organismos ➢ Estadísticas u otra información numérica • Longitud de las ramas <ul style="list-style-type: none"> ➢ Distancia o tiempo (t) ➢ Ambiguo (a) ➢ Molecular (m) 	* * ✓ * * a	* * ✓ * * a	* * ✓ * * a	✓ * ✓ * * a	* * ✓ * * a
5. Visualización <ul style="list-style-type: none"> • Perspectiva <ul style="list-style-type: none"> ➢ Completa (C) ➢ Localizada (L) 	L	L	C	C	L

7.1 Análisis de Resultados

Mediante los resultados presentados en los cuadros anteriores, a continuación se analizan los aspectos más relevantes del contenido de las imágenes de los árboles evolutivos sin importar su procedencia, con la finalidad de determinar varios aspectos:

1. Su utilidad como instrumentos didácticos para apoyar al entendimiento de la teoría de la evolución.
2. Si existe alguna tendencia en la elección y diseño de los árboles evolutivos.
3. ¿Cuál es el linaje más representado?, si es que lo hay.
4. Si los árboles evolutivos presentan errores conceptuales.

Representación por nivel de clasificación.

Nivel	No de árboles	Porcentaje
Género	0	0
Familia	6	21.4
Superfamilia	1	3.5
Orden	5	17.8
Clase	4	14.2
Subfilum	4	14.2
Filum	0	0
Superfilum	1	3.5
Reino	0	0
Dominio	0	0
Diversidad biológica completa	7	25
Total	28	100%

Cuadro 7.9 Representación por nivel de clasificación.

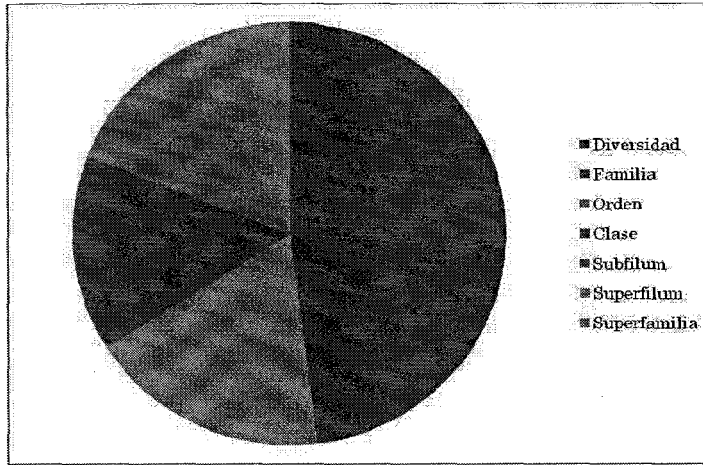


Figura 7.1. Representación del porcentaje de árboles evolutivos en los cinco museos estudiados, que emplean determinado nivel de clasificación.

Como se aprecia en el cuadro 7.8 y en la figura 7.1, los árboles que muestran la diversidad biológica son los más empleados en los museos de historia natural. Debido a que en la actualidad resulta imposible obtener una genealogía completa para toda la vida puesto que se desconocen todas las relaciones filogenéticas entre todos los seres vivos descritos hasta la fecha, este tipo de árboles cumplen la finalidad de ejemplificar la evolución como un proceso que implica monofilia y divergencia. Lo importante mediante estas representaciones es, por tanto, mostrar que la vida se ha originado una sola vez y que las relaciones evolutivas entre todos los seres vivos pueden ser, en principio, expresadas mediante un solo clado.

A estos árboles les siguen aquellos que plasman familias y órdenes, lo cual se explica porque tres elementos recurrentes en las exhibiciones de evolución son la evolución del ser humano, la del caballo (familia Hominidae y Equidae, respectivamente) y la de los primates (orden Primates).

En tres de los cinco museos (Berlín, Nueva York y Londres) encontramos exhibiciones dedicadas a la evolución del ser humano y en dos de los cinco museos a la del caballo (Berlín y el de la Ciudad de México). El empleo del árbol evolutivo del ser humano, en la mayoría de los museos, se debe a un interés genuino por explicar nuestros orígenes y por la divulgación de nuestra propia evolución. Está documentado que uno de los temas por los que siente más curiosidad el público que asiste a los museos de ciencia es el de la evolución humana (Giusti, 1994; Scott, 2004), así como el que provoca una mayor fuente de nociones equivocadas, entre las que se pueden mencionar una tendencia direccional del proceso que conduce a la perfección, una finalidad consciente en el cambio adaptativo y gran dificultad para comprender que los humanos y otros primates evolucionamos a partir de un mismo ancestro. Además, existe reticencia significativa a aceptar la evolución humana a diferencia de la evolución de otras especies, es por ello que tal tema es el que más se presta a explicaciones creacionistas por parte del público (Spiegel *et al.*, 2006). Por

estas razones, la mayoría de los museos que tienen exhibiciones de evolución (American Museum of Natural History, Yale Peabody Museum, San Diego Museum of Man, British Natural History Museum, Berlin Museum für Naturkunde, Smithsonian Natural History Museum, y otras) incluyen una sección dedicada al ser humano para intentar clarificar el proceso, aunque no siempre con éxito (ver capítulo VII). Quizá resultaría importante enfatizar que la emergencia del ser humano como especie es una pequeñísima parte del proceso de evolución de la vida en la Tierra, para evitar la noción de que nuestra evolución es una consecuencia inevitable de un proceso que conduce a la perfección.

El empleo recurrente de la imagen de la evolución del caballo tiene sus raíces en dos aspectos relacionados con el fenómeno de la evolución de esta especie. El primero es que este animal en realidad no ha tenido éxito evolutivo y por lo tanto la topología de su ramificación resulta bastante sencilla (Gould, 1989). De hecho, del caballo solo se conserva una ramita superviviente representada por el moderno *Equus*, todas las demás ramas de este árbol se han extinguido y por ello su representación es tan empleada para ilustrar la evolución y como evidencia de dicho proceso —pensemos tan solo en el complicadísimo árbol que obtendríamos si deseáramos ilustrar la evolución de grupos muy diversificados como los murciélagos o los roedores. No obstante, aunque hay una conexión evolutiva entre *Hyracotherium* y los modernos *Equus*, su evolución resulta más compleja que la que normalmente encontramos representada en los museos, pues no existe “una solución de continuidad que enlace a *Hyracotherium* con los *Equus* modernos”¹ (Gould, 1999). Esta misma razón subyace a la iconografía errónea de la marcha del progreso que caricaturiza la evolución del caballo como una escala lineal y progresiva.

El segundo aspecto tiene que ver con el registro fósil. Como afirma Bowler (1998), el papel de la paleontología ha sido crucial para la reconstrucción de la historia de grupos individuales, puesto que muchas clases de organismos revelan patrones de diversificación y divergencia a partir de una forma ancestral.

A partir de la segunda década de 1800, una de las líneas de evidencia más importantes para apoyar la teoría de Darwin fue seguir ciertos animales modernos bien conocidos —tal como el caballo— hasta sus formas ancestrales. Una contribución importante al respecto fue realizada por Albert Gaudry y posteriormente por Vladimir Kovalevskii, quienes descubrieron numerosos fósiles de miembros de la familia de los caballos, tal como *Hipparion* del Mioceno y crearon una secuencia evolutiva con *Anchitherium* y *Paleotherium* del Eoceno (Bowler, 1998).

Thomas Huxley, también conocido como el Bulldog de Darwin por su ferocidad para defender la teoría de la evolución, conocía bien los trabajos de ambos personajes, los cuales asumían que el lugar de origen del caballo debía de ser Europa. En 1876, Huxley hizo una gira por Estados Unidos y visitó la excepcional colección de fósiles de Othniel Daniel Marsh en Yale. Esta colección eventualmente dio lugar a la secuencia definitiva de la evolución del caballo y ubicó su origen en el continente americano². Huxley, convencido de que el trabajo de Marsh resultaba una evidencia contundente de la evolución, incluyó el

¹ En la revista *National Geographic* de enero de 1981 p. 74 hay un artículo sobre los primeros equinos, en la cual hay una ilustración de *Pliohippus* junto con *Equus*, los cuales fueron encontrados en el mismo volcán en Nebraska. “Docenas de especies con pezuñas habitaban en las planicies de Estados Unidos, ¿no sugiere esto dos especies diferentes en lugar de una progresión de una a la otra?”

² Aunque los caballos se originaron en América, posteriormente se extinguieron y fueron traídos de vuelta por los europeos.

ejemplo de la evolución del caballo en sus conferencias posteriores, junto con la famosa ilustración de Marsh (Fig. 7.2) que fue publicada en el *American Journal of Science* en 1879.

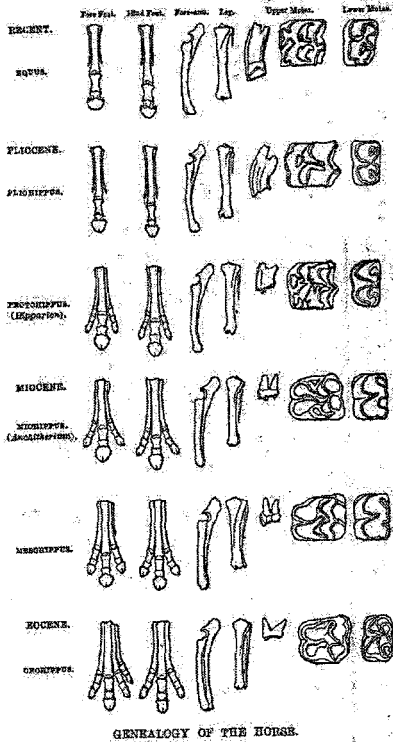


Figura 7.2. Ilustración de la secuencia evolutiva de los caballos de Othniel Daniel Marsh, que encontró en Wyoming y Utah. Esta ilustración apareció en la revista *American Naturalist* en 1874.

A partir de la amplia utilización de la ilustración de Marsh, la evolución del caballo se volvió una de las favoritas y más empleadas como evidencia de la evolución. No obstante la imagen más ampliamente publicada quizá ha sido la que William Diller Matthew realizó para el Museo de Historia Natural de Nueva York (Fig. 4.36) (Areson, 2001).

Aunque Matthew estaba consciente de la complejidad de la evolución del caballo y de que su secuencia en realidad era una hipótesis de trabajo, decidió ilustrar los estratos geológicos y asociarlos con los cambios en la anatomía de los caballos creando así una secuencia lineal que une al hipotético ancestro de cinco dedos *Eohippus* con el moderno *Equus*. Sin embargo, debido a los debates en torno a la evolución que se habían despertado en Estados Unidos, en la década de 1920, los divulgadores de la ciencia comenzaron a reproducir este diagrama para mostrar que la evolución es un hecho, tanto en panfletos como en revistas hasta que finalmente la ilustración encontró su lugar a otros museos de historia natural, a los libros de texto, a las revistas y a la publicidad. Las consecuencias son varias. En primer lugar la ilustración enfatiza grandes tendencias en una sola dirección,

negando la complejidad de las ramificaciones que en realidad se producen en todo evento evolutivo, creando así una noción ortogenética, determinista, teleológica y progresiva de la evolución. En segundo lugar, su presencia en los museos y en otras publicaciones, convirtió esta imagen en un canon, despojándola de su función como una hipótesis de trabajo. Y aunque en la actualidad resulta difícil encontrar imágenes lineales de la evolución del caballo, desafortunadamente en el Museo de Historia Natural y de Cultura Ambiental de la Ciudad de México, todavía se puede observar esta influencia anquilosada.

Una vez comentado lo anterior, es importante mencionar que la representación de la evolución del caballo resulta didáctica desde el punto de vista pedagógico y heurística desde el punto de vista de la comunicación puesto que los numerosos fósiles de equinos encontrados son una fuente invaluable para comprender la macroevolución y para mostrar que la evolución es un hecho de la vida en la Tierra³.

Finalmente, se puede apreciar en el cuadro que ningún museo presenta árboles evolutivos de plantas. Lo anterior se debe a que aunque todas las ramas del árbol de la vida de los animales pluricelulares tienden irrevocablemente a separarse y a divergir, en las plantas puede ocurrir el fenómeno de hibridización entre linajes distantes del árbol, produciendo una topología laberíntica que se parece más a una compleja red que a un árbol cuyas ramas no se unen (Gould, 1989). Como en algunas formas coralígenas, hay reticulación.

Estructura o forma de los árboles.

Forma	No de árboles	Porcentaje
Cono (árbol clásico)	16	57
Circular	2	7
Ramificada	9	32
Marcha del progreso	1	4
Total	28	100

Cuadro 7.10 Estructura o forma de los árboles.

³ Decimos esto en el sentido de que la evolución es un fenómeno que ocurre en nuestro planeta independientemente que los científicos continúen discutiendo los mecanismos por los que ocurre.

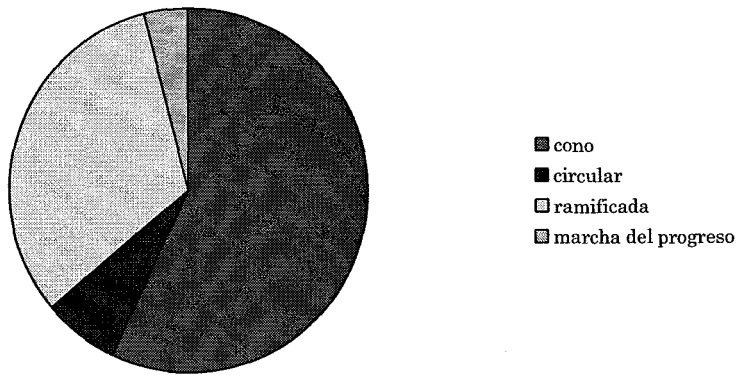


Figura 7.3 Representación del porcentaje de árboles evolutivos que emplean determinada estructura o forma.

La forma de los árboles evolutivos es de suma importancia para el presente trabajo puesto que dice mucho acerca de determinados conceptos que interesan particularmente para la divulgación de la evolución, tales como ancestría común (un solo tronco que representa el origen de cualquier grupo taxonómico), extinción (ramas que han dejado de crecer) y especiación (ramas que a su vez se ramifican) entre otros.

El árbol evolutivo es una representación del proceso de la evolución. En términos cladistas, un cladograma “es una hipótesis acerca de la historia evolutiva conjunta de los grupos analizados” (Espinosa & Llorente, 1993:63), es decir, de la genealogía entre determinados grupos o taxones, mientras que una filogenia incluye otros componentes de la historia evolutiva (diversificación, empobrecimiento, cronología). Tanto las genealogías como las filogenias no son de ninguna manera una descripción neutral de la naturaleza como podría ser una fotografía. Dicho esto, los árboles como iconografías de la evolución pueden representarse de diversas formas, cada una de las cuales puede resultar más o menos útil para comprender ciertos conceptos evolutivos, o más o menos apta para evitar reforzar las concepciones erróneas del público (nociones teleológicas, esencialistas, creacionistas y otras). Así que mientras el árbol tenga un solo tronco (*monofilia*) y las distintas ramas no se unan (*divergencia*), las posibilidades geométricas resultan impresionantemente numerosas.

Otro aspecto importante relacionado con la forma es la simetría del árbol. Cuando un árbol tiene el mismo número de especies a cada lado de cada uno de los nodos, se dice que está ‘balanceado’. Por el contrario, en un árbol no balanceado hay un número diferente de especies a cada lado de cada uno de los nodos, lo que quiere decir que los grupos hermanos varían en su riqueza de especies (como por ejemplo los mamíferos placentados que cuentan con numerosas especies actuales y los mamíferos monotremas como el ornitorrinco y el equidna que tienen pocas). Los árboles que causan mayores confusiones son aquellos no balanceados y que además se representan de manera escalonada porque se

infiere que el taxón colocado en el extremo derecho es el más evolucionado y que el colocado en el extremo izquierdo es el más 'primitivo' o antiguo.

Finalmente, de acuerdo con Baum & Offner (2008), también resulta importante el tipo de líneas que se emplean para dibujar los árboles —principalmente los cladogramas, pues aquellas diagonales son especialmente problemáticas para los estudiantes pues causan mayores confusiones para encontrar las líneas que denotan a los ancestros comunes hipotéticos. Por ello proponen el uso de líneas rectangulares, tales como las que se aprecian en los árboles del museo de historia natural de Londres.

Ahora bien, de acuerdo con el cuadro 7.9 y con la figura 7.3, la mayoría de los museos representan a los árboles evolutivos mediante la forma clásica de cono (pino invertido). Ésta es la forma más convencional de representación por varios motivos:

1. Es la forma que tienen realmente los árboles en la naturaleza.
2. Es el modelo que Darwin y posteriormente Haeckel eligieron para representar el proceso de la evolución, el cual se transformó en la iconografía convencional (principio del precursor).
3. Para la sistemática filogenética o cladismo el eje vertical indica tiempo relativo y el horizontal el orden de los eventos de especiación⁴.

A pesar de ser la iconografía más empleada, los problemas con la imagen del cono para la divulgación de la evolución son varios. En primer lugar en un árbol de la vida en forma de cono parece que la vida ha evolucionado hacia una diversidad siempre creciente, ignorando las dramáticas extinciones del Pérmico y del Cretácico, por nombrar algunas, y que más del 99% de las especies que algún día habitaron la tierra se hallan hoy extintas (Raup, 1991; Newman, 2006). En segundo, aunque la dimensión vertical significa tiempo

⁴ Es importante hacer notar que el tiempo en los cladogramas se incluye solo en su estructura interanidada y solo en sentido relativo puesto que la longitud de las ramas no tiene un significado especial. Por ejemplo, en un cladograma se podría apreciar que los tiburones se originaron antes que las ballenas, pero no se podría saber exactamente cuándo. La mayoría de los cladogramas no presentan ninguna escala en el eje temporal por varias razones:

1. Muchos cladogramas se construyen a partir de ciertas características que no pueden ser datadas.
2. Cuando se construyen cladogramas a partir de secuencias moleculares de ADN o ARN se requiere de importantes aproximaciones de las tasas de cambio para poder establecer las edades relativas en años.
3. Incluso cuando existe información que permite estimar la fecha de la aparición de determinada característica o especie, colocar los diferentes clados sobre el eje temporal complica demasiado los cladogramas y los vuelve difíciles de comprender e incluso de representar.

No obstante, la mayoría de los cladogramas no presentan escala alguna en el eje temporal, podemos encontrar algunos (pensados sobre todo para el público lego) cuya longitud de las ramas representa el momento de origen de una especie o característica.

geológico, normalmente se presta a una lectura de lo primitivo a lo avanzado, es decir, de mejoría. Así, se piensa que los organismos que se encuentran en la punta de las ramas son ‘mejores’ o más ‘evolucionados’ que los demás y no tan solo más modernos. Pero no solo eso, de acuerdo con Baum (2007), los árboles en forma de cono también llevan a la idea de una jerarquía de las formas modernas (también como primitivas y avanzadas), puesto que está documentado que el público tiende a fijarse únicamente en las puntas de las ramas pensando que lo que se representa son relaciones de semejanza y no de parentesco o ancestría descendencia. De esta manera los artrópodos se perciben como ‘menos evolucionados’ que los cordados.

Para evitar las asociaciones de progreso y de mejoría relacionadas con la forma de cono invertido, en algunas exhibiciones, sobre todo aquellas más modernas como *Evolution in action* del museo de Berlín y la sala de *Origin of man* del AMNH, encontramos distintos diagramas ramificados e incluso circulares.

Finalmente, en uno de los cinco museos estudiados (el de la Ciudad de México) podemos encontrar una marcha del progreso representando la evolución del caballo, la cual refuerza una visión lineal y progresiva de la evolución que va en contra de lo que se desea comunicar. Como se comentó previamente, las representaciones lineales normalmente buscan mostrar la secuencia del descubrimiento de los fósiles en el registro geológico. Sin embargo, estas imágenes inevitablemente llevan a que el visitante sin conocimientos amplios sobre el tema asocie la representación con una progresión de lo simple a lo complejo, de lo más básico a lo más perfecto. Además, todas las secuencias lineales de la evolución resultan falsas, pues aunque la evolución de determinadas especies culmine en una sola (una única rama de su árbol evolutivo como en el caso de los caballos o del ser humano) no hay proceso evolutivo alguno que sea una auténtica línea que una un taxón con otro como *Hyracotherium* y *Equus*.

Interactividad.

Interactividad	No. de árboles	Porcentaje
Estático	25	89.3
Interactivo	3	10.7
Total	28	100

Cuadro 7.11 Interactividad.

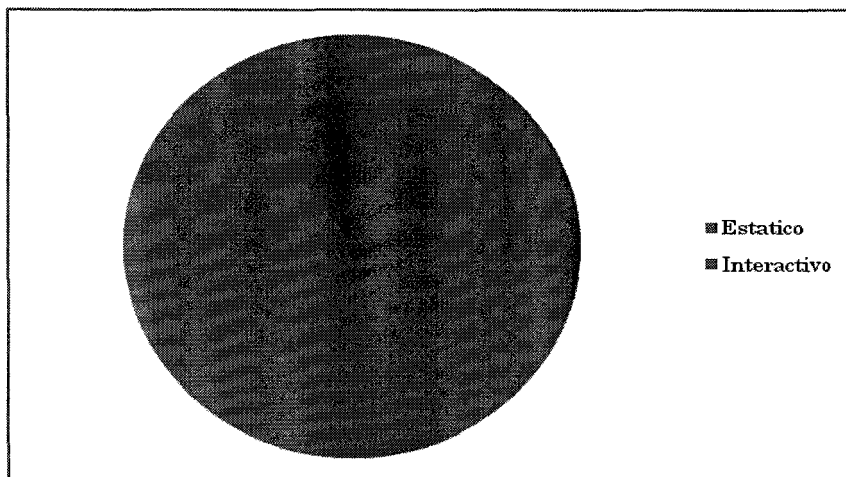


Figura 7.4. Representación de árboles evolutivos que son estáticos o interactivos en los museos de historia natural estudiados.

Casi el 90% de los árboles evolutivos encontrados en los museos son estáticos. Esto se debe principalmente a aspectos de diseño de las exhibiciones, así como al presupuesto designado, pues una exhibición interactiva implica mayor demanda económica y de planeación. Asimismo, la introducción de tecnología en los museos y en las exhibiciones es un aspecto difícil y delicado pues estos espacios son lugares complejos desde el punto de vista de la experiencia, interacción y diseño de las exhibiciones. En los museos se encuentran involucrados varios aspectos que deben mezclarse, tales como la elección de los temas educativos, las necesidades curatoriales, la implementación de tecnología, el desarrollo del diseño, la obtención de presupuestos y lo que se espera de la experiencia de los visitantes (Falk & Dierking, 1995; Ciolfi & Bannon, 2002). Por todo ello es que aunque en los cinco museos visitados se pueden encontrar exhibiciones que emplean luz, sonido, reconstrucciones ambientales y equipos multimedia que le brindan al visitante una experiencia más rica, solo en los museos de Berlín y de Nueva York encontramos árboles evolutivos interactivos.

Indudablemente, los árboles interactivos resultan más atractivos (y a veces didácticos) que los estáticos, pues permiten mostrar gran cantidad de información acerca de los diferentes grupos taxonómicos y de conceptos evolutivos en un espacio reducido que se puede modificar. La ventaja de este tipo de árboles es que muestran un concepto abstracto como lo es el de la comunidad de descendencia, de forma atractiva y memorable. En contraste con las representaciones estáticas, los árboles interactivos o animados pueden mostrar directamente los cambios en el tiempo en lugar de indicarlos mediante el empleo de flechas u otras marcas. Por ello es que, bien diseñados, los diagramas interactivos pueden ser más simples en términos de símbolos, lo que los hace más atractivos y más fáciles de comprender (Figs. 7.5 y 7.6).



Figura 7.5 Árbol filogenético de la exhibición *Evolución en acción* del *Museum für Naturkunde* de Berlín. Al poner la mano sobre una determinada rama que se aprecia sobre la pantalla, se despliega información ecológica y evolutiva sobre el organismo que representa dicha rama (foto de la autora).

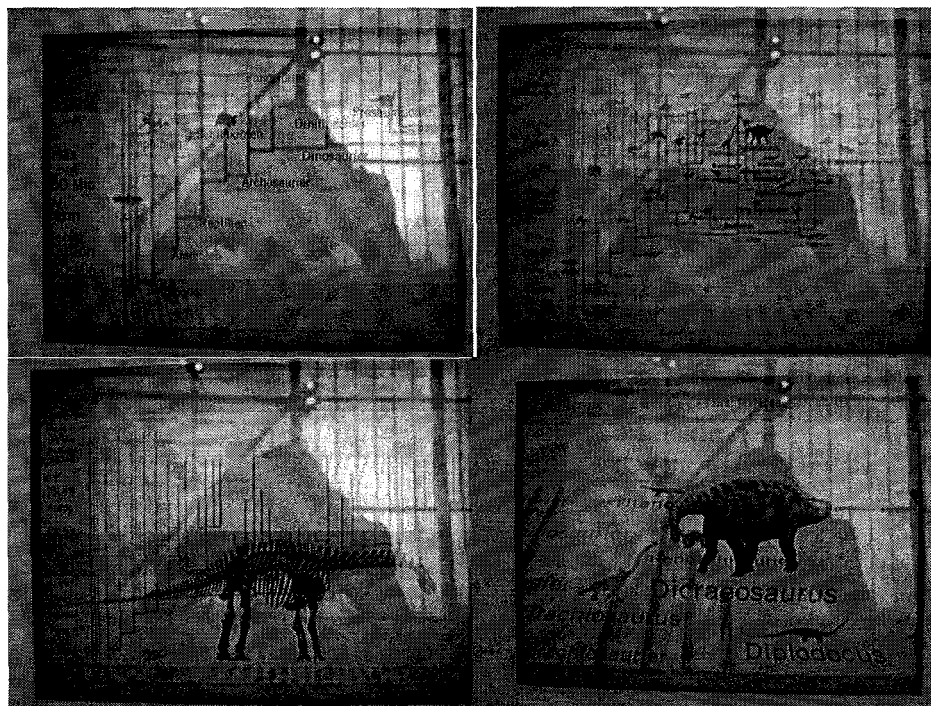


Figura 7.6 En este cladograma interactivo de *Dicraeosaurus* en el Museum für Naturkunde de Berlín, primero se aprecia la construcción de la filogenia de los tetrápodos, posteriormente se identifican las ramas mediante pictogramas de los organismos y con una línea roja se traza la ruta evolutiva de este saurio hasta que *Dicraeosaurus* aparece en tercera dimensión cuando la línea alcanza la punta de la rama, la cual además es más corta para representar que se trata de un animal extinto (fotos de la autora).

Una anécdota del físico Richard Feynman cuenta que durante una conferencia en Río de Janeiro, le dijo al auditorio que el principal propósito de su charla era mostrar que en Brasil no se enseñaba ciencia. Para afirmar su punto abrió un libro y leyó la definición de un fenómeno. “Es eso ciencia? [...] ¡No! Se trata solo de la definición de una palabra con otras palabras” (Feynman & Leighton, 1985:217 en Feher, 1990). Lo mismo ocurre en casi cualquier instrumento de educación formal, los libros de texto están llenos de definiciones que en su mayoría no tienen sentido para el estudiante, porque *no* pueden manipular o experimentar con el fenómeno en cuestión. Por consiguiente los museos de ciencia son considerados cada vez más como una parte fundamental de la experiencia de aprendizaje, pues sus exhibiciones pueden permitir que los visitantes exploren, simulen, manipulen y experimenten con los fenómenos naturales. Lo mismo ocurre con los árboles interactivos, pues permiten seguir de cerca la evolución de un linaje específico o conectar taxones aparentemente sin relación —como los gusanos y los leones— mediante su historia evolutiva. Presentar, por ejemplo, que *Tyrannosaurus rex* tenía plumas, implica que el

origen de las plumas es mucho más antiguo que la capacidad de volar, así que mediante árboles que muestren la adquisición de características es una buena forma de presentar la evolución de ciertos linajes, como en este caso de las aves. La jerarquía de ciertos caracteres en ciertos linajes se corresponde con la jerarquía de los taxones y el orden temporal de su aparición relativa.

En el caso de los árboles interactivos encontrados en los museos estudiados, éstos cumplen distintas funciones puesto que con ellos se puede organizar el conocimiento actual sobre la biodiversidad, como en el caso del árbol presente en el museo de Nueva York, o mostrar el origen común de toda la vida y las relaciones de parentesco entre las especies o los taxones superiores naturales, como es el caso de los árboles presentes en el museo de Berlín.

Dimensionalidad

Dimensión	No. de árboles	Porcentaje
2D	17	61
2D con relieve	11	39
3D	0	0.0
Total	28	100

Cuadro 7.12 Dimensionalidad.

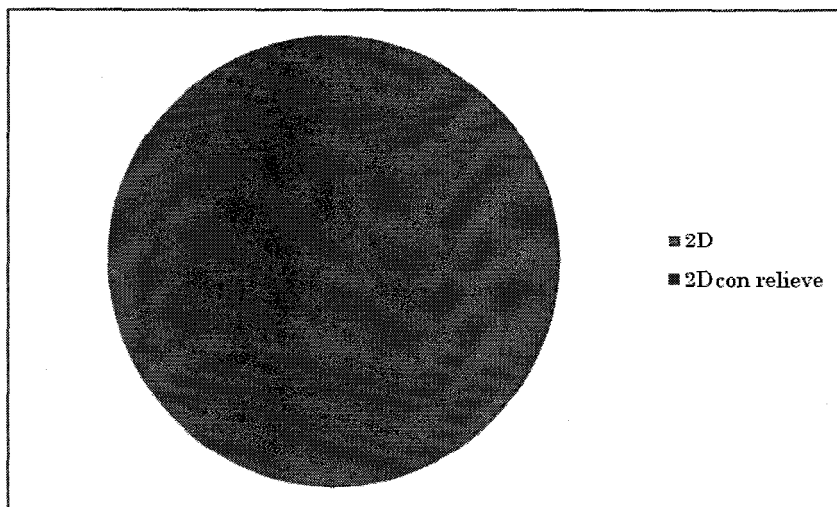


Figura 7.7. Representación de los porcentajes de árboles de acuerdo con su dimensionalidad.

Se puede observar en el cuadro 7.11 y en la figura 7.7 que la mayoría de los árboles presentes en los museos son en dos dimensiones, al no tener profundidad. En este trabajo se consideró como tridimensional únicamente a aquellos objetos que tienen las dimensiones de largo, ancho y profundo, por lo que estrictamente hablando, ninguno de los árboles estudiados cumple con la definición geométrica y matemática. No obstante, en algunos casos se pueden considerar ciertas convenciones artísticas, tales como sombreado o perspectiva que contribuyen a una percepción de tridimensionalidad, por lo cual se decidió emplear la categoría de 2D con relieve; esto es con dimensión fractal o tridimensionalidad simulada o aparente.

Orientación de las ramas

• Orientación	No. de árboles	Porcentaje
• Izquierda-derecha	8	28.5
• Derecha-izquierda	0	0.0
• Arriba-abajo	1	3.5
• Abajo-arriba	15	53.5
• Radial (del centro hacia afuera)	4	14.2
• Total	28	100

Cuadro 7.13 Orientación de las ramas.

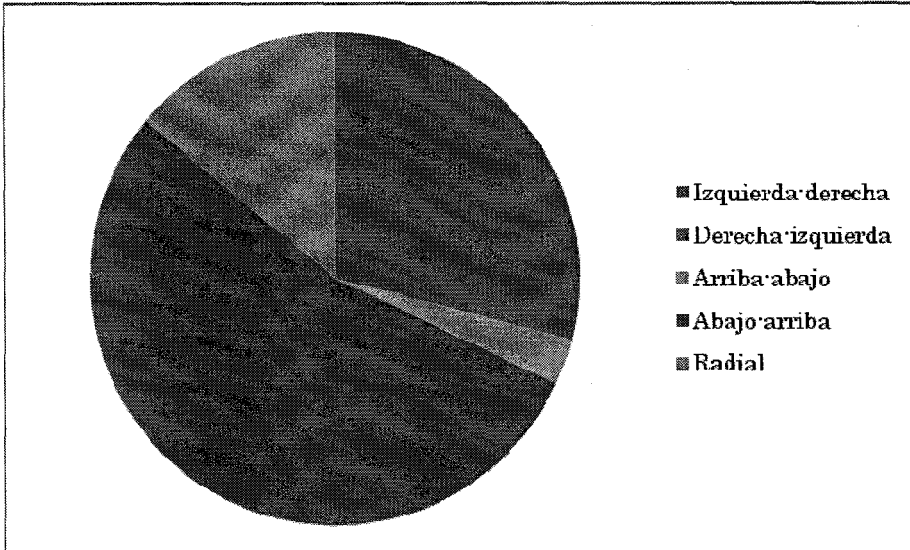


Figura 7.8. Representación del porcentaje de árboles según la orientación de sus ramas.

Más de la mitad de los árboles evolutivos encontrados en los museos de historia natural tienen una orientación abajo-arriba, lo cual concuerda con la forma más empleada que es la de cono o pino invertido. Le sigue en número la orientación de izquierda a derecha, lo cual está directamente relacionado con nuestro lenguaje que se lee en esta misma dirección.

Finalmente, algunos museos han optado por presentar árboles radiales, es decir, que las ramas surgen en todas direcciones a partir de un punto central. Estos árboles circulares tienen la ventaja conceptual de no favorecer ninguna rama sobre otra, evitando así la idea de organismos más o menos evolucionados, mejores o peores. Además, este tipo de diagramas permite representar algunos linajes antiguos que hoy se hallan extintos o cuya diversidad fue mayor en el pasado que en el presente.

Guía de interpretación

Tipo de guía	No. de árboles	Porcentaje total
Nombres de los clados	18	66.7
Presencia de rótulos	21	77.7
Presencia de leyendas	22	81.5
Información acerca de la naturaleza de las filogenias	10	37

Cuadro 7.14 Guía de interpretación.

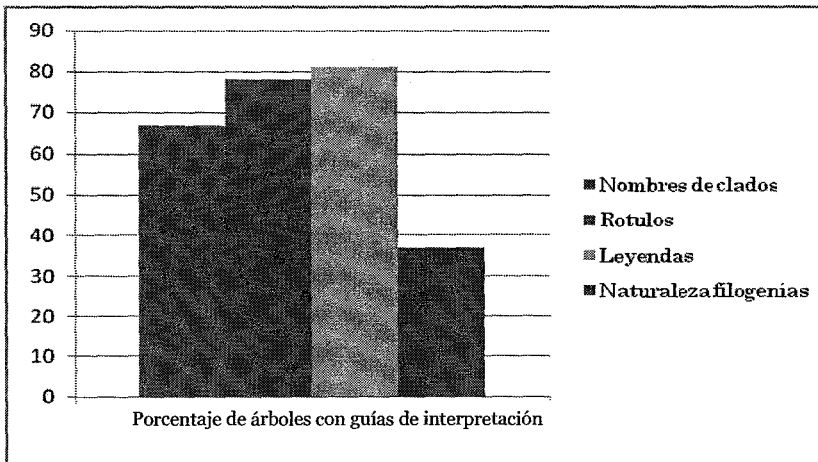


Figura 7.9. Representación por columna del porcentaje total de árboles que emplean algún tipo de guía de interpretación.

Se pensaría que la imagen del árbol evolutivo en los museos, al ser una de las más importantes de la biología y sobre todo fundamental para el entendimiento de la teoría de la evolución, siempre debería de estar acompañada por un texto que la explique y por guías que hagan referencia a sus componentes. No obstante, numerosos árboles encontrados en los museos estudiados no cuentan con referencia alguna y se muestran con un sentido ornamental, tales son los casos del Museo de Historia Natural y Cultura Ambiental de la Ciudad de México, de la Gran galería de la Evolución de París y en la exhibición de *Ocean Life* del AMNH de Nueva York. En el caso de los museos de la Ciudad de México, los árboles se encuentran como murales en las paredes y son de tipo más ornamental que

ilustrativo, como parte de la recreación de una sala que se dedica al tema de la evolución, pero no como uno de sus componentes principales. Lo mismo ocurre en la Gran Galería de la Evolución de París que, aunque mediante una visualización más atractiva en un panel de vidrio y con información científica apropiada, el árbol de los tres dominios no deja de ser un ornamento, cuya meta es más estética.

No obstante, en aquellas exhibiciones en donde los cladogramas juegan un papel fundamental, pues están basadas en la reconstrucción filogenética, como en los museos de Londres, Berlín y en la exposición *Hall of Human Origins* del AMNH de Nueva York, encontramos varios tipos de guías como parte de la representación y en las cédulas que los acompañan.

Presencia de pictogramas o representaciones de los organismos

Tipo de imagen	No. de árboles	Porcentaje
Fotografías	2	7
Dibujos	22	79
Prop (utilería)	3	10
Sin representación	1	4
Total	28	100

Cuadro 7.15 Presencia de pictogramas o representaciones de los organismos.

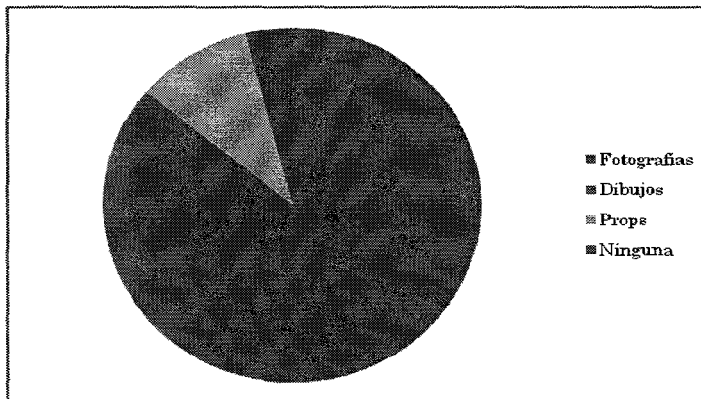


Figura 7.10. Representación del porcentaje de árboles que emplean determinado tipo de imagen para los organismos.

Un pictograma es un signo que esquemáticamente representa un objeto real, el cual en principio debería ser comprendido por todo tipo de audiencias con solo un vistazo. Se trata de signos claros que tienen el objetivo de informar y/o señalar (Philip 1993). Para los árboles evolutivos con fines didácticos o de divulgación de la evolución, resulta importante la presencia de imágenes que ilustren los organismos en las puntas de las ramas para que el público comprenda de qué trata el cladograma que se encuentra observando. También es por ello que en los museos se representan las relaciones filogenéticas de los organismos más familiares, tales como los principales grupos de vertebrados, los primates o los cetáceos.

La representación de los organismos más empleada en los museos de historia natural es el dibujo (pictograma) por su sencillez y universalidad, seguido por los *props* o elementos de utilería que son creados por profesionales en la construcción y diseño de exhibiciones; los que se emplean para aumentar el atractivo visual de las mismas. Finalmente las fotografías también son un elemento que encontramos con frecuencia en aquellas exhibiciones interactivas que cuentan con abundantes recursos, como el árbol filogenético del museo de historia natural de Berlín que —mediante una pantalla de contacto (*touchscreen*)— presenta la foto del animal del cual se trata la rama que se está tocando (Fig. 7.11).

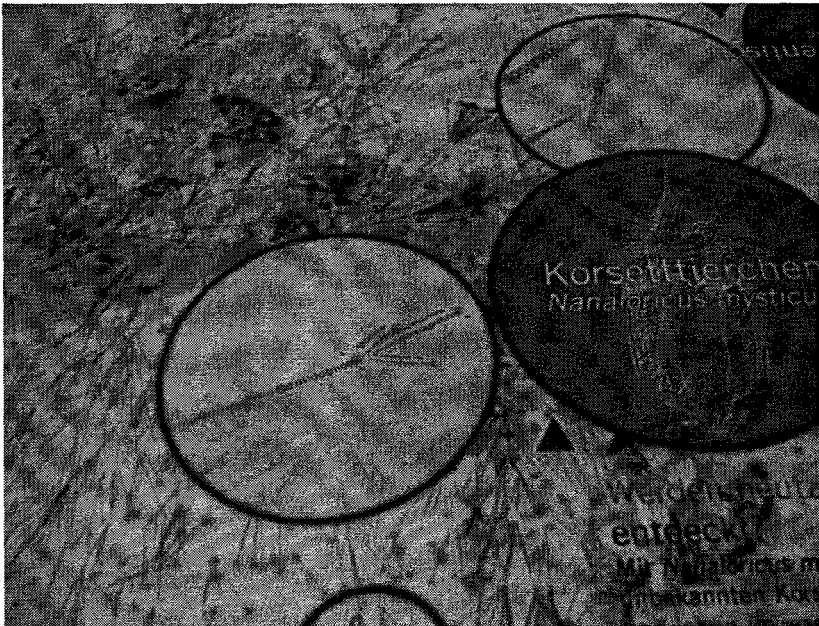


Figura 7.11. Árbol interactivo de la exhibición *Evolution in action* del museo de historia Natural de Berlín en el cual aparecen las fotografías de los organismos al contacto con la pantalla (foto de la autora).

Presencia de intermedios como ancestros

Presencia de intermedios como ancestros	No. de árboles	Porcentaje
Presencia de intermedios identificados	3	10.5
Presencia de imágenes de intermedios	3	10.5
Ausencia	22	79
Total	28	100

Cuadro 7.16 Presencia de intermedios como ancestros.

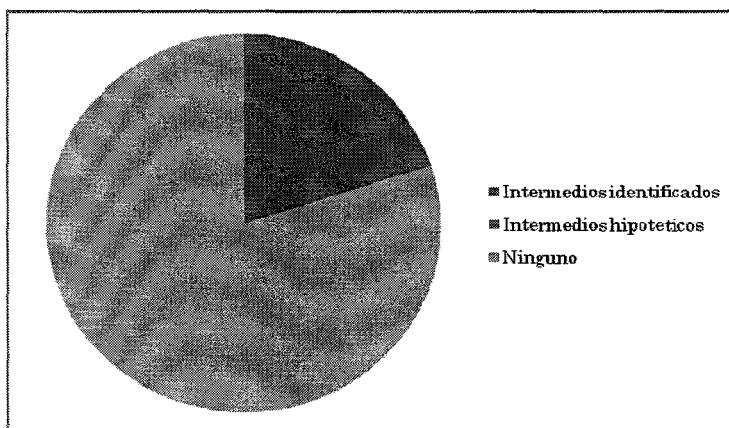


Figura 7.12. Representación del porcentaje de árboles que muestran intermedios como ancestros.

El tema de la presencia de intermedios como ancestros es de suma importancia para el presente trabajo, puesto que implica dos confusiones importantes. 1) la confusión de que organismos intermedios tales como *Archaeopteryx* o *Ambulocetus* son los ancestros de ciertos grupos como las aves y los cetáceos, respectivamente, y 2) la confusión entre genealogía y filogenia. Por lo tanto la presencia de intermedios es una fuente de errores importante para la comprensión de conceptos fundamentales en la sistemática filogenética, en la evolución y en la filogenia.

La ubicación de ‘formas intermedias’ en los nodos de un árbol evolutivo da una idea errónea de que existen ciertos organismos hoy extintos que necesariamente son ancestros de especies o grupos actuales. La única forma de saber con certeza que un individuo es una forma intermedia entre un ancestro y sus descendientes es mediante el conocimiento exacto de su árbol genealógico, lo cual es extraordinariamente difícil mediante registros fósiles, incluso cuando se tienen series relativamente completas de ancestros-descendientes, pues establecer si se trata de un verdadero intermedio o de un grupo hermano es metodológicamente inexacto o complicado. Ahora bien, hablando en términos estrictamente cladistas —cuya pertinencia en divulgación se discutirá en el siguiente capítulo, los cladogramas únicamente se definen por las relaciones entre especies conocidas —de ahí que también se les conoce como árboles de especies— y los nodos no corresponden a especies reales. Si se sugiere que cierta especie ya sea fósil o actual cuya morfología es similar a las formas antiguas, lo que la hace parecer ‘primitiva’ (como *Limulus polyphemus*, mejor conocido como cazuela marina) es un ancestro de otra, esa especie debe clasificarse como cualquier otra y, por lo tanto, no puede representarse en un árbol que muestra las relaciones de parentesco entre especies conocidas, a menos que se le coloque como otra rama terminal del árbol (Bowler, 1996). Dicho de otra forma, si la morfología de un fósil de la especie X es lo suficientemente distinta como para sostener el estatus de ‘especie’, varios cambios evolutivos tuvieron que ocurrir entre X y su ancestro, el cual también es ancestro de la especie viviente Y que comparte numerosas características con X⁵.

En realidad el problema radica en que debido a que el ancestro común de un grupo es en sí mismo una especie real, entonces tiene que colocarse en el mismo sistema taxonómico que sus descendientes, pero ¿debe considerarse como un miembro del mismo taxón?, y ¿cómo se podría confirmar que una especie en particular fue el ancestro de otras? Como estas cuestiones son muy problemáticas, los cladistas han decidido ignorar las relaciones de ancestría-descendencia de sus taxonomías y enfocarse en la identificación de grupos monofiléticos cuyos ancestros solo pueden argüirse como *hipotéticos*.

Los árboles evolutivos que cuentan con la presencia de intermedios se concentran en el museo de la Ciudad de México y en las exhibiciones antiguas del museo de Berlín. Aquellos de la Ciudad de México no brindan información de ningún tipo y, por lo tanto, no se hallan los nombres de los intermedios, lo cual puede llevar al visitante a pensar que los ancestros debieron ser parecidos al pictograma y por tanto no representa mayor problema. A diferencia, tres árboles evolutivos del museo de Berlín presentan los nombres de las formas intermedias (i.e. *Diatryma* o *Lycaenops*) y los colocan en los nodos, lo cual invariablemente conduce a suponer que *Lycaenops* es el ancestro de los mamíferos (Figs. 7.12 y 7.13).

⁵ Resulta importante mencionar que pueden existir ciertos organismos vivos en la actualidad cuya estructura ha permanecido sin grandes modificaciones desde su forma ancestral, los cuales se denominan comúnmente ‘fósiles vivientes’, y técnicamente especies o grupos pancrónicos a lo largo de todo o mucho tiempo).

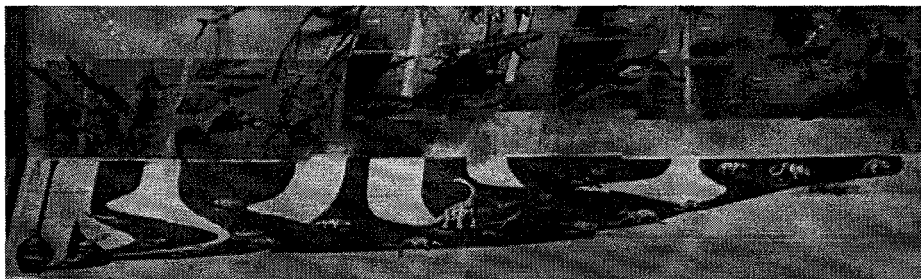


Figura 7.13. Árbol evolutivo de los vertebrados en el *Museum für Naturkunde de Berlín*, en el cual se puede apreciar la presencia de formas intermedias (foto de la autora).

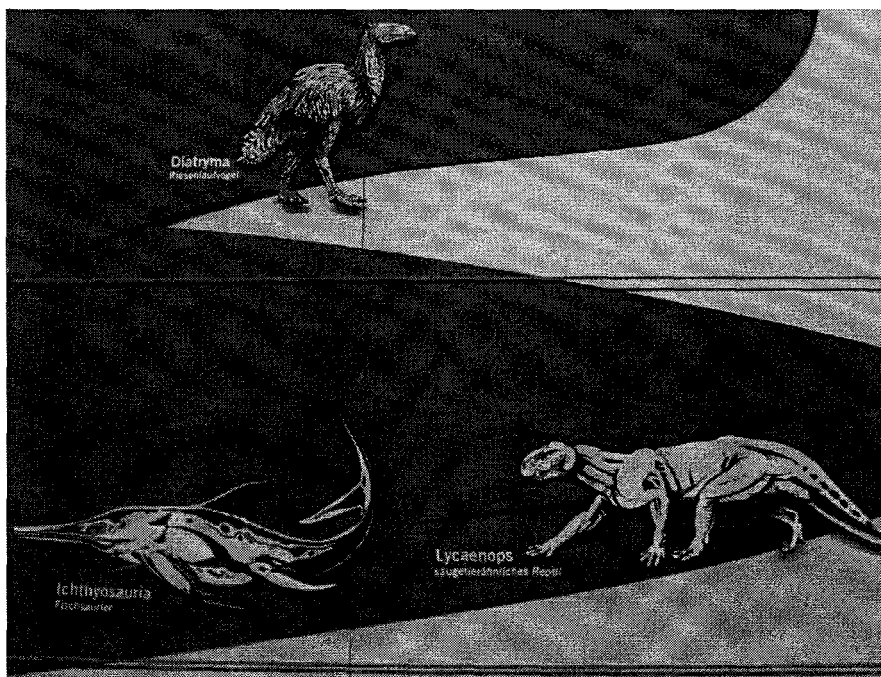
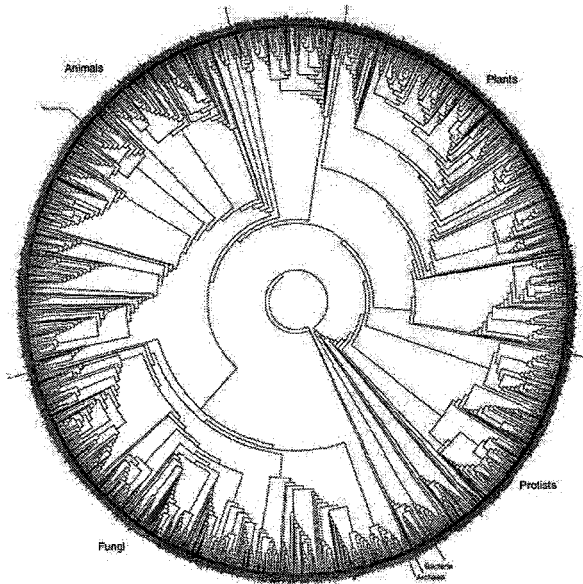


Figura 7.14. Detalle del árbol de los vertebrados en el cual se aprecia la presencia de intermedios, en este caso parece que *Lycaenops* es el ancestro de los mamíferos (foto de la autora).

Capítulo VIII

Discusión





Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

VIII. *Discusión*

El árbol evolutivo se presta para ser analizado como objeto de estudio desde diferentes ángulos, ya que es tanto una metáfora, como un diagrama, tanto un símbolo epistémico, como el pilar de una teoría. Es por ello, que la presente discusión se dividirá en cuatro subtemas que corresponden con la temática de algunos capítulos de esta disertación, pues son los aspectos que, a mi parecer, resultan más relevantes de esta imagen-metáfora: 1. El árbol como metáfora y su poder heurístico; 2. El árbol evolutivo como diagrama; 3. El árbol evolutivo en las exhibiciones sobre evolución y 4. El árbol en la divulgación de la ciencia¹.

8.1 *El árbol evolutivo como metáfora*

Para muchos autores, Darwin se caracteriza por su estilo único para comunicar sus ideas, mediante un acento de informalidad y un empleo frecuente de metáforas. En *El Origen de las Especies* las metáforas más sobresalientes son la lucha por la existencia, la selección natural, la división del trabajo y por supuesto, el árbol de la vida.

El empleo de metáforas no es algo propio de Darwin, los químicos desde el siglo XVIII hablan de afinidades electivas entre los diferentes elementos, los físicos hablan de la atracción gravitatoria que rige el movimiento de los planetas y los médicos hablan de estrategias para combatir enfermedades, por nombrar algunos. Una de las razones del empleo tan extendido de metáforas en la ciencia es que éstas son instrumentos con gran poder explicativo y de persuasión puesto que permiten describir fenómenos o ideas novedosas al mismo tiempo que afectan la manera en la que concebimos y construimos el mundo, de manera que son herramientas importantes para la construcción de teorías y para el proceso de enseñanza/aprendizaje de conceptos científicos. De hecho, varios autores sugieren que el pensamiento metafórico es un filtro inevitable de nuestra mente, el cual se emplea especialmente en la ciencia porque permite explicar lo recién descubierto en términos de lo familiar o conocido (Lakoff & Johnson, 1980; Ruse, 1999, 2008; Bowler, 1998; Kuhn, 1993 y Orthony, 1993). De hecho, las metáforas tienen tal poder heurístico, que Ruse (2008) incluso se aventura a asegurar que sin ellas la ciencia se estancaría. Y es que mediante estos instrumentos cognitivos se ponen de manifiesto diversos tipos de relaciones de los fenómenos estudiados que permiten materializarlos o entenderlos de una manera más formal (ver el tema 8.2 de la presente discusión). Un ejemplo es la metáfora de la electricidad como un fluido pues cuando se la describió de esta manera se puso de manifiesto que ésta se comporta de una manera equiparable a la del agua. Y aunque existen ciertos riesgos al emplear literalmente las expresiones metafóricas —se puede perforar una varilla de cobre y no se va a salir la electricidad— la fuerza expresiva, el poder creativo y el entendimiento que con ellas se genera vale la pena en la mayoría de los casos.

Con respecto de la evolución, tanto la teoría como su popularización están llenas de metáforas visuales, literarias y económicas que en conjunto han dado lugar al marco cultural en el cual se aprende y se enseña dicho fenómeno; baste pensar en las imágenes de los antiguos pobladores homínidos de nuestro planeta y las reconstrucciones de sus ambientes, o las secuencias de escenas que muestran la transición de los invertebrados del Paleozoico, pasando por los grandes saurios hasta llegar a los ‘salvajes’ neandertales. Principalmente las disciplinas emergentes —como alguna vez lo fue la biología evolutiva— requieren por necesidad del uso de un lenguaje que ya cuente con significado, “los científicos que crean hipótesis en áreas nuevas de

¹ La difusión se refiere a la comunicación del conocimiento científico entre pares y la divulgación a la comunicación del mismo al público general.

estudio en ocasiones tienen que buscar inspiración en modelos y metáforas provenientes de otros campos del conocimiento” (Bowler, 1998). Y aunque el tema de las metáforas en muchos sentidos está fuera de la discusión científica, puesto que los científicos normalmente se rehúsan a admitir que su pensamiento está influido por factores derivados de otras áreas de la cultura humana, resulta innegable que muchos de los más grandes científicos han hecho uso de metáforas provenientes de distintos campos del conocimiento tanto para construir sus teorías, como para difundirlas. Por ello es común encontrar ‘préstamos’ de una disciplina a otra.

En el caso de la evolución, estos préstamos con frecuencia han sido tomados de las ciencias sociales y del discurso histórico. Particularmente la metáfora del árbol de la vida de Darwin resulta interesante porque está influida por los diferentes diagramas de registros de parentesco. Los árboles familiares, las tablas dinásticas y las listas genealógicas eran una práctica simbólica antigua que se empleaba para registrar el conocimiento de las familias, porque la legitimidad del matrimonio y las leyes de herencia se basaban en parte en el grado de parentesco. Darwin, al introducir el componente temporal en el estudio de los seres vivos, tomó prestado el árbol genealógico que —aunque de manera ambigua— contemplaba este componente diacrónico en su simbología. Así, la estructura del árbol de Darwin está diseñada para hacernos pensar que las relaciones entre las especies deben comprenderse de cierta forma. En primer lugar, las ramas divergen en muchas direcciones, a partir de un origen común, lo cual indica que las especies no son resultado de una creación especial (incluyendo al ser humano), sino de fuerzas naturales, y en segundo lugar, que estos cambios requieren tiempo, que está representado por numerosas generaciones.

Si pensamos que el modelo anterior a Darwin era una secuencia estática de escalones que representaban a los seres inferiores hasta abajo y a los superiores arriba, culminando con el ser humano como pináculo de la creación, el árbol evolutivo de Darwin resulta un parteaguas en la concepción de la naturaleza, razón por la cual el árbol es una influencia visual fundamental para comprender la evolución (Bowler, 1996).

No obstante, esta idea ‘igualitaria’ en la naturaleza representada por la metáfora del árbol de Darwin, no fue bien recibida por todos los naturalistas del siglo XIX y principios del XX, lo cual se refleja en las prácticas iconográficas del árbol que esconden tras sus ramas una línea del progreso que invariablemente resulta en el ser humano. Por ejemplo, en el árbol del pedigrí del hombre de Haeckel se puede apreciar un tronco principal de progreso (Fig. 3.22), así como en los diagramas de Benjamin Gruenberg (Fig. 4.31) en su libro *The Story of Evolution* (1919:71) y en la portada de su libro, *Our face from fish to man*, King Gregory plasma diversos organismos como pasos hacia la emergencia del ser humano (Fig. 4.32).

Varios de estos científicos incluyeron formas modernas denominadas fósiles vivientes para representar etapas antiguas de la rama que lleva al ser humano o a otros organismos. Y aunque ya desde los tiempos de Darwin se reconocía que cada *Phylum* continúa cambiando incluso después de la emergencia de una rama ‘superior’, esta práctica se empleó con frecuencia, sobre todo para comunicar las ideas evolutivas a audiencias no especializadas. Esto se tradujo en un profundo interés del público por temas como el de la historia de Conan Doyle *El mundo perdido*, en la cual el profesor Challenger dirige una expedición para encontrar dinosaurios en Sudamérica, o la actual película de *King Kong* de Peter Jackson en la cual un grupo de actores encuentran dinosaurios y, por supuesto, al gorila gigante en una isla misteriosa.

En la actualidad, la mayor parte de los evolucionistas rechazan la idea de que existan ramas que hayan cambiado tan lentamente que puedan emplearse para ilustrar secuencias antiguas de la evolución. Por ello, el empleo de formas modernas (no importando qué tan ‘primitivas’ parezcan) como modelos de lo que ocurrió en etapas antiguas del árbol evolutivo es una práctica errónea que debe evitarse, así se trate de ilustraciones para los no especialistas. Lo

que sí es posible, es identificar caracteres primitivos en ciertos organismos y entonces dar una idea de la apariencia del ancestro común.

En el árbol de Darwin las ramas se dirigen hacia la especialización, lo cual no implica progreso en ningún sentido. Además, el eje vertical implica solo una dimensión, la temporal, mientras que en muchos de los árboles que denotan progreso podemos encontrar dos dimensiones: tiempo y nivel de complejidad. Esto no tiene sentido a menos que se asuma que cada rama colateral del tronco principal ha retenido el mismo nivel de complejidad desde que surgió.

8.1.1 El poder heurístico de la metáfora del árbol de la vida

En el diagrama de Darwin presente en su cuaderno de notas B que data de 1837 (Fig. 8.1), se puede notar el gran poder heurístico de las metáforas. En primer lugar, la expresión en la parte superior de la hoja 'I think' seguida de su diagrama de líneas, lleva a pensar que más que palabras, Darwin necesitaba de un modelo o simbología gráfica para mostrar las ideas que se gestaban en su mente: que muchas especies podían evolucionar a partir de una especie ancestral y que de alguna manera se separaban. A pesar que en las notas de Darwin advertimos que se trata de un diagrama que representa las relaciones entre las especies vivas y las extintas de América del Sur, pareciera más bien el registro mismo de la emergencia de la idea sobre la comunidad de descendencia.

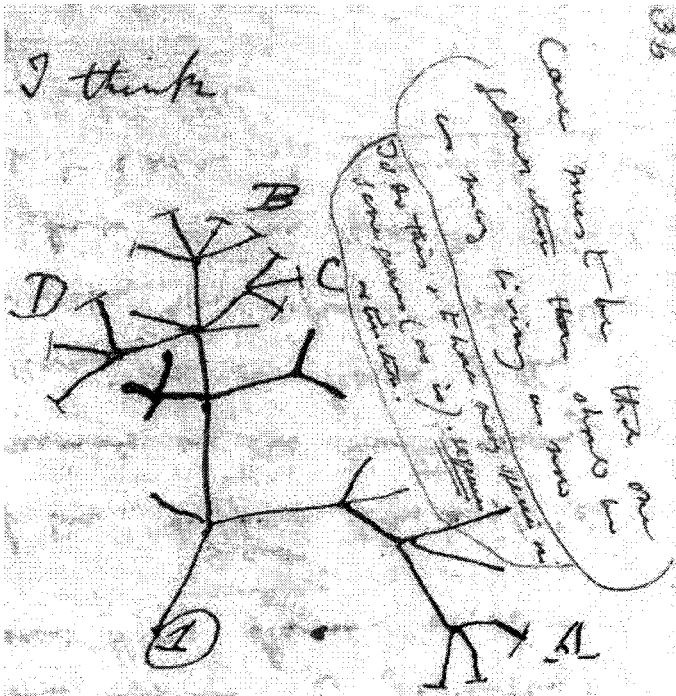


Figura 8.1. Primer diagrama ramificado de Darwin, encontrado en su cuaderno de notas B, 1837 (tomada de www.peabody.yale.edu).

Ya en el diagrama de 1859, Darwin introdujo el componente temporal, por lo que éste árbol de la vida —como él mismo lo denominó—, es el patrón resultante de la diversidad de formas producidas a través de muchas generaciones mediante la selección natural (Fig. 3.2).

8.1.2 La metáfora del árbol evolutivo en la actualidad

En 1965 Emile Zuckerkandl y Linus Pauling llamaron la atención sobre el hecho que “las filogenias más racionales, universales e informativas serán construidas a partir de moléculas” como las proteínas o los ácidos nucleicos, porque en éstas “hay más historia preservada que en cualquier otro nivel de integración biológica” (Zuckerkandl & Pauling, 1965).

En la actualidad las filogenias moleculares construidas a partir de pequeñas subunidades ribosomales de ARN (SSU rRNA) son muy populares, puesto que han permitido incluir a las bacterias dentro de los árboles evolutivos, cosa que era una limitación con el empleo de datos basados exclusivamente en características morfológicas. De esta manera, la idea de Darwin de construir una filogenia universal comenzó a parecer una realidad.

Mediante el empleo de SSU rRNA, Carl Woese, en la década de 1970, descubrió un tercer grupo de organismos además de los eucariotas y las eubacterias: las arqueobacterias, estableciendo así el árbol de los tres dominios (Fig. 8.2).

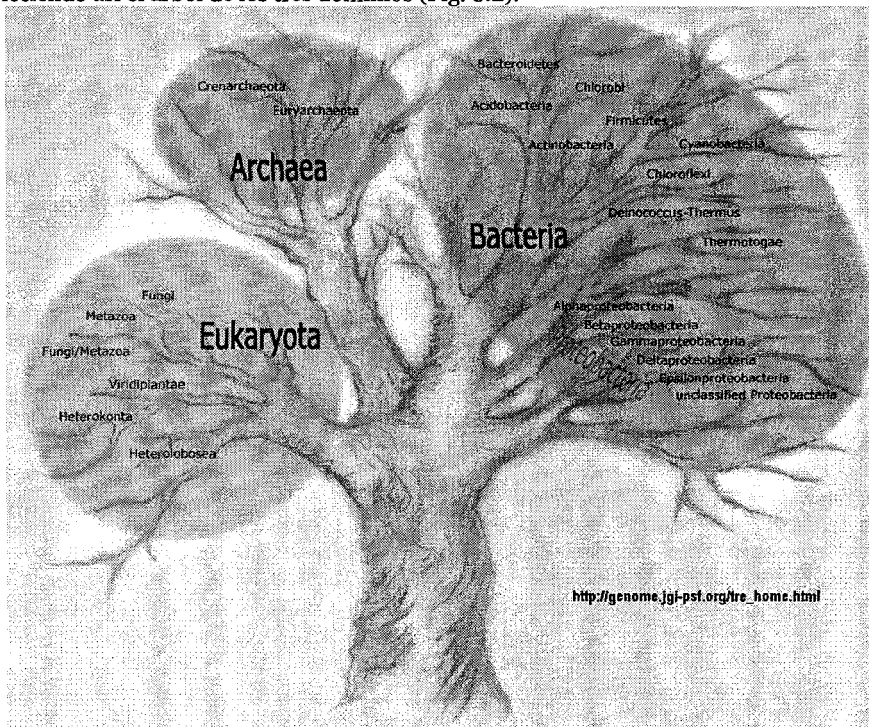


Figura 8.2 Hipótesis de los tres dominios de Carl Woese, 1970 (tomada de [http:// genome.jgi.org](http://genome.jgi.org)).

Sin embargo, el fenómeno de la transferencia horizontal de genes ha mostrado que el árbol de la vida tiene que cambiar... al menos su aspecto. En febrero de 2000, Ford Doolittle publicó, en la revista *Scientific American*, un artículo intitulado *Uprooting the Tree of Life*; éste establece que si se quiere representar el curso de los acontecimientos históricos, se tienen que dibujar ramas que, partiendo del reino bacteriano, vayan a parar al dominio eucariótico y se fusionen con otras ramas (Fig. 8.3).

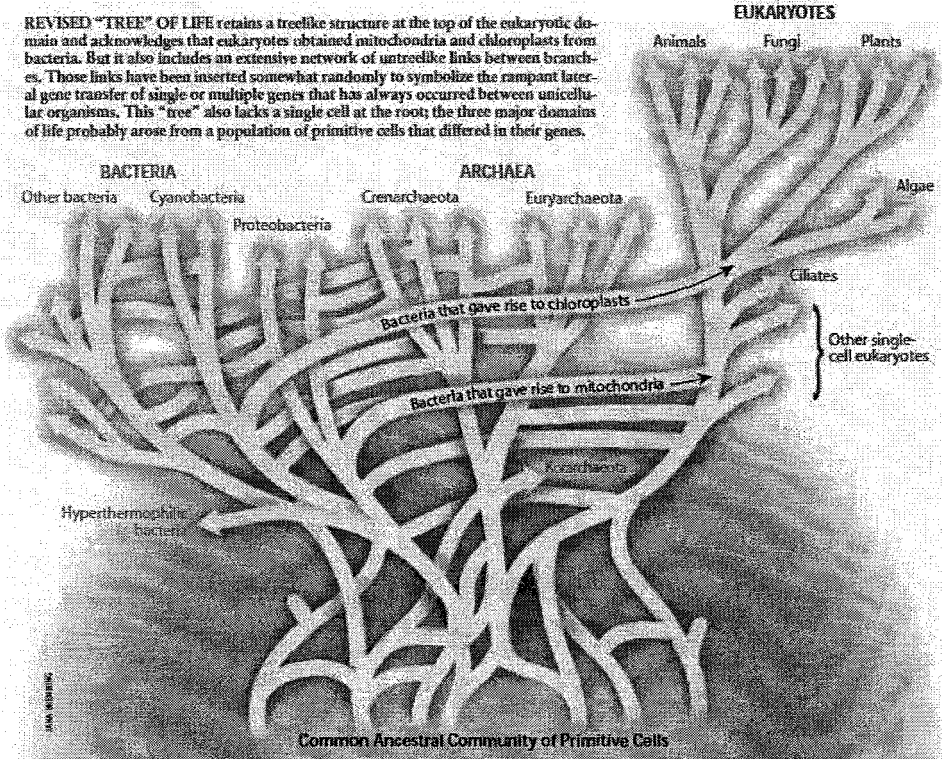


Figura 8.3. 'Árbol de la vida revisado' de Doolittle, F. (2000). En el pie de imagen se lee: este árbol conserva la estructura en forma de árbol en la punta del dominio eucariota y sostiene que los eucariontes obtuvieron las mitocondrias y los cloroplastos de las bacterias. Pero también incluye una gran red de uniones entre ramas que no se parecen a ningún componente de un árbol. Estas uniones se han insertado al azar para simbolizar el fenómeno frecuente de transferencia lateral de genes que siempre ha ocurrido entre los organismos unicelulares. A este 'árbol' también le falta una única célula en la raíz; los tres dominios de la vida probablemente surgieron de una población de células primitivas que diferían en cuanto a sus genes (tomada de Doolittle, 2000).

Y aunque el consenso acerca de la filogenia universal se ha debilitado en los últimos años², se ha hecho evidente que la metáfora del árbol de Darwin, quizá ya no es la forma más adecuada para representar la complicada historia de la vida en la Tierra. Para Darwin solo habían dos componentes que condicionaban la geometría del árbol: monofilia y divergencia. Así que mientras el árbol tuviera un único tronco y las ramas no se unieran, la historia de la vida se podía ilustrar perfectamente. En la actualidad conocemos los fenómenos de la transferencia horizontal de genes y de la hibridización en plantas, que provocan que las ramas del árbol de la vida sí se unan (Fig. 8.4), así que surge la cuestión:

¿En comunicación de la ciencia, se debe considerar la anastomosis dentro del árbol, aún sabiendo que las narraciones de los genes son a veces contradictorias? Si es así, entonces el árbol de la vida debería parecerse más a una red de ramas interconectadas en la base como algunos corales. Más a un mangle o un ficus que a un pino de navidad. En palabras de Doolittle: *Para salvar a los árboles, uno debería definir a los organismos como más que la suma de sus genes e imaginar que los linajes tienen una especie de realidad emergente.*

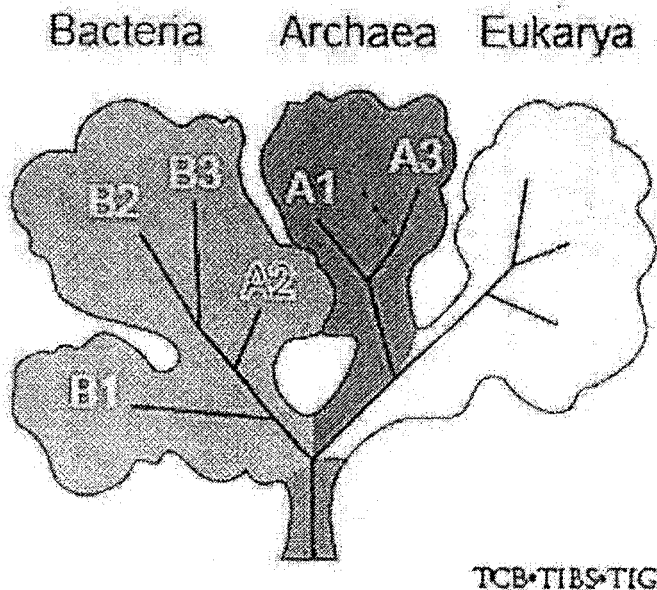


Figura 8.4. Filogenia hipotética en la cual se aprecia un evento de transferencia lateral de genes, Doolittle, 1999 (tomada de Suárez & Anaya, 2008).

² Son dos las causas principales: en primer lugar una duda metodológica, ya que los análisis de las filogenias universales han revelado posibles artefactos que pueden originar ramificaciones incorrectas. Esto se relaciona con la dificultad de resolver filogenias con ramas muy largas, es decir, que incluyen organismos con ancestros antiquísimos. En segundo lugar, el hecho de que genes diferentes puedan dar lugar a filogenias diferentes para los mismos organismos, entre otras razones, porque algunos de estos genes no provienen por herencia vertical –supuesto principal del árbol genealógico darwinista– sino por transferencia horizontal (estos genes no son útiles para probar monofilia).

Tal vez por ello en comunicación de la ciencia, se emplean en la mayor parte de los casos, árboles de familias u órdenes de animales. En ninguno de los museos visitados encontramos un árbol evolutivo de plantas, de bacterias exclusivamente, o alguno que represente los tres dominios con detalle, pues los temas de estudio en biología molecular “se encuentran en la frontera del conocimiento actual y no es fácil transmitir algo de lo que apenas se tiene algunas respuestas” (Llorente, 1990). De hecho, tan solo en el museo de Historia Natural de Londres encontramos *cladogramas*, puesto que estos árboles de especies son *hipótesis* que pueden ser modificadas en cualquier momento, con evidencia o análisis nuevos. Los museos, como cualquier otra herramienta de divulgación, por lo general emplean filogenias de grandes grupos de organismos, las cuales son más estables y brindan información más general. Por ejemplo, en un árbol evolutivo de los tetrápodos se puede inferir el origen de ciertas características como cuatro extremidades, viviparismo o presencia de plumas.

Otra razón por la cual los museos presentan por lo general árboles de organismos superiores es por la naturaleza misma de los diagramas. Los *diagramas* son un tipo de imagen que permite separar el código del contenido; por ello son los más empleados tanto en la ciencia como en su comunicación. Los diagramas permiten a los autores filtrar cierta información y codificar aquellas características que les interesa que lleguen al receptor. Un ejemplo son los dibujos anatómicos en los que resulta clara la supresión de ciertos rasgos, estructuras o procesos con la finalidad de la claridad conceptual.

Los diagramas además permiten mostrar relaciones que no son visibles, sino temporales o lógicas, las cuales sería difícil explicar con palabras, “el diagrama siempre pondrá ante nuestros ojos lo que una descripción verbal sólo podría presentar con una cadena de afirmaciones” (Gombrich, 2000:150). Más aún, los diagramas pueden combinarse fácilmente con otros gráficos o mecanismos pictóricos para lograr transmitir una información más rica.

Ahora bien, considerando que los diagramas presentan convenciones que es necesario conocer para interpretarlos correctamente y que la lectura de cualquier imagen, así como la recepción de su mensaje dependen del conocimiento previo que se tenga, en comunicación de la ciencia lo que se busca es simplificar el número de convenciones necesarias para decodificar la imagen. Tal ‘simplificación’ implica el uso de *símbolos*³ y de *equivalentes*.

Los equivalentes —a los que se puede hacer referencia como *iconicidad*— son elementos de representación genuina que facilitan la interpretación de los diagramas. En las filogenias son la forma real de los organismos (Gombrich, 2000). Como los museos buscan hacer del conocimiento científico un tema accesible para el público lego, la iconicidad de las filogenias se establece bajo los criterios de mayor familiaridad y por ello lo que vemos en estas instituciones son, por lo general, árboles de Homínidos, de Mamíferos, y de Vertebrados, entre otros.

Esto complementa la explicación acerca de la ausencia de filogenias de plantas y bacterias en museos, la cual está entonces dada por: 1. Las dificultades metodológicas que actualmente presentan las filogenias moleculares; 2. Aunque la transferencia horizontal de genes es considerada como un fenómeno importante que cuestiona la apariencia del ‘árbol de la vida’, aún no está probado que el intercambio de genes forme organismos ‘totalmente’ distintos y 3. El papel de los museos como instituciones informales de aprendizaje que buscan ‘traducir’ los fenómenos científicos en información comprensible por el público lego.

³ Un *símbolo* es un signo simple que representa algo mediante un código normalizado, acuerdo o convención, el cual resulta ideal para evitar polisemia por su economía de elementos, su claridad y por su característica esquemática que sirve como código. Los símbolos se emplean para evitar la multiplicidad de significados que las personas pueden derivar de una misma imagen (Peirce, 1893-1903).

8.2 El árbol evolutivo como diagrama

Uno de los diagramas de relación más antiguos es *el árbol genealógico* (Gombrich, 2000), que como se plasmó en el capítulo III, es una de las posibles fuentes de inspiración del árbol de Darwin. Este diagrama presenta relaciones que originalmente no son visibles, sino temporales y/o lógicas y en eso radica su importancia⁴.

Mediante su diagrama en forma de árbol, Darwin pudo incluir a los organismos como parte de la historia y quitarles su estatus de entes creados en su forma presente, como se pensaba mayormente en el siglo XIX⁵. Así, con su teoría de la evolución, Darwin proporcionó una causa verdadera, una explicación basada en evidencias históricas del origen de la diversidad de la vida. Se puede resumir el argumento central de su obra como “el poder de la acumulación uniforme de cambios insignificantes durante grandes lapsos de tiempo” (Gould, 2001).

En *El Origen de las Especies* Darwin nos dice: *La causa principal de nuestra resistencia natural a admitir que una especie ha dado nacimiento a otra distinta, es que siempre somos tardos en admitir grandes cambios cuyos grados no vemos. La mente no puede captar el significado pleno de un periodo de cien millones de años; no puede sumar y percibir el efecto total de muchas pequeñas variaciones acumuladas durante un número casi infinito de generaciones* (Darwin, 1859:481).

Lo anterior tuvo como fruto la propuesta de Darwin del árbol genealógico para todas las especies⁶, con el cual logró integrar numerosos conceptos que forman parte tanto de las clasificaciones como de la teoría de la evolución y que antes parecían antagónicos. Estos conceptos son: por un lado la definición de especie como unidad de clasificación, que implica una sincronía o dimensión observable y estática, y por el otro, la capacidad de las especies de evolucionar en el tiempo, que involucra un elemento diacrónico (al proyectar a las especies a una dimensión temporal). Por lo tanto, la figura del árbol en este contexto se debe percibir no solo como un símbolo de la conceptualización de la historia en la naturaleza sino también como un esquema en el que el tiempo y la taxonomía se encuentran en conjunción, al unir los elementos

⁴ El ‘árbol de la vida’ ha aparecido en numerosas ocasiones de la historia bajo distintas apariencias que involucran origen y descenso, y una diferente conceptualización de la escala temporal: árboles genealógicos o familiares, tablas genealógicas o dinásticas, pedigríes, escalas, y otros (Weigel, 2007). Durante el siglo IX, por ejemplo, los árboles se empleaban de acuerdo con la tradición bíblica de enlistar generaciones sucesivas de individuos, en los cuales el tiempo se concibe como mítico pues se encuentra relacionado con Dios. En la Edad Media floreció la coexistencia de relatos genealógicos con poemas épicos y surgieron gran variedad de iconografías arbóreas en la filosofía y en las tablas dinásticas. En ellas el tiempo es relativo, pues la dinastía es “atemporal” y pareciera que los miembros más antiguos comparten un espacio en el tiempo con los más recientes.

⁵ Antes de Georges Louis Leclerc conde de Buffon (1707-1788) la mayor parte de la ciencia no incluía la historia, pero este personaje en su *Histoire naturelle* introdujo el pensamiento histórico al postular una edad larga e indeterminada para nuestro planeta, con lo cual se permitía explicar el despliegue de los fenómenos —entre ellos, la extinción que era un concepto impensable en un planeta ‘creado’ perfecto—. Posiblemente esta historiografía científica haya influido en Darwin para adoptar su modelo genealógico, con el cual revolucionó el estudio de los seres vivos con su concepto de un origen único para todas las especies.

⁶ Resulta importante mencionar que una diferencia fundamental entre el árbol de Lamarck y el de Darwin —además de la teoría que los subyace— es la introducción del tiempo en el eje vertical. Para Lamarck y para otros naturalistas postdarwinianos que también construyeron genealogías, tales como Haeckel, el eje vertical implica progreso. Para Darwin este eje representa a las generaciones, es decir, el tiempo.

sincrónicos —especies en el eje horizontal, y diacrónicos— despliegue de los acontecimientos en el tiempo en el eje vertical (Weigel, 2007).

Así, mediante este diagrama, Darwin pudo resolver entonces el problema epistemológico de la biología del siglo XIX que era la posibilidad de relacionar la constancia entre los géneros y las especies y su capacidad de variación —que resulta la condición necesaria para la evolución de las mismas (Weigel, 2007).

El sistema natural de clasificación está basado en el descenso con modificación; que los caracteres que los naturalistas consideran que muestran la verdadera afinidad entre dos o más especies, son aquellos que han sido heredados de un ancestro común, por cuanto toda clasificación verdadera es genealógica; que la comunidad de descendencia es el vínculo oculto que los naturalistas habían estado inconscientemente buscando, y no algún plan desconocido de creación o la enunciación de proposiciones generales y el mero ordenamiento o separación de objetos más o menos parecidos (Darwin, 1859:420).

No obstante, a pesar que la teoría del descenso común brindó la respuesta para encontrar el ‘sistema natural’ y dio gran impulso a los esfuerzos por reconstruir la historia de la vida en la Tierra al establecer la posibilidad real de construir un árbol genealógico para todas las especies, la reconstrucción filogenética no resulta tan sencilla como parece, y tomó varias décadas de empleo de estilos arbitrarios en las decisiones taxonómicas⁷ —es decir de falta de método— para lograr establecer que la genealogía es el componente principal de una filogenia (de acuerdo con Hennig)⁸. La sistemática filogenética o cladista es, por tanto, la base más sólida de las clasificaciones actuales porque su método —basado en el reconocimiento de grupos estrictamente monofiléticos— “garantiza una sola clasificación, pues solo hay una historia de descendencia de los organismos por descubrir” (Llorente, 1990).

Ahora bien, haciendo énfasis en las filogenias como diagramas, de acuerdo con el método de Hennig, lo que se requiere para establecer grupos estrictamente monofiléticos (grupos que incluyan al ancestro común y a todos sus descendientes), son las homologías, que son caracteres

⁷ El propósito de la taxonomía es agrupar en clases ‘naturales’ los objetos a clasificar. Pero ¿qué es natural y qué es una clasificación? Antes de la década de 1950 no había consenso. “Por ejemplo, la palabra clasificación era usada con muy diversas connotaciones, y en algunos casos implicaba meramente un sistema de palabras, pero podía ser la monografía biológica entera. Lo anterior ocurría porque no se diferenciaba entre proceso y resultados del quehacer clasificatorio” (Llorente, 1990).

⁸ Una filogenia tiene varios componentes de la historia evolutiva: la dirección o polaridad evolutiva, la cantidad de cambio genético (cantidad de divergencia evolutiva o relaciones patristicas), el tiempo de evolución (relaciones temporales o cronísticas), la diversificación o radiación evolutiva, la especiación o cladogénesis y las relaciones espaciales o biogeográficas (Llorente, 1990). Debido a la falta de método para la reconstrucción filogenética, antes de 1950-60, los taxónomos mantenían diferencias en cuanto al valor de cada uno de estos componentes para reconocer grupos con una única historia evolutiva. Para los taxónomos tradicionales la genealogía solo representaba uno de los procesos de la evolución, pero no el más importante, pues le daban un valor mayor a la cantidad de divergencia (magnitud de las diferencias entre los grupos). Como las decisiones sobre la cantidad de divergencia son arbitrarias y subjetivas, porque la velocidad de evolución que determina la cantidad de divergencia, es distinta para cada taxón, se puede obtener más de una clasificación con supuestas bases evolutivas, aunque fueran pretendidamente naturales (Llorente, 1990). Por ello, para los cladistas el componente genealógico debía tener precedencia sobre los demás a la hora reconstruir la historia evolutiva de los organismos. En la actualidad las dos escuelas principales en sistemática: la cladista y la feneticista mantienen concepciones diferentes. Para los primeros la genealogía es lo más fundamental de una filogenia, es decir que la comunidad de descendencia resuelve la naturalidad de los grupos, para los segundos la cantidad de similitud total.

provenientes de un mismo ancestro o una misma ruta de descendencia. Como no todos los caracteres homólogos permiten descubrir relaciones de ancestría común inmediata (existen jerarquías en la distribución de homólogos —homólogos primitivos, homólogos recientes), se emplean los caracteres derivados compartidos o *sinapomorfias* para el análisis de las filogenias de organismos. Esto es, caracteres homólogos que se encuentran en un par de especies o grupos de especies, los cuales fueron heredados directamente de su ancestro común⁹.

Lo anterior indica que los cladogramas —que son los árboles más básicos en filogenia— se construyen con base en *caracteres*. Esto quiere decir que en los diagramas se representan individuos como portadores de formas homológicas y sus relaciones, y que los caracteres ancestrales o plesiomórficos no equivalen a los organismos ancestrales. Sin embargo, en muchos cladogramas publicados en revistas o libros de texto pareciera que así es (Fig 8.8).

8.2.1 El árbol evolutivo, ¿modelo, símbolo o ícono?

Los árboles evolutivos incorporan una gran variedad de elementos tales como esquemas, mimesis, símbolos y signos.

De acuerdo con Peirce (1893-1903), existen tres tipos de signos: los símbolos, los índices y los íconos. Los símbolos son signos que representan algo mediante un acuerdo o convención (*i.e.* las palabras habladas o escritas, las señales en los mapas, etc.). Los índices son signos que mantienen una relación directa con su referente o la cosa que produce el signo (*i.e.* el suelo mojado es un índice de que llovió o la presencia de huellas son un índice del paso de un animal o persona). Los íconos son signos que tienen la capacidad de representar algo mediante alguna semejanza con cualquiera de los aspectos de ese algo, es decir que poseen relaciones de semejanza o analogía con su referente (*i.e.* una fotografía, una pintura, una escultura, un esquema o un pictograma). El ícono a su vez tiene tres subcategorías: la *imagen*, el *diagrama* y la *metáfora*. La imagen es un ícono que tiene cualidades simples porque el signo (*representamen*) representa al objeto en la mente del observador (*interpretante*). Por otro lado, el diagrama representa relaciones de las partes de una cosa mediante relaciones análogas con sus propias partes. Finalmente, las metáforas en este caso son íconos que representan al *representamen* mediante un paralelismo con algo distinto (*i.e.* Al ver una lámpara, comprendemos de inmediato que esta lámpara significa la noche, lo nocturno).

Por tanto, podemos concluir que el árbol evolutivo es un signo icónico, y tanto un diagrama como una metáfora. Decimos esto último porque cumple con la definición tanto de diagrama —representación gráfica abstracta que guarda una relación de analogía con el objeto que representa— como de metáfora. Aunque es difícil llegar a una definición unívoca de metáfora (ver capítulo I), de forma sucinta y de acuerdo con Barcelona (2003:3), las metáforas son mecanismos cognitivos en los cuales un dominio de la experiencia es proyectado o transferido a un dominio diferente, de forma que el segundo se puede comprender parcialmente en los términos del primero. Podemos decir así que las metáforas permiten la transferencia de las

⁹ En una ruta de descendencia con modificación, el carácter que aparece por primera vez en un grupo de especies se denomina *autapomorfia* o novedad evolutiva (carácter derivado de uno ancestral). Si esta autapomorfia se hereda a las especies descendientes, toma el papel de una *sinapomorfia*. Es importante tener en cuenta que estos caracteres no existen por sí solos sino que son relativos a una secuencia de ancestría-descendencia.

propiedades de un objeto a otro —*μεταφορά*—=transferencia, siendo normalmente uno de ellos familiar y conocido (i.e. el cuerpo humano es una máquina o la enfermedad es un enemigo).

El árbol evolutivo es una metáfora porque el resultado de la evolución —la historia de los organismos en el tiempo—, es un árbol que se ramifica copiosamente. Además, todos los conceptos fundamentales de la teoría de Darwin se encuentran plasmados en la metáfora: un origen único para todas las especies o monofilia, representado por el tronco de un gran árbol; divergencia, representada porque las distintas ramas no se unen; especiación, representada por las ramas que se bifurcan; extinción, mediante ramas que se mueren y dejan de crecer y biodiversidad, por las numerosas hojas en la punta de las miles de ramitas. Pero más importante aún que el hecho de que la metáfora del árbol se ajuste a los conceptos de Darwin de la evolución de las especies, está el hecho de que “la metáfora del árbol de la vida lo hizo pensar en las causas de las ramificaciones” (Ruse, 2008), asunto que pocos antes había abordado.

En palabras del propio Darwin:

Las afinidades de todos los seres de la misma clase se han representado a veces por un gran árbol. Creo que este ejemplo expresa en gran parte la verdad; las ramitas verdes y que dan brotes pueden representar especies vivientes, y las producidas durante años anteriores pueden representar la larga sucesión de especies extinguidas. En cada periodo de crecimiento, todas las ramitas que crecen han procurado ramificarse por todos lados y sobrepujar y matar a los brotes y ramas de alrededor, del mismo modo que las especies y grupos de especies, en todo tiempo, han dominado a otras especies en la gran batalla por la vida. Las ramas mayores, que arrancan del tronco y se dividen en ramas grandes, las cuales se subdividen en ramas cada vez menores, fueron en un tiempo, cuando el árbol era joven, ramitas que brotaban, y esta relación entre los brotes pasados y los presentes, mediante ramificación, puede representar bien la clasificación de todas las especies vivientes y extinguidas en grupos subordinados unos a otros.

De las muchas ramitas que florecieron cuando el árbol era un simple arbolito, solo dos o tres, convertidas ahora en ramas grandes sobreviven todavía y llevan las otras ramas; de las misma manera, de las especies que vivieron durante periodos geológicos muy antiguos, poquísimas han dejado descendientes vivos modificados. Desde el primer crecimiento del árbol, muchas ramas de todos los tamaños se han secado y caído, y estas ramas caídas pueden representar todos aquellos órdenes, familias y géneros enteros que no tienen actualmente representantes vivientes y que nos son conocidos tan solo en su estado fósil. Del mismo modo, que de vez en cuando, vemos una ramita perdida que sale de una ramificación baja de un árbol, y que por alguna circunstancia ha sido favorecida y está todavía en su punta, también de vez en cuando encontramos un animal, como el ornitorrinco o el pez de légamo, que, hasta cierto punto, enlaza, por sus afinidades, dos grandes ramas de la vida y que al parecer se ha salvado de la competencia fatal por haber vivido en sitios protegidos. Así como los brotes por crecimiento, dan origen a nuevos brotes y éstos, si son vigorosos, se ramifican y sobrepujan por todos lados a muchas ramas más débiles, así también, a mi parecer, ha ocurrido, mediante generación, en el gran árbol de la vida, que con sus ramas muertas y rotas llena la corteza de la tierra, cuya superficie cubre con sus hermosas ramificaciones, siempre en nueva división. Charles Darwin, 1957:100-101.

Para finalizar, se puede establecer además, que el árbol evolutivo es un modelo, pues éstos son la representación de objetos o ideas. El árbol evolutivo es entonces un modelo para la organización del tiempo a través de una secuencia de generaciones, el cual ha sido aceptado

dentro de toda la comunidad científica por consenso. Pero eso no es todo, pues además de modelo científico, el árbol evolutivo es un modelo educativo pues incluye convenciones tanto biológicas (signos científicos tales como la representación de extinciones, el origen de caracteres o los nombres de las especies en latín) como artísticas (símbolos de especies, rótulos y leyendas en lenguaje común, empleo de colores y formas, y otros). Por lo tanto, Darwin empleó un instrumento semiótico —el árbol de la vida— capaz de significar el concepto de divergencia de caracteres y especies, así como de comunidad de descendencia, además de permitir referencias al resultado del proceso de la evolución y sus componentes.

De lo anterior se desprende una cuestión interesante. ¿Cuál es la diferencia entre las filogenias empleadas para difusión —comunicación entre pares— y aquellas utilizadas para divulgación —comunicación de conceptos científicos para el público lego?, ¿qué diferencias existen en las filogenias de publicaciones especializadas, con aquellas de revistas que se encuentran al borde de la difusión y la divulgación y con las que son exclusivamente de divulgación?, ¿hay alguna correspondencia en su empleo de signos o *sintaxis* de la imagen?

Para discutir lo anterior se empleará la filogenia de los tetrápodos publicada en diferentes medios, comenzando por revistas para toda la comunidad científica como *Nature*, en la cual Shubin *et al.*, (2006) publicaron sus hallazgos sobre *Tiktaalik*, para después compararla con aquellas filogenias empleadas para divulgación. La figura 3.25 (izquierda) muestra la relación evolutiva de los tetrápodos con los peces sarcopterigios. Gracias al descubrimiento de *Tiktaalik* —un pez sarcopterigio fósil del Devónico tardío— se conoció más sobre el origen de las principales características de los tetrápodos, puesto que representa una forma intermedia entre los peces con aletas y los tetrápodos con extremidades.

Las figuras que se describen a continuación fueron pensadas para la divulgación de la evolución de los tetrápodos. La figura 3.25 (derecha) se encuentra en el libro de texto de Colbert (1980) intitulado *Evolución de los vertebrados: una historia a través del tiempo de los animales con espina dorsal* y la figura 8.10 fue tomada de *fishindex.atw.hu*.

Hay varios puntos que se pueden discutir de estas figuras. En cuanto a la 3.25 (derecha), ésta incluye la cronología en la evolución de los sarcopterigios y de los anfibios y plasma ancestros comunes, así como extinciones. Mediante ilustraciones se pretende facilitar la comprensión de la evolución de los grupos que se están tratando. Un problema de esta imagen es que presenta especies identificadas como ancestros (ver página 306). Debido a que las cuestiones relacionadas con los ancestros comunes resultan problemáticas para los cladistas porque es complicado confirmar que una especie particular fue el ancestro de otras, estos soslayan las relaciones de ancestría-descendencia de sus taxonomías y consideran a los ancestros como *hipotéticos*. Asimismo, esta filogenia parece afirmar que los anfibios son las formas intermedias entre los peces óseos y los reptiles, lo cual es una interpretación incorrecta de la filogenia y una falsa inferencia de ancestría, puesto que los anfibios representan a un taxón actual y una cosa es hablar de caracteres ancestrales o plesiomórficos y otra muy distinta de organismos ancestrales.

Por el contrario, la figura 8.5 es un buen ejemplo de una filogenia empleada para divulgación puesto que la información que presenta es veraz y los componentes biológicos que incluye para comprender la evolución de los tetrápodos son acertados. Entre éstos, se puede mencionar la inclusión de elementos esqueléticos que muestran la forma en la que actuó la evolución para favorecer la locomoción terrestre, así como las evidencias fósiles para sostener esto. Lo anterior es importante por varios motivos, en primer lugar muestra que la teoría de la evolución tiene un carácter predictivo porque dicha teoría sostiene que deben existir organismos con características mixtas, tales como aquellas de los peces antiguos y aquellas de los posteriores excavadores terrestres. En efecto, un equipo de científicos encontró en el norte de Canadá un

fósil de una criatura con características tanto de peces (escamas y aletas) como de animales terrestres (pulmones simples, cuello flexible y aletas modificadas para soportar el peso). Dicha criatura fue nombrada *Tiktaalik* y representó un éxito para evidenciar la teoría de la evolución al permitir llenar un hueco en el registro fósil de la evolución de los tetrápodos.

En segundo lugar, en esta misma figura, ninguna especie se muestra como ancestro, sino que éstas se colocan en las puntas de las ramas con marcas para aquellas que se encuentran extintas, lo cual es una de las características que deben tener las filogenias.

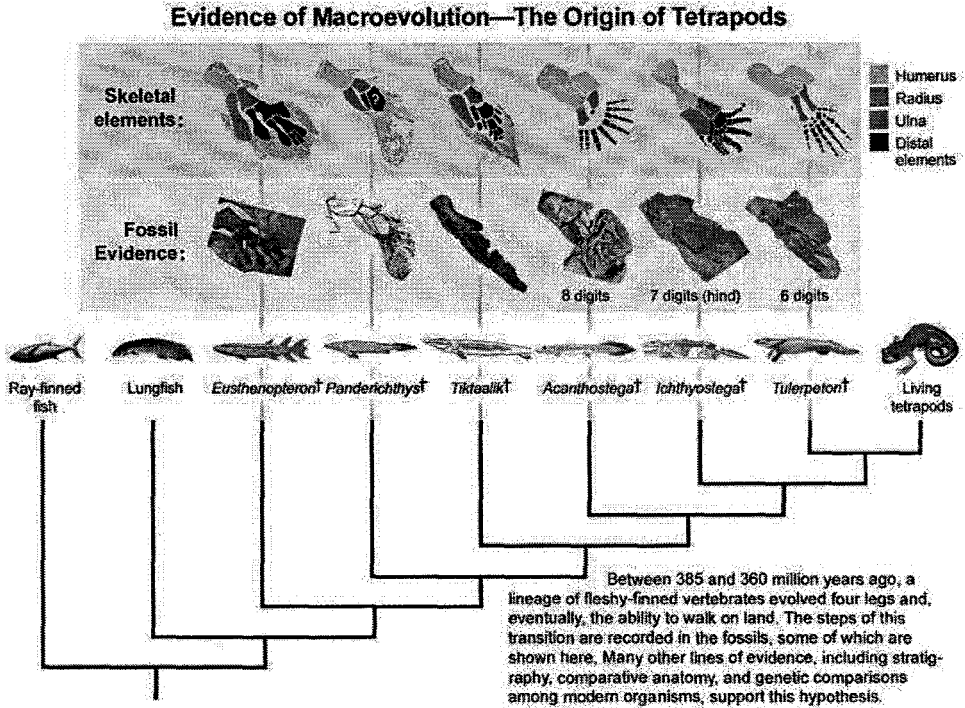


Figura 8.5. El origen de los tetrápodos. En esta figura se lee: *Hace entre 385 y 360 millones de años, un linaje de vertebrados acuáticos con aletas, evolucionó cuatro extremidades y eventualmente la habilidad de caminar en tierra firme. Los pasos de esta transición están registrados en los fósiles, algunos de los cuales se muestran aquí. Muchas líneas de evidencia, incluyendo la estratigrafía, la anatomía comparada y la genética apoyan esta hipótesis* (tomada de www.timpanogos.wordpress.com).

8.3 Museos de Historia Natural y exhibiciones sobre evolución

Los Museos de Historia Natural son los herederos de los gabinetes de curiosidades que proliferaron en Europa durante los siglos XVII y XVIII¹⁰, en los cuales se coleccionaban objetos de todo tipo —especímenes de animales y plantas secos o disecados, huesos, rocas, minerales, artefactos de pueblos lejanos, cuernos de unicornio, entre otros—, provenientes de casi cualquier rincón del mundo (Fig. 8.6). Esta curiosa acumulación eventualmente codujo a las colecciones zoológicas, a los jardines botánicos y a los Museos de Historia Natural.



Figura 8.6 Reproducción de la primera ilustración de un gabinete de historia natural o 'gabinete de curiosidades' de Ferrante Imperato *Dell'Historia Naturale*, Nápoles, 1599 (tomada de www.en.wikipedia.org).

Una característica notable de los Museos de Historia Natural que se debe en parte a sus orígenes, es que, a diferencia de algunos museos y centros de ciencia que no han logrado definir

¹⁰ Aunque se remontan al siglo XV, en el que esta acumulación de artefactos y especímenes naturales se convirtió en un símbolo de *status* entre las casas reales a lo largo de Europa (Vackimes, 2008).

enteramente su función y su papel como instituciones de educación no formal¹¹—como el *New York Hall of Science* o el *Sony Wonder* (Friedman, 2005), es que presentan los resultados de las investigaciones derivadas de las colecciones que albergan y, por ello, tanto su función como su papel son más claros. En estos museos, la preocupación principal es la de mostrar y educar al público —sin temerle al entretenimiento—, explicando los principios y los mecanismos de las teorías científicas de las que se ocupan y mostrando la evidencia disponible.

Es por ello que en dichos museos se persigue por lo general conquistar la *mimesis*, o la imitación del mundo natural y encontramos diversas estrategias para conseguirlo, como la representación de hábitats en los dioramas (Fig. 8.7), el aspecto de los animales mediante especímenes disecados o réplicas (Fig. 8.8), la diversidad biológica recurriendo a las colecciones de animales y plantas (Fig. 8.9), entre otras.



Figura 8.7Diorama en el Museo Americano de Historia Natural de Nueva York (tomada de amnh.org).

¹¹ En los museos o centros de ciencia se busca mostrar la ciencia y la tecnología a través de distintos recursos —audiovisuales, de sonido, interactivos, ‘vivenciales’— que le sean significativos al visitante. Sin embargo, algunas veces, estos museos se vuelven más un centro de espectáculos o de actividades en los que la adquisición de conocimiento se diluye, “el espectáculo predomina sobre el contenido” (Asma, 2001; Vackimes, 2008). Por ello, los estudiosos de los museos cuestionan su función: ¿los museos de ciencia deben educar o entretener?, ¿a quién deben estar dirigidos?, ¿cuál es la mejor manera de diseñar y presentar objetos y fenómenos en las exhibiciones?

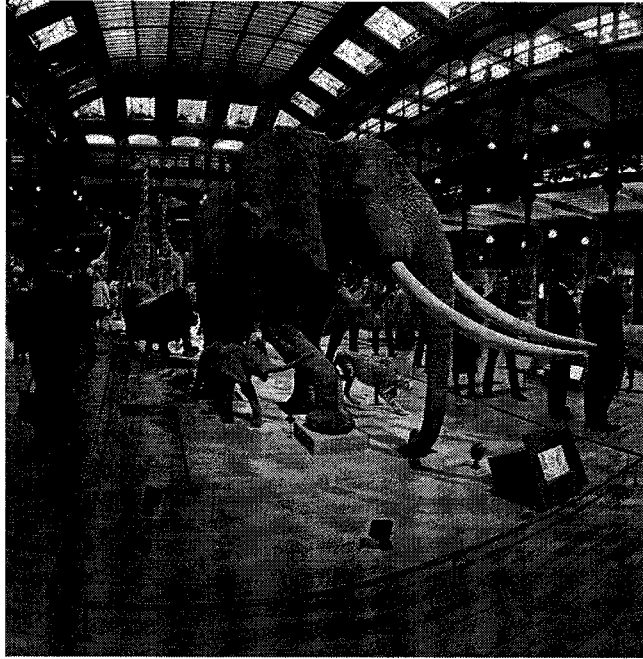


Figura 8.8. 'Gran marcha de los animales', Gran Galería de la Evolución de París (tomada de Flickr.com).

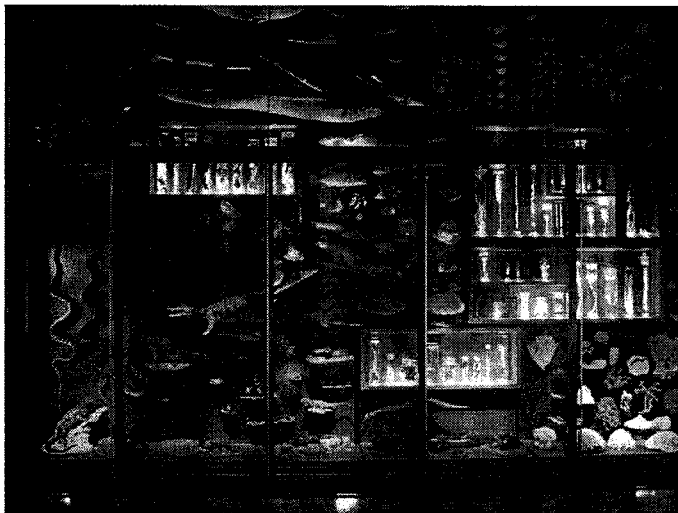


Figura 8.9 Exhibición que muestra 'la diversidad de la vida' en el Museo de Historia Natural de Berlín (foto de la autora).

Sin embargo, y aunque se suele pensar que la ciencia y sus productos son neutrales, puros, y ‘objetivos’, y que en los Museos de Historia Natural se buscan presentar así gracias a la disposición de objetos y especímenes, la realidad es que, como cualquier actividad humana, la museografía no escapa de tendencias, agendas económicas y políticas, así como de factores culturales e históricos. Incluso la arquitectura de los museos influye en lo que se puede hacer con ellos, tal como se revisó en el capítulo VI al mencionar que el mismo edificio del Museo Británico de Historia Natural de Londres —aún habiéndose construido *ex profeso* para albergar las colecciones naturales del Museo Británico— complica la representación de ideas evolucionistas. Esto no quiere decir que los museos de este tipo no consideren instruir y sorprender genuinamente a la audiencia mediante sus colecciones y que busquen mostrar el trabajo de los científicos y sus resultados, muchos de los cuales resultan indispensables en la actualidad, sino que al definir las prácticas y los artefactos científicos que el público *debe* conocer, los museos ejercen diversas actividades y negociaciones que van mucho más allá de la mera exhibición neutral de la ciencia.

Lo interesante del argumento anterior es que, el hecho de establecer que las prácticas museológicas y museográficas no implican únicamente representaciones de hechos absolutos e incontrovertidos, sino que involucran dinámicas sociales, culturales, políticas y económicas en sus resultados finales, no quita el hecho de que el público percibe los contenidos de las exhibiciones como ‘cajas negras’ (término que se emplea en sociología de la ciencia para describir aquellos objetos o principios científicos que se toman como dados [Latour, 1987]) o mejor aún, como ‘recipientes de cristal’ en el que los objetos se admiran y se entienden solo en relación con ellos mismos (Macdonald, 1998).

Por ello, para este trabajo resultó fundamental el análisis de las exhibiciones sobre evolución de algunos Museos de Historia Natural, para comprender su producción, su contexto y su recepción y de esta manera poder diseñar una propuesta cuidadosa para la exhibición de árboles filogenéticos en museos de este tipo.

La representación de filogenias —así como de cualquier exhibición— implica un ejercicio de poder, ya que involucra la construcción de ‘verdades’ y de conocimiento (Foucault, 1977, 1979) para el público lego, que las tomará como absolutas debido a la cualidad de los museos como ‘autoridades’. Este conocimiento no solo implica el conocimiento ‘formal’, sino también la serie de suposiciones que se encuentran detrás de las exhibiciones que involucra a todos los actores responsables (científicos, comunicadores, museólogos, diseñadores).

En el caso particular del Museo Americano de Historia Natural de Nueva York (AMNH), el cladismo es el método por excelencia para diseñar las exhibiciones acerca del origen de algunos organismos: la *Sala del Origen de los Vertebrados* y la *Galería de los Orígenes del Hombre*. No solo los dendrogramas que se pueden apreciar en estas salas se basan en este método de reconstrucción filogenética, sino que la misma disposición de los especímenes de la galería del Origen de los Vertebrados se hizo bajo este criterio; el eje central de la sala representa el tronco de la filogenia del cual surgen ramificaciones hacia ambos lados que representan los diferentes taxones que comparten los principales caracteres (*i.e.*, el carácter ‘mandíbula’ se encuentra en un nodo del árbol que lo ramifica en dos categorías de vertebrados: mandibulados y no mandibulados, si uno sigue el camino de los mandibulados, la siguiente bifurcación en la galería representa la evolución de los tetrápodos, a la que le sigue la de los amniotas y así sucesivamente en esta lógica taxonómica). Esto es algo notable, pues la mayoría de los museos ordenan las series de fósiles de acuerdo con su aparición en el tiempo, pero en el AMNH se hace de acuerdo con las relaciones evolutivas de los organismos.

Para comprender la producción y el contexto de estas exhibiciones es importante saber que el AMNH es uno de los centros de investigación más importantes de los Estados Unidos —

exhibe cerca de un millón de especímenes fósiles de vertebrados—, el cual es la cuna del cladismo. Por ello es que este museo persigue que el visitante aprecie el *orden* de la naturaleza.

En la exhibición *Nuestro lugar en la evolución* del Museo Británico de Historia Natural, se muestran diversos cladogramas acerca de las relaciones evolutivas del *Homo sapiens* y otros homínidos. Todos ellos contienen explicaciones acerca de las hipótesis más solidas de nuestra relación con otros primates vivos y extintos. En términos de dichos árboles, queda claro que este museo busca mostrar hipótesis de relaciones evolutivas bajo una rúbrica cladista. No obstante, en todos los árboles se representa al ser humano en la parte superior, característica que puede llevar al visitante a interpretar que el ser humano se encuentra en la ‘cima’ del proceso evolutivo (Fig. 8.10). Es importante mencionar que solamente la topología del árbol —la secuencia de nodos internos o el orden de ramificación— brinda información evolutiva; el orden de las ramas carece de sentido porque los cladogramas pueden rotarse sin afectar dicha topología, así que en estos árboles se debería haber presentado el hombre en otra posición.

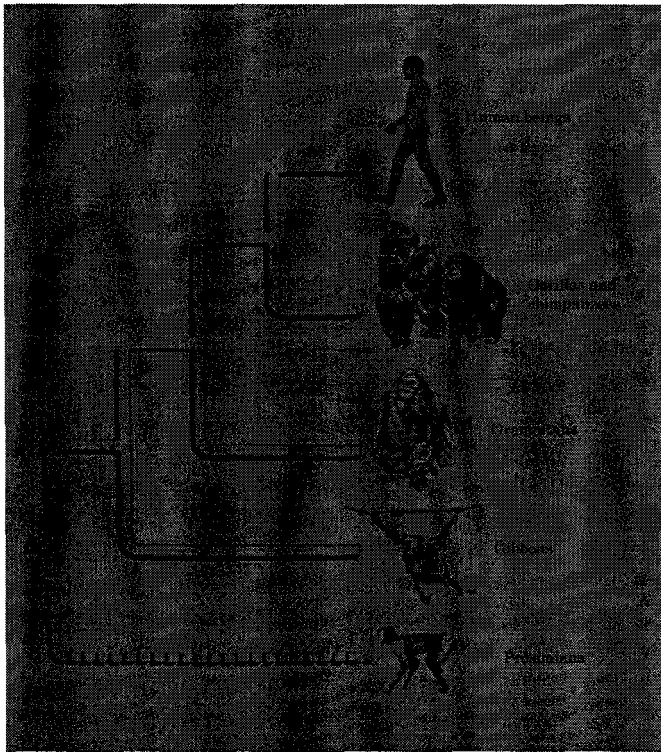


Figura 8.10 Cladograma de los primates (Foto de la autora).

Otra exhibición dentro de *Nuestro lugar en la evolución* —que no tiene que ver con los árboles— pero que involucra un diseño que puede prestarse a ‘lecturas tendenciosas’ es la vitrina introductoria que pretende mostrar nuestra cercana relación con los otros primates. En ella el visitante puede apreciar una serie de especímenes disecados de primates a cada lado del ser

humano. Lo curioso es que este 'humano' no es un maniquí o un esqueleto, sino una réplica muy parecida al David de Miguel Ángel, el cual es el arquetipo del hombre europeo caucásico (Fig. 8.11). Al presentar al ser humano en una forma prototípica en esta exhibición y, en la parte superior de la filogenia que se encuentra detrás, la imagen puede 'leerse' como que alguno de los otros primates representa el 'comienzo' y el ser humano el 'final'. Por ello los museos deben ser cuidadosos de la manera en que el público puede leer o interpretar los íconos visuales empleados para representar la evolución del ser humano.

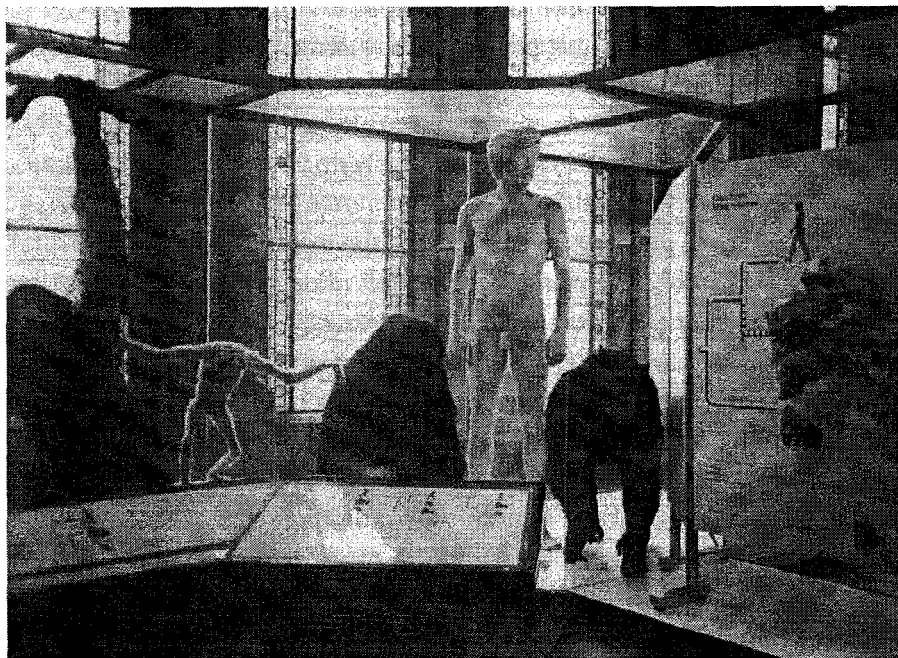


Figura 8.11 Exhibición introductoria de *Nuestro lugar* en la exhibición del Museo Británico de Historia Natural (tomada de Scott & Giusti, 2006).

En el Museo de Historia Natural de Berlín, la educación del público ocupa un primer lugar en su agenda, pues a comienzos del siglo XX se comprendió la necesidad de que los descubrimientos científicos y sus implicaciones debían serle accesibles (Glaubrecht *et al.*, 2008). Esta idea ha representado una batalla para la planeación de las exhibiciones, pues este museo —al igual que el Museo Británico de Historia Natural de Londres— ha pasado de exhibir material educativo mediante el empleo de modelos en lugar de originales y diagramas como si fueran de libros de texto (tendencia que cobró auge en la década de 1970) a diseñar exhibiciones más entretenidas y dinámicas ((Glaubrecht *et al.*, 2008), en un intento por evitar lo anticuado que esta tendencia resulta en la actualidad. Como elemento clave de este intento se encuentra la exhibición de especímenes originales que forman parte de la colección de este museo, que es una de las más importantes del mundo (Fig. 8.12).



Figura. 8.12. Construcción de la 'Pared de la Biodiversidad' en la exhibición *Evolución en Acción*, Museo de Historia Natural de Berlín (tomada de (Glaubrecht *et al.*, 2008).

Este museo cuenta con el mayor número de filogenias entre los museos estudiados, las cuales se encuentran en casi todas las exhibiciones que tratan sobre seres vivos: *El Mundo de los Dinosaurios*, *Fósiles*, *Evolución en acción*, *Volviéndose humanos* y *Ungulados*. Las más interesantes se encuentran en la exhibición *Evolución en acción*, la cual es una novedosa manera de representar, entre otras cosas, tres nociones fundamentales de la teoría de la evolución por selección natural de Darwin: 1. Los organismos tienen más descendencia de la que logrará sobrevivir; 2. Los organismos presentan variaciones y 3. Cualquier variación genética que resulte ventajosa para el individuo tenderá a 'pasar' a las siguientes generaciones. Aunque la evolución por selección natural ha sido controvertida hasta la actualidad, en este museo se la presenta como uno de los mecanismos principales de la evolución y se complementa con algunas nociones de biología molecular.

El origen de nuevas especies es también un tema importante de esta exhibición, no solo porque es una noción clave para comprender la teoría de la evolución, sino también porque Ernst Mayr, uno de los principales arquitectos de la teoría Sintética de la Evolución y quien definió entre otras cosas el concepto de especie biológica¹² y el modelo de especiación alopátrica¹³, fue un miembro importante de este museo, quien contribuyó notablemente con su

¹² Una especie es un grupo de poblaciones naturales que pueden reproducirse entre sí y que se encuentran aisladas de otros grupos de poblaciones.

¹³ Se trata de la especiación gradual que se produce cuando una especie ocupa una gran área geográfica que no permite que los individuos que estén muy alejados puedan cruzarse entre sí, debido a barreras geográficas como mares, montañas o desiertos. Se trata, entonces, de la separación geográfica de un acervo genético continuo, de tal forma que se establecen dos o más poblaciones geográficas aisladas. La

colección de especímenes de aves. La especiación alopátrica se explica con el empleo de los especímenes de aves del paraíso (*Paradisaea*) y de silbadores dorados (*Pachycephala*) de Nueva Guinea, con los que Mayr pudo demostrar los mecanismos de este tipo de especiación. Asimismo, el árbol de la vida más sorprendente se encuentra en esta exhibición, el cual es un diagrama interactivo presentado sobre una plancha blanca, en el que las ramas oscilan y se mueven por doquier hasta que el visitante toca alguna de ellas. Entonces se despliega la información sobre la especie particular de la que trata la rama, con detalles acerca de su ecología y de sus relaciones evolutivas. Este árbol es una muestra de que los alemanes no escatiman, ni en el contenido, ni en la cantidad de información que se le ofrece al visitante (Fig. B1, p236).

Evolución en acción es la exhibición mejor lograda de todos los museos visitados, por varias razones: 1. Explora diversas experiencias sensoriales: se puede *escuchar* a Linnaeus y a Darwin explicar algunos de sus conceptos, se puede *tocar* el árbol de la vida y sobre todo, se pueden *ver* las evidencias de los mecanismos (mutaciones, cambios en las poblaciones por selección natural), de los procesos (la especiación) y de la evolución en general (las homologías están bellamente representadas, así como la variación geográfica y el polimorfismo); 2. Emplea la colección original de especímenes como principal recurso, y 3. Emplea diferentes niveles de información para dirigirse a cualquier audiencia.

La Gran Galería de la Evolución de París cuenta con un árbol de los tres dominios de organismos (bacteria, arqueobacteria y eucariota) muy estético, que —como todos los demás objetos de la primera sección dedicada a la biodiversidad— parece suspendido en el aire. Los franceses decidieron no ‘abogar’ por método de reconstrucción filogenética alguno y, por ello, este árbol no cuenta con ningún tipo de explicación. Su única finalidad es que la audiencia perciba la gran diversidad de seres que habitan nuestro planeta y la ‘insignificancia’ numérica de los denominados ‘organismos superiores’. De hecho, solo hay dos imágenes que el público no especialista puede reconocer, de entre los 16 organismos representados en el dominio eucariota: la de una planta y la de un hongo (Fig. P1, p244). Por ello, esta imagen resulta quizá demasiado metafórica para alguien que tiene un pensamiento literal y se pregunta por el lugar del hombre en la evolución.

La agenda de la primera sección de este museo (descrita detalladamente en el capítulo VI) resulta clara: mostrar el resultado de la evolución, esto es, la diversidad, y algunas de las evidencias (homologías). La segunda sección, dedicada a la destrucción humana de la naturaleza, contiene una retórica fuertemente moralizadora que tiene la intención de mostrar los daños ecológicos que ha sufrido nuestro ‘frágil’ planeta y las numerosas especies de animales que se hallan hoy extintas. La tercera y última sección está dedicada a la historia y a la teoría de la evolución. Mediante pequeños dioramas se hace una crónica de los principales naturalistas que contribuyeron con la teoría: Lamarck, Cuvier, Geoffroy Saint Hilaire, Darwin, Mendel, Watson y Crick. Para establecer que los museos persiguen determinadas agendas y que ni los objetos, ni la historia se presentan como neutrales, los protagonistas principales de esta exhibición son los tres primeros, no dejando lugar a dudas de que la palabra chauvinismo es la adaptación del apellido del francés Nicolas Chauvin.

separación entre las poblaciones puede ser debida a migración, a extinción de las poblaciones situadas en posiciones geográficas intermedias, o mediada por sucesos geológicos. La barrera puede ser geográfica o ecológica, como por ejemplo cumbres que separan valles en las cordilleras o zonas desérticas que separan zonas húmedas. La separación espacial de dos poblaciones de una especie durante un largo periodo de tiempo da lugar a la aparición de novedades evolutivas en una o en las dos poblaciones debido a que el medio ambiente es distinto en las diferentes zonas geográficas; se detiene el flujo genético entre poblaciones.

El Museo de Historia Natural y Cultura Ambiental de la Ciudad de México es un museo importante para nuestro país porque, tal como el nacimiento de otros museos de ciencia modernos, vio la luz durante la formación de la nación mexicana —atravesando numerosos cambios descritos en el capítulo VI. Los museos en este sentido, no son solo lugares para la exhibición de ‘objetos’, sino símbolos de identidad nacional y progreso, así como lugares para la educación de los ciudadanos (Macdonald, 1998). No obstante, en la actualidad, este museo se encuentra prácticamente abandonado, lo cual es alarmante por el ‘analfabetismo científico’ de nuestro país y por el papel tan importante que podría jugar en la construcción del conocimiento científico de los mexicanos.

El Museo de Historia Natural y Cultura Ambiental de la Ciudad de México es una muestra del intento por ilustrar y educar al público bajo una tendencia de equiparar al museo con un espacio de educación formal, la cual tuvo auge durante la década de 1960¹⁴ (Glaubrecht *et al.*, 2008). En esta tendencia subyace la intención de hacer la ciencia ‘legible’ mediante numerosas explicaciones, cédulas y otro tipo de información similar a la encontrada en los libros de texto. Esto explica que las exhibiciones del Museo de Historia Natural de nuestro país se encuentren repletas de la misma iconografía empleada en los libros de texto de los años setentas, y que se perciben anquilosadas; incluso algunas imágenes, como la marcha del progreso del caballo, superadas y fuera de contexto.

8.3.1 Árboles evolutivos en los museos de historia natural

La visita a un museo, útil y soportable física y psicológicamente no pasa de cuatro horas. Un museo no puede competir en aprendizaje y enseñanza con una escuela o facultad universitaria y sus programas de sesenta o setenta horas. No está prohibido enseñar ni aprender, pero, si se toma como prioridad, lo que resulta es una mala escuela o una mala universidad. Informar, informa mejor el internet y es superfluo ofrecer en un museo lo que el ciudadano tiene o acabará teniendo en casa [...] Lo que sí puede hacer un museo [...] mejor que cualquier espacio dedicado al conocimiento es, justamente, el punto de partida de todo proceso cognitivo. Lo primero para conocer es querer conocer (Wagensberg, 2006).

De la cita anterior queda claro por qué el principal propósito de un museo de ciencia debería ser, al menos, el de crear estímulos que inciten a la curiosidad, la cual es la raíz del conocimiento. Los estímulos además de ser la razón de la existencia de los museos de ciencia, representan el componente distintivo que define a un museo de este tipo: estímulos a favor del conocimiento científico, del método científico y de la opinión científica.

¹⁴ A partir de 1960, los museos de ciencia comenzaron experimentar cambios importantes debidos en parte a la aceleración de la globalización, a la emergencia de movimientos ambientalistas y sobre todo a las grandes batallas intelectuales acerca de la legitimidad de distintos tipos de representación que comenzaron a librarse: las ‘guerras culturales’ se enfocaron principalmente en temas de políticas correctas; las ‘guerras históricas’ en el valor intrínseco de la historia para la definición de la identidad nacional y de la multiculturalidad, y las ‘guerras científicas’ en el estatus epistemológico de la ciencia. Todo lo anterior repercutió en la forma en que los museos se ven a sí mismos y provocó grandes cambios entre los que se pueden mencionar: la adopción de nuevas tecnologías, la implementación de exhibiciones interactivas, la exposición de principios científicos abstractos libres de su contexto de producción o de sus posibles aplicaciones (*i.e.* El Exploratorium de San Francisco), el desarrollo de estudios sobre la recepción del público, y entre los menos, el intento por cuestionar la autoridad científica (Macdonald, 1998).

Las ideas anteriores se conocen entre algunos museólogos como Museología Total (MT), las cuales se van a seguir en el desarrollo de la propuesta de este trabajo por su actualidad y pertinencia. De acuerdo con la MT, la principal herramienta de la museología científica debe ser la realidad, entendida ésta como todo aquello que contribuyó con la creación de un conocimiento científico dado, tal como objetos o fenómenos. Las narrativas que se pueden construir con la realidad sirven para vincular a los visitantes con el trabajo científico, de modo que “un museo moderno debe favorecer la provisión de estímulos basados en los objetos y fenómenos de la realidad” (Wagensberg, 2006).

Pero ¿qué pasa cuando lo que se trata de mostrar no son piezas reales, sino ideas abstractas, tal como el árbol evolutivo? Según la MT, un museo científico puede tratar cualquier tema sosteniéndose en el método científico, empleando para ello tres tipos de interacción. La interactividad manual (*hands on*) implica que el visitante tome una parte activa en la exhibición para promover su comprensión de los fenómenos mediante la experimentación. La interactividad mental provoca la *reflexión* en el visitante, es decir que las exhibiciones se diseñen de tal manera que planteen preguntas y hagan desear saber más. Finalmente la interactividad cultural implica una identificación del visitante con la exhibición porque ésta cuenta con componentes propios de su propia cultura e idiosincrasia. Los estímulos museográficos para ser exitosos, deben tener diferentes combinaciones de estos tres tipos de interacción sin perder de vista que la más importante debe ser la interactividad mental.

En los árboles estudiados en el presente trabajo se encontró que aquellos que brindan estímulos importantes acerca de la evolución de los organismos o sobre la forma en la que se construyen las filogenias son, efectivamente, aquellos que toman en cuenta las ideas de la Museología Total, es decir:

1. Cuentan con al menos dos tipos de interactividad.
2. No pretenden educar a la audiencia sobre los componentes de las filogenias, sino que buscan ser un apoyo para el entendimiento de la teoría de la evolución.
3. Emplean algún tipo de componente real para acercar a la audiencia, tal como imágenes de los organismos, fósiles, o restos de los mismos.
4. Estimulan la curiosidad al ser instalaciones visualmente atractivas que presentan linajes de interés para la audiencia.

En este sentido se puede decir que los árboles mejor logrados son algunos de los encontrados en el Museum für Naturkunde de Berlín, en especial el árbol interactivo de los saurios que se encuentra en la sala introductoria (Fig. 7.6), y el árbol de la vida presente en la exhibición *Evolution in Aktion* (Fig. 7.11).

Exhibir un árbol de la vida representa un reto a la creatividad y al diseño, y ambos árboles consiguen su objetivo: captar la atención de la audiencia y brindar la idea de comunidad de descendencia

En cuanto a las generalidades de los árboles evolutivos presentes en los museos estudiados, existen varios aspectos que resultan importantes de subrayar. En ningún museo estudiado existen filogenias de plantas o microorganismos exclusivamente. Esto se debe a que la finalidad de los árboles evolutivos en los museos es —principalmente— la de poder explicar con ellos: 1. El origen de nuevas especies (mecanismos de especiación o cladogénesis) y 2. La divergencia de los taxones en el tiempo. Debido a que en plantas existe el fenómeno de hibridación y en los microbios el proceso de transferencia lateral de genes, los cuales ocasionan

que estos organismos adquieran recursos genéticos de manera tanto horizontal como vertical, resulta complicado representarlos como linajes de especies en un árbol tradicional (Dupré, 2010). Lo anterior no solo implica un problema para colocar a los microorganismos o a las plantas en el ‘árbol de la vida’, sino que como en ellos la división entre especies no es clara, si hay que representarlos es mejor como una red (Ouzounis *et al*, 2005; Dupré, 2010) (Fig. 8.13).

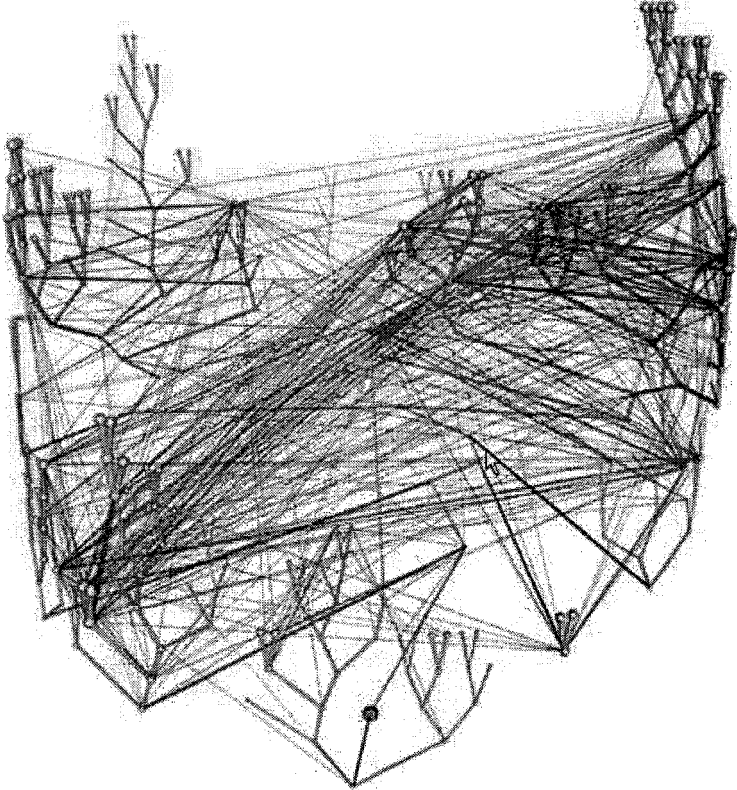


Figura 8.13. Diagrama evolutivo hipotético microbiano construido con el programa *Genetrace*, que muestra los intercambios genéticos entre especies cercanas y distantes (tomada de Ouzounis *et al.*, 2005).

Como se aprecia en la figura, la topología resultante es laberíntica y difícil de comprender, por lo que en los museos se opta por mostrar filogenias de animales como primates, tetrápodos, ungulados y otros, además de que resultan más familiares para el público. Además, y como se mencionó con anterioridad, los temas de estudio en biología molecular “se encuentran en la frontera del conocimiento actual y no es fácil transmitir algo de lo que apenas se tienen pocas respuestas” (Llorente, 1990). No obstante, dada la existencia de los procesos antes descritos, que cuestionan la imagen del árbol como la mejor para representar a *todos* los seres vivos, resulta importante que los museos establezcan que el árbol de la vida es la mejor **hipótesis** que tenemos para representar las relaciones evolutivas entre especies.

8.4 El árbol filogenético en la divulgación de la ciencia

En este apartado se discutirán varios aspectos relacionados con la dificultad que encuentra el público no especialista al 'leer' árboles evolutivos, ya sea por factores intrínsecos a este signo —forma, orientación, orden de las ramas— o por falta de conocimiento de las convenciones biológicas empleadas. Asimismo se abordarán algunas de las confusiones relacionadas con las filogenias que invaden incluso la biología.

8.4.1 Confusiones, interpretaciones erróneas e ideas preconcebidas

8.4.1.1 De eslabones perdidos y ornitórrincos

Todos hemos escuchado alguna vez acerca del 'eslabón perdido' que falta en nuestra genealogía evolutiva. En la actualidad, ésta es una expresión —no científica— que abunda en los medios de comunicación para denominar a casi cualquier fósil transicional que se descubre, como el siguiente encabezado del periódico El Universal: **Hallan 'eslabón perdido' de los primates. La pequeña criatura de hace 47 millones de años hallado en Alemania da buenas pistas de cómo debe haber sido el antecesor directo de los monos y los humanos** (El Universal, 19 de mayo de 2009).

Como se señaló en el capítulo III, el diagrama de *El Origen de las Especies* de Darwin expresa ciertas conjeturas, una de las cuales es la modificación lenta y gradual de las especies. La aceptación de un gradualismo evolutivo implica que la generación de nuevas especies es un proceso continuo en tiempo y espacio (lo que conduce a aceptar la sucesión de estados poblacionales: variedades, subespecies (especies incipientes) y especies discontinuas) (Llorente, 1990). Esta idea del continuo en evolución —que ha sido criticada por el equilibrio puntuado de Eldredge y Gould— condujo a la búsqueda de 'eslabones perdidos' —considerados como ancestros— en el registro fósil. De ahí se llegó a la idea errónea que "un fósil era un ancestro de una de las especies vivientes o de otro fósil más antiguo dentro de la sucesión estratigráfica. No se comprendía que un fósil solo representaba restos de un organismo que podía pertenecer a una especie hermana o grupo hermano vivientes; un fósil podía ser representante de una especie extinta que no hubiera dejado especies descendientes" (Llorente, 1990:94).

En distintos diagramas de las relaciones genealógicas de los organismos, tal como los de Haeckel, se aprecia esta malinterpretación en la reconstrucción genealógica pues el hallazgo de fósiles transicionales —aquellos con morfologías intermedias— se traducían en su ubicación como ancestros en el árbol de la vida. Sin embargo, si el ancestro común de un grupo es en sí mismo una especie real, entonces debe colocarse —por razones metodológicas— en el mismo sistema taxonómico que sus descendientes, pero ¿debe ser considerado como un miembro del mismo taxón?, y ¿cómo se podría confirmar que una especie en particular fue el ancestro de otras y no que es un grupo hermano, o una especie extinta que no dejó especies descendientes? Dado que estas cuestiones son muy problemáticas, los cladistas han decidido ignorar las relaciones de ancestría-descendencia de sus taxonomías y enfocarse en la identificación de grupos monofiléticos cuyos ancestros son *hipotéticos*.

Es por ello que los fósiles de formas intermedias estructurales, como *Tiktaalik*, *Archaeopteryx* o *Ambulocetus* se colocan por razones metodológicas en las puntas de las ramas de las filogenias como el resto de las especies. "Un intermedio no se representa en los nodos de las filogenias sino en la punta de su propia rama, en medio de dos ramas ya conocidas" (Le Cointre & Le Guyader, 2006). La siguiente figura (Fig. 8.14) muestra la filogenia de las ballenas; las formas 'intermedias' se encuentran en la punta de las ramas porque aunque unas aparecieron

antes en el tiempo y tienen estados de carácter plesiomórfos, no se cuenta con la evidencia suficiente como para darles el estatus de ancestros.

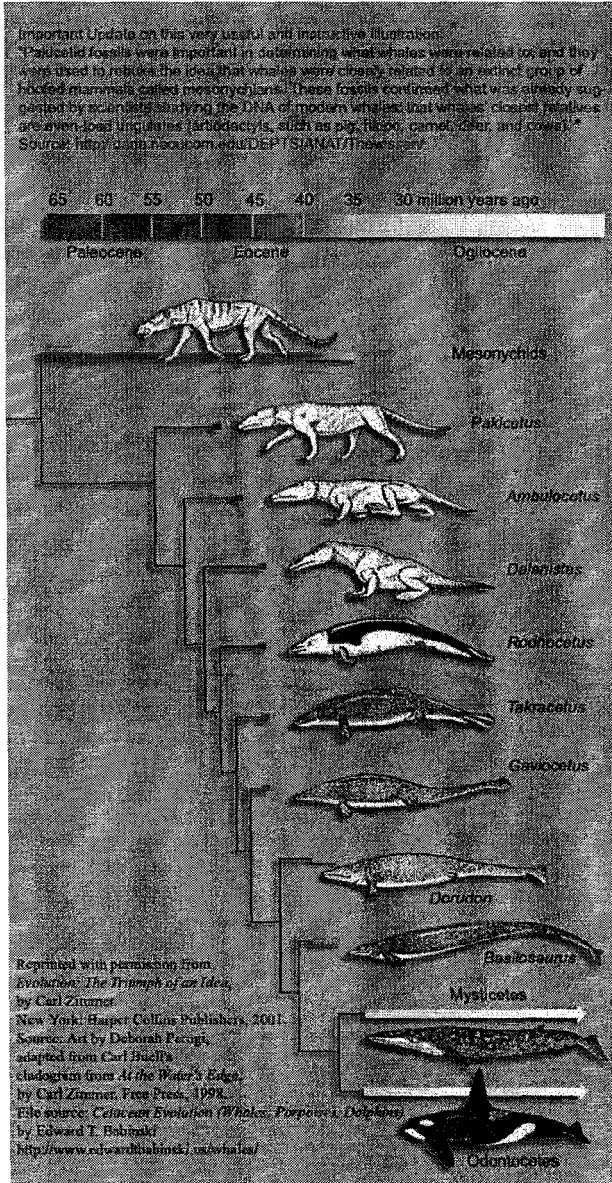


Figura 8.14. Filogenia de las ballenas (tomada de www.cetacea-evolution.org)

Lo anterior conduce a la confusión entre ancestro e intermedio o eslabón perdido. Un organismo (vivo o fósil) que se considera como un intermedio, no es un ancestro. Un organismo resulta un intermedio únicamente cuando tiene un grupo de características desconocidas para los seres vivos. Por ejemplo, *Archaeopteryx* (Fig. 4.38) resulta un intermedio puesto que la fauna conocida antes de su descubrimiento consistía de dinosaurios terópodos (sin plumas ni furcula, con el esternón expandido y con cola y dientes) por un lado y de aves modernas (plumas, furcula, esternón expandido, sin cola y sin dientes) por el otro. Por ello es un error identificar a los intermedios estructurales en los árboles evolutivos, pues conduce a la confusión que nos ocupa. El Museo de Historia Natural de Berlín presenta un árbol de este tipo (Fig. 7.14).

No obstante, incluso numerosos estudios biológicos actuales¹⁵ fracasan en distinguir entre descendientes y ancestros y conducen a interpretaciones incorrectas de las filogenias. Las interpretaciones erróneas, por ejemplo, se hacen evidentes cuando los autores emplean los términos 'basal' o 'divergencia temprana' para referirse a taxones actuales (Crisp & Cook, 2005). Tan solo para tener una idea del alcance de las interpretaciones equivocadas de las filogenias, podemos mencionar la creencia común de que los monotremas (ornitorrincos y equidnas) son los seres más antiguos de entre los mamíferos, que son sobrevivientes de los antiguos ancestros del Mesozoico y, por lo tanto, que no están relacionados cercanamente con otros grupos de mamíferos y que son 'fósiles vivientes' que conservan características de reptiles como la puesta de huevos. De acuerdo con Crisp & Cook en el episodio 1 de la BBC sobre *La vida de los mamíferos* se puede apreciar esta falsa inferencia de ancestría: *Para darnos una idea de los comienzos de la dinastía de los mamíferos, debemos viajar a Australia en busca de uno de sus representantes más antiguos. Es tan antiguo que comparte al menos una característica con los reptiles* (David Attenborough, 2003, en Crisp & Cook, 2005).

Conforme a recientes investigaciones filogenéticas (Crisp & Cook, 2005), los tres principales linajes de mamíferos (monotremas, placentarios y marsupiales) divergieron tan cercanamente en el tiempo —con no más de 20 millones de años de diferencia— hace entre 180 y 140 millones de años, que resulta difícil establecer cuáles dos son los más cercanamente relacionados. No obstante, la hipótesis más aceptada es que los marsupiales y los placentarios se encuentran más relacionados, siendo los monotremas el grupo hermano, lo cual no implica que éste último sea más primitivo. "Si la filogenia de los mamíferos se hubiera construido en el Cretácico temprano, tiempo en el que los monotremas eran relativamente diversos, la percepción naïve de la filogenia habría sido al revés, pareciendo los terios (placentarios y marsupiales) los grupos basales" (Fig. 8.15). Entonces, una cosa es hablar de estados de carácter ancestrales —o plesiomórficos— y derivados —o apomórficos, y otra muy distinta, de organismos ancestrales (plesiotípicos) y derivados (geotípicos).

¹⁵ Existen diversos estudios recientes que emplean filogenias para intentar contestar preguntas relacionadas con las características de ancestros, tales como Dawkins (2004); Endress (2001); Neprokoeff, *et al.*, (2003); Oakley & Cunningham (2002), con la coevolución de linajes Page (2003); Lutzoni (2001) y con la radiación de ciertos linajes Johannesson (2001) Mayhew (2002); Sanmartín & Ronquist (2004) y Cockburn (2003).

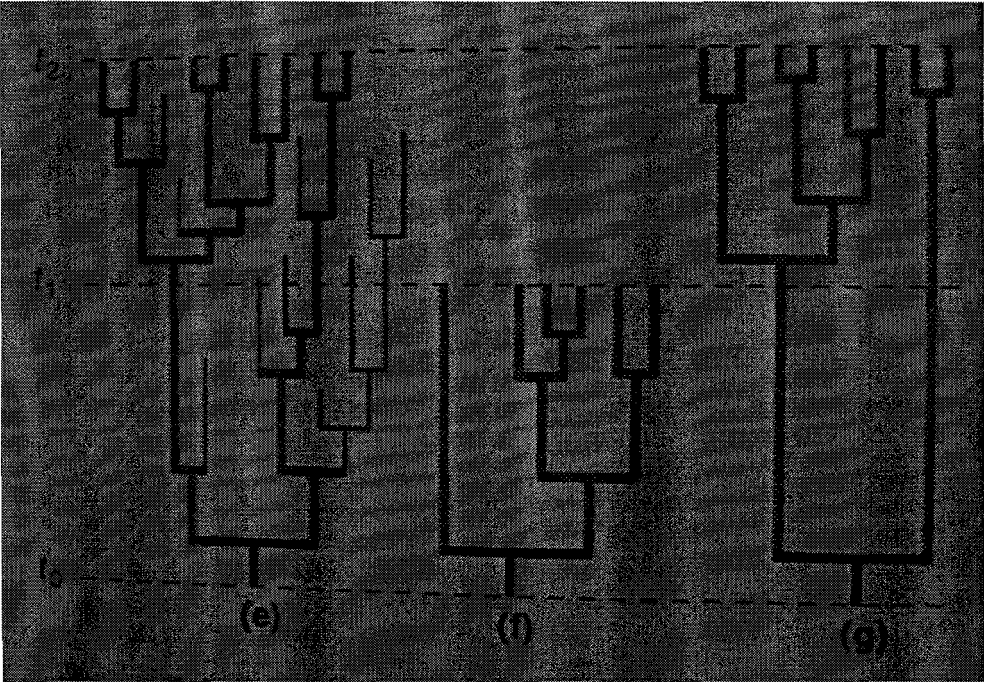


Figura 8.15. Árbol evolutivo hipotético que muestra que el balance del árbol puede cambiar entre los linajes a través del tiempo en dos grupos hermanos. e) ambos grupos hermanos se originan durante el evento de especiación en t_0 y por lo tanto son de la misma edad. Todos los linajes que surgen de ambos taxones se muestran hasta el presente t_2 . Las líneas delgadas indican linajes que se han extinguido. f,g) filogenia de dos grupos hermanos en t_1 y t_2 respectivamente mostrando un cambio en el balance del árbol (tomada de Crisp & Cook, 2005).

Otra interpretación incorrecta que involucra la confusión que estamos discutiendo se relaciona con los términos basal y derivado. En términos cladistas, se puede hacer referencia a nodos basales o derivados con relación a su localización respecto de otros nodos, puesto que éstos representan ancestros hipotéticos. Si el nodo se encuentra más cerca de la raíz del árbol se dice que es basal con respecto a uno que se encuentra en la rama terminal de una ruta evolutiva dada (Fig. 8.16). La relación es con la sucesión en el tiempo que queda implícita en cualquier cladograma (no tiempos absolutos).

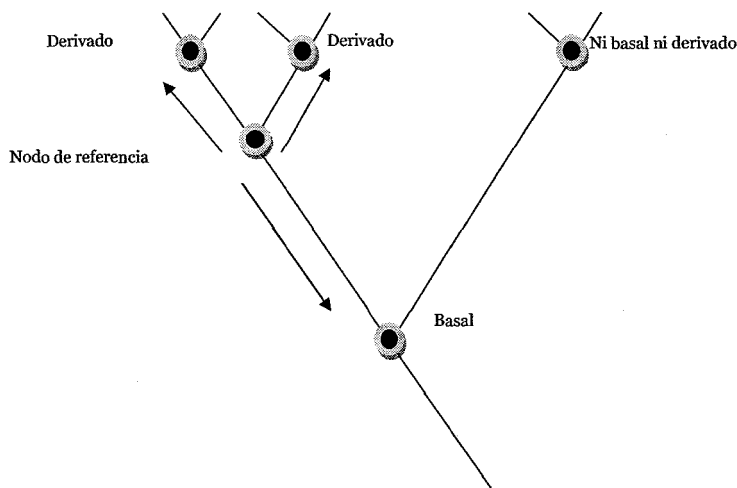


Figura 8.16. Ejemplo del uso correcto de los términos basal y derivado al referirse a un árbol filogenético. Los nodos internos pueden ser basales o derivados solo con respecto de otro nodo que está situado sobre el mismo camino evolutivo desde la raíz a la rama terminal (modificado de Crisp & Cook, 2005).

No obstante, existen autores que hacen referencia a aquellos grupos hermanos que tienen menos especies actuales como 'basales' o 'ancestrales'. Por ejemplo, en investigaciones filogenéticas sobre angiospermas es común lo anterior: Endress (2001) analiza los grupos que se han considerado basales a lo largo de la historia —representantes de angiospermas ancestrales— y concluye que hasta 1980 la familia Magnoliaceae fue considerada basal, posteriormente durante la década de 1980 se consideró así a la familia Chlorantaceae y, finalmente, en 1993 a *Ceratophyllum* (Fig. 8.17). En Laconte & Stevenson (1991) se considera a las Calycanthales como el 'arquetipo' de las angiospermas; Qiu *et al.*, (1999) establecen a *Amborella* como la representante del primer eslabón en la secuencia evolutiva de las angiospermas (Fig. 8.18) y Endress (1999) afirma que el arroz (*Oryza*) tiene más afinidad con el pino que con el resto de las angiospermas al ser el grupo hermano de éstas (Fig. 8.18), entre otros. La interpretación de que el grupo que tiene menos representantes actuales es 'basal' y por lo tanto 'primitivo' al conservar un número mayor de características ancestrales es errónea, pues resulta en interpretaciones incorrectas de las filogenias tal como que los monotremas son más primitivos que los terios o que el arroz tiene mayor afinidad con los pinos que con otras angiospermas.

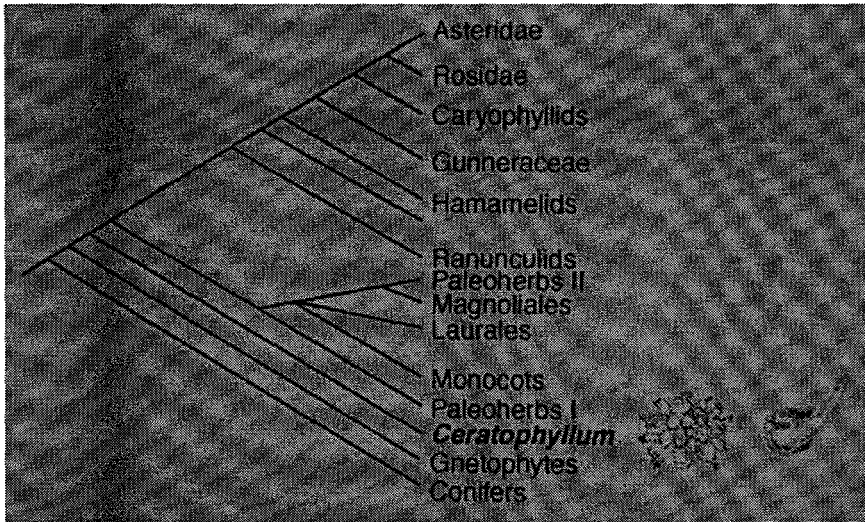


Figura 8.17. *Ceratophyllum* considerada como basal (tomada de Endress, 2001).

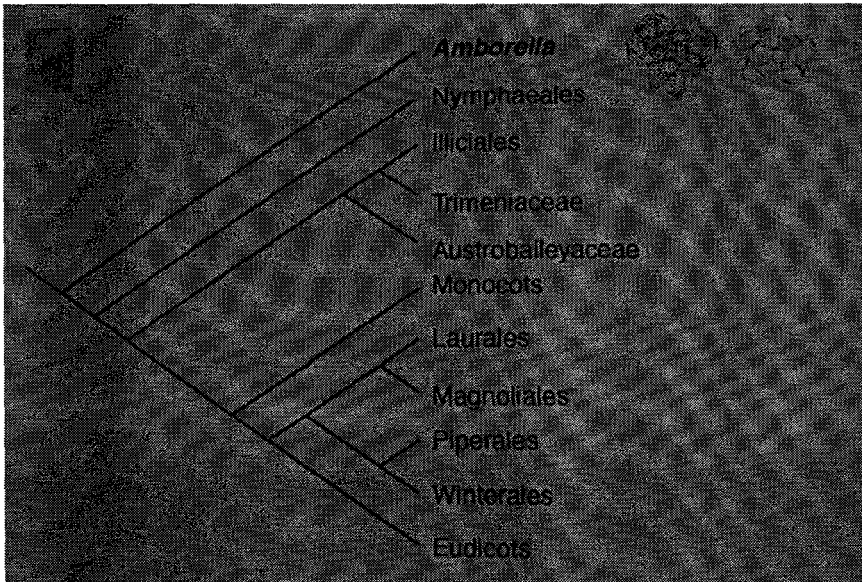


Figura 8.18 *Amborella* considerada como basal (tomada de Endress, 2001).

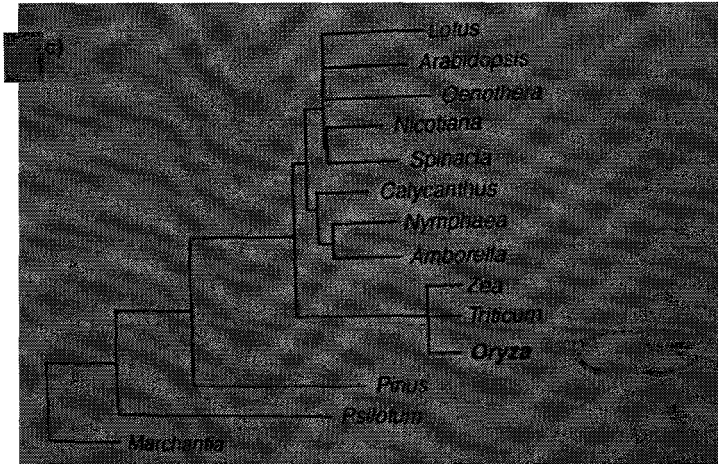


Figura 8.19 *Oryza* como grupo hermano, por lo que algunos autores interpretaron que debía tener características más afines con los pinos que con otras angiospermas (tomada de Endress, 2001).

8.4.1.2 *Ideas erróneas o interpretaciones equivocadas más comunes que comete el público no especializado cuando se le presenta un árbol evolutivo*

Como ya se había mencionado, el árbol evolutivo presenta ciertas dificultades para el público no especializado, las cuales pueden ser tanto intrínsecas como extrínsecas. Una de las principales dificultades intrínsecas es que la metáfora del árbol, tanto por su historia como por las características de algunas de sus posibles representaciones, tiene consigo implicaciones de tipo moral que contrastan lo deseable y bondadoso arriba —Dios, ángeles y el ‘cielo’ mismo— con lo malo y reprensible abajo —infierno y oscuridad¹⁶. Es por ello que el árbol evolutivo es una imagen que se presta a lecturas equivocadas tales como que los organismos que se encuentran hacia la base son más simples y primitivos que aquellos que se encuentran en las puntas que son mejores y más evolucionados. Es por todo ello que muchos museos han optado por presentar imágenes alternativas de árboles evolutivos en forma de círculos, en el cual todas las ramas tienen un origen único al centro y radian en todas direcciones.

Ahora bien, de acuerdo con la literatura, principalmente con Baum (2005, 2008), Meir *et al.*, (2007, 2008), Gregory (2008) y Crisp & Cook (2005), se pueden identificar nueve problemas fundamentales relacionados con la lectura de árboles evolutivos por parte del público no especializado. Estos problemas ya han sido discutidos con anterioridad (ver el capítulo IV) pero vale la pena referirlos brevemente y apuntar cuál es la solución más acertada en cada caso, lo cual permitirá posteriormente —tomando en cuenta además otros aspectos— diseñar una filogenia para un museo de historia natural.

¹⁶ *Now that man has become like one of us in knowing good from evil, he must not be allowed to reach out his hand and pick from the tree of life too, and eat and live forever [...] (so god) banished the man, and in front of the garden of Eden he posted the great winged creatures and the fiery flashing sword, to guard the way to the tree of life (Genesis 2:21-24).*

Error	Descripción	Solución
<p>1. Confusión entre semejanza y parentesco</p>	<p>Es común que el público preste mayor atención a las puntas terminales de las ramas que representan especies actuales y que se piense que el orden de los taxones es significativo al representar relaciones de semejanza.</p>	<p>Explicar los tipos de semejanzas generales: homologías y analogías.</p> <p>Como la semejanza entre dos taxones no está necesariamente dada por el parentesco, es importante aclarar las nociones de grupos hermanos y ancestros. Mediante una filogenia se puede comprender la historia evolutiva si se muestra el origen de ciertas características en ramas internas (aquellas que son exclusivas del clado y que son reconocibles por la audiencia). Por ejemplo, la evolución de patas, pelo y otras características generales (Baum, 2008).</p>
<p>2. Noción de progreso (más vs menos evolucionado)</p>	<p>Entre los no especialistas existe la tendencia a pensar que los árboles representan una progresión de los seres vivos de los menos a los más evolucionados culminando en el ser humano.</p>	<p>Aunque esta noción no tiene tanto que ver con una interpretación errónea de los árboles evolutivos, si la tiene con la comprensión del principio de ancestría común. La solución por tanto es promover el pensamiento arbóreo y dejar de lado la representación canónica de la marcha del progreso. También explicar que la sucesión en el tiempo no implica progreso pues hay casos de regresión.</p>
<p>3. Lectura incorrecta de la temporalidad</p>	<p>La representación espacial del paso del tiempo en un cladograma resulta problemática. En árboles orientados verticalmente, se tiende a pensar que el eje horizontal indica el tiempo de aparición y por ende, que las especies de la derecha son más recientes que las de la izquierda o las de abajo que las de arriba.</p>	<p>La solución es brindar una guía simple de interpretación de los dendrogramas y cladogramas, puesto que en su mayoría, el público no está familiarizado con las convenciones empleadas en ellos, o el empleo de flechas que indiquen la lectura temporal. Asimismo, resulta conveniente emplear árboles evolutivos con componentes temporales. En el mejor de los casos se debería explicar de manera simplificada cómo se construyen los cladogramas.</p>

Error	Descripción	Solución
<p>4. Interpretación de la existencia de ramas principales y ramas secundarias</p>	<p>La interpretación intuitiva de una progresión de las formas a pesar de la naturaleza ramificada de las filogenias, es muy común. Esto es, pensar que existe una rama central que conduce a un término que es el <i>Homo sapiens</i>, tal como en el árbol de Haeckel 'Stammbaum des menchen' (pag. 143 Fig. 3.32).</p>	<p>Este problema es más recurrente cuando se presentan cladogramas no balanceados y escalonados. La solución es la rotación de algunos nodos internos (Gregory, 2008).</p>
<p>5. Interpretación únicamente de las puntas de las ramas sin considerar el árbol como un todo</p>	<p>La lectura más común de los árboles es únicamente a lo largo de las puntas asumiendo que existe significado en su orden y por lo tanto que se puede obtener información acerca de las relaciones de parentesco entre los taxones.</p> <p>Asimismo, esta lectura únicamente a lo largo de las puntas puede conducir incorrectamente a la idea de que existen tendencias evolutivas donde no las hay (una tendencia evolutiva es la suma de distintas líneas filéticas y no una sola línea progresiva y única). Por ejemplo, si se presenta un árbol no balanceado y escalonado en el cual se aprecian de izquierda a derecha especies que van incrementando en tamaño, es factible que el público infiera una tendencia al crecimiento corporal donde quizá no sea el caso, pues no hay relación entre tendencia y progresión.</p>	<p>Solamente la secuencia de los nodos internos o el orden de ramificación brinda información evolutiva, es decir, la topología del árbol. El orden de las ramas carece de sentido porque los cladogramas pueden rotarse sin afectar la topología. Es por ello que una solución es la de identificar los cladogramas, así como la de rotar algunos nodos de manera que sea contraintuitivo inferir información únicamente a partir de las puntas de las ramas. Por ejemplo, en un árbol que muestra las relaciones entre los primates, la interpretación es muy diferente si se coloca al ser humano en uno de los extremos en un árbol escalonado, que si se le coloca en el centro (Gregory, 2008).</p>
<p>6. Confusión entre grupos hermanos y ancestros</p>	<p>Existe la tendencia a pensar que algunas puntas terminales representan ancestros. Los errores más comunes son interpretar que el taxón que se encuentra en la primera punta de la izquierda en un árbol orientado verticalmente es el ancestro de los demás (o abajo en un árbol orientado de forma horizontal) y proyectar a las especies actuales a nodos internos (como en el caso del chimpancé que se toma como ancestro del ser humano).</p>	<p>Para enfrentar este problema podría ser útil introducir a la audiencia a la lectura de cladogramas mediante árboles familiares, resaltando las relaciones entre hermanos, primos y primos segundos, haciendo hincapié en que las relaciones más cercanas son entre aquellos dos grupos que comparten un ancestro más reciente (los hermanos en este caso) y que un hermano no puede ser el ancestro de otro, igual que una especie actual no puede ser de otra (Baum, 2008).</p>

Error	Descripción	Solución
<p>7. Las ramas sin bifurcaciones (por lo tanto más largas) indican que no hubo cambios evolutivos</p>	<p>Es común la interpretación de las ramas sin bifurcaciones como a) que representa al ancestro común o que al menos ese taxón es el más semejante a dicho ancestro y b) que indica que no ha ocurrido divergencia alguna en ese linaje.</p>	<p>Una rama recta no significa que no ocurrieron cambios evolutivos o que se trata del ancestro. En los cladogramas enraizados, estas ramas representan al grupo externo. Para clarificar esta confusión se puede emplear un cladograma de los equinodermos cuyo grupo externo sea el ser humano, con el cual se puede explicar que, aunque no está representado, numerosos eventos de especiación han ocurrido en los vertebrados desde la separación de ambos linajes (Gregory, 2008).</p>
<p>8. Confusión entre basal y derivado</p>	<p>Los nodos internos de los árboles representan ancestros hipotéticos, a los cuales se puede referir como basales o derivados en relación con otros nodos. Un nodo es 'basal' si se encuentra más cerca de la raíz que el 'derivado' a lo largo de cualquier rama del árbol que vaya de la raíz a la punta. El error consiste en asumir que si uno de los linajes de un par de grupos hermanos presenta pocos taxones actuales es 'basal' o 'primitivo'. Por el contrario, se piensa que el linaje más rico es el derivado o 'avanzado'.</p>	<p>Esta confusión se produce principalmente por los árboles asimétricos o no balanceados cuyas ramas parecen divergir de una rama principal. Esta ilusión se puede hacer más grande si además el árbol es escalonado. No obstante, sin importar el tipo de árbol siempre hay dos grupos hermanos por cada nodo y por lo tanto cada nodo resulta en dos linajes que divergen uno de otro. Para evitar el problema se puede no escalonar el árbol y rotar los nodos. Asimismo, se hace evidente la necesidad de enseñar la anatomía de una filogenia para que la audiencia se familiarice con sus componentes.</p>
<p>9. El cambio ocurre solo en los nodos</p>	<p>Aunque la teoría del equilibrio puntuado establece dicha noción, es común entre el público no especializado asumir que los nodos indican el momento preciso de aparición de ciertas características —mofológicas, moleculares y otros—. En realidad, los nodos internos representan el momento de especiación (cuando una población divergió en dos poblaciones aisladas genéticamente), pero más cambios evolutivos se dan antes, durante y después de ese 'momento'.</p>	<p>Es importante establecer que cualquier nodo representa gran variedad de organismos con una historia evolutiva compleja. Cada punto de ramificación de un árbol da lugar a dos linajes, los cuales evolucionan de forma independiente uno del otro adquiriendo caracteres derivados (autapomorfías), aunque ambos conservan caracteres homólogos (plesio y sinapomórficas).</p>

Para finalizar la discusión sobre los problemas más comunes relacionados con la interpretación de árboles evolutivos, es necesario señalar dos puntos subrayados por Baum (2005 & 2008) y Gregory (2008) con respecto de las confusiones provocadas por la forma y orientación de filogenias o cladogramas.

Mientras el orden de ramificación permanezca constante —la topología—, la forma de representar un árbol carece de importancia, se pueden usar líneas diagonales, rectangulares, curvas e incluso redondas (Fig. 8.20). La orientación tampoco es importante, aunque normalmente los árboles se trazan con la raíz hacia abajo —probablemente por hacer referencia a los estratos geológicos en los cuales los fósiles más antiguos se encuentran en los estratos inferiores— se pueden ilustrar con la raíz hacia alguno de los lados o incluso hacia arriba. No obstante, de acuerdo con Baum (2008:224) los estudiantes tienen mayores dificultades para comprender los diagramas que emplean líneas diagonales porque se presentan numerosas confusiones para encontrar grupos hermanos y ancestros comunes. Es por ello que propone el empleo de líneas rectangulares, como es más típico de los fenogramas.

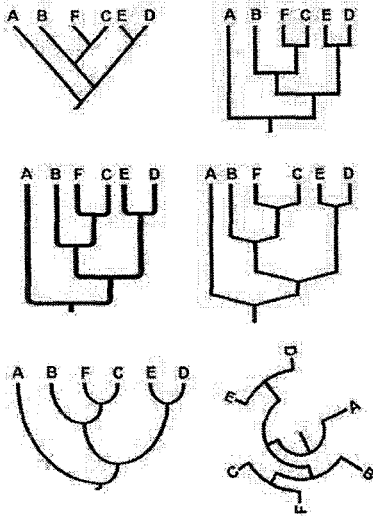


Figura 8.20. Se pueden encontrar diferentes formas y orientaciones de cladogramas, las cuales son representaciones alternativas de la misma hipótesis. De acuerdo con Baum (2008) la que resulta más problemática es la que emplea líneas diagonales (en la figura la que se encuentra arriba a la izquierda) (tomada de Gregory, 2008).

Como ya se había mencionado en el capítulo VII, otro aspecto importante relacionado con la forma es la simetría del árbol. Cuando un árbol tiene el mismo número de especies a cada lado de cada uno de los nodos, se dice que está balanceado. Por el contrario, en un árbol no balanceado hay un número diferente de especies a cada lado de cada uno de los nodos, lo que quiere decir que los grupos hermanos varían en su riqueza de especies (como por ejemplo los mamíferos placentarios que cuentan con numerosas especies actuales y los mamíferos monotremas que tienen pocas, como el ornitorrinco y el equidna). Los árboles que causan mayores confusiones son aquellos no balanceados y que además se representan de manera escalonada (Fig. 8.21). En estos árboles se pueden identificar distintos problemas.

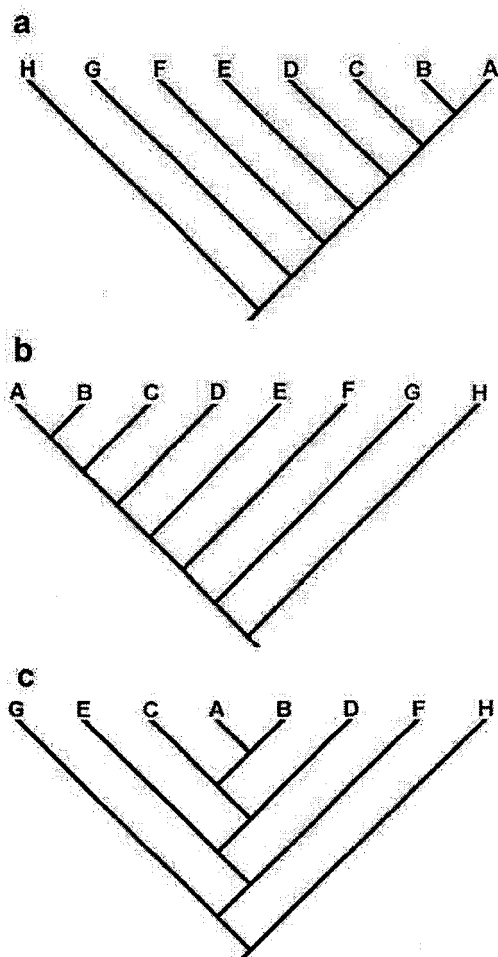
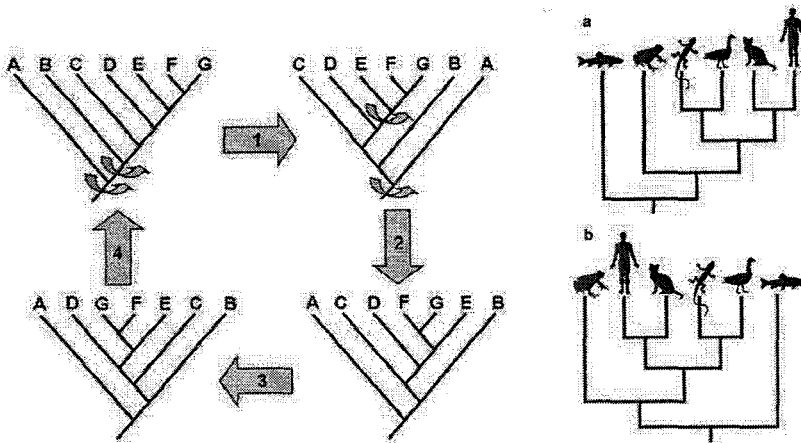


Figura 8.21. Un aspecto importante para evitar interpretaciones erróneas en la lectura de árboles evolutivos es su simetría. a) Cuando los árboles tienen el mismo número de especies a cada lado de los nodos se dice que son balanceados, b) Cuando el número de especies a cada lado de los nodos es diferente, se trata de un árbol no balanceado y c) Para evitar una lectura incorrecta la solución es rotar el orden de las ramas (tomada de Gregory, 2008).

En las siguientes figuras se muestra cómo se puede rotar el orden de las ramas sin afectar la topología del árbol, con la finalidad de evitar dificultades de interpretación o de hacer lecturas de progreso (Figs. 8.22 y 8.22).



Figuras 8.22 (Gregory, 2008) y 8.23 (Baum, 2005) en las cuales se muestra la forma de invertir el orden de las ramas en los árboles evolutivos sin alterar la información.

8.4.2 Otras consideraciones importantes sobre los cladogramas

- Los cladogramas consisten de secuencias de dicotomías, cada una representando la separación de una especie parental en dos especies descendientes. Cuando esta separación ocurre (evento de especiación), la especie ancestral deja de existir y las especies descendientes ocupan la misma categoría (Mayr, 2006). Este tipo de diagramas no toman en cuenta el grado de divergencia de cada uno de los taxones y aunque el eje vertical indica tiempo en cuanto a la aparición de caracteres, la longitud de las ramas no brinda ningún tipo de información. Es por ello que representa un error denominar cladograma a aquellos árboles evolutivos que muestran las relaciones entre otros grupos de la clasificación que no sean especies —tales como los que representan órdenes, familias, etcétera— y también a aquellos que muestran diferentes componentes de la historia evolutiva.
- Los cladogramas pueden trazarse de diferentes formas y con distinta orientación puesto que lo relevante es el orden de ramificación —topología— y no el orden de las puntas que representan taxones. Por ello los nodos se pueden rotar siempre y cuando no alteren la topología del árbol.
- Cuando se busca representar otro tipo de información además del orden de ramificación o topología (relaciones genealógicas), tal como grado de divergencia morfológica o molecular, el tiempo geológico, características ecológicas, etcétera, se requiere de diferentes árboles o de la incorporación de otros componentes de la filogenia a estos árboles básicos o cladogramas.
- Un *filograma* es la representación tanto de los eventos de ramificación como de los de divergencia, es decir, lo que ocurre con cada linaje posterior al evento de especiación, puesto que la historia evolutiva de dos grupos hermanos puede ser completamente diferente —pensemos tan solo en los placentarios y los monotremas. Esto quiere decir

que los filogramas le dan importancia a las novedades evolutivas denominadas autapomorfias. Es por ello que normalmente este tipo de árboles incluye una escala para indicar el grado de divergencia, el cual es representado por la longitud de las ramas.

- Finalmente, las filogenias o árboles evolutivos son aquellos que presentan otros componentes de la historia evolutiva: polaridad o dirección de cambio, divergencia, diversidad relativa de especies, enriquecimiento, distribución geográfica, características ecológicas o tiempo geológico. Estos árboles por lo general muestran grandes tendencias evolutivas tales como la historia general de un linaje como el de los vertebrados. Es por ello que este tipo de árboles son los más empleados en los museos de historia natural y en los libros de texto.

8.4.3 Otras consideraciones importantes para diseñar un árbol adecuado para una audiencia diversa

Además de los errores de interpretación, para proponer un árbol evolutivo de un museo de historia natural se deberían tomar en consideración los siguientes puntos:

1. Los estándares educativos para la enseñanza de la ciencia. En este caso se tomaron en cuenta aquellos conceptos problemáticos según los estándares de diversos países, los cuales delimitan lo que los estudiantes son capaces de comprender y realizar a determinada edad.
2. Los temas que los visitantes pueden comprender a diferentes edades y desarrollos cognitivos según las investigaciones más recientes en teoría del desarrollo cognitivo.
3. La identificación de las dificultades de los diferentes grupos de edades para comprender determinadas ideas.

De acuerdo con lo anterior, se puede evitar la suposición común de que la información científica veraz y objetiva conduce a un correcto entendimiento por parte de los visitantes a los museos. Según algunas investigaciones (Diamond & Scotchmoor, 2006) ciertos grupos de edades presentan dificultades predecibles para comprender ciertas ideas relacionadas con la evolución, tales como adaptación, tiempo geológico, selección natural y otras. A continuación se describen los conceptos más difíciles de entender sobre la teoría de la evolución en general para los distintos grupos de edades y, posteriormente, se hace referencia a aquellos temas que resultan apropiados.

Adaptación. Este concepto no es accesible a niños de los primeros años de primaria y puede resultar difícil incluso para aquellos en los últimos años (Evans, 2001). La razón es que a esta edad la mayoría de los estudiantes mantienen un pensamiento intuitivo y piensan en la adaptación como cambios intencionales en respuesta al medio ambiente, es decir, que los organismos deliberadamente se modifican para 'adaptarse' a las nuevas características de sus hábitats (Bishop & Anderson, 1990; Evans, 2005).

Escala de tiempo geológico. La dificultad para comprender vastas cantidades de tiempo no es únicamente difícil para niños, sino también para adultos (Borun & Chambers, 1989). Al no contar con experiencia directa sobre procesos de cambio que ocurren a lo largo de muchos años, este concepto es uno de los más difíciles de comprender. No obstante, la *National Research Council* (NRC) de Estados Unidos, recomienda que se enseñe en secundaria o en preparatoria y se refuerce mediante el aprendizaje de la estimación del tiempo relativo de las secuencias de

rocas empleando fósiles que se correlacionen con ellas (NRC, 1996). Los niños más pequeños pueden entender la importancia de los fósiles (que éstos proveen evidencia acerca de la flora y fauna pasadas) pero difícilmente comprenderán que los organismos de determinado periodo tienen continuidad con los de otros tiempos (Dodick & Orion, 2003).

Clasificación filogenética. Resulta difícil sobre todo para estudiantes de primaria y secundaria, aunque estos últimos pueden comprender que aunque los seres vivos parecen muy diferentes entre sí, la unidad de la vida se hace aparente mediante el estudio de sus estructuras internas o de sus procesos químicos, los cuales revelan una ancestría común (NRC, 1996).

Selección Natural. Éste es uno de los conceptos más sencillos y a la vez el que causa una mayor confusión de todos. Incluso los estudiantes de preparatoria y universitarios fallan a la hora de hacer una conexión conceptual entre la ocurrencia de nuevas variaciones dentro de una población y el efecto potencial de esas variaciones en la sobrevivencia a largo plazo de las especies (NRC, 1996). Una de las dificultades más importantes es la comprensión de que la evolución no ocurre en la vida de un individuo sino en la de una población. El axioma: los genes mutan, los individuos se seleccionan y las poblaciones evolucionan, resulta extraordinariamente complicado.

La mayoría de la gente interpreta que las adaptaciones son causadas por la necesidad que tienen los organismos ante cambios en el medio ambiente y no reconocen que ciertas mutaciones que se dan al azar y si resultan benéficas y se transmiten sucesivamente, pueden incrementar la frecuencia de ciertos genes en la población al brindar mayores posibilidades de reproducción y sobrevivencia (Bishop & Anderson, 1990). Asimismo, al desconocer los procesos de especiación —aislamiento genético prolongado entre individuos de una misma población ya sea por barreras geográficas o dispersión, es común la noción de que se requieren eventos evolutivos ‘especiales’ para dar lugar a la formación de una nueva especie y no los procesos naturales que se dan en poblaciones aisladas, cuya tendencia será a divergir una de otra.

8.4.4 Temas apropiados por grupo de edad sobre la teoría de la evolución

Estudiantes de primaria: La naturaleza y métodos de la ciencia mediante laboratorios de las diversas disciplinas: paleontología, ecología, taxonomía, entre otras, ofrecen excelentes oportunidades de aprendizaje. Ver a los científicos en acción y ser parte del proceso le brinda a los más pequeños la oportunidad de hacer preguntas y comprender la naturaleza de la ciencia (Diamond & Scotchmoor, 2006).

Estudiantes de secundaria: Este grupo de edad puede comprender que las especies adquieren numerosas de sus características distintivas mediante la selección natural actuando sobre las variaciones que ocurren dentro de una población y que las adaptaciones representan una mayor posibilidad de sobrevivencia y de reproducción en un ambiente determinado. Asimismo, con la introducción del estudio de la genética, los estudiantes pueden comprender el papel de la herencia en la evolución y entender que algunas características son producto de la herencia y otras del ambiente (NRC, 1996).

A partir de esta edad también se puede clarificar la distinción entre teorías científicas y explicaciones de naturaleza no científica acerca de diferentes temas, entre ellos el del origen y la diversidad de la vida.

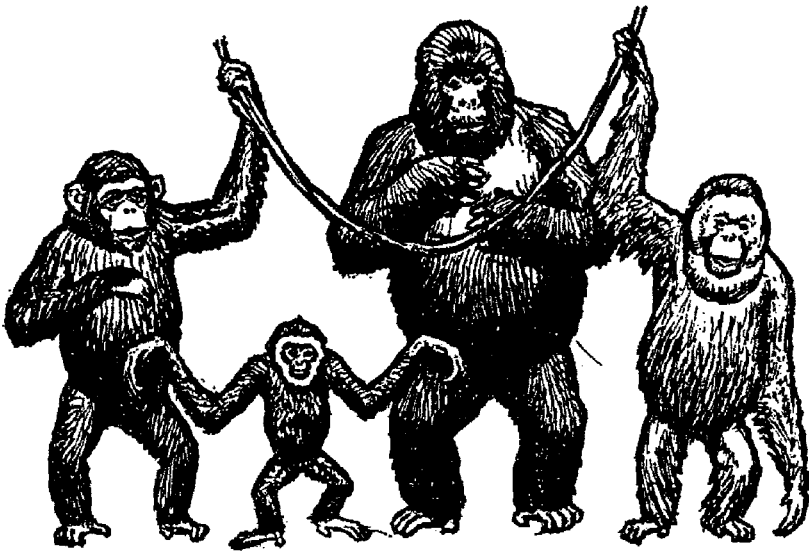
Estudiantes de preparatoria: En este grupo de edad se comprende no solo que todos los organismos estamos relacionados mediante el descenso a partir de ancestros comunes, sino también que los organismos se clasifican en una jerarquía de grupos y subgrupos según aquellas semejanzas que reflejan relaciones de parentesco (NRC, 1996)

No obstante lo anterior, casi cualquier tema puede ser presentado con diferentes niveles de detalle pensando en las distintas audiencias.

Dado lo antes expuesto, aunado a la importancia que tiene el árbol evolutivo para la teoría de la evolución, más que diseñar un árbol filogenético para una exposición sobre evolución, resultaría conveniente crear una exhibición completa del tema. Es por ello que la siguiente propuesta (ver capítulo X), incluye el diseño de una sala pensada para diversas audiencias con árboles que muestran diversos conceptos con diferentes niveles de detalle, incluyendo su historia.

Capítulo IX

Conclusiones





Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

IX. Conclusiones y recomendaciones para el diseño de un árbol evolutivo

Dada la naturaleza ecléctica¹ de este trabajo, las conclusiones se dividen en temas y subtemas que serán introducidos brevemente.

9.1 Sobre los árboles evolutivos

El tema principal de esta investigación fue la representación de la imagen del árbol evolutivo o filogenético, la cual fue abordada como metáfora y también como imagen. Asimismo se estudió la historia de este diagrama en su construcción como objeto heurístico y epistemológico, su significación para la sistemática filogenética, así como qué entienden los biólogos y qué entiende por lo general el público lego cuando observa una filogenia. Por ello es que en este apartado las conclusiones abordan el tema del árbol evolutivo en la ciencia, como icono y modelo, y también su naturaleza como metáfora.

9.1.1 Los árboles evolutivos en la ciencia

- El '*sistema natural*' es el arreglo que subyace a la diversidad de seres vivos y, encontrarlo, ha sido uno de los principales intereses del ser humano, principalmente a partir del siglo XVII y tal vez XVIII. A diferencia de una clasificación, el sistema natural presupone un todo integrado a partir de la conexión de sus partes².
- Entre 1600 y 1700, se dio un gran incremento en la comprensión de la diversidad natural de nuestro planeta por parte de los científicos europeos. Por tanto, la noción de una gradación de los seres, de los más simples a los más complejos, culminando en el ser humano, comenzó a ser cuestionada como el principal sistema de organización de la diversidad y, por ello, comenzaron a surgir otros arreglos del sistema natural en forma de mapas, estrellas, círculos y redes. Este esfuerzo por ubicar a los seres vivos dentro de un espacio topográfico, es decir, encontrar el sistema natural, condujo a Charles Darwin a proponer que el verdadero arreglo de la diversidad biológica es en la forma de un árbol.
- El árbol de Darwin dibujado en su cuaderno de notas 'B' de 1837 puede considerarse como el primer diagrama evolutivo genuino del sistema natural. Dicho árbol hipotético presenta un único tronco (ancestría común para todos los organismos) y numerosas ramas que a su vez se van ramificando (divergencia) o muriendo (extinción). Por lo tanto, a partir de Darwin, las únicas clasificaciones con sentido serían aquellas genealógicas.

El sistema natural de clasificación está basado en el descenso con modificación; que los caracteres que los naturalistas consideran que muestran la verdadera afinidad entre dos o más especies, son aquellos que han sido heredados de un ancestro común, por cuanto toda clasificación verdadera es genealógica; que la comunidad de descendencia es el vínculo oculto que los naturalistas habían estado inconscientemente buscando, y no

¹ Según el diccionario, compuesta por elementos o temas diversos.

² En las clasificaciones, la relación más importante entre los elementos es la de inclusión puesto que se trata de una colección de categorías cada vez más incluyentes (jerárquicas): La clase de las aves contiene diversas familias, que a su vez incluyen numerosos géneros, etcétera. En contraste, un sistema considera numerosas relaciones entre los elementos y por ello obtenemos más información: quién está más relacionado con quien, quien vive en el presente y quien lo hizo en el pasado.

algún plan desconocido de creación o la enunciación de proposiciones generales y el mero ordenamiento o separación de objetos más o menos parecidos (Darwin, 1859:420).

- El diagrama en forma de árbol encontrado en *El origen de las Especies* resulta tan importante para Darwin, que éste lo comenta dos veces en el libro (capítulos 4 y 13). El diagrama expresa las siguientes conjeturas (Gayon, 2009):
 1. Las especies se modifican.
 2. Esta modificación es lenta y gradual.
 3. Muchas especies se extinguen.
 4. Las especies que no se extinguen normalmente se dividen en otras especies.
 5. Una vez que surgen nuevas especies, éstas divergen indefinidamente.
 6. El diagrama se aplica a todos los niveles taxonómicos (A puede ser una variedad que da lugar a ocho variedades, o una especie que lleva a un género con ocho especies, etcétera).
 7. El postulado 6 implica que la clasificación está determinada por la genealogía.
 8. El postulado 6 también implica para Darwin que el proceso completo de diversificación reduce la diversificación en el nivel más bajo (variedades y/o especies); los taxones supraespecíficos no juegan un papel particular en la evolución, son solo un resultado.
- Posterior a su publicación en 1859, la imagen del árbol como la representación de la comunidad de descendencia entre los organismos, causó un efecto inmediato sobre la comunidad de naturalistas y, después de la proliferación en la construcción de árboles, se convirtió en la representación paradigmática de la evolución orgánica.
- Darwin nunca indicó cómo reconstruir árboles evolutivos para taxones reales, de hecho, no brinda una definición explícita de 'descenso con modificación' y no fue sino hasta la revolución cladista de Hennig (desde la década de 1950) que se logró un método formal acerca de cómo lograrlo³.
- La filogenética de Hennig y el cladismo posterior ha brindado métodos necesarios para reconstruir cladogramas, que son la base de los árboles evolutivos y además para comprender lo que significan. Con ello, su construcción volvió a ocupar un lugar principal dentro de la biología, convirtiéndolo en el ícono del proceso de la evolución de las especies y taxones naturales.
- La información histórica que brinda el análisis cladista resultó esencial para todas las disciplinas de la biología, porque la crónica genealógica de las especies es fundamental al explicar cualquiera de sus singularidades. Por ello, el árbol filogenético se convirtió en una herramienta fundamental para la biología.
- Por tanto, el árbol evolutivo es una metáfora central de la biología evolutiva (y una de las más poderosas de la biología en general), cuyo argumento principal es que todos los seres vivos están relacionados por una comunidad de descendencia, es decir, por un origen común a partir de un mismo ancestro.

³ El cladismo establece que las apomorfias —rasgos evolutivamente novedosos o derivados— son las características que se deben tomar en cuenta para reconstruir filogenias, a través de las relaciones genealógicas de grupos hermanos.

- En la actualidad las filogenias han invadido por completo la biología y poco a poco han traspasado sus fronteras. Se encuentran en libros tanto especializados como no especializados, en humorismo y publicidad, en museos y ferias científicas.
- Al ser la representación más directa de la evolución, los árboles evolutivos son componentes esenciales en las exposiciones museográficas sobre este tema.
- Además de resultar difícil comprender la evolución sin un ‘pensamiento arbóreo’ (el concepto de ancestría común, así como la habilidad para interpretar árboles filogenéticos), también resulta complicado obtener un marco explicativo para la gran diversidad biológica de nuestro planeta si no se tiene claro qué es una filogenia.
- Los árboles como iconografías de la evolución pueden representarse de diversas formas, cada una de las cuales puede resultar más o menos útil para comprender ciertos conceptos evolutivos, o más o menos apta para evitar reforzar las concepciones erróneas del público (naciones teleológicas, esencialistas, creacionistas, pseudoprogresistas y otras). Mientras el árbol tenga un solo tronco (*monofilia*) y las distintas ramas no se unan (*divergencia*), las posibilidades geométricas resultan en cantidades inmensas.
- Los árboles evolutivos son *representaciones históricas*, por lo que no deben ser confundidos con otros tipos de diagramas ramificados o dendrogramas, tales como los árboles lógicos o los fenogramas, entre otros.

9.1.2 Los árboles evolutivos como íconos, diagramas y modelos

- Los *diagramas* son un tipo de imagen que guarda una relación de analogía con el objeto que representa. Estos permiten separar el código del contenido; por ello son los más empleados tanto en la ciencia como en su comunicación. Los diagramas permiten a los autores filtrar cierta información y codificar aquellas características que les interesa que lleguen al receptor.
- Los diagramas además permiten mostrar relaciones que no son visibles, sino temporales o lógicas, las cuales sería difícil explicar con palabras, “el diagrama siempre pondrá ante nuestros ojos lo que una descripción verbal sólo podría presentar con una cadena de afirmaciones” (Gombrich, 2000:150). Más aún, los diagramas pueden combinarse fácilmente con otros gráficos o mecanismos pictóricos para lograr transmitir una información más rica.
- Aunque el origen de la inspiración de Darwin, al ilustrar la evolución mediante un árbol, está debatido (ver capítulo III), normalmente se asume que el árbol evolutivo es una metáfora del árbol familiar o genealógico puesto que este último es uno de los diagramas de relación más antiguos que se ha empleado para mostrar líneas de ancestría-descendencia.
- Existe un lazo íntimo entre las prácticas simbólicas, iconográficas y retórica mediante las cuales el conocimiento de las familias, de las especies o de la sucesión de la vida en el tiempo se ha registrado a lo largo de la historia.

- El diagrama del árbol genealógico presenta relaciones que originalmente no son visuales, sino temporales y/o lógicas y en eso radica su importancia. Darwin logró integrar por un lado la definición de especie como unidad de clasificación que involucra una sincronía o dimensión estática y por el otro la capacidad de las especies de evolucionar, que involucra un elemento diacrónico (al proyectar a las especies a una dimensión temporal).
- El diagrama del árbol de Darwin no solo simboliza la conceptualización de la historia en la naturaleza sino que es un esquema en el que el tiempo y la taxonomía se encuentran en conjunción al unir los elementos sincrónicos (especies en el eje horizontal) y diacrónicos (despliegue de los acontecimientos en el eje vertical).
- El árbol evolutivo es además un signo icónico y una metáfora. Los íconos son signos que tienen la capacidad de representar algo mediante alguna semejanza con cualquiera de los aspectos de ese algo, es decir que poseen relaciones de semejanza o analogía con su referente.
- El árbol evolutivo también es un modelo —representación de objetos o ideas— para la representación y organización del tiempo relativo a través de una secuencia de generaciones, el cual ha sido aceptado dentro de toda la comunidad científica por consenso.
- Además de modelo científico, el árbol evolutivo es un modelo educativo, pues incluye convenciones más o menos universales, tanto biológicas (signos científicos tales como la representación de extinciones, el origen de caracteres o los nombres de los taxones en latín) como artísticas (símbolos de especies, rótulos y leyendas en lenguaje común, empleo de colores y formas, y otros).
- Por lo tanto, Darwin inició el desarrollo de un instrumento semiótico —el árbol de la vida— capaz de significar el concepto de divergencia de caracteres y de comunidad de descendencia, así como de permitir referencias al resultado del proceso de la evolución.

9.1.3 Los árboles evolutivos como metáforas

- Aunque es difícil llegar a una definición unívoca de metáfora (ver capítulo I), de forma sucinta y de acuerdo con Barcelona (2003:3), las metáforas son mecanismos cognitivos en los cuales un dominio de la experiencia es proyectado o transferido a un dominio diferente, de forma que el segundo se puede comprender parcialmente en los términos del primero. Se puede decir así que las metáforas permiten la transferencia de las propiedades de un objeto a otro, siendo normalmente uno de ellos familiar y conocido (*i.e.* el cuerpo humano es una máquina o la enfermedad es un enemigo).
- Una de las razones del empleo tan extendido de metáforas en la ciencia es que éstas son instrumentos con gran poder explicativo, puesto que permiten describir fenómenos o ideas novedosas al mismo tiempo que afectan la manera en la que concebimos y construimos el mundo, de manera que son herramientas importantes en la construcción de teorías y modelos durante el proceso de enseñanza/aprendizaje de conceptos científicos.

- Las metáforas juegan un papel estelar en el acercamiento entre los científicos y el público en general, pues permiten la transferencia de conocimiento de lo que resulta familiar a lo que es menos conocido, produciendo así un nuevo nivel de aprendizaje. El árbol filogenético además de ser una metáfora, sirve como herramienta pedagógica porque permite la comprensión de conceptos difíciles en términos más accesibles.
- El árbol evolutivo es una metáfora porque Darwin, al introducir el componente temporal en el estudio de los seres vivos, tomó prestado el árbol genealógico que —aunque de manera ambigua— contemplaba este componente diacrónico en su simbología.
- Todos los conceptos fundamentales de la teoría de Darwin se encuentran plasmados en la metáfora: un origen único para todas las especies o monofilia, representado por el tronco de un gran árbol; divergencia, representada porque las distintas ramas no se unen; especiación, representada por las ramas que se bifurcan; extinción, mediante ramas que se mueren y dejan de crecer y diversificación, por las numerosas hojas en la punta de las miles de ramitas.
- Quizá más importante aún, que el hecho de que la metáfora del árbol se ajuste a los conceptos de Darwin de la evolución de las especies, está el hecho de que “la metáfora del árbol de la vida lo hizo pensar en las causas de las ramificaciones” (Ruse, 2008), asunto que nadie antes había abordado.

9.2 Confusiones y problemas relacionados con la lectura de las filogenias

Como todos los diagramas científicos, los árboles evolutivos contienen numerosas convenciones que, de no conocerse, pueden conducir a interpretaciones erróneas. Uno de los objetivos del capítulo IV fue el de contrastar aquello que entienden los científicos (la información presente en los árboles) con aquello que interpreta el público lego respecto de las filogenias. Se encontró que el público no especialista encuentra diversas dificultades en la ‘lectura’ de este tipo de diagramas que lo conducen a interpretaciones equivocadas. En este apartado se abordan los dos tipos de confusiones que se hallaron en este trabajo: aquellas epistemológicas, que se refieren a la información o conocimiento que los árboles evolutivos buscan comunicar, pero que genera dificultades en el público lego y aquellas relacionadas con el diseño, es decir, confusiones provocadas por el lenguaje gráfico.

9.2.1 Confusiones epistemológicas

- Posterior a la aceptación de la noción de evolución surgió un conflicto que subyace hasta nuestros días y que se relaciona con las confusiones al representar árboles evolutivos. Se pueden construir al menos dos tipos de diagramas arbóreos: 1) *árboles lógicos* que pueden representar la clasificación o guías con claves para la determinación taxonómica de los organismos, y 2) *árboles filogenéticos* que representan la historia genealógica de las especies (O’Hara, 1993). La genealogía no deriva automáticamente en una clasificación (requiere convenciones), y los árboles de clasificaciones pueden no tener relación con los árboles filogenéticos o genealógicos. Sin embargo, la confusión entre

árboles lógicos y árboles filogenéticos representa uno de los principales problemas en la historia de la sistemática: pensamiento grupal vs. pensamiento arbóreo⁴.

- Un malentendido que se genera entre los no especialistas por la confusión entre clasificación⁵ y filogenia es que a partir de una clasificación es posible inferir la filogenia que le dio lugar, si esa clasificación es filogenética. Sin embargo, aunque las clasificaciones se pueden representar mediante dendrogramas, una verdadera filogenia es una representación de historia evolutiva de especies. La confusión puede radicar al confundir las relaciones cada vez más incluyentes de la clasificación jerárquica, con la divergencia y surgimiento de nuevas especies a lo largo de la historia evolutiva. Las especies generan directamente especies a través del proceso de especiación, no los géneros, ni las familias, ni ningún otro grupo o taxón superior de la clasificación.
- Existe otro problema relacionado con los árboles evolutivos que implica la confusión entre genealogía y filogenia. Esta confusión tiene su raíz en 'la reconstrucción de ancestros comunes'. En una filogenia cladista el objetivo es enfocarse en la identificación de grupos estrictamente monofiléticos, cuyos ancestros se consideran metodológicamente *hipotéticos*. De esta forma se evita la problemática de identificar a los ancestros dentro de la escuela evolucionista. En una genealogía los ancestros son identificados, lo cual conlleva una gran problemática en cuanto a la definición y naturaleza de especie y de ancestro, así como la información necesaria y suficiente para identificar los ancestros.
- En el ámbito de la educación formal, resulta problemático que en muchos libros de texto el apartado que trata sobre la biodiversidad se denomina comúnmente 'clasificación', lo cual nos dice que se introduce a los estudiantes al estudio de la vida desde la nomenclatura y no desde el estudio científico del origen de la biodiversidad. Denotar a la filogenia con el término clasificación confunde acerca de la verdadera labor de la sistemática filogenética.

9.2.2 Confusiones relacionadas con el diseño

- De acuerdo con Baum & Offner (2008) resulta importante las características de las líneas que se emplean para dibujar los árboles —principalmente los cladogramas—, pues aquellas diagonales en especial son problemáticas para los estudiantes, pues causan confusiones mayores al encontrar los ancestros comunes.

⁴ Resulta importante volver a subrayar que existen tres escuelas principales en sistemática —cladista, fenética y evolucionista—cuyas ideas acerca de la clasificación biológica son distintas y, por lo tanto, sus metodologías lo son también. Para el cladismo, los cladogramas pueden convertirse directamente en una clasificación, por lo que la ancestría común es el único requisito para sus clasificaciones y, por lo tanto, dos grupos hermanos tienen la misma jerarquía o rango. Para la escuela evolucionista es importante el grado de divergencia evolutiva de los linajes, por lo cual dos grupos hermanos pueden tener jerarquías distintas al presentar numerosas diferencias que afecten cualquier estudio comparativo (Mayr, 2006). Aunque todas las escuelas sostienen que su método de clasificación es el adecuado, existen discusiones importantes que han señalado las dificultades —e incluso la imposibilidad—de las clasificaciones a partir de los cladogramas y como la situación dentro de la escuela evolucionista no es muy diferente, se sostendrá en este trabajo que una cosa es una filogenia y otra una clasificación (Hull, 2006).

⁵ Se emplea el término clasificación como una lista de nombres de taxones de forma escalonada para indicar niveles de categorías (Hull, 2006).

- Los árboles que causan más confusiones son aquellos sin balancear y que además se representan de manera escalonada⁶.
- **Forma de cono.** Los problemas con la imagen del cono para la divulgación de la evolución son varios:
 1. En un árbol de la vida en forma de cono parece que la vida ha evolucionado hacia una diversidad siempre creciente, ignorando las dramáticas extinciones del Pérmico y del Cretácico, por nombrar algunas, y que más del 99% de las especies que algún día habitaron la Tierra se hallan hoy extintas.
 2. Aunque la dimensión vertical significa sucesión temporal, a menudo se presta a una lectura de lo primitivo a lo avanzado, es decir, de mejoría o progreso. Así, se piensa que los organismos que se encuentran en la punta de las ramas son mejores o más evolucionados que los demás y no tan solo más modernos o recientes.
 3. De acuerdo con Baum (2007), los árboles en forma de cono también se infieren de forma errónea en el eje horizontal, puesto que llevan a la idea de una jerarquía de las formas modernas (localizadas en las puntas de las ramas) también como primitivas y avanzadas, puesto que está documentado que el público tiende a fijarse únicamente en las puntas de las ramas pensando que lo que se representa son relaciones de semejanza y no de parentesco o ancestría descendencia. De esta manera los artrópodos se perciben como menos evolucionados que los cordados, por ejemplo.

9.3 Sobre las exhibiciones de evolución visitadas en el presente trabajo y sus árboles filogenéticos

Para la realización de este trabajo se visitaron cinco Museos de Historia Natural, cuyas exhibiciones de evolución y los árboles evolutivos fueron analizados. A continuación se presentan las conclusiones de dicho análisis.

9.3.1 Museos de Historia Natural

- La representación de la ciencia en los Museos de Historia Natural está basada fuertemente —aunque no del todo— en imágenes visuales surgidas de la iconografía occidental.
- Esta iconografía se incorpora convenientemente al discurso perseguido por los museos, el cual, en casos como el de la evolución, tiene un periodo corto de vida, ya sea por un nuevo

⁶ Cuando un árbol tiene el mismo número de especies o taxones a cada lado de cada uno de los nodos, se dice que está balanceado. Por el contrario, en un árbol no balanceado hay un número diferente de ramas a cada lado de cada uno de los nodos, lo que quiere decir que los grupos hermanos varían en su riqueza de especies (como por ejemplo los mamíferos placentados que cuentan con numerosas especies actuales y los mamíferos monotremas como el ornitorrinco y el equidna que tienen pocas).

descubrimiento, como en el caso de la inclusión de *Tiktaalik* a la genealogía de los tetrápodos o porque las tendencias en representación han cambiado como en el caso de la ‘marcha del progreso’.

- La realización de exhibiciones implica un ejercicio de poder, ya que involucra la construcción de ‘verdades’ y de conocimiento (Foucault, 1977, 1979) para el público lego, que las tomará como absolutas debido a la cualidad de los museos como ‘autoridades’. Es por esta influencia de los museos sobre los ciudadanos, que su responsabilidad es enorme.
- Aunque cada exhibición sobre evolución es única, resulta posible identificar cuatro temas principales que guían el diseño, el arreglo y la organización de las diferentes salas que componen dichas exhibiciones:
 - **Tiempo geológico** — Museo de Historia Natural y de Cultura Ambiental de la Ciudad de México.
 - **Sistemática** — British Natural History Museum, London & American Museum of Natural History, Nueva York.
 - **Mecanismos de la evolución** — Museum für Naturkunde, Berlín & Grande Galerie de l’Evolution, París.
 - **Biodiversidad** — Grande Galerie de l’Evolution, París.
- Los árboles que muestran la diversidad biológica —es decir, árboles generales de animales y plantas— son los más empleados. Les siguen aquellos que plasman familias y órdenes.
- La mayoría de los museos visitados representan a los árboles evolutivos mediante la forma clásica de cono (pino invertido). Ésta es la forma más convencional de representación por varios motivos:
 - Es la forma que realmente tienen los árboles en la naturaleza.
 - Es el modelo que Darwin y posteriormente Haeckel eligieron para representar el proceso de la evolución, el cual se transformó en la iconografía convencional.
 - Para la sistemática filogenética o cladismo el eje vertical indica tiempo y el horizontal el orden de los eventos de especiación⁷.
- Para evitar las asociaciones de progreso y de mejoría relacionadas con la forma de cono invertido, en algunas exhibiciones, sobre todo aquellas más modernas como *Evolution in*

⁷ Ver capítulo IV.

action del Museo de Berlín y la sala de *Origin of man* del AMNH, existen distintos diagramas ramificados e incluso circulares.

- En uno de los cinco museos estudiados (el de la Ciudad de México) podemos encontrar una marcha del progreso representando la evolución del caballo, la cual refuerza una visión lineal y progresiva de la evolución que va en contra de lo que se desea comunicar.
- Casi el 90% de los árboles evolutivos encontrados en los museos son estáticos.
- Tan solo en el Museo de Berlín y en el Museo de Nueva York hay árboles evolutivos interactivos.
- La mayoría de los árboles (61%) son en dos dimensiones al no tener profundidad. En algunos casos ciertas convenciones artísticas, tales como sombreado o perspectiva, contribuyen a una percepción de fractalidad o tridimensionalidad, por lo cual se decidió emplear en este trabajo la categoría de 2D con relieve. El 39% de los árboles emplean esta categoría.
- Más de la mitad de los árboles evolutivos encontrados en los museos estudiados tienen una orientación abajo-arriba (53.5%), lo cual concuerda con que la forma más empleada es la de cono o pino invertido. Le sigue en abundancia la orientación de izquierda a derecha (28.5%) lo cual está directamente relacionado con nuestro lenguaje que se lee en esta misma dirección.
- La Grande Galerie de l'Évolution de París y el AMNH han optado por presentar árboles radiales, es decir, que las ramas surgen en todas direcciones a partir de un punto central. Estos árboles circulares tienen la ventaja conceptual de no favorecer alguna rama sobre otra, evitando así la idea de organismos más o menos evolucionados, mejores o peores. Además, este tipo de diagramas permite representar algunos linajes antiguos que se hallan hoy extintos o cuya diversidad fue mayor en el pasado que en el presente.
- En aquellas exhibiciones que se basan en la reconstrucción filogenética, los cladogramas juegan un papel fundamental. Tal es el caso de los museos de Londres, Berlín y en la exposición *Hall of Human Origins* del AMNH de Nueva York. En todas estas exhibiciones hay varios tipos de guías tanto como parte de la representación, como en las cédulas que los acompañan.
- En el Museo de Historia Natural y de Cultura Ambiental de la Ciudad de México, en La Grande Galerie de l'Évolution de París y en la exhibición de *Ocean Life* del AMNH de Nueva York, los árboles no cuentan con referencia alguna y se encuentran en un sentido ornamental.
- Los árboles evolutivos del Museo de Historia Natural y de Cultura Ambiental de la Ciudad de México, así como los que se hallan en las exhibiciones antiguas del museo de Berlín, cuentan con la presencia de formas intermedias como ancestros, lo cual implica dos confusiones importantes. 1) la confusión de que organismos intermedios tales como *Archaeopteryx* o *Ambulocetus* son los ancestros de ciertos grupos como las aves y los cetáceos respectivamente, y 2) la confusión entre genealogía y filogenia. Por lo tanto la presencia de intermedios es una importante fuente de errores en la comprensión de conceptos fundamentales para la sistemática filogenética.

- Los árboles del Museo de Historia Natural y de Cultura Ambiental de la Ciudad de México no brindan información de ningún tipo y, por lo tanto, no se identifican las formas intermedias, lo cual puede llevar al visitante a pensar que los ancestros debieron ser parecidos al pictograma y entonces no representa mayor problema.
- Tres árboles evolutivos del Museo de Berlín presentan los nombres de las formas intermedias (i.e. *Diatryma* o *Lycaenops*) y los colocan en los nodos, lo cual invariablemente conduce a asumir que *Lycaenops* es el ancestro de los mamíferos.

9.4 Sobre los árboles evolutivos y los museos de ciencia: conclusiones y recomendaciones

A partir del estudio realizado sobre las filogenias presentes en los cinco Museos de Historia Natural contemplados en este trabajo, se logró obtener una serie de recomendaciones para el diseño de representaciones adecuadas que tomen en cuenta las dificultades más comunes que encuentra el no especialista, las cuales se describen a continuación.

- La labor principal de un museo de ciencia es la de brindar estímulos que conduzcan a la construcción de conocimiento.
- Una buena exhibición debe tomar en cuenta, tanto como sea posible, los tres tipos de interacción que la audiencia puede tener con el fenómeno u objeto exhibido:
 - Interacción manual
 - Interacción mental
 - Interacción cultural
- Para promover el correcto entendimiento de la teoría de la evolución y tomando en cuenta la importancia de los árboles evolutivos para dicha labor, los museos de historia natural deben asignar un espacio para la representación de esta imagen o modelo bajo distintos vehículos.
- La información más básica que deben presentar los árboles para ser comprendidos por el público es: una cédula estimulante y una cuidadosa guía de interpretación de lo que se está observando. En ellas se facilita convencer al público de que los árboles son solo formas de representación que pueden variar y también se pueden hacer advertencias como, por ejemplo, que el orden de las líneas terminales no es importante y por lo tanto, no denota mejoría o progreso.
- Los conceptos y las características de los árboles que pueden interferir con el entendimiento de la evolución son:
 - la inclusión de ancestros identificados⁸.
 - la presencia de intermedios como ancestros.

⁸ El problema de los ancestros se revisó en el capítulo VIII.

- la implicación de progreso.
- la colocación de grupos actuales en nodos internos.
- Para evitar que el público infiera nociones de progreso o la existencia de ramas principales y secundarias, se recomienda la rotación de los nodos internos de forma que no se altere la topografía del árbol, pero sí el orden de las especies terminales para que resulte contraintuitivo pensar que hay organismos superiores e inferiores.
- Para eludir una lectura incorrecta de la temporalidad resulta conveniente emplear árboles evolutivos con componentes temporales explícitos.
- Para evitar interpretaciones incorrectas como una progresión de las formas o la existencia de ramas principales y secundarias, lo mejor es presentar una filogenia circular adicional.
- Mediante una filogenia circular es más claro que la audiencia obtenga información evolutiva precisa al seguir la secuencia de los nodos internos o el orden de ramificación y no preste tanta atención al orden de las puntas terminales⁹.
- Si se decide exhibir un árbol en forma de cono, el diseño que resulta más comprensible para la audiencia y que evita diferentes errores de interpretación es el siguiente:
 - Empleo de líneas rectangulares.
 - Árboles o cladogramas no escalonados.
 - Que el orden de las especies terminales provoque que sea contraintuitivo inferir progreso¹⁰.
- Debido a que un solo árbol no puede ser suficiente para plasmar los diversos componentes de la historia evolutiva y para brindar una noción —aunque sea superficial— acerca del proceso, idealmente se requiere de una exhibición completa sobre el árbol filogenético que contenga —ya sea como parte principal de la exhibición o en instrumentos secundarios de información como cédulas de mano:
 - a) Una sección dedicada a la historia del árbol evolutivo, puesto que comunicar la naturaleza dinámica de la ciencia es una tarea fundamental de cualquier museo.
 - b) Diferentes árboles pensados con diferentes niveles de detalle para las diversas audiencias. Conociendo cuáles son los problemas más comunes a los que se enfrenta el público al momento de interpretar una filogenia,

⁹ El orden de las ramas carece de sentido porque los cladogramas pueden rotarse sin afectar la topología. Sin embargo, un error común es que el público preste mayor atención a las puntas terminales de las ramas pensando que su orden representa relaciones de semejanza.

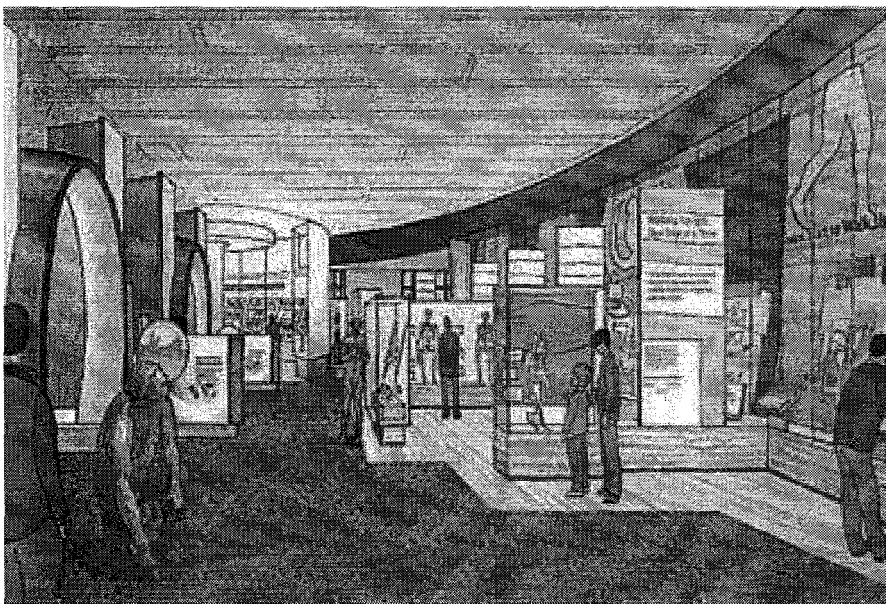
¹⁰ Por ejemplo, en un árbol que muestra las relaciones entre los primates, la interpretación es muy diferente si se coloca al ser humano en uno de los extremos en un árbol escalonado, que si se le coloca en el centro (Gregory, 2008).

aunado al diferente desarrollo cognitivo de los distintos grupos de edad que también derivan en errores conceptuales y prejuicios, se pueden proponer distintos árboles cuyo objetivo esté dirigido a apoyar el entendimiento de un concepto difícil o a lograr un cambio conceptual.

- c) Una sección sobre la anatomía de una filogenia que explique qué es un árbol filogenético y cuáles son sus componentes principales, puesto que la mayor parte del público no especializado no conoce sus características principales ni las convenciones necesarias para poder comprenderlos.
- Los árboles interactivos resultan más atractivos, y en ocasiones didácticos, que los estáticos pues permiten mostrar gran cantidad de información acerca de los diferentes grupos taxonómicos y de conceptos evolutivos en un espacio reducido que se puede manipular. La ventaja de este tipo de árboles es que muestran un concepto abstracto como lo es el de la comunidad de descendencia, de forma atractiva y memorable. En contraste con las representaciones estáticas, los árboles interactivos o animados pueden mostrar directamente los cambios en el tiempo en lugar de indicarlos mediante el empleo de flechas u otras marcas.

Capítulo X

Propuesta





Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

X. Propuesta para el diseño de una exhibición sobre el árbol evolutivo

"El secreto de una buena exhibición se encuentra en "ver las sugerencias de los otros como un reto a la creatividad y como una oportunidad para la entrada de ideas nuevas y frescas procedentes de otras formas de conocimiento, o de personas con otros tipos de experiencia"

Jorge Wagensberg (2006)

El objetivo principal de este proyecto de investigación fue la propuesta de diseños de árboles evolutivos para un museo de historia natural, puesto que dichos árboles comunican los conceptos más importantes de la teoría de la evolución, pero cuando son interpretados de forma incorrecta conducen a falsas inferencias evolutivas y a numerosos otros malentendidos.

Lograr un entendimiento correcto acerca de las filogenias resulta crucial para adquirir un 'pensamiento arbóreo' (la noción de que todos los seres estamos relacionados por ancestría común y conceptualizar la evolución en términos de ramificaciones), que permita comprender el origen de la diversidad biológica de nuestro planeta. Es por ello que fomentar la comprensión de las relaciones evolutivas entre los organismos mediante árboles filogenéticos, debe ser uno de los objetivos principales de cualquier exhibición sobre evolución.

Se puede sostener que existen diversas posibilidades en cuanto al diseño de filogenias, las cuales dependen de los objetivos que se buscan comunicar, así como del tipo de exhibición en el que el árbol se encontrará inmerso. En ciertas exhibiciones los árboles juegan papeles principales y en otras secundarios, o incluso meramente ornamentales. Como se mencionó con anterioridad, en Berlín existe un árbol filogenético que tiene gran importancia, puesto que el tema principal de la exhibición *Evolución en acción* son los **mecanismos** de la evolución (ver pág. 209); en la Grande Galerie de l'Evolution de París se encuentra un árbol de los tres dominios (bacteria, archaeobacteria y eucariota) que sirve para mostrar de un solo vistazo la diversidad de la vida y la relación relativa entre los principales grupos de organismos, puesto que el tema principal que se busca mostrar en este museo es la **biodiversidad** como resultado de la evolución (ver pág. 239). Finalmente, en el museo de la Ciudad de México, los árboles utilizados resultan meramente ornamentales, puesto que se encuentran pintados en las paredes y no brindan tipo de información alguno¹ (ver pág. 229). Es por ello, que el tipo de árbol evolutivo que se presentará en un museo, depende de los fines que se busquen comunicar, sin ser por ello mejores o peores.

No obstante lo anterior, el fin de un árbol evolutivo en un museo de historia natural, independientemente de su complejidad o ubicación, debería ser el mismo: comunicar conceptos clave de la teoría de la evolución, tales como comunidad de descendencia, el lugar del hombre en la naturaleza, el aspecto de la evolución y la diversidad biológica, sin dejar de tener en cuenta que un museo debe enfocarse en brindar los estímulos necesarios para el aprendizaje, sin tratar de ser un espacio de enseñanza y aprendizaje similar a los de educación formal. Es decir que el museo debe de *estimular* a querer saber más por encima de pretender enseñar sobre un tema en especial.

Con esto en mente, el diseño de un árbol evolutivo para un museo de historia natural idealmente debe tomar en cuenta cuatro aspectos centrales que fueron discutidos con detalle en el capítulo VIII:

¹ Es importante tener en cuenta que estos árboles datan de finales de la década de los sesenta, por lo cual es complicado compararlos con aquellos presentes en los museos más modernos.

1. Las ideas erróneas o las interpretaciones equivocadas más comunes que comete el público no especializado cuando se le presenta un árbol evolutivo.
2. El tipo de audiencia al que irá dirigida la exhibición.
3. Las características del museo, tales como el espacio disponible, el presupuesto asignado y los objetivos buscados al exhibir dicho árbol.
4. La consideración del análisis de los árboles evolutivos presentes en los diferentes museos de historia natural estudiados en este trabajo.

De acuerdo con los puntos anteriores, y a partir de las recomendaciones que se derivan del análisis realizado en este trabajo, a continuación se presentan dos propuestas para el diseño de una exhibición sobre árboles evolutivos, con la información correspondiente, los cuales podrían ser incluidos en museos de historia natural.

Propuesta 1

Para numerosos científicos y educadores resulta imposible comprender realmente la evolución e integrar conceptos evolutivos si se carece de la habilidad para interpretar correctamente árboles filogenéticos. Sin embargo, un museo no puede competir con una escuela o con una universidad en la enseñanza de los principios básicos de la sistemática (herramientas y conceptos necesarios para comprender las filogenias con el objetivo de brindar la habilidad de conceptualizar la evolución en términos de árboles filogenéticos [pensamiento arbóreo]). Lo que sí puede hacer un museo es conocer las *principales* dificultades que el público presenta en cuanto a la lectura de los árboles evolutivos, para intentar corregirlas o evitarlas. De acuerdo con diversos autores (Baum & Offner, 2008; Gregory, 2008 y Perry *et al.*, 2008), estas dificultades son:

- Comprender lo que un árbol representa.
- Leer y deducir correctamente las características de una especie en particular a partir de la información presentada en el árbol, cuando la hay.
- Deducir las características más probables que pudo haber tenido el ancestro común a partir de la información de las características de los taxones terminales.
- Comprender la representación espacial del flujo del tiempo.
- Leer que la proximidad de los taxones contemporáneos no indica relaciones de semejanza, sino de parentesco entre grupos hermanos.
- Inferir que el número de nodos que involucra a dos especies desde la raíz no es un indicativo de qué tan cercanamente relacionadas se encuentran.
- Suponer que las líneas rectas implican que no ha habido cambios evolutivos.

Ahora bien, si se tiene como prioridad brindar la información necesaria para que el público adquiera habilidades en la lectura e interpretación correcta de filogenias, lo que se obtendrá es una mala exhibición, puesto que las visitas a los museos por lo general son breves (no pasan de cuatro horas) y los intervalos de tiempo disponibles para centrar la atención de los visitantes son pequeños.

Es por ello que en el presente trabajo se propone que la exhibición se centre en cuatro dificultades principales para interpretar filogenias y que mediante cédulas informativas de mano y pantallas de tacto (*touchscreen*), se apoye la adquisición de los conceptos fundamentales para comprenderlas. Dichas cédulas y pantallas se deben localizar en la ruta de los visitantes, los cuales, si han sido lo suficientemente estimulados, las leerán e interactuarán con ellas. Esta exhibición pretende servir como una introducción a los árboles filogenéticos y sus numerosas versiones, pensada sobre todo para estudiantes a partir de los últimos niveles de primaria, puesto que para los más pequeños los temas relacionados con la historia evolutiva de los organismos —tales como escala del tiempo geológico, variación, especiación, adaptación, etcétera— no son fácilmente comprensibles.

¿Cuáles son las cinco dificultades principales para comprender filogenias?

1. Qué representan.
2. Cómo leerlas.
3. Comprender la representación espacial del tiempo.
4. Distinguir entre relaciones de parentesco y semejanza.
5. Comprender la importancia de la aparición de determinadas características para la evolución de las especies.

Se propone exhibir el tema mediante tres árboles secundarios ('árboles introductorios') y uno principal, considerando cada una de las dificultades citadas y tomando en cuenta las recomendaciones de la Museología Total para lograr una exhibición estimulante², que promueva el diálogo e incluso el debate entre el público:

- Interactividad manual
- Interactividad mental
- Interactividad cultural

Antes de describir la propuesta resulta necesario señalar que es importante el espacio donde se montará la exhibición. Tomando en consideración que lo más fácil en un museo existente es obtener una galería rectangular, se propone el siguiente diseño (Fig. 10.1).

² Estas recomendaciones fueron discutidas en la sección 8.5 del capítulo VIII.

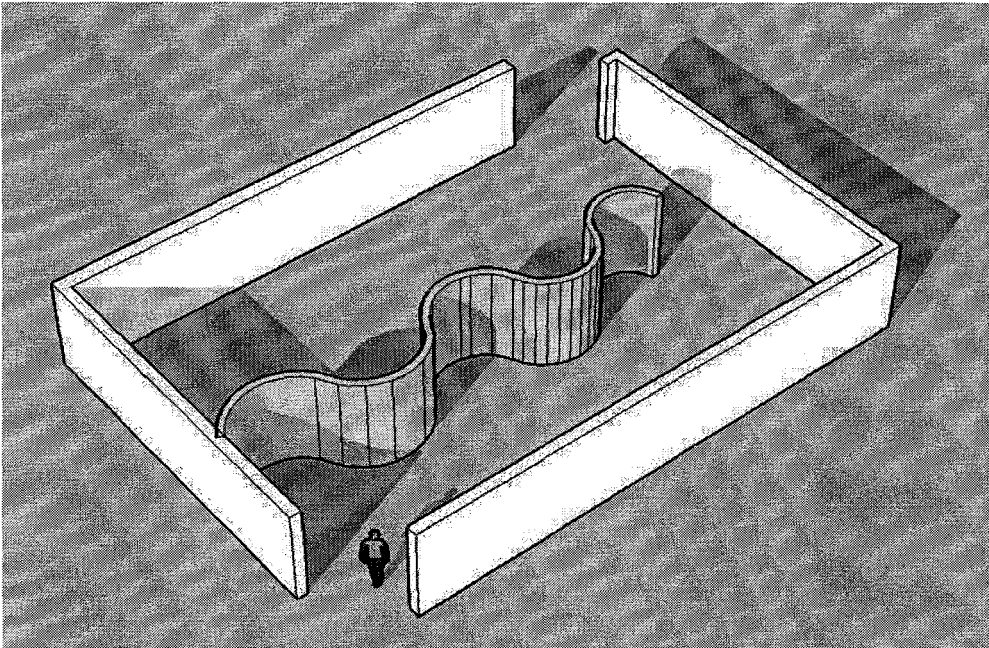


Figura 10.1 Diseño del espacio de la exhibición (imagen de la autora)

A la entrada de la exhibición el visitante encontrará una reproducción del cuaderno de notas “B” de Darwin en la página donde plasmó por primera vez su árbol evolutivo (Fig. 10.2). Habrá una cédula de sección con información atractiva sobre el árbol de la vida y para aquellos visitantes que quieran saber más se colocará una cédula de mano sobre la instalación con información acerca de la historia de las filogenias³.

³ Se da una descripción sobre las cédulas de mano al final de este capítulo.

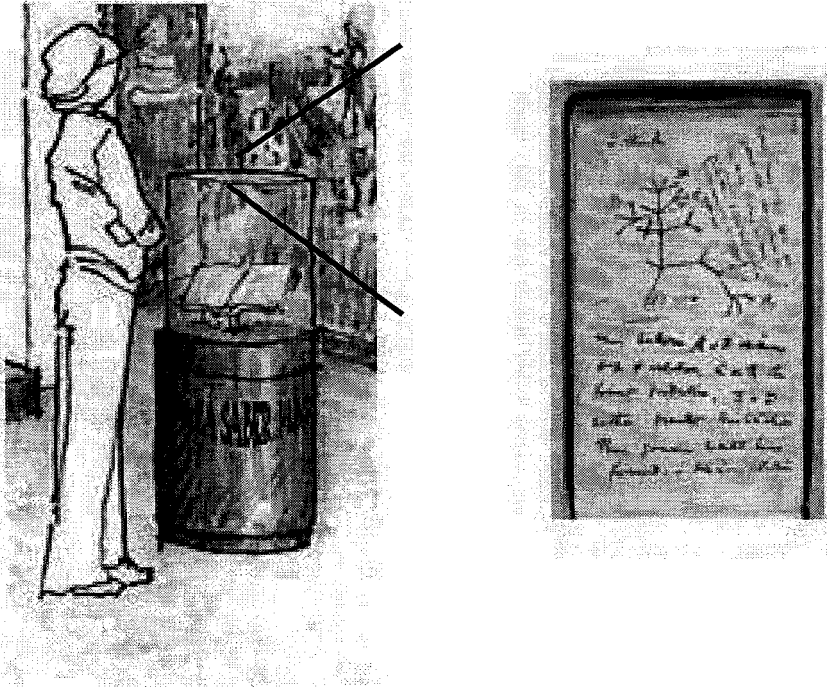


Figura 10.2. En la entrada de la exhibición el visitante puede admirar la reproducción del primer boceto del árbol de Darwin de 1837. Esto tiene la idea de introducir un componente histórico en la exhibición con la idea en mente de que *Los estímulos que favorecen la creación de un conocimiento son los mismos que favorecen su transmisión* (Wagensberg, 2006) (imagen de la autora, árbol de Darwin (der.) tomado de www.peabody.yale.com).

El espacio rectangular de la exhibición estará dividido en dos secciones mediante un panel. Este espacio será dinámico y delimitará a los tres árboles introductorios gracias a curvaturas bien definidas. En la primera curvatura se encontrará el árbol diseñado para apoyar en la comprensión de cómo leer árboles evolutivos —*todo en familia*—, en la segunda, el árbol pensado para ayudar a saber qué representan las filogenias —*árbol inflable*— y en la tercera y última, el árbol diseñado para superar diversas dificultades —*árbol de los tetrápodos*.

De esta manera el visitante será guiado a través de un recorrido por diversas cuestiones fundamentales de las filogenias, con el propósito de lograr una mayor comprensión de las mismas, sin abusar de la cantidad de información y sin perder el objetivo principal que es el estímulo de su curiosidad mediante los diferentes tipos de interacción que puede establecer con las instalaciones. El diseño del espacio obligará al visitante a recorrer cada uno de los diferentes árboles introductorios para finalmente acceder a la sala principal en la cual encontrará un gran árbol circular en el centro y la historia evolutiva de los organismos plasmada en las paredes. Pero antes de continuar es necesario describir el diseño de los árboles introductorios.

Árbol No. 1

❖ **Cómo leer árboles evolutivos.**

Para los biólogos, dos taxones se encuentran cercanamente relacionados (grupos hermanos) si comparten un mismo ancestro común y no existen otros descendientes. Una introducción útil a este tema es la de señalar los paralelismos entre las relaciones entre especies y las relaciones entre los miembros de las familias. Es decir, *pensar en árboles evolutivos como árboles familiares*.

Entender una filogenia es similar a comprender un árbol familiar, puesto que en su aspecto general, los árboles evolutivos presentan los mismos elementos principales de los árboles genealógicos, a saber, nodos y líneas de descendencia. La raíz del árbol representa el linaje ancestral y las puntas de las ramas representan los descendientes de ese ancestro. Es por ello que, señalar que el ancestro común más cercano entre cierto individuo y sus primos hermanos son los abuelos, mientras que entre ese mismo individuo y sus primos segundos son los bisabuelos, brinda una base para comprender los grados de relaciones evolutivas que se pueden dar entre las especies. Asimismo permite evitar la confusión de asumir que cierto taxón moderno es ancestro de otro taxón moderno tal como los humanos y chimpancés, que son grupos hermanos siendo ninguno el ancestro del otro. Además, pensar en los árboles evolutivos como si fueran árboles familiares resulta ventajoso por varios motivos. Permite comprender no solo las relaciones de parentesco individuales, sino las relaciones de grupos cada vez más inclusivos denominados *clados* y entender que todos los miembros de una familia inmediata están igualmente relacionados con aquellos individuos un poco más lejanos pero con los que comparten un ancestro más distante.

Filogenias como árboles familiares

El visitante entra a la exhibición y lo primero que encuentra es un gran árbol. Un modelo o una réplica de árbol con el cual se identifiquen los mexicanos —tal como una ceiba— para incluir la interactividad cultural. Se trata de la metáfora del árbol evolutivo como árbol familiar. Por ello el visitante encontrará representada en cada una de las ramas a un miembro de una familia hipotética (él mismo, hermanos, primos, padres, abuelos, tíos, etcétera) y si el visitante cambia de posición podrá ver que en las ramas terminales los miembros de la familia hipotética se transforman en diferentes taxones —un insecto, un ser humano, un árbol, un anfibio y una bacteria—. De esta forma el árbol familiar se transforma en el árbol de la vida. Este cambio estará logrado mediante ‘flips’, aunque también se puede lograr con proyecciones o con prismas en cuyas caras se encontrarían los individuos y las especies (Fig. 10.3).





Figura 10.3 Todo en familia (imagen de la autora)

Justificación

Este árbol contribuye con el entendimiento de las filogenias al permitir la transferencia de conocimiento y entendimiento entre los dominios de la metáfora de forma vívida y memorable. Esta metáfora en particular es de tipo comparativo e instructivo, por lo que resulta en un instrumento didáctico al *ayudar* a los estudiantes a *entender* las explicaciones científicas.

Como se estudió en el capítulo I, las metáforas instructivas se basan en la teoría de la *transferencia analógica*, la cual sostiene que para que las metáforas sean efectivamente de ayuda en la comprensión de conceptos deben ser capaces de crear una analogía entre el sistema que requiere ser aprendido y el sistema que resulta familiar. Para que esto ocurra, debe haber una correspondencia de uno a uno entre ambos sistemas.

En el caso del árbol filogenético propuesto se está explicando la relación evolutiva que existe entre las especies en términos de las relaciones familiares, por lo que se obtiene una metáfora que ayuda en la retención de información clave para el fenómeno en estudio. Varios autores (Petrie, 1976, 1981, Rumelhart & Norman, 1981; Vosniadou & Brewer, 1987) han propuesto que el aprendizaje de algo totalmente nuevo implica siempre el uso de metáforas o de procesos metafóricos y en este sentido éstos no son solo herramientas didácticas sino verdaderas entidades epistémicas.

Ahora bien, existe una advertencia en el uso de esta exhibición. Aunque mostrar el significado general de un árbol filogenético en términos de un árbol familiar es algo propuesto por investigadores que saben lo que hacen (Baum & Offner, 2008; Gregory, 2008), es importante señalar que este tipo de árbol es un *modelo metafórico* porque la relación que mantienen ambos tipos de árboles —familiares y filogenéticos— no es de uno a uno (no se trata de una analogía completa), porque los primeros representan individuos y los segundos taxones —especies o grupos superiores. De forma que en los árboles filogenéticos hay solo una historia de descendencia de los organismos, mientras que en los árboles familiares pueden existir combinaciones o permutaciones entre los individuos que complican las relaciones de ancestría-descendencia⁴ (Llorente, comunicación personal). De modo que, de no tener cuidado con la explicación de este árbol, se puede conducir a errores de interpretación.

No obstante lo anterior, este modelo es útil principalmente porque los árboles familiares son conocidos para la audiencia, de forma que se facilitará captar el significado general de una filogenia tanto a aquellos que tengan un pensamiento literal, como a los que lo tengan metafórico. Además este árbol forma parte de una *exhibición* más amplia y completa.

Además, mediante la metáfora propuesta se consigue lo siguiente:

1. Se comunica cómo se leen los árboles evolutivos.
2. Se advierte que las relaciones están dadas por patrones de ancestría-descendencia en el tiempo.
3. Se comunica que no solo las relaciones individuales se indican en los árboles evolutivos, sino también las relaciones entre grupos cada vez más inclusivos.
4. Se explica que todos los miembros de una familia inmediata se hallan igualmente relacionados con los individuos fuera de este cercano círculo familiar, pero con los cuales comparten un ancestro común un poco más distante.

Además, de acuerdo con la teoría constructivista del aprendizaje, los visitantes no van a las exhibiciones como una *tabula rasa* listos para incorporar información sino que, por el contrario,

⁴ (i.e. Padre e hijo se casan con madre e hija. El padre con la hija y el hijo con la madre, de suerte que la madre se vuelve la nuera de su hija y la hija la suegra de su madre...).

construyen sobre lo que ya conocen para crear nuevos significados (Hein, 1998). Es por ello que la metáfora del árbol evolutivo como árbol familiar resulta apropiada.

Pantalla de tacto I

Como complemento de esta exhibición y pensando en aquellos que desean saber más, se propone la explicación sobre qué es un árbol evolutivo mediante una pantalla de computadora, empleando una estrategia similar o igual a la que el estudio realizado por Perry *et al.*, (2008), el cual demostró mejorar notablemente la comprensión de las filogenias.

En este estudio se empleó un programa interactivo de computadora diseñado para modelar conceptos de micro y macroevolución entre los que se encuentran aquellos relacionados con la comprensión de filogenias (www.simbio.com). Es decir que mediante un laboratorio virtual, se guía a la audiencia por experimentos simulados para explorar y comprender numerosos conceptos evolutivos clave. El nombre del programa es *EvoBeaker*, particularmente el tema de 'Arboles y flores' puesto que es el laboratorio que se enfoca en árboles evolutivos y en la reconstrucción de filogenias.

La idea es introducir al público a los árboles evolutivos mediante una simulación interactiva de la diversificación de las flores columbinas (*Aquilegia*). La audiencia observa procesos de especiación y diversificación de las poblaciones de columbinas, al tiempo que un árbol evolutivo ilustra la historia de cada población. El público posteriormente aprende a interpretar árboles evolutivos al interactuar con el programa 'mutando' y 'dividiendo' poblaciones de plantas para predecir cómo se verá el árbol evolutivo después de cada evento. Además el programa brinda la posibilidad de poder reconstruir la historia de una población misteriosa (Fig. 10.4).

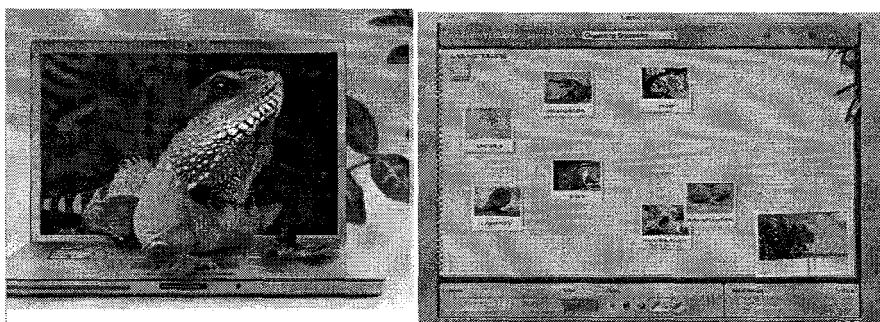


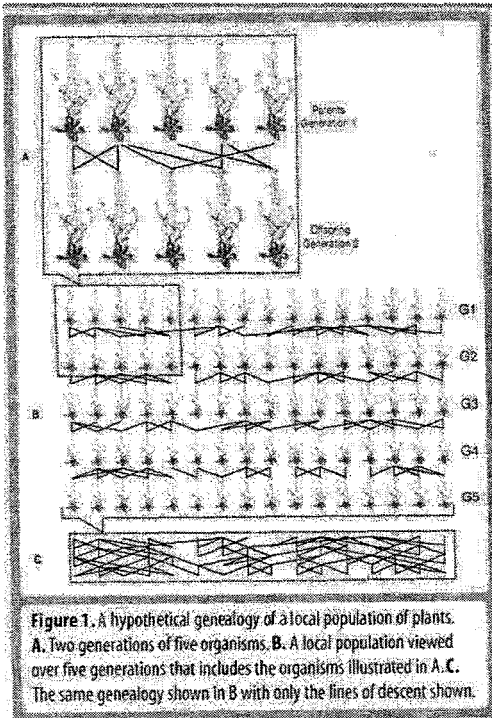
Figura 10.4. Mediante una pantalla de tacto (*touchscreen*) con un programa diseñado especialmente para introducir árboles evolutivos a los visitantes, se puede apoyar en la comprensión de diversos temas relacionados con las filogenias. Este programa puede encontrarse en www.simbio.com (tomada de www.simbio.com).

Árbol No. 2

❖ Qué representan las filogenias

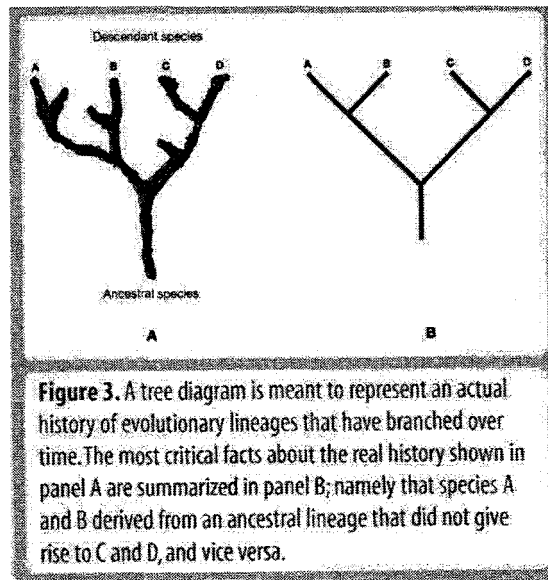
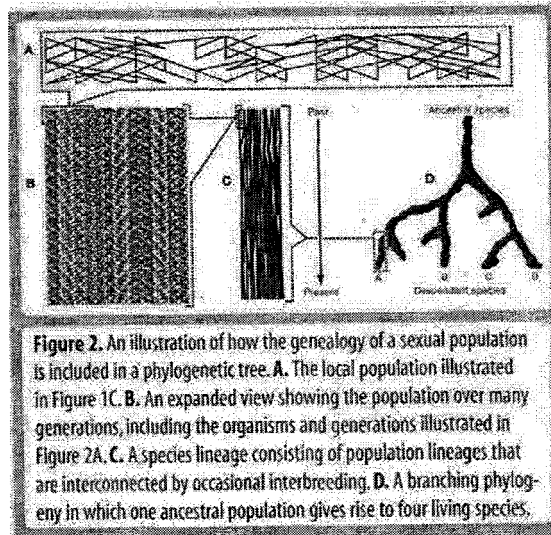
Un árbol filogenético es la representación de la inferencia acerca de las relaciones evolutivas entre grupos de especies (u otros taxones). Sin embargo, cuando una persona no especialista observa las delgadas líneas de un cladograma difícilmente piensa que en ellas se representan poblaciones de especies y numerosas generaciones, lo cual hace complicado que incorpore el concepto de especiación y por lo tanto, que comprenda cómo surgen nuevas especies. De acuerdo

con David Baum (2008), una estrategia que resulta útil para aclarar lo anterior es la de hacer una clara conexión entre la reproducción dentro de una sola población durante un corto periodo (tiempo ecológico) y la evolución a través de las ramas del árbol durante un largo periodo (tiempo geológico). Para esto, el autor realiza un alejamiento ("zoom out") de una sola población en una sola generación, a una filogenia que representa muchas generaciones, de forma que se percibe que cada rama de una filogenia simboliza numerosos individuos y diversas poblaciones entre las cuales puede haber fenómenos de especiación que dan lugar a nuevas ramas del árbol (Fig. 10.5a, b y c).



a

Figura 10.5 a. Se comienza con una generación de plantas de una especie en particular. Cinco individuos representan la generación parental (G₁) y cinco la generación descendiente (G₂). En la figura del medio se muestran todas las plantas de esta población hipotética y numerosas generaciones. El siguiente paso (figura de abajo) es desaparecer las ilustraciones de los individuos manteniendo únicamente las relaciones (líneas) de ancestría-descendencia.



b

c

b. Al dejar únicamente las líneas de ancestría descendencia se ilustra cómo un cladograma representa en realidad poblaciones de especies con numerosos individuos y varias generaciones. El grosor de la figura "C" que representa a numerosos individuos de una especie particular, se puede extrapolar a una rama de un cladograma como en "D". c Finalmente, el autor voltea la imagen para que concuerde con la manera en la que se expresa el flujo del tiempo en sistemática, es decir, de abajo hacia arriba y explica con esta figura que los cladogramas son en realidad un *resumen* de la historia evolutiva de los linajes (tomada de Baum, 2008).

Por su parte, Robert O'Hara (1994) propone la siguiente figura (Fig. 10.6) para comprender la historia evolutiva (el patrón de descenso) de una población real, tomando en consideración la idea de Hennig (1966) de que en las interacciones intraspecificas las relaciones son reticuladas, mientras que en aquellas interespecificas, las relaciones son ramificadas.

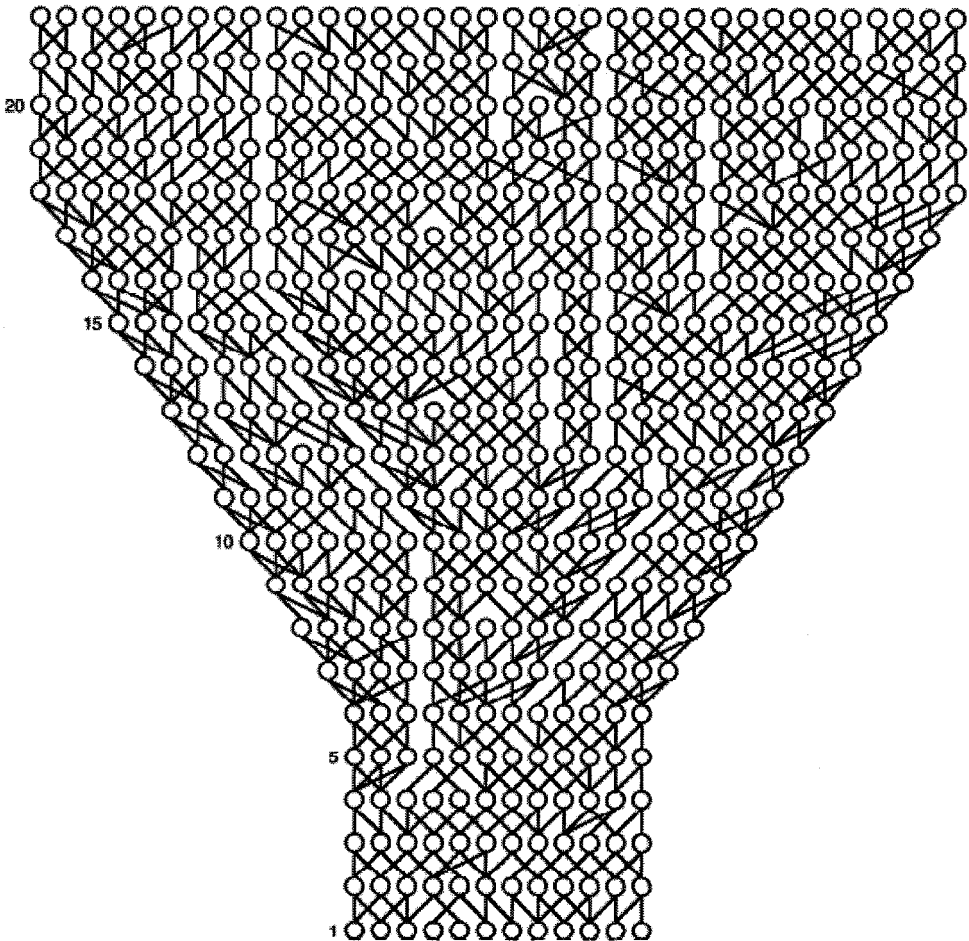


Figura 10.6 Diagrama a nivel de organismos individuales. En él, se puede apreciar como una población diverge en el tiempo mediante mecanismos de aislamiento. Cuando una población permanece aislada puede comenzar su propia historia evolutiva y dará lugar a una rama particular del árbol (tomado de O'Hara, 1994).

Mediante esta representación se puede apreciar el principio de divergencia que actúa sobre las poblaciones a lo largo de numerosas generaciones.

Al emplear las ideas de Baum y la filogenia de O'Hara se puede proponer un árbol que contribuya a clarificar lo que significan las filogenias. Asimismo se pueden explicar varios aspectos de la evolución, tales como las unidades de selección, los mecanismos de especiación,

los 'tiempos' de la evolución, y otros aspectos. De manera que para esta sección se propone una filogenia inflable.

Filogenia inflable

*El visitante accede a esta exhibición y se encuentra con un cladograma típico —similar a los que se hallan en los libros de texto— con líneas diagonales de ancestría- descendencia que culminan en ciertos grupos de especies que representan a los cuatro géneros de la familia Hominidae: Homo, Pan (chimpancés y bonobos), Pongo (orangután) y Gorilla (gorilas). En la parte superior se lee la pregunta: ¿Se necesita de algún tipo de mecanismo evolutivo especial para que surjan nuevas especies? La cual busca estimular la curiosidad para permanecer en la instalación y leer la cédula informativa que —entre otros aspectos— toca el tema de la especiación, la cual es un fenómeno **normal** que ocurre en poblaciones aisladas y que provoca que los individuos de una población diverjan con la posibilidad de formar especies nuevas en el tiempo (Fig. 10.7). En la cédula de la exhibición se explicarían los mecanismos de aislamiento.*

En biología, la especiación es el proceso mediante el cual una población de una determinada especie da lugar a otra u otras poblaciones, aisladas reproductivamente entre sí y con respecto a la población original. Esta especiación puede ocurrir por diversos motivos, ya sea por barreras geográficas que aíslan a una población (especiación alopátrica), por habitar en la periferia o en los límites de distribución de una población de mayor tamaño (especiación peripátrica), por la especialización ecológica que provoca que una población sufra divergencia hasta conseguir independencia evolutiva (especiación simpátrica) o por la divergencia de una población debida a factores estocásticos (especiación parapátrica). En todos estos casos se producen dos especies a partir de una, por lo que el término se aplica a un proceso de división de clados (cladogénesis) más que el de evolución de una especie a otra (anagénesis) (ver glosario).

¿SE NECESITA DE ALGÚN TIPO DE MECANISMO EVOLUTIVO 'ESPECIAL' PARA QUE SURJAN NUEVAS ESPECIES?

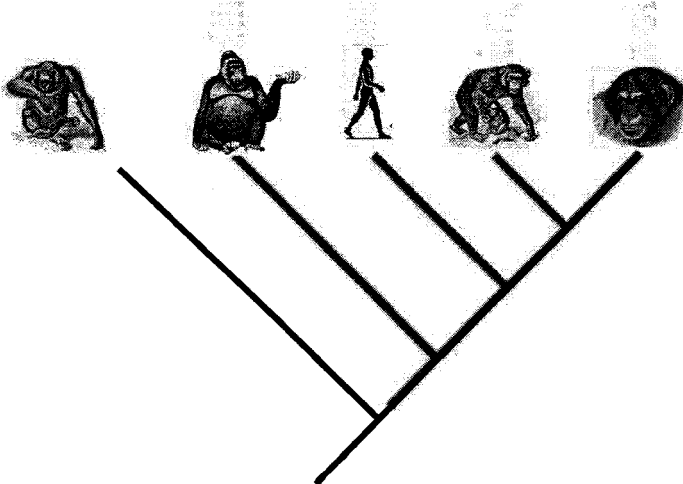


Figura 10.7 Filogenia de los primates (imagen de la autora)

Ahora bien, la instalación lo que persigue es que el visitante comprenda que una filogenia busca representar una historia evolutiva real de determinados linajes. Para ello se propone que las líneas del cladograma sean de un material inflable que puede comenzar a inflarse al presionar un botón localizado en la cédula informativa. Cuando las líneas comienzan a agrandarse el visitante puede apreciar que éstas se componen de poblaciones y de numerosas generaciones, es decir, muchos individuos. La imagen resultante será como la de la figura 10.8.

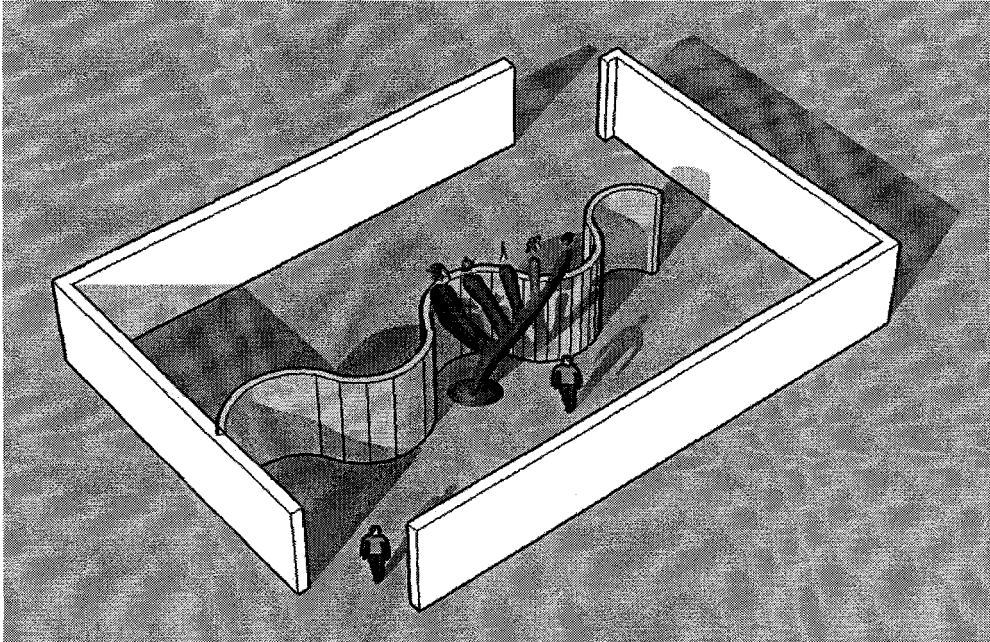


Figura 10.8 Filogenia inflada (imagen de la autora)

De esta manera el público comprenderá que cuando ve líneas en los cladogramas se trata en realidad de poblaciones formadas por numerosos individuos que persisten por cientos o miles de generaciones, y el resultado son líneas anchas y trenzadas que implican flujo de genes entre distintas poblaciones.

Justificación

El empleo nuevamente de la filogenia de la familia Hominidae está basado en la idea de seguir una línea conductora que guíe a la audiencia en los conceptos que se quieren comunicar mediante especies conocidas de animales que le son de interés.

Mediante esta propuesta se consigue lo siguiente:

1. Se comunica cómo se leen los árboles evolutivos.

2. Se advierte que la evolución por selección natural actúa sobre las poblaciones, no sobre los individuos.
3. Se comunica que se requiere del paso de muchas generaciones para el surgimiento de nuevas especies.
4. Se muestra que el motor de la especiación son los mecanismos de aislamiento que limitan el flujo de genes entre diferentes poblaciones.

Árbol No. 3

- ❖ **Comprender la representación espacial del tiempo y distinguir entre relaciones de parentesco y semejanza, así como conocer las características más probables que pudieron haber tenido los ancestros comunes y aquellas que presentan las especies actuales**

Para enfrentar estas dificultades se propone el empleo de la filogenia de los tetrápodos. Pero no una filogenia cualquiera, sino una que se vaya formando a la par de la aparición de las características que los distinguen. ¿Cómo lograrlo?

El visitante se encuentra frente a una gran pantalla en la que se lee 'Las grandes transformaciones', pronto comienza una proyección de la evolución de los tetrápodos indicando la cronología. Por ejemplo, "nuestra historia comienza hace 385 millones de años con un organismo que representa una forma intermedia entre los peces con aletas y los tetrápodos con extremidades y con aletas locomotoras". En ese momento al lado de la pantalla aparece un punto que marca 385 millones de años del cual surge una rama que culmina en Tiktaalik, con el símbolo que denota que se encuentra extinto. Posteriormente en la proyección se aprecia que evolucionan las cuatro extremidades y que hace 365 millones de años aparece Ichtyostega, por lo que en el árbol se marca la fecha y de ahí surge otra rama que culmina igualmente en este organismo. Las siguientes características que aparecen en la proyección son el viviparismo hace 160 millones de años, las plumas, la capacidad de volar, la homeotermia, y otros caracteres fundamentales (Figura 10.8). De esta manera el visitante puede asociar la aparición de características con la evolución de las especies, que las "formas intermedias" no son los ancestros, puede comprender la representación espacial del tiempo y el principio de relación de parentesco. Esto último porque al finalizar la proyección y cuando se tiene el árbol completo aparecen las siguientes preguntas: ¿un cocodrilo es más semejante a una lagartija o a un ave?, de acuerdo con el árbol ¿con qué organismo se relaciona más cercanamente el cocodrilo? Aunque la respuesta resulta contraintuitiva, mediante el árbol es sencillo ver que el cocodrilo se relaciona más de cerca con las aves aunque externamente se parece más a una lagartija. En este caso puede darse una interactividad mental estimulante.

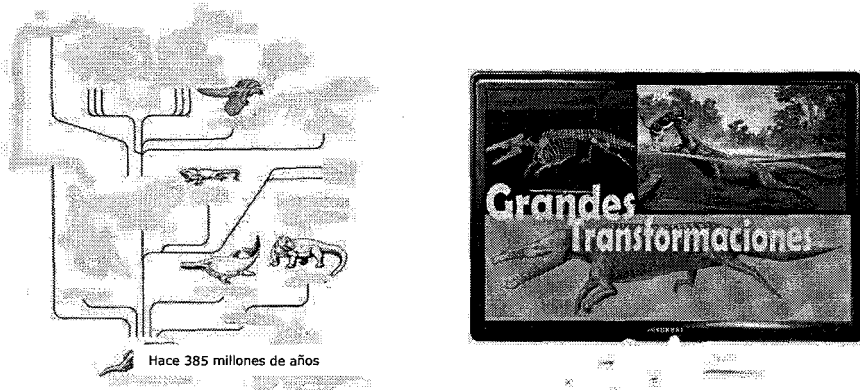


Figura 10.9 Mientras en una pantalla se observa la evolución de los tetrápodos, se va construyendo un árbol evolutivo de los diferentes grupos, en el cual se indica aproximadamente la cronología de los eventos, de forma que el visitante asocie la aparición de las características con el surgimiento de nuevas ramas en un determinado periodo geológico (imagen de la autora).

Finalmente, en la sala principal de la exhibición se propone el empleo de un árbol de la vida circular localizado en el centro y que abarque casi toda la altura de la sala (o si ésta es muy grande, de una altura que permita la fácil observación de las imágenes) (Fig. 10.10). Se trata de la adaptación de la filogenia publicada por Ciccarelli, *et al.* (2006), por ser el diagrama más ilustrativo y pedagógicamente útil que se tiene del árbol de la vida (Fig. 10.11). Además, con este diagrama, junto con la instalación que posteriormente se propone para las paredes, se pretende que el visitante decida quedarse a curiosear unos momentos y despertar su interés por distintos temas —evolución, paleontología— para que —con suerte— la próxima vez que se encuentre con un libro relacionado no tema abrirlo y quizá hasta adquirirlo. Porque un museo en definitiva puede propiciar o catalizar cambios sociales, psicológicos y culturales.



Figura 10.10. Adaptación de la filogenia circular de Ciccarelli *et al.*(2006) en la cual el visitante se puede percatar de la inmensa biodiversidad de nuestro planeta (aunque este árbol representa muy pocas de las especies identificadas de nuestro planeta) y de que el ser humano representa una más de las ramitas terminales, lo que evita el prejuicio de asumir que el ser humano es mejor o más evolucionado (imagen de la autora).

Este diagrama se divide en tres grandes colecciones de organismos: bacterias, arqueobacterias y eucariotas que incluyen plantas, animales y hongos, entre otros. Para ubicar al ser humano por ser de gran interés para la audiencia, una línea de color distintivo seguirá su trayectoria evolutiva. Asimismo, algunas imágenes se colocarán al lado de los nombres de los grupos para facilitar la identificación de distintos organismos, la elección de dichos organismos está basada en la familiaridad para la audiencia como por ejemplo el arroz, el gallo, el ratón, la ameba y aquellas bacterias causantes de enfermedades (salmonela, *Vibrio cholerae*, enterococos) o importantes para la economía (lactobacilos). Además, por ser circular, el diagrama se puede rotar para evitar aún más la noción de progreso en caso de que el hombre se encontrara en la parte superior.

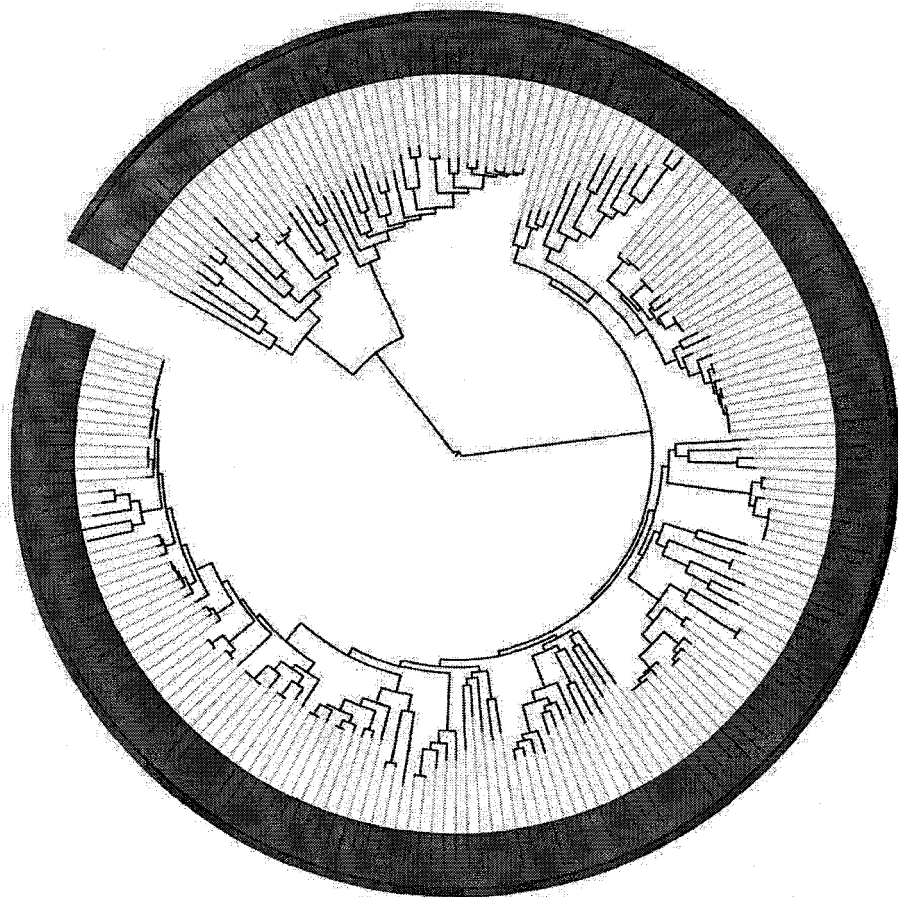


Figura 10.11. Filogenia circular de los seres vivos, en la cual se representan las relaciones evolutivas de 191 especies (en la actualidad se han descrito y nominado cerca de 1.7 millones de especies y se estima que pueden existir en nuestro planeta entre 10 y 100 millones). Este árbol se realizó mediante técnicas moleculares (tomada de Ceccareli, 2006).

Debido a que esta filogenia circular no considera el aspecto temporal de la evolución, la instalación se complementa con la reproducción de la historia evolutiva de algunos de los principales linajes en las paredes. En esta reproducción el visitante puede encontrar varios componentes de la historia evolutiva de los organismos que le ayudarán a integrar diferentes conceptos tales como: cronología (aparición y desaparición de las especies), enriquecimiento, diversificación, y otros componentes de la historia evolutiva (Fig. 10.12).

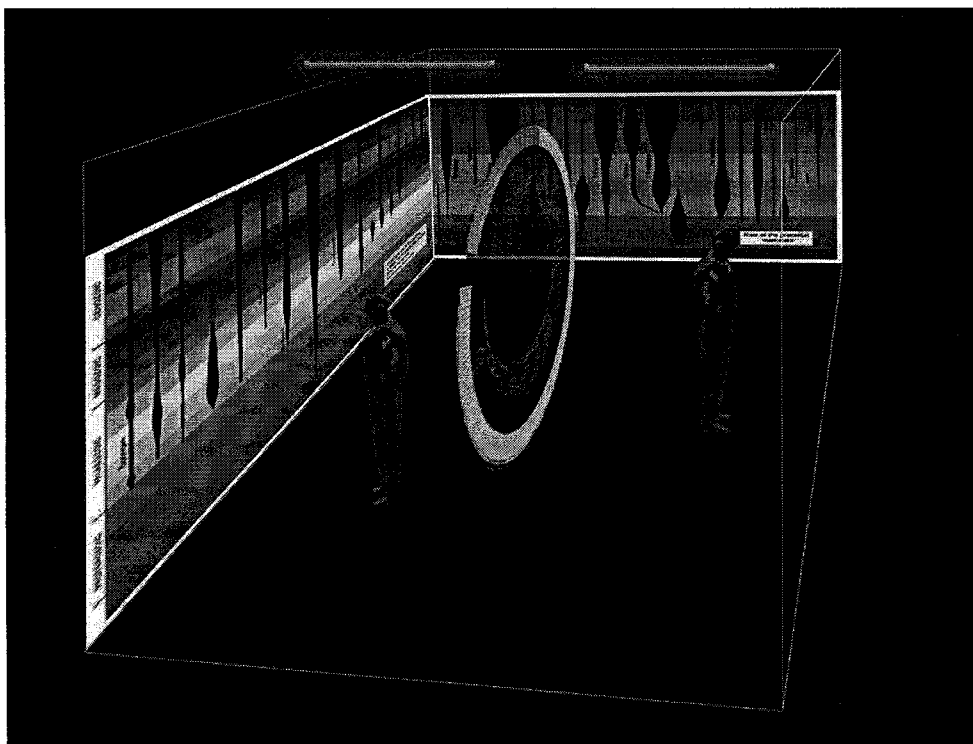


Figura 10.12. Vista general de la sala principal en la cual se encuentra la historia evolutiva de diversos organismos, plasmada en las paredes para que el visitante adquiera una idea de la cronología y comprenda que la evolución no es un proceso de diversificación constante, sino que han habido grandes extinciones y empobrecimiento de linajes (imagen de la autora).

Para la Museología Total, no hay nada mejor que los objetos reales o réplicas conversen con la audiencia para despertar interés. Es por ello que en cada una de las representaciones de los linajes el visitante puede apreciar de quién se trata: mamíferos, aves, reptiles, plantas, hongos, cnidarios, y otros. Para aquellos linajes extintos se puede hacer uso de la tafonomía, o el empleo de fósiles para contar historias. De esta forma el fenómeno y el objeto conversan y se abre una espléndida posibilidad para que el visitante se sorprenda con una copia exacta de un amonite que dominó los mares desde el Devónico hasta el Cretácico y pereció hace unos 65 millones de años. La interactividad mental entonces es intensa porque la audiencia se percata que el linaje de los elefantes, de los pinos y de las ballenas era más rico en el pasado, que el de las serpientes se ha incrementado considerablemente al igual que el de las angiospermas y que numerosos organismos se hallan hoy extintos.

Esta instalación también es un homenaje a cómo se construye la ciencia. Se hace uso de textos para incitar a que el visitante converse y reflexione sobre las piezas. Por ejemplo, la pregunta ¿Cómo saben los científicos que existían más especies de pinos en el pasado que en el presente? Abre la posibilidad de llevar a pensar que no puede haber testigos de las historias de los organismos que perecieron en el pasado, pero que quedan muchas pruebas materiales —cientos de fósiles— que les permiten a los paleontólogos reconstruirlas. ¿A qué se deben ciertas extinciones?, ¿por qué algunos grupos han sido más exitosos que otros?, ¿por qué grupos que

alguna vez fueron tan diversos ahora están representados por pocas especies? Solo son algunas de las preguntas que pueden surgir dentro de la conversación del visitante con los objetos mostrados en la instalación.

Justificación

Reitero que el principal objetivo de este proyecto de investigación es el de proponer un árbol evolutivo para un museo de historia natural que considere evitar los errores de interpretación más comunes de los visitantes. Uno de estos errores que impide una comprensión relativamente buena de la evolución es la de leer narrativas de progreso en las representaciones de la evolución, tanto en secuencias lineales como en árboles evolutivos. Para evitar lo anterior, se considera que una representación adecuada de la historia evolutiva de los organismos se logra mediante un diagrama circular, que no se presta a lecturas de progreso porque no hay ramas terminales localizadas ni a la derecha ni a la izquierda. Es decir que no existen organismos superiores o inferiores, ni más ni menos evolucionados. Mediante una perspectiva de este tipo se comunica que todas las especies actuales son igualmente modernas y con el trazo de una línea que culmina en el ser humano se evita la interpretación sesgada de que hay seres ‘ancestrales’ o más antiguos porque la longitud de su rama es mayor.

El árbol con forma de cono necesariamente refuerza la noción de la evolución como una marcha progresiva y cuyo resultado es una diversidad siempre creciente. Es por ello que el empleo de una imagen circular resulta conveniente en un museo de ciencia. Los árboles de este tipo tienen la ventaja conceptual de no favorecer ninguna rama sobre otra y además, permiten representar a aquellos linajes que se hallan hoy extintos.

Por otro lado, cada vez es más frecuente la aparición de filogenias circulares en revistas especializadas como *Nature* (Bininda *et al.*, 2007), pero también en medios de divulgación (Fig. 10.13). Es por ello que resulta interesante que los visitantes a los museos se encuentren con las ideas más novedosas de la ciencia.

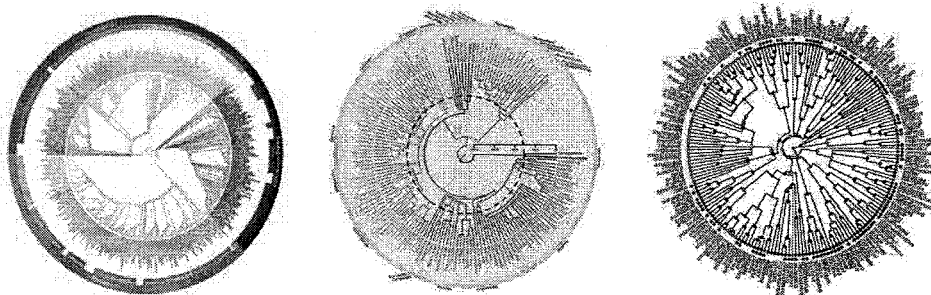


Figura 10.13. En los medios de difusión se emplean cada vez más las filogenias circulares. La figura de la izquierda representa la filogenia de los dinosaurios, la del centro la de los mamíferos y la derecha la de las lagartijas. Todas fueron reconstruidas mediante técnicas moleculares empleando secuencias de ADN (tomada de Bininda, 2007).

Cédulas informativas de mano y otras estrategias secundarias de información

Los estímulos que favorecen la creación de un conocimiento son los mismos que favorecen su transmisión (Wagensberg, 2006).

Antes quedó establecido que la función principal de un museo debe ser la creación de estímulos sin abusar de los contenidos. Sin embargo, algunos temas ameritan que el visitante

tenga al menos la opción de profundizar en ellos. Es por esto que se propone la presencia de cédulas de mano que el visitante puede leer (Fig. 10.14).



Figura 10.14. Cédulas informativas de mano (imagen de la autora).

Cédula informativa de mano I

Al considerar la idea anterior, vale la pena presentar un aspecto fundamental de las filogenias: su historia. Mostrar la historia del árbol evolutivo tiene el propósito de mostrar al visitante que la ciencia es una empresa dinámica y que la construcción del conocimiento es una actividad compleja que involucra factores sociales, culturales y tecno-científicos. En esta cédula resulta crucial la integración de imágenes y texto que lleven al público a un viaje a través de la problemática en cuanto a la clasificación de las especies que vivía la biología de los siglos XVI, XVII y XVIII. Una vez presentado este antecedente se podrá comprender la importancia que tuvo la contribución de Darwin al proponer un árbol evolutivo como ilustración del proceso de la evolución (Fig. 10.15).

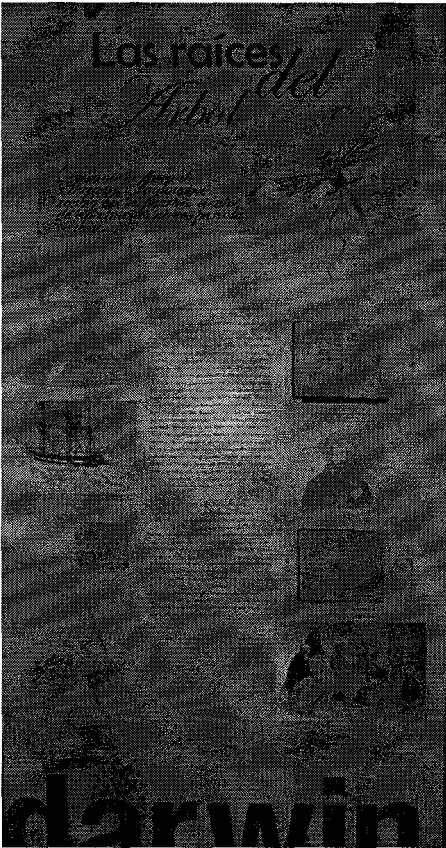


Figura 10.15 Cédula dedicada a la historia del árbol evolutivo, en la cual se plasma la problemática dentro de la práctica clasificatoria de los siglos XVI, XVII, XVIII para que se comprenda la importancia del árbol de Darwin. En ella se demuestra por qué el árbol es la imagen que representa mejor la historia evolutiva de los organismos, aunque ha habido otros conjuntos de imágenes que representan otros aspectos de relación (imagen de la autora).

Cédula informativa de mano II

La segunda cédula que el visitante encontrará está dedicada a la explicación de qué es una filogenia y a sus componentes principales: de esta manera se brindarán las habilidades necesarias para comprenderlas. Se propone que se presente la siguiente información:

- ❖ *Anatomía de una filogenia.* Se explican los componentes básicos de las filogenias tales como los nodos (terminales e internos), las ramas, la raíz, los grupos hermanos, el grupo externo. Las figuras que se recomiendan para esta sección son las siguientes⁵, las cuales pueden presentarse de manera interactiva en una pantalla o fijas en el panel:

⁵ Los textos son solo referencias al concepto que busca comunicar la figura. En una exhibición se puede aumentar los contenidos y hacerlos más accesibles e interesantes.

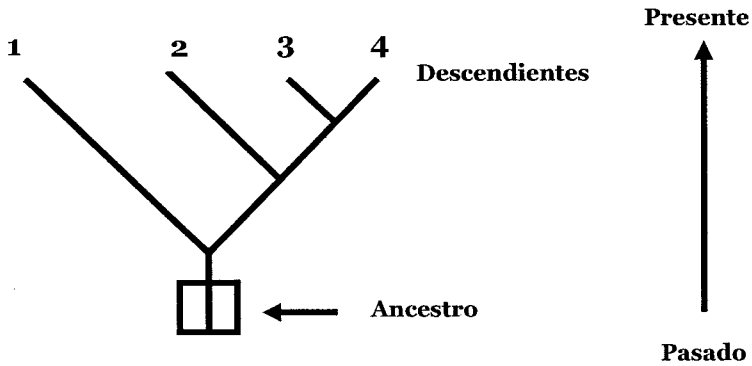


Figura 10.16 La raíz del árbol (que normalmente se coloca abajo, pero también puede estar arriba o a cualquiera de los lados) representa el linaje ancestral y las puntas de las ramas representan los descendientes de ese ancestro. Avanzar de la raíz a las puntas significa avanzar en el tiempo, la raíz es el pasado, mientras que las puntas son el presente. Con esta figura se busca que se conozca la importante convención de que en las filogenias, el pasado se representa en la raíz, la cual se coloca normalmente abajo, y el presente en las puntas (modificada de www.evolution.berkeley.com).

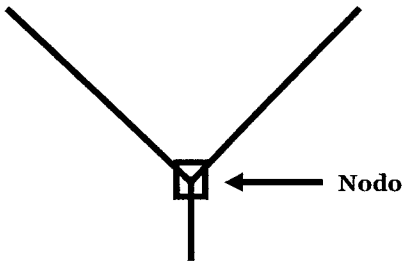
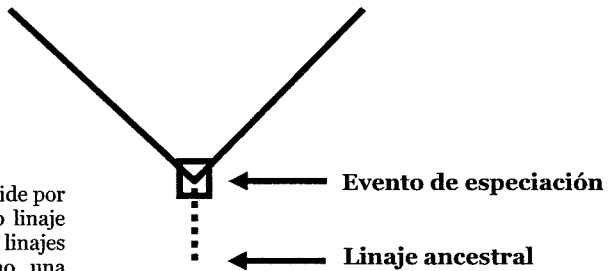


Figura 10.17 En la terminología cladista, el punto de bifurcación de las ramas se llama **nodo**, es decir, el punto de partida de una rama a partir de otra. Se asume que los nodos corresponden a entidades biológicas reales que existieron en el pasado (especies), aunque metodológicamente se consideran ancestros hipotéticos. Cada línea anterior al nodo por tanto, corresponde a un **ancestro común hipotético**. Los nodos corresponden a eventos de especiación(modificada de www.evolution.berkeley.com).

Figura 10.18 Cuando un linaje se divide por un evento de especiación (un único linaje ancestral da lugar a dos o más linajes descendientes) se representa como una ramificación o dicotomía (modificada de www.evolution.berkeley.com).



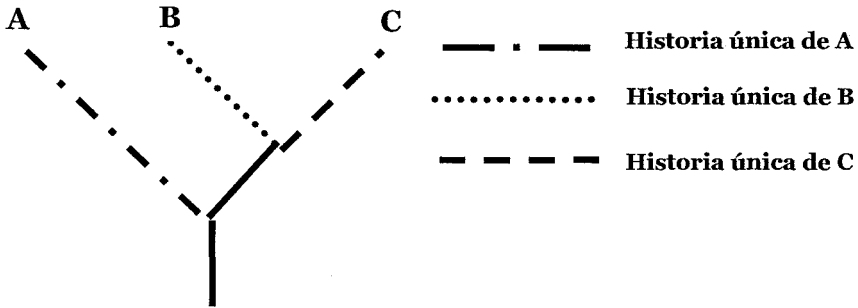


Figura 10.19 Cada linaje de una cladogenia tiene una parte de su historia que le es única. Las cladogenias permiten rastrear ancestros hipotéticos (modificada de www.evolution.berkeley.com).

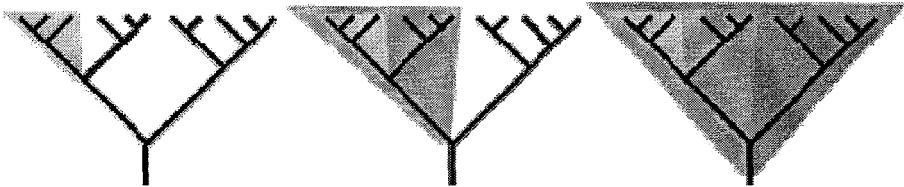


Figura 10.20 Un término importante para entender las filogenias es el de **clado**. Un clado es una agrupación que incluye un ancestro común y todos sus descendientes vivos o extintos. Gráficamente un clado incluye los organismos representados por la rama que lleva al nodo (ancestro hipotético) y todas las ramas que se derivan de ese nodo. Así, puede haber clados más inclusivos que otros, puesto que unos se anidan dentro de otros —todos los rangos de taxones, como especie, género, familia, orden, clase, etc., son clados— (modificada de www.evolution.berkeley.com).

Cédula informativa de mano III

Se propone la siguiente información para incluir en una tercera cédula informativa:

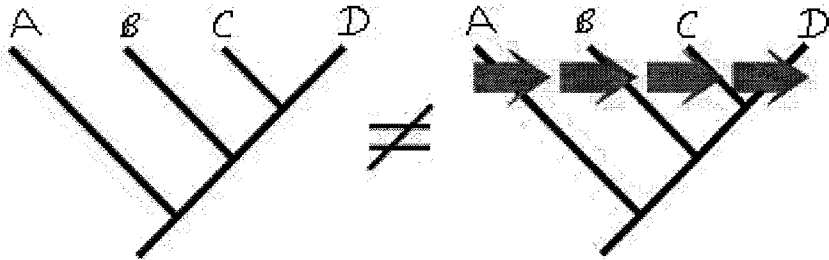


Figura 10.21 No porque tendamos a 'leer' las filogenias de izquierda a derecha debemos asumir que existe un 'avance' o 'mejoría' de los organismos. Todas las especies contemporáneas que se encuentran en las puntas de las ramas son igualmente modernas. (modificada de www.evolution.berkeley.com).

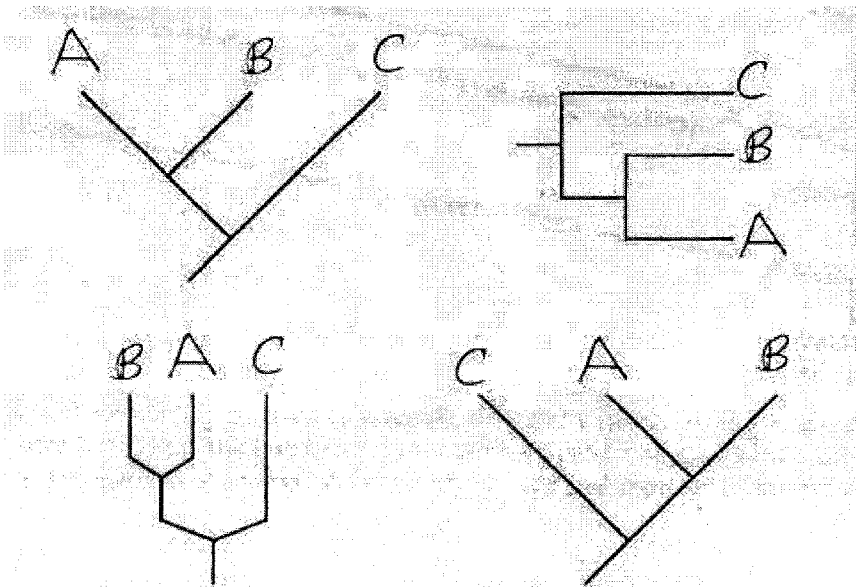


Figura 10.22 Para cualquier evento de especiación en una filogenia, la elección de cuál linaje va a la izquierda y cuál a la derecha es arbitraria. Normalmente se pone a la derecha el linaje de mayor interés, pero pueden haber varias opciones de diagramas que transmiten exactamente la misma información (modificada de www.evolution.berkeley.com).

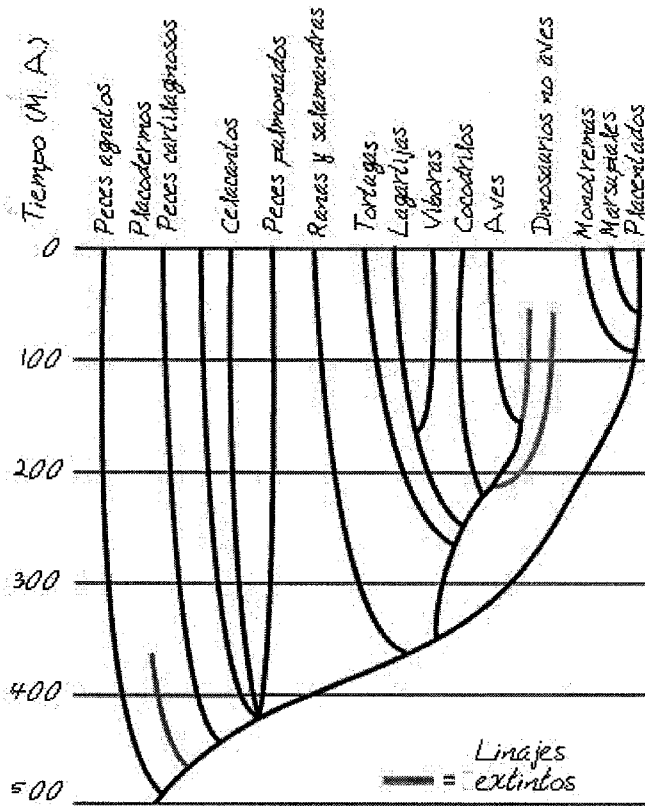


Figura 10.23 Lo que denota la lectura de abajo hacia arriba es tiempo, no 'grados de evolución'. En algunas filogenias el tiempo se representa dibujando la longitud de las ramas proporcionalmente a la escala de tiempo que ha pasado desde que se originó determinado linaje y se muestran las extinciones mediante ramas que han dejado de crecer, en las cuales la longitud se ha ajustado para mostrar hace cuánto tiempo pereció el linaje. También se emplea un signo de daga o cruz (†) junto al nombre del grupo o taxón para indicar que ese grupo está extinto o también con círculos abiertos (modificada de www.evolution.berkeley.com).

Cédula informativa de mano IV

- ❖ **Tipos de árboles.** Para evitar lecturas de relaciones de semejanza es importante presentarle a la audiencia que se pueden encontrar diferentes formas de árboles, diferentes orientaciones y distinta simetría. Hay árboles que se dibujan con líneas diagonales, otros mediante líneas horizontales o incluso con líneas curvas. Todas estas formas son válidas, aunque algunas pueden resultar más confusas que otras. Algo fundamental es establecer que lo más importante en un árbol es **el orden de la ramificación**. El orden de los taxones no es significativo. Diferentes árboles que representan la misma historia evolutiva pueden mostrar los distintos taxones en diferente orden, es decir que se pueden rotar partes del árbol sin modificar su información y sin la necesidad de cortar ramas.

Algunas de las figuras que se recomiendan para esta cédula son las siguientes:

¿Encuentras alguna diferencia?

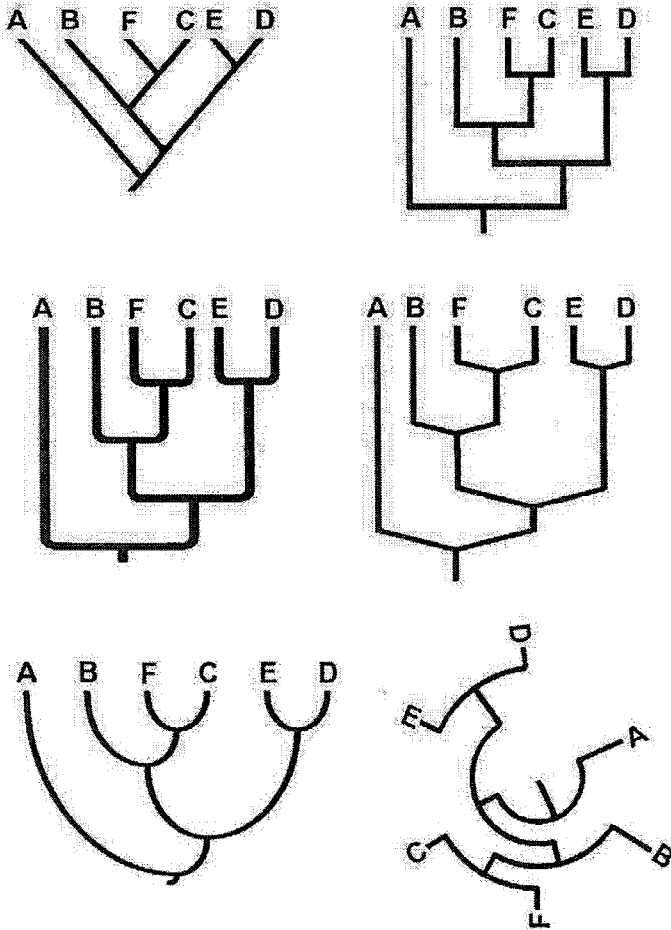


Figura 10.24 Se pueden encontrar diferentes formas y orientaciones de cladogramas, las cuales son representaciones alternativas de la misma hipótesis. De acuerdo con Baum (2008) la que resulta más problemática es la que emplea líneas diagonales (en la figura la que se encuentra arriba a la izquierda (tomada de Gregory, 2008)).

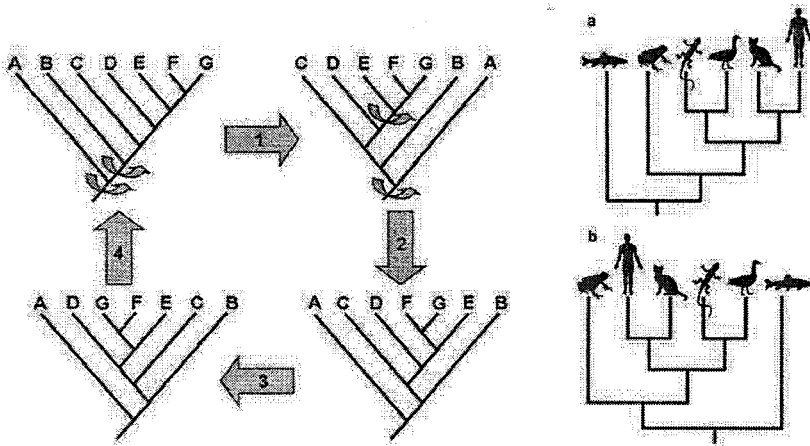


Figura 10.25 Estos cladogramas sirven para hacer hincapié en que lo importante es la topografía del árbol y no el orden de las ramas terminales. ¿Cuál de ellos facilita la comprensión del proceso evolutivo y evita mayor cantidad de errores de interpretación? El árbol 'b' de la derecha puesto que el ser humano se encuentra en medio evitando la idea de una progresión de las formas. Además evita el empleo de líneas diagonales para facilitar la ubicación de los ancestros. Por ello este tipo de árboles se recomiendan en exhibiciones de divulgación (Izquierda, tomada de Gregory, 2008, derecha, tomada de Baum, 2005).

Un aspecto importante para evitar interpretaciones erróneas en la lectura de árboles evolutivos es su simetría. Para evitar una lectura incorrecta, tal como la progresión de las formas de las menos a las más evolucionadas, la solución es rotar el orden de las ramas, puesto que mientras el orden de ramificación permanezca constante —la topología—, el orden de los taxones carece de significado.

Cédula informativa de mano V

- ❖ **Cómo NO leer un árbol evolutivo.** Mediante la siguiente figura (Fig. 10.28) presentada en una pantalla de tacto se pueden señalar algunas de las interpretaciones incorrectas más comunes para aclarar la lectura correcta.

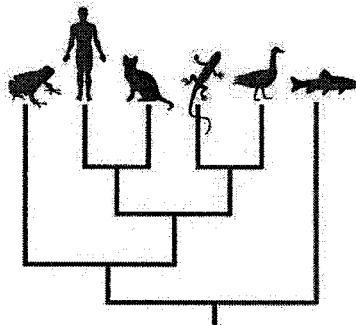


Figura 10.26 Los árboles evolutivos indican quién está más emparentado con quién (tomada de Baum, 2005).

Entre estas interpretaciones se pueden mencionar:

- La lectura a lo largo de las puntas de las ramas. Mucha gente intuitivamente interpreta que los árboles evolutivos indican que las relaciones evolutivas están dadas por quién está más cerca de quién. Esto ocurre porque se piensa que el orden de las ramas terminales tiene significado, sin considerar que lo que hay que observar son las ramificaciones que unen históricamente a las especies modernas entre sí. Para evitar esto se le pide al observador que identifique los clados (ancestros + todos sus descendientes) colocando el dedo encima de los nodos, a este contacto, la respuesta de la pantalla es la de marcar cada uno de los clados con su nombre específico y brindar algunas de las características que denotan a ese clado en particular. Por ejemplo, los humanos y los gatos junto con su ancestro común representan a los mamíferos los cuales se distinguen por la posesión de glándulas mamarias. Los linajes de los mamíferos y de los reptiles y las aves junto con su ancestro común representan otro clado, el de los amniotas, los cuales se caracterizan porque el embrión desarrolla tres envolturas o capas germinales. Si se suman las ranas (anfibios) junto con el ancestro común se obtiene el clado de los tetrápodos que se caracteriza por la posesión de cuatro extremidades.
- La noción de que las líneas más largas indican que el organismo apareció antes en el tiempo y por lo tanto que es más primitivo o que es el ancestro. En el caso de la figura 10.28 los peces serían los más antiguos, seguidos por los anfibios. También se puede interpretar que los peces son los ancestros de los demás linajes. Para evitar esto es fundamental reforzar el concepto de *grupo externo*. En cladismo, cuando se analiza un grupo de especies o taxones, un par de especies son hermanas si están más relacionadas entre sí que con cualquier otra especie involucrada en el análisis (Espinosa & Llorente, 1993). De esta forma un grupo externo es aquella especie que no esté inmediatamente relacionada con las dos especies hermanas. Una ilustración que puede resultar útil para explicar lo anterior y para enfatizar el error de interpretar que el grupo externo es 'primitivo' o 'ancestral' es emplear un grupo de organismos que se consideran 'menos evolucionados' que el ser humano y utilizar este último como grupo externo. Así se puede dejar clara la lectura correcta (Fig. 10.29).

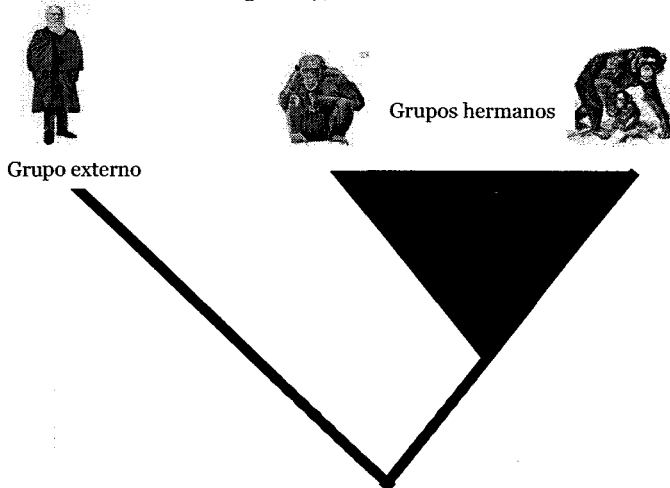


Figura 10.27 En un árbol evolutivo, el grupo externo se elige asumiendo que es anterior en el tiempo de los subgrupos a analizar el cual sirve como referencia para determinar las relaciones evolutivas entre los organismos estudiados (imagen de la autora).

- La lectura incorrecta de que las líneas largas implican que el linaje no ha cambiado o que no se ha diversificado. Una línea recta —como la que normalmente encontramos en los cladogramas para enraizarlos mediante un grupo externo— no significa que el linaje no ha sufrido cambios. Al retomar la figura 10.26, se puede enfatizar que el ser humano representa al grupo de los vertebrados, de los cuales [...] *Existen 50,000 historias diferentes, cada una con un final distinto y cada una con una narrativa particular* [...] (O'Hara, 1992).
- A pesar que todas las ramas terminales representan especies contemporáneas y que la longitud de las ramas en los cladogramas no indica tiempo, sino el orden histórico de ramificación entre los distintos linajes, el público no especialista tiende a interpretar que existe un progreso en la historia de la vida puesto que muchos árboles parecieran indicar que existe una rama principal y varias ramas subsidiarias. Normalmente esta 'rama principal' culmina en el hombre. Mediante la figura 10.28 se puede hacer notar que no existe nada parecido a una rama principal. Asimismo, para reforzar la noción de que todas las especies vivas somos igualmente modernas y que no existen organismos menos y más evolucionados —a pesar que algunos aspectos de su biología parezcan únicos e interesantes a ciertos observadores—, se puede presentar un audiovisual con características distintivas y extraordinarias de cada uno de los seres que se encuentran representados en el cladograma.

Pantalla de tacto II

❖ *¿Quién está más cercanamente relacionado con quién?*

Un error común es observar únicamente las puntas de las ramas puesto que se cae en la falsa inferencia de que las filogenias representan relaciones de semejanza entre los taxones representados o que una determinada especie está más relacionada con otra por estar más próxima. Es decir que la audiencia debe evitar distraerse con la forma del árbol o con la proximidad de las puntas de las ramas para evitar lecturas incorrectas. Para evitar esto se presenta en una pantalla de tacto (*touchscreen*) un cladograma escalonado de cinco especies denominadas A, B, C, D y E con los nodos en forma de círculo de un determinado color. Posteriormente aparece la pregunta ¿Cuál es el último ancestro común entre A y B? Si se toca el nodo correcto, este se pondrá de otro color y si se comete una equivocación, aparecerá la leyenda *inténtalo de nuevo*. Después aparecerá la pregunta ¿Cuál es el último ancestro común entre B y E? Después de los intentos por parte del público aparecerán flechas en las ramas que indiquen la dirección de la raíz hacia las puntas. Esto facilitará la comprensión de que B y E comparten un ancestro más reciente que con A, con lo cual B está más cercanamente relacionado con E que con A, aunque se encuentre más cerca de B si se observan únicamente las puntas del árbol. Las flechas apuntan del nodo 1 al nodo 2 por lo que se muestra que el nodo 2 es descendiente del nodo 1 por lo que parte de la historia evolutiva que comparten B y E no la comparten A y B.

Propuesta 2

La siguiente propuesta busca brindar la opción de presentar únicamente un árbol evolutivo si no se desea una exhibición completa. Debido a que las filogenias circulares son las más pertinentes para las audiencias no especialistas puesto que, entre otras cosas, evitan muchos de los errores de interpretación más persistentes, tales como la noción de progreso, las lecturas de semejanza entre las puntas de las ramas o que hay organismos "ancestrales" por localizarse a la izquierda en un árbol en forma de pino, entre otras,

se propone el empleo de la adaptación de la filogenia publicada por Ciccarelli, et al., (2006) en *Interactive Tree of Life* (<http://itol.embl.de/>), que se basa en aquella de Hillis, et al., (2003), anteriormente descrita, incluyendo la historia evolutiva de los organismos pintada en las paredes (Fig. 10.12).

Una posible variación es la de ilustrar los diferentes grupos de organismos que se encuentran representados en la filogenia, no como las ramas terminales, sino en la porción que les corresponde dentro del círculo, tal como en las figuras 10.28 y 10.29. De esta forma el visitante puede darse una idea de la sorprendente biodiversidad terrestre y de la proporción avasalladora de las bacterias y arqueas con respecto de los más conocidos “metazoarios”.



Figura 10.28. Árbol circular que muestra las relaciones evolutivas de 191 organismos, con el cual se comunica el hecho de que los organismos unicelulares son los más abundantes en nuestro planeta y que el ser humano es tan solo una rama terminal del, más bien reducido taxón de los mamíferos (imagen de la autora, adaptada de la filogenia de Ceccarelli, 2006).

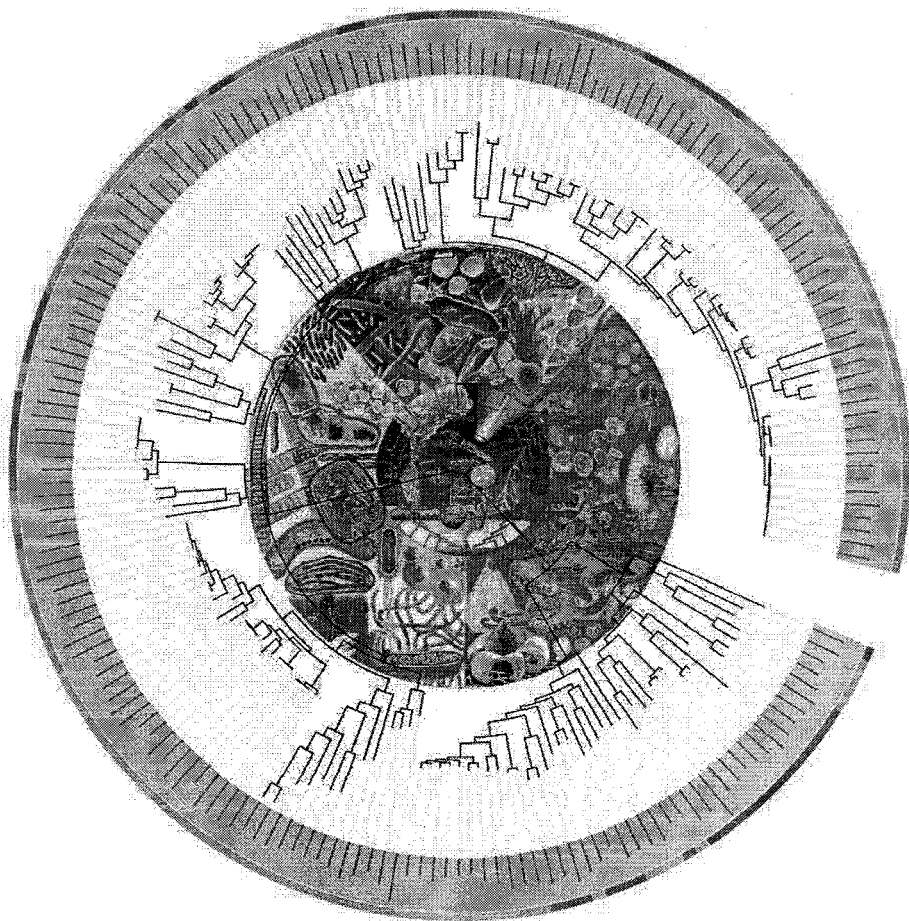


Figura 10.29 Versión diferente del árbol anterior.

Con estas propuestas se espera mostrar cuáles son las representaciones de árbol evolutivo más acertadas para su comunicación y con esto mejorar las exhibiciones sobre este tema en museos para así, contribuir con el enriquecimiento de la comunicación de la ciencia en nuestro país y al entendimiento de la teoría de la evolución (imagen de la autora, adaptada de la filogenia de Ceccarelli, 2006).

Bibliografía

- ABRAHAM, T. (2003) From theory to data: Representing neurons in the 1940's, *Biology and Philosophy*, 18:415-426.
- ALTERS, B. J. & NELSON, C. E. (2002) Teaching evolution in higher education, *International Journal of Organic Evolution*. No 10, Vol. 56, pp. 1891-1901.
- ANDERSON, M. (1997). "Introduction to Diagrammatic Reasoning". Retrieved 21 July 2008.
- ARESON, C. C. (2001) Evolution for John Doe: Pictures, the Public and the Scope's Trial Debate, *The Journal of American History*, Marzo:1275-1303.
- ARISTOTELES, *Colección de artes retóricas*. Gredos, Madrid. 1974.
- ASMA, S. (2001) *Stuffed Animals and Pickled Heads: the culture and evolution of Natural History Museums*. Oxford University Press, 302p.
- (2008) Trapped in Creation Museum. Evangelical curators challenge darwinism with what some might call unnatural selection. *Chicago Tribune*, Noviembre 21, 2008.
- AX, P. (1987) *The Phylogenetic System*. Wiley, Nueva York.
- BAIGRIE, B. (1996) Descartes's scientific illustrations and 'la grande maecanique de la nature', en *Picturing knowledge*. Brian Baigrie Ed. University of Toronto Press.
- BALL, G. (1994) Nociones actuales acerca de la sistemática y la clasificación de los insectos, en *Taxonomía Biológica*. Llorente & Luna (compiladores). UNAM, FCE, México.
- BALME, D. M. (1962). *Eikos and Logos in Aristotle's Biology*. *Classical Quart.* 56 (new Ser., vol. 12) 81:98.
- BACON, F. (1609) *De sapientia veterum*. Garland pub, Londres.
- BALDWIN, J. M. (1911) *The Individual and Society or Psychology and Sociology*. Boston: Richard G. Badger
- BALLAUDE, J. (1969) *Enseñanza audiovisual*. Ed. Universitaria, Chile.
- BANDIERA, M. & DI MACCO, V. (2000). "Through the windpipe and intestine down into the stomach...": Attitude and competence of prospective Primary School Teachers. *Proceedings of the III Conference of European Researchers in Didactic of Biology. September 27th- October 1st 2000 Santiago de Compostela (Spain)*, 27-40.
- BARAHONA, A. (2009) La vigencia de las ideas darwinistas en la educación básica, *La Crónica de Hoy*, Miércoles 28 de octubre de 2009.
- BARAHONA, A. R., & CACHON, V. (2005) The rhetorical dimension of Stephen Jay Gould's work en M. Ruse (Ed) *Oxford Handbook for the Philosophy of Science*, Oxford University Press.
- BARAHONA, A. & PIÑERO, D. (1994) *Genética, la continuidad de la vida*, La Ciencia Para Todos, Fondo de Cultura Económica, México.
- BARCELONA, A. (2003) *Metaphor and metonymy at the crossroads: a cognitive perspective*, Walter de Gruyter (Ed).
- BARSANTI, G. (1988) Le immagini della natura: scale, mappe, alberi 1700-1800. *Nuncius*, Firenze, 3 :55-125.
- BARTHES, R. (1972). *Mythologies* (A. Lavers, Trad.), Hill and Wang, Nueva York.
- BAUM, D. & Offner, S. (2005) The tree thinking challenge, *Science*, 11 Noviembre, vol 310 No5750:979-980.
- (2007) Concordance trees, concordance factors, and the exploration of reticulate genealogy. *Taxon* 56(2):417-426
- BAUM, D. & OFFNER, O. (2008) Phylogenies & tree thinking, *The American Biology Teacher*. Vol. 70 No. 4:222-229.
- BAZERMAN, Ch. (1988) *Shaping Written Knowledge: The Genre and Activity of the Experimental Article in Science*, Madison: University of Wisconsin Press.
- De BEER, G. (1964) *Atlas of Evolution*. Nelson, Londres.



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

- BELLO, S. (2004) Ideas previas y cambio conceptual, *Educación Química*, 15(3). Pp. 210-217.
- BERGES, T., et al., (1995): *Ciencias de la Naturaleza. Biología y Geología* 3. Anaya, Madrid.
- BERRY, M (1837) On the unity of structure in the animal kingdom, *Edimburgh New Philosophical Journal*, 22:116-141.
- BININDA E; CARDILLO, M; JONES, KE.; MacPHEE RDE; BECK, RMD, GRENYER, R; PRICE SA, VOS RA; GITTLEMAN, JL & PURVIS A. 2007. The delayed rise of present-day mammals. *Nature* 446: 507-511. doi: 10.1038/nature05634.
- BISHOP, B. A. & ANDERSON, C. W. (1986) Evolution by natural selection: A teaching module. Disponible en ERIC (Educational Resources Information Center). ED 272-383.
- (1990) Students conceptions of natural selection and its role in evolution. *Journal of Research I Science Teaching*, 27:415-427.
- BLACK, M. (1962) Models and Archetypes, en M. Black (ed.), *Models and Metaphor*, Ithaca, Cornell University Press.
- (1966) The Raison d'être of Inductive Argument. *British Journal for the Philosophy of Science* 17 (3):177-204.
- (1993) More about metaphor, en *Metaphor and Thought*, Andrew Ortony (Ed), Cambridge University Press.
- BONNET, CH. (1779) *Oeuvres d'histoire naturelle et de philosophie de Charles Bonnet*, reimpresso por Samuel Fauche, Neuchatel, Editorial Adamant Media Corporation, 7472p.
- BORUN, M & CHAMBERS, M. (1989) Front-end evaluation: Earth sciences. Academy of Natural Sciences, Filadelfia, PA.
- BOULDING, K. E. (1966) The Role of the Museum in the Propagation of Developed Images. *Society for the History of Technology*. Vol 7. No 1:64-66.
- BOUQUET, M. (1994) Family trees and their affinities: the visual imperative of the genealogical diagram. *J. Roy. Anthropol. Inst.* 2:43-66.
- BOWLER, P. (1983) *Evolution, the history of an idea*. University of California Press.
- (1996) *Charles Darwin: the man and his influence*, Cambridge University Press.
- (1998) *Life's splendid drama*, University of Chicago Press.
- BOYD, R (1993) Metaphors and Theory change: What is "metaphor" a metaphor for? en *Metaphor and Thought*, Andrew Ortony (Ed), Cambridge University Press.
- BRANDT, CH. (2005) Genetic code, text, and scripture : metaphors and narration in German molecular biology. *Science in Context* 18:4.
- BRANSFORD, J. D.; BROWN, A.L. & COCKING, R. R. (1999) *How People Learn: Brain, Mind, Experience and School*. Washington, DC: National Academy Press.
- BREDEKAMP, H. (2005) *Darwins Korallen: Frühe Evolutionsmodelle und die Tradition der Naturgeschichte*, Klaus Wagenbach Verlag: Berlín.
- BROWN, J, R. (1996) Illustration and inference, en *Picturing knowledge*. Brian Baigrie Ed. University of Toronto Press.
- BROWNE, J. (2001) Darwin in caricature, *Proceedings of the Americal Philosophical Society*, Vol. 145. No. 4.
- BRUMBY, M. (1984): Misconceptions about the concept of natural selection by medical biology students en *Science Education*, vol. 68, n. 4, pp. 493-503.
- BUCCHI, M. (1998) *Science and the Media*, Routledge, Londres-Nueva York, pp. 1-34.
- BUFFON, C. de. (1755) *Histoire generale et particuliere*, vol 5. París.
- BURKHARDT, F., & SMITH S. (2000) *The correspondence of Charles Darwin, 1864*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- BURNISTON, G. (1954) *La Ciencia*. Ediciones destino, Barcelona.
- BUSTAMANTE, J. (1995) en Irenzo et al. *Sociología de la ciencia y la tecnología*. CSIC, Madrid.

- BYBEE, (1992) *Evolution in perspective: The science teacher's compendium*. Arlington, VA: National Science Teachers Association (NSTA) Press.
- CALLON, M. (1980) "Luchas y negociaciones para definir qué es problemático y qué no lo es: Lo socio-lógico de la traducción." ("Struggles and Negotiations to Define What is Problematic and What is Not: The Socio-logic of Translation.") Pp. 197-221 en "El proceso social de investigación científica". (*The Social Process of Scientific Investigation*), editado por Karin D. Knorr. Dordrecht: Reidel Publishing.
- CAMERON, L. (2002) Metaphors in the learning of science: a discourse focus, *British Educational Research Journal*, Vol. 28, No 5.
- CAMPBELL, J. A. (1990) *Scientific Discovery and Rhetorical Invention: The Path to Darwin's Origin*, en *The Rhetorical Turn*, The University of Chicago Press, Chicago.
- CARRIÓN, F. et al., (1996): *Ciencias de la Naturaleza 1*. Madrid. Anaya.
- CECCARELLI, L. (2001) *Shaping Science with Rhetoric: The Cases of Dobzhansky, Schrödinger and Wilson*. The University of Chicago Press, Chicago.
- CHAMBERS, R. (1844) *Vestiges of the Natural History of Creation*. Londres: John Churchill.
- CHRISTIDOU, V; DIMOPOULOS, K & KOULALIDIS, V. (2004) Constructing social representations of science and technology: the role of metaphors in the press and the popular scientific magazines, *Public Understanding of Science*, 13: 347-362.
- CICCARELLI, F. D; DOERKS, T; von MERING, C; CREEVEY, C. J; SNEL, B & BORK, P. (2006) Toward automatic reconstruction of a highly resolved tree of life, *Science*. 3:311(5765):1283-7.
- CIOLFI, J & BANNON, L. (2002) *Designing Interactive Museum Exhibits: Enhancing visitor curiosity through augmented artefacts*. Proceedings of ECCE11, European Conference on Cognitive Ergonomics, Catania, Italia.
- CLARIDGE, M., DAWAH, H., & WILSON, R, (Eds.), (1997) *Species: The Units of Biodiversity*, London: Chapman and Hall.
- COCKBURN (2003) *The space between us: negotiating gender and national identities in conflict*, Zed Books.
- COLBERT, E. H. (1980) *Evolution of the vertebrates: a history of the backboneed animals through time*. 3rd Edition, Nueva York: John Wiley & Sons.
- COLEMAN, W. (1964) *Georges Cuvier Zoologist: A study in the History of Evolution Theory*. Harvard University Press.
- CONSTABLE, H; CAMPBELL, B. & BROWN R. (1988) Sectional drawings from science textbooks: an experimental investigation into pupil's understanding. *Br. J. Educ. Psychol.*, 58:89-102.
- COOK, R. (1995) *El árbol de la vida*, Madrid, Ed. Debate.
- CRACRAFT, J. (1983) Cladistic Analysis and Vicariance Biogeography, *American Scientist*. 71:273-281.
- CRACRAFT, J., & DONOGHUE (2000) National Science Foundation. *Assembling the Tree of Life: Research Needs in Phylogenetics and Phyloinformatics*. Report of workshop, Yale University.
- CRACRAFT, J., & DONOGHUE, (Eds) (2004) *Assembling the Tree of Life*, Oxford University Press, Nueva York.
- CRISP, M. & COOK, L. (2005) Do early branching lineages signify ancestral traits? *Trends in ecology and evolution*, Vol. 20, No. 3:122-128.
- DAGHER, Z.R. (1994) Does the use of analogies contribute to conceptual change? *Sci. Ed.* 78(6):601-614.
- DAGHER, Z.R. (1995) Analysis of analogies used by science teachers, *J. Res. Sci. Teach.* 32(3):259-312.

- DARNELL, J.E.; LODISH, H & BALTIMORE, D. (1986) *Molecular Cell Biology*. Publisher: W.H. Freeman & Company.
- DARWIN, CH. (1837) *Notebook B*, Cambridge University Library.
- (1859) *On the Origin of Species by Means of Natural Selection, or the Preservation of Favoured Races in the Struggle for Life*. John Murray Pub, Londres.
- (1957) *El Origen de las Especies por medio de la Selección Natural*, Grijalbo, México D.F.
- (1987) *The correspondence of Charles Darwin*. Vol 3. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- DA VINCI, L. (2004) *Leonardos `s Anatomical Drawings*, Dover Publications.
- DAWKINS, R. (2004) *The Ancestor's Tale*, Weidenfeld and Nicolson, Londres.
- DAYRAT, B. (2003) The Roots of Phylogeny: How did Haeckel build his Trees? *Syst. Biol.* 52(4):515-527.
- De BEER, G. (1964) *Atlas of Evolution*, Thomas Nelson and Sons, Londres.
- De BUSTOS, E. (2000) *Metáfora: ensayos interdisciplinarios*, FCE, México.
- (2004) *Lenguaje, comunicación y cognición: Temas Básicos*, Madrid: UNED.
- DE QUEIROZ, K. (1992) Review of *Principles of systematic zoology*, 2nd edition, by E. Mayr & P. D. Ashlock. *Syst. Biol.* 41:264-266.
- DIAMOND J. & SCOTCHMOOR, J. (2006) Exhibiting Evolution, *Museums and Social Issues*, Vol. 1, No. 1.
- DIAS, N. (1997) Investigaciones empíricas en el ámbito de la inteligencia emocional, *Ansiedad y estrés*, 5(2-3), 247-260.
- DIAZ, J. L. (2005) Modelo científico: conceptos y usos, en *El modelo en la ciencia y la cultura*. Siglo veintiuno editores, México, pp11-28.
- DOBZHANSKY, T. (1964) *Biology, Molecular and Organismic*, American Zoologist, volume 4, pp 443-452.
- DODICK, J., & ORION, N. (2003). Cognitive factors affecting student understanding of geologic time. *The Journal of Research in Science Teaching*, 40, 415-442.
- (2003). Measuring student understanding of geological time. *Science Education*, 87, 708-731.
- DONOVAN, S & WILCOX, L. (2004) *Tree figures in texts: A framework for unpacking their educational potential*. Poster presented at the Society for the Study of Evolution Meeting Ft. Collins, CO. June 26-30, 2004. <http://www.lrdc.pitt.edu/donovan/products.html>
- DOOLITTLE, W.F. (2003) Measuring student understanding of gologic time. *Science Education*, 87:708-731
- (2000) Uprooting the Tree of Life, *Scientific American* 282(2):90-95.
- Phylogenetic Classification and the Universal Tree. *Science*, 284, 2124-2128.
- DOYLE, J. A. & DONOGHUE, M. J. (1993) Phylogenies and angiosperm diversification, *Paleobiol.* 19:141-167.
- DREISTADT, R. (1968) An analysis of the use of analogies and metaphors in science, *Journal of psychology*, 68, pp. 97-116.
- DUIT, R. (1991) On the role of analogies and metaphors in learning science. *Sci. Ed.* 75(6):649-672.
- DYSON, A.; CLARK, C.; MILLWARD, A. & ROBSON, S. (1995) Theories of inclusion, theories of schools: deconstructing and reconstructing the "inclusive school", *British Educational Research*, Vol. 25, No. 2:157-177.
- ECO, H. (1972) *Semiología de los mensajes visuales*. En: Varios análisis de las imágenes, Tiempo contemporáneo, Buenos Aires.
- (1984) *Semiótica y filosofía del lenguaje*, Ed. Lumen, Barcelona, 355pp.

ELDREDGE, N. (2004) *Darwin, discovering the tree of life*. W. W. Norton & Company, Inc, Nueva York, NY.

— (2005) *Darwin's Other Books: "Red" and "Transmutation" Notebooks, "Sketch," "Essay," and Natural Selection*. PLoS Biol 3(11): e382.

ENDRESS, P. K. (1999) Symmetry in Flowers: Diversity and Evolution, *Int. J Plant Sci.* 160(S6):S3–S23. 1999.

— (2001) The Flowers in Extant Basal Angiosperms and Inferences on Ancestral Flowers, *Int. J Plant Sci.* 162(5):1111–1140.

ERESHEFSKY, M., 2001, *The Poverty of the Linnaean Hierarchy: A Philosophical Study of Biological Taxonomy*, Cambridge: Cambridge University Press.

ESCOVEDO, S., AYRES, A. C. & REZNIK, T. (2000). Models of the human circulatory system in science textbooks: building a framework for representation analysis. *Proceedings of the III Conference of European Researchers in Didactic of Biology. September 27th - Octubre 1 2000 Santiago de Compostela (España)*, 217-228.

ESPINOSA, D. & LLORENTE, J. (1993) *Fundamentos de Biogeografías Filogenéticas*, Museo de Zoología, Facultad de Ciencias, UNAM/CONABIO, México.

EVANS, E. M. (2001) Cognitive and contextual factors in the emergence of diverse belief systems: Creation versus evolution. *Cognitive Psychology*, 42:217-266.

— (2005) Teaching and learning about evolution. En *Virus and the whale: Exploring evolution in creatures small and large*, J. Diamond (Ed). Arlington: National Science Teachers Association (NSTA) Press.

FAEGRI, K. 1935. The species problem, *Nature*, 14:934-935.

FALCONER, H. (1868) *Paleontological Memoirs and Notes* (C. Murchinson, ed) 2 volúmenes. Londres: Robert Hardwicke.

FALK, J.H. & DIERKING, L.D. (1995) *The museum experience*, Washington d.C.: Whalesback.

FEHER, E. (1990) Interactive museum exhibits as tools for learning: explorations with light, en *Int. J. Sci. Educ. Vol 12, no 1:35-49*.

FEYERABEND, P. (1983) Problems of empiricism, en *Beyond the edge of certainty. Essays in contemporary science and philosophy*. Colodny University Press of America.

FEYNMAN, R. P. & LEIGHTON, R. L. (1985) *Surely you 're joking Mr Feynman* W.W. Norton, Nueva York.

FLANNERY, M. (1998) Trees at the center, *Bioscene*, 24(3), pp 11-18.

FLECK, L. (1979) *Genesis and development of a scientific fact*. The University of Chicago Press, Chicago.

FLUDD, R. (1617) *Utriusque Cosmi Maioris scilicet et Minoris Metaphysica, Physica at que Technica Historia*. 1617/1629. Microcosmi Historia. 1619. 181

FORBES, W. A. (1882) Report on the anatomy of the petrels (Tubinares), collected during the voyage of H.M.S. Challenger. *Zoology of the Changeller expedition*, 11.

FOREY, P. & JANVIER, P. (1995) Evolution of the early vertebrates, *American Scientist*. 82:554-565.

FOUCAULT, M. (1977) *Discipline and Punish: The Birth of the Prison* (A. Sheridan, trad.), Allen Lane, Londres.

— (1979) *The History of Sexuality, Volume 1: An Introduction*, (R. Hurley, trad.) Allen Lane, Londres.

FRANKLIN, R. & GOSLING, R.G. (1953) Evidence for 2-Chain Helix in Crystalline Structure of Sodium Deoxyribonucleate, *Nature* 172, 156-157 (1953)

FRASER, B (1993) *The interpretation of novel metaphors*, en *Metaphor and Thought*, Andrew Ortony (Ed), Cambridge University Press.

- FRIEDMAN, A. (2005) Measuring the Immeasurable: Museums and Educational Accountability, en *Dimensions, Bimonthly News Journal of the Association of Science-Techncology Centers*, p15.
- FUCHS, L. (1542) *De historia stirpium (commentariorum tomi vivae imagines)*. Basel: Isingrin.
- GALISON, P. (1997) *Image and Logic: A Material Culture of Microphysics*, Chicago University Press.
- GANDARA, M. GIL, M. J. (2002) El aprendizaje de la adaptación, *Alambique Didáctica de las Ciencias Experimentales*, no.32.
- GAONKAR, D. (1997) The Idea of Rhetoric in the Rhetoric of Science, en A. Gross & W. M. Keith (Eds), *Rhetorical hermeneutics: Invention and interpretation in the age of science* (pp 25-85). Albany, NY: State University Press.
- GAYON, J. (2009) The Tree of Life Reconsidered, *Lamarck-Darwin 1809-2009. Two hundred years of evolutionism*. International Symposium, Xalapa, México, Oct. 2009.
- GENTNER, D. & GENTNER, D.G. (1983) Flowing waters or teeming crowds: mental models of electricity, en: D. G. GENTNER & A. L. STEVENS (Eds) *Mental models*. Hillsdale, NJ, Erlbaum.
- GIUSTI, E. (1994) Visitors evaluate evolution hall. *Exhibitionist*. 13(2):15-19.
- GLAUBRECHT, M; KINITZ, A. & MOLDRZYK, U. (2008) *Evolution in Action*, Museum für Naturkunde, Prestel, Berlín.
- GOLDSMITH, E. (1984). *Research into illustration: an approach and a review*. Cambridge: Cambridge University Press.
- GOMBRICH, E. H. (1974) *Art and illusion: a study in the psychology of pictorial representation*. 3ed. Phaidon Press, Londres.
- GOODMAN, N. 1976, *Languages of Art: An Approach to a Theory of Symbols*, 2nd edition, Indianapolis: Hackett Publishing Company.
- GORR, T. & KLEINSCHMIDT, T. (1993) Evolutionary Relationships of the Coelacanth, *American Scientist*. 81:72-82.
- GOULD, S. J & LEWONTIN, R. (1982). L'adaptation biologique. *La Recherche*, 13 (139), 1494-1502.
- GOULD, S. J. (1980) *El pulgar del panda*. Editorial Crítica, Barcelona.
- (1985) Not Necessarily a Wing, reimpresso en GOULD, S.J.. (1991): *Bully for Brontosaurus: Reflections on Natural History*, Nueva York.
- (1986) Evolution and the Triumph of Homology, *American Scientist*. 74:60-69.
- (1989) *La vida maravillosa*. Biblioteca de Bolsillo, primera edición 1989. (1994) "Cabinet museums revisited: jam-packed Victorian displays still contain up-to-date messages" *Natural History* 16.
- (1994) "Cabinet museums revisited: jam-packed Victorian displays still contain up-to-date messages" *Natural History* 16.
- (1997) Redrafting the Tree of Life. *Proceedings of the American Philosophical Society*, Vol. 141, No. 1 (Mar., 1997), pp. 30-54.
- (2000) *Las piedras falaces de Marrakech*, Editorial Crítica, Barcelona.
- (2002) *Acabo de llegar, el final de un principio en historia natural*. Editorial Crítica, Barcelona.
- (2004) *La estructura de la teoría de la evolución*, Editorial Crítica, Barcelona.
- GOULD, J. (1889) *John Gould the Bird Man, Correspondence, Volume 2, 1839 through 1841 : With a Chronology of His Life and Works*. Martino Fine Books & Publishing, Londres.
- GRAU, R. (1993) Revisión de concepciones en el área de la evolución en *Enseñanza de las Ciencias*, vol. 11,n. 1, pp. 87-89.

- (2002) Enseñar y aprender evolución: una apasionante carrera de obstáculos, en *Alambique; didáctica de las ciencias experimentales*, No. 32:56-64.
- GRAU & DE MANUEL (2002). Enseñar evolución: una apasionante carrera de obstáculos. *Alambique Didáctica de las Ciencias Experimentales*. 32:56-64.
- GRAY, J. & SHEAR, W. (1995) Early Life on Land, *American Scientist*. 80:444-456.
- GREGORY, R. (2008) Understanding evolutionary trees, *Evo Edu Outreach* 1:121-137.
- GROSS, A. G. (1990) *The Rhetoric of Science*, Cambridge: Harvard University Press.
- GROSS, P. R. & LEVITT, N. (1998) *Higher superstition: the academic left and its quarrels with science* Baltimore, MD: Johns Hopkins University Press.
- GRUBER, H. (1978) Darwin's "Tree of Nature" and Other Images of Wide Scope, en Judith Wechsler (Ed) *On Aesthetics in Science*. Pp 121-140. Cambridge, Massachusetts, MIT Press.
- GRUENBERG, B. (1929) *The story of evolution: Facts and theories on the development of life*, Garden City, Nueva York.
- GUEVARA, C. (2004) *La alfabetización científica: una aproximación a la representación de la biología en los medios*. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias, UNAM, México.
- GUTHRIE, W. K. C. (1981) *Historia de la filosofía griega*, Vol. IV, Introducción a la Filosofía de Aristóteles, traducción española, Gredos, Madrid.
- GUTIERREZ, R. (1984) *Piaget y el currículum de ciencias*, Ed. Nancea, Madrid.
- HACKETT, S.J., KIMBALL, R.T., REDDY, S., BOWIE, R.C., BRAUN, E.L., BRAUN, M.J., CHOJNOWSKI, J.L., COX, W.A., HAN, K., HARSHMAN, J., HUDDLESTON, C.J., MARKS, B.D., MIGILIA, K.J., MOORE, W.S., SHELDON, F.H., STEADMAN, D.W., WITT, C.C., YURI, T. (2008). A Phylogenomic Study of Birds Reveals Their Evolutionary History. *Science*, 320(5884), 1763-1768.
- HAECKEL, E. (1866) *Generelle Morphologie der Organismen : allgemeine Grundzüge der organischen Formen-Wissenschaft, mechanisch begründet durch die von Charles Darwin reformirte Descendenz-Theorie*, G. Reimer, Berlín.
- (1876) *The Evolution of Man* (Akron, OH: Werner, English translation of third edition).
- HALL, B. S. (1996) The didactic and the elegant, en *Picturing knowledge*. Brian Baigrie Ed. University of Toronto Press.
- HACKING, I. (1996) *Representar e intervenir*, Paidós.
- HAMILTON, M. (2001) Rhetoric, Science and the Rhetoric of Science: An Exercise in Interdisciplinarity. *Janus Head*.
- HANSON, R. N. (1958) *Patterns of discovery. An inquiry of the conceptual foundations of science*. Cambridge University Press, Cambridge.
- HARAWAY, D. (1991) *Simians, cyborgs and women: the reinvention of nature*. Routledge, Nueva York.
- HARRIS, R. A. (1997a) *Landmark Essays in Rhetoric of Science: Case Studies*, Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum & Associates.
- HARRIS, R. A. (1997b) Rhetoric of sciences notes, en: <http://www.ece.uwaterloo.ca/~jgwilkin/if/winter97/mar25/notes.html>.
- HARRIS, R. (2003) *Writing with Clarity and style: A guide to Rhetorical Devices for Contemporary Writers*. Los Angeles Pyczac Publishing, Los Angeles.
- HEIN, G. (1998) *Learning in the Museum*. Routledge, Londres.
- HEINRICH, R; MOLENDIA, M; RUSSEL, J & SMALDINO, S. E. (2002) *Instructional media and technologies for learning*, Merrill Prentice Hall, EEUU, 377p.
- HENNIG, W. (1950) *Grundzüge einer Theorie des phylogenetischen Systematik*. Deutscher Zentraverlag, Berlín.
- (1966) *Phylogenetic systematics*. University of Illinois Press, Urbana, Chicago, Londres. William, F.

- HESSE, M. (1966) *Models and analogies in science*, Notre Dame, University of Notre Dame Press.
- HILLIS, D. (2003) Modernizing the Tree of Life. *Science*, 300:1692-1697.
- HILLIS, D. M. & MORITZ, C. Eds. (1990) *Molecular systematics*. Sinauer, Sunderland, Massachusetts.
- HOFFMAN, J. R. & WEBER, B. H. (2003) The Fact of Evolution: Implications for Science Education, *Science & Education* 12:729-760.
- HOLTON, G. (1988) *Thematic Origins of Scientific Thought. Revised Edition*, Cambridge Massachusetts, Harvard University Press.
- HONEYCUTT, R. L. (1995) Naked Mole-Ratsen, *American Scientist*. 80:43-54.
- HOOPER-GREENHILL, E. (2000) *Museums and the interpretation of visual culture*. Routledge, Nueva York.
- HORNADAY, W. T. (1891) "Taxidermy and zoological collections", *Taxidermy* 222.
- HUXLEY, T. H. (1868) On the classification and distribution of the *Alectoromorphae* and *Heteromorphae*. *Proceedings of the Zoological Society of London*, 1868:294-319.
- HULL, D. (2006) *Conceptual Issues in Evolutionary Biology*, 3rd Edition Edited by Elliott Sober, MIT Press.
- HUNTER, W. (1774) *The anatomy of the human gravid uterus exhibited in figures*. Birmingham: printed by John Baskerville, 1774. [KCSMD Outsize RG520 HUN]
- HUXLEY, T. H. (1863) *Evidence as to Man's Place in Nature*, Williams & Norgate, Londres, 151p.
- JAEGER, W. (1997) *Aristóteles*, Fondo de Cultura Económica, México.
- JESON, M. S. & FINLEY, F. N. (1996): Changes in students' understanding of evolution resulting from different curricular and instructional strategies, en *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 33, n. 8, pp. 879-900.
- JIMÉNEZ ALEIXANDRE, M. P. (1991). Cambiando las ideas sobre el cambio biológico. *Enseñanza de las Ciencias*, 9 (3), 248-256.
- (2003). La enseñanza y el aprendizaje de la biología. En: M. P. Jiménez Aleixandre (coord.), A. Caamaño, A. Oñorbe, E. Pedrinaci y A. de Pro. *Enseñar ciencias*. Barcelona: Graó. Capítulo 6, pp. 119-146.
- JIMÉNEZ, M.P., & FERNÁNDEZ, J. (1989): ¿Han sido seleccionados o se han acostumbrado? en *Infancia y aprendizaje*, n. 47, pp. 67-81.
- JIMENEZ, J. DE D.; HOCES PRIETO, R. & PERALES, F. J. (1997). Análisis de los modelos y los grafismos utilizados en los libros de texto. *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 11, 75-85.
- JIMENEZ, J.D. & PERALES, F.J. (2001) Graphic representation of force in secondary education. *Physics Education*, 36(3), pp. 227-235.
- JOHANNESON, (2001) The construction of the pupil as a diagnosable subject: on the conjuncture of the Salamanca vision of inclusion of all children and market strategies in education, an Icelandic experience, paper presented at the Travelling Policy/Local Spaces: Globalisation, Identities and Education Policy in Europe Conference, Keele University, UK, 27-29 June. , <http://www.keele.ac.uk/depts/ed/educat/ConfAbsJohann.htm> . .
- JORDANOVA, L. (1995) The Social Construction of Medical Knowledge, *Social History of Medicine*, Vol. 8, No 3, pp. 361-381.
- KAFKA, F. (1994) Aphorismen. En *Beim Bau der chinesischen Mauer und andere Schriften aus dem Nachlass*. Bd. 6 Gesammelten Werke, hg. Hans Gerd Koch, Frankfurt.

- KAY, L. E. (2000). *Who Wrote the Book of Life? A History of the Genetic Code*. Stanford, Stanford University Press.
- KEARSEY, J. & TURNER, S. (1999). How useful are the Figures in school biology textbooks? *Journal of Biological Education*, 33, 87-94.
- KEITH, A. (1930) "Whence Came the White Race?," *New York Times Sunday Magazine*, Oct. 12.
- KEITH, W; FULLER, S; GROSS, A & LEFF, M. (1999) Taking up the challenge: A response to Simons. *Quarterly Journal of Speech*, 85, 330-338.
- KING, G. W. (1929) *Our Face from Fish to Man: A Portrait Gallery of Our Ancient Ancestors and Kinsfolk Together with a Concise History of Our Best Features*, Putnam's Sons, Nueva York, 295pp.
- KITCHER, P. (1981) Explanatory Unification. *Phil. Sci.*, 48:507-531.
- KOESTLER, A. (1964) *The act of creation*. New York: Dell.
- KRESS, GR & VAN LEEUWEN, T. (1990). *Reading Images*. Geelong, Victoria, Australia: Deakin University Press.
- KUHN, T. (1962) *The structure of scientific revolutions*. Chicago University Press, Chicago.
- (1993) Metaphor in Science, en *Metaphor and Thought*, Andrew Ortony (Ed), Cambridge University Press.
- LACONTE, H. & STEVENSON, D.W. (1991) Cladistics of the magnoliidae. *Cladistics*, 7:267-296.
- LAKATOS, I. (1971) History of Science and Its Rational Reconstructions, *Boston Studies in the Philosophy of Science*, Vol.8, 1971.
- LAKOFF, G & JOHNSON, M. (1980) *Metaphors we live by*. Chicago University Press.
- LAM, J. H. (1936) Phylogenetic symbols: past and present, *Acta Biotheoretica* 2:153-194.
- LATOURE, B. (1986) Visualization and cognition: thinking with eyes and hands, en *Knowledge and society: studies in the sociology of culture, past and present*. 6: 1-40.
- (1987) *Science in Action*, Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts.
- LAWSON, A.E. (1993) The importance of analogy: A prelude to the special issue. *J. Res. Sci. Teach.* 30(10):1213-1214.
- LECOINTRE, G. & LE GUYADER, H. (2006) *The Tree of Life, A Phylogenetic Classification*, Harvard University Press.
- LEDESMA, I. (1994) *Historia de la Biología*. AGT Editor, S.A. México.
- (2000) *Historia de la Biología*. AGT Editor, S.A. México..
- LEWONTIN, R. (1984/1987) *No está en los genes. Racismo, genética e ideología*. Consejo Nacional para la Cultura y las Artes, Grijalbo, México.
- (1991) Facts and the factitious in natural sciences, *Chicago Journals*, Vol. 18, Issue 1, page 140
- LIGHTMAN, A. (1988) Metaphor in Science, en *A sense of the Mysterious: Science and the Human Spirit*. Pantheon.
- LINNAEUS, C. (1735) *Systema naturae*
- (1758) *Systema naturae*, 10th edition, II vol.
- LLORENTE, J. (1990) *La búsqueda del método natural*, FCE, Colección La ciencia para todos, México.
- LUTZONI, F.M.; PAGEL, M & REEB,V. (2001) *Major fungal lineages are derived from lichen symbiotic ancestors*, *Nature*, vol. 411 (2001), pp. 937-940
- LYNCH, M. & WOOLGAR, S. Eds (1990) *Representation in scientific practice*. Cambridge, Mass. MIT press.

- LYNNE, C. (2002) Metaphors in the Learning of Science. *British Educational Research Journal*, Vol. 28, No 5.
- MACDONALD, S. (1998) *The politics of display*, Routledge, Nueva York.
- MACNAB, W. & JOHNSTONE, A. H. (1990). Spatial skills which contribute to competence in biological sciences. *Journal of Biological Education*, 24 (1), 37-41.
- MADDISON, W. P. & MADDISON, D. R. (1989) Interactive analysis of phylogeny and character evolution using the computer program McClade, *Folia primatol.* 53:190-202.
- MADDISON, D. R. Y SCHULZ, K. S. (2004) The Tree of Life Project. Internet URL <http://tolweb.org>.
- MADERSPACHER, F. (2006) The captivating coral- the origins of early evolutionary imagery. *Current Biology* Vol 16 No 13 R476.
- MAIENSCHIN, J. (1991) From Presentation to Representation in E. B. Wilson's *The Cell*, *Biology and Philosophy* 6:227-254.
- MALDONADO, J.L., (2000) El primer gabinete de historia natural de México y el reconocimiento del noroeste novohispano, *Estudios de historia novohispana*, 21:49-66.
- MANUEL, J de. & GRAU, R. (1996): Concepciones y dificultades comunes en la construcción del pensamiento biológico en *Alambique*. *Didáctica de las Ciencias Experimentales*, n. 7, pp. 53-63.
- MARTINEAU, P. (1959) *Un guide de la stratégie publicitaire. Motivation et publicité*. París: Ed. Hommes et Techniques.
- MARSH, O. D. (1874) american naturalist (ilustracion de los huesos del caballo)
- MARTÍNEZ PEÑA, M. B. & GIL QUÍLEZ, M. J. (2003). *Images and texts in the learning of models: The Sun-Earth- Moon System*, In R. Nata (Ed.) *Progress in Education*.
- MAYER, R. (1993) The instructive metaphor: metaphoric aids to student's understanding of science, en: A. ORTONY (Ed) *Metaphor and thought*. 2nd edition. Cambridge, Cambridge, University Press.
- MAYR, E. (1959), "Typological versus population thinking," in *Evolution and Anthropology: A Centennial Appraisal*. Washington, DC: The Anthropological Society of Washington, pp. 409-12.
- (1964). *Principles of systematic zoology*. McGraw-Hill, Nueva York.
- (1976) *Evolution and the Diversity of Life: Selected Essays*. Harvard University Press.
- (1982) *The Growth of Biological Thought: Diversity, Evolution and Inheritance*. Harvard University Press.
- (2006) Biological classification: Towards a synthesis of opposing methodologies *Conceptual Issues in Evolutionary Biology*, 3rd Edition Edited by Elliott Sober, MIT Press.
- MAYHEW, (2002) Shifts in hexapod diversification and what Haldane could have said. *Proc. R. Soc. Londres*. B 269:969-974.
- MEDAWAR, P. (1969) *Induction and Intuition in Scientific Thought*. *Jayne Lectures for 1968*, Philadelphia, American Philosophical Society.
- MEIR, E.; PERRY, J; HERRON, J & KINGSOLVER, J. (2007) College student's misconceptions about evolutionary trees, *The American Biology Teacher*, 69:71-76.
- MENGASCINI, A. & MENEGAZ, A. (2001) El juego de las polillas: continuidad y cambio en el contexto de la enseñanza de la biología. *V Congreso Internacional sobre Investigación en la Didáctica de las Ciencias*, Barcelona.
- (2005) "El juego de las mariposas", propuesta didáctica para el tratamiento del cambio biológico *Revista Eureka sobre Enseñanza y divulgación de las Ciencias*, Vol. 2, N° 3, pp. 403-415.

- MILLER, G. A. (1993) Images and models, similes and metaphors, en *Metaphor and Thought*, Andrew Ortony (Ed), Cambridge University Press.
- MONOD, J. (1981) *El azar y la necesidad*, Tusquets Editores, Barcelona.
- MORISON, R. (1672) *Plantarum umbelliferarum distributio nova, per tabulas cognationis et affinitatis ex libro naturae observata et detecta*. Oxford: Sheldon Theatre.
- MORTIMER, E. F. (1995) Conceptual change or conceptual profile change? *Science & Education*, 4:267-285.
- MOSCOVICI, S. (1984) *The phenomenon of social representations*, en: R.M. Farr and Moscovici (eds) *Social Representations*, pp 3-69. Cambridge: Cambridge University Press.
- MOSER, S. (1992) *The visual language of archaeology: a case study of the Neanderthals*. Antiquity Oxford Press.
- (1996) Visual representation in archaeology, en *Picturing knowledge*. Brian Baigrie Ed. University of Toronto Press.
- NAGEL, E. (1961) *The Structure of Science*, Horcourt, Brace & World, Nueva York.
- JANSON-SMITH, D (2007) *British Natural History Museum Guide*, Published by the Natural History Museum, Londres.
- NEE, S. (2005) Ovid full text Bibliographic Links, *Nature* 435:429.
- NELSON, G & PLATNICK, N. I. (1981) *Systematics and biogeography: Cladistics and vicariance*. Columbia University Press, New York. Page, R. D. M. 1989.
- NEWMAN, M. (2006) *A Mathematical Model for Mass Extinction*. Cornell University.
- NIELSEN, C. (1995) *Animal evolution*. Oxford University Press, Oxford, UK.
- NIETZSCHE, F. (1872) *The Birth of Tragedy*, Dover Publications; New edition (1995).
- OAKLEY, T. H. & CUNNINGHAM, C. W. (2002) Molecular phylogenetic evidence for the independent evolutionary origin of an arthropod compound eye, *PNAS* vol. 99 no. 3 1426-1430.
- OCHOA, C. (2007) *Historia de los conceptos de homología y analogía: formalismo versus funcionalismo*. Tesis de Maestría, Facultad de Ciencias, UNAM.
- OGLE, W, (1882) *Aristotle, on the parts of animals: translated with introduction and notes*. London: Kegan Paul, Trench.
- O'HARA, R. J. (1988) Homage to Clio, or, toward an historical philosophy for evolutionary biology, *Nature* 370:40-42.
- (1991) Representations of the natural system in the nineteenth century. *Biology and Philosophy*, Dordrecht, 6:255-274.
- (1994) Evolutionary History and the Species Problem. *Amer. Zool.* 34:12-122.
- (1996) Trees of history in systematics and philology. *Memorie della Società Italiana di Scienze Naturali*, Vol XXVII Fascicolo I.
- (1997) Population thinking and tree thinking in systematics, *Zoologica Scripta*, 26 (4):323-329.
- ORTONY, A. (1979) *Metaphor and thought*. Cambridge University Press.
- (1993) *Metaphor, language and thought*, en *Metaphor and Thought*, Andrew Ortony (Ed), Cambridge University Press.
- (2002) *Knowledge and creativity in organizations: Are they more than metaphors?* Paper presented 5th International Congress on Adult Education: Modern Education and Creative Thought. Bolzano, Italia.
- OSBORN, H. F. (1926) *Evolución y religión en la educación: polémica de la controversia fundamentalista de 1822-1926*. New York: Charles Scribner's Sons.
- OWEN, R. (1832) *Memoir on the pearly Nautilus (Nautilus pompilius, Linn)*. Published by direction of the Royal Surgeons of London (Publicado por el Colegio Real de Cirujanos, Londres).
- PAGE (2003) *Tangled trees: phylogeny, cospeciation, and coevolution*, University of Chicago Press.

- PAPAVERO, N.; LLORENTE, J & BUENO, A. (1994) *Principia taxonomica*, Vol. III. UNAM, México.
- PAPAVERO, N. & LLORENTE, J (1996) *Principia taxonomica*. Vol. VII. UNAM, México.
- PEIRCE, CH. (1893-1902) *El ícono, el índice y el símbolo*. Traducción castellana de Sara F. Barrera. Fuente textual en CP 2.274-308.
- PENTI, A. (2002) Arteology, <<http://usuarios.iponet.es/casinada/artelo/150.htm#malli>>
- PÉREZ DE EULATE, L.; LLORENTE, E. & ANDRIEU, A. (1997). Las imágenes en los libros de texto de ciencias: un estudio en la educación primaria. En A. San Martín (Ed.). *Del texto a la imagen*. Valencia: Nau Llibres
- PEREZ-TAMAYO, R. (2005a) Los modelos en las ciencias experimentales, en *El modelo en la ciencia y la cultura*. Siglo veintiuno editores, México, pp54-67.
- (2005b) Sobre la divulgación científica en México, en *El muégano divulgador*. Dirección General de Divulgación de la Ciencia, UNAM, No. 28.
- PERINI, L. (2005) Explanations in two dimensions: diagrams and biological explanation. *Biology and Philosophy*, 20:257-269.
- PERRY, K. E.; MCCOMBS, B. L. & DANIELS, D. H. (2008), Children's and Teachers' Perceptions of Learner-Centered Practices, and Student Motivation: Implications for Early Schooling. *The Elementary School Journal* 109:1, 16-35.
- PETRIE, H. G. & OSHLAG, R. S. (1993) Metaphor and learning, en *Metaphor and Thought*, Andrew Ortony (Ed), Cambridge University Press.
- PETRIE, H. G. (1976) Do you see what I see? The epistemology of interdisciplinary enquiry, *Journal of Aesthetic Education*, Vol. 10
- (1981) Purpose, context, and synthesis: Can we avoid relativism?, *New Directions for Program Evaluation*, Volume 1995 Issue 68, Pages 81 – 91.
- PHILIP, G. (1993) Webster's Third New International Dictionary of the English Language Unabridged. Merriam-Webster Inc.
- PINE, R. (2004) Our Biological Roots: Evolution and Philosophical Issues, en: Science and the Human Prospect. <http://www.hcc.hawaii.edu/~pine/book1-2.html>
- PLATON, (1990) *Diálogos*. Ed. Gredos. Madrid, 592p.
- PODGORNY, I. (2005) Bones and Devices in the Constitution of Paleontology in Argentina at the End of the Nineteenth Century, *Science in Context*, 18:2:249-283 Cambridge University Press.
- POLANYI, M. (1974) *Personal Knowledge*. The University Press.
- POLYA. (1985) How to solve it: a new aspect of mathematical method. Princeton; Princeton University Press.
- PRETA, L. (1992) *Imágenes y metáforas de la ciencia*, Alianza Editorial.
- PUTNAM, H. (1981) *Reason, truth and history*. Cambridge University Press, Cambridge.
- QIU, YI LONG; LEE, J.; BERNASCONI, F.; DOUGLAS, E.; SOLTIS, P.; ZANIS, M.; ZIMMER, E.; CHEN, Z.; SAVOLANIENK, V. & CHASEK, M. (1999) The earliest angiosperms: evidence from mitochondrial, plastid and nuclear genomes, *Nature*, Vol. 402, No 25:404-407.
- QUEIROZ, K. (1992) Phylogenetic Taxonomy, *Annual Review of Ecology and Systematics* Vol. 23: 449-480.
- RAMÓN y CAJAL, S. (1894) "Consideraciones generales sobre la morfología de la célula nerviosa", Texto de la conferencia enviada al Congreso Médico Internacional de Roma de 1894. Publicada en La Veterinaria Española, números 5 y 20 de junio de 1894.
- RAUP, D. M. (1991) *Extinction: Bad Genes or Bad Luck?* W.W. Norton and Company. Nueva York.
- RELLA, F. (1986) La battaglia della verità, en G. Barbieri y P. Vidali (Eds) *Metamorfosis*, Laterza, Roma.

- REYNOLDS, (1995) *Museums and the internet: what purpose should the information supplied by museums on the world wide web serve?* MSc Dissertation, (Leicester: Department of Museum Studies, Universidad de Leicester).
- RICHARDS, I. A. (1936) *Metaphor*, en *The philosophy of rhetoric*, Oxford University Press, Oxford.
- RICHARDS, J. R. (1993) *The Meaning of Evolution: The Morphological Construction and Ideological Reconstruction of Darwin's Theory*, University of Chicago Press.
- RIDLEY, M. (1986) *Evolution and Classification*, Longman Inc. Nueva York.
- RICHARD, L. C. (1808) *Démonstrations botaniques...* Paris: Gabon, 1808. LOCATION: QK660.R5 1808.
- RIDLEY, (1986), *Evolution and Classification*, Longman Publisher.
- ROBERTS, L. (1997) *From Knowledge to Narrative*, Educators and the changing museum, Smithsonian.
- ROMER, A. S. (1945) *The Vertebrate Story*. University of Chicago Press, Chicago.
- ROSENBERG, A. L. (2004) Charles Darwin III: Descendencia con modificación, *Visionlearning* Vol. BIO-2 (5s), 2004.
- ROSENBLUETH, A. (1981) *El método científico*, CONACYT, México.
- RUBIO, S. N. (1981). *Una alternativa a las salidas tradicionales al campo, itinerarios propios*. La escuela en acción. 26-27p.
- RUDWICK, M. (1976) The emergence of visual language for geological science, *History of Science*, 14:149-95.
- RUMELHART, D. & NORMAN, D. (1981). Analogical processes in learning. In J.R. Anderson (ed.), *Cognitive Skills and their Acquisition*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- RUSE, M. (1996) Are the pictures really necessary? The case of Sewall Wright's "adaptive landscapes", en *Picturing knowledge*. Brian Baigrie Ed. University of Toronto Press.
- (2008) *Charles Darwin*, Blackwell great minds, Blackwell Publishing, UK.
- SAGAN, c. (1996) *El mundo y sus demonios*, Ed. Planeta, Barcelona.
- SALMON, W. (1984) *Scientific explanation and the causal structure of the world*. Princeton University Press, Princeton.
- SANCHEZ-MORA, C. (2000) La Enseñanza de la Teoría de la Evolución a partir de las concepciones alternativas de los estudiantes. Tesis doctoral. UNAM.
- SANMARTIN, I. & RONQUIST, F. (2004) *Southern Hemisphere Biogeography Inferred by Event-Based Models: Plant versus Animal Patterns*, *Systematic Biology*, 53(2):216-243.
- SCOTT, M. (2004) *Up from Africa: Natural History Museums and the making of ancestral meaning*. PhD dissertation, Yale University.
- SCOTT, M. & GIUSTI, E. (2006) Designing Human Evolution Exhibits. Insights from Exhibitions and Audiences, *Museums & Social Issues*, Left Coast Press Inc, Vol 1, No. 1:46-68.
- SELZER, J. (Ed) (1993) *Understanding Scientific Prose*, Madison: The University of Wisconsin Press.
- SETTLAGE, J. (1994): Conceptions of natural selection: A snapshot of the sense-making Process, en *Journal of Research of Science Teaching*, vol. 31, n. 5, pp.449-457.
- SHAPIN, S & SCHAFFER, S. (1985) *Leviathan and the Air-Pump: Hobbes, Boyle, and the Experimental Life*. Princeton University Press, Nueva Jersey.
- SHAPLEY, R. (2004) *Visualizing the Tree of Life. Interaction design for sharing the results of the NSF Tree of Life Initiative*. <http://www.rebeccashapley.com/cipres/>
- SHEAR, W. A. (1995) Untangling the Evolution of the Web, *American Scientist*. 82:256-266.
- SHUBIN, N; EDWARD, D & FARISH A. J. (2006) The pectoral fin of *Tiktaalik roseae* and the origin of the tetrapod limb, *Nature*, 440:764-771.

- SIMMONS, H. W. (Ed) (1990) *The Rhetorical Turn*. The University of Chicago Press, Chicago.
- SNEATH, P.H.A & SOKAL, R. R. (1973). Numerical taxonomy. Freeman, San Francisco.
- SPIEGEL, A. N; EVANS, M; GRAM, W y DIAMOND, J. (2006) Museum visitor's understanding of evolution, en *Museums & Social Issues vol1, number 1:69-85*.
- STEPICH, D. A. & NEWBY, T. J. (1988) Analogical instruction within the information processing paradigm: effective means to facilitate learning, *Instructional Science*, Vol. 17, No. 2, Springer.
- ST CLAIR, R.N. (2002) *The major metaphors of European Thought: Growth, Game, Drama, Machina Time and Space*. New York: The Edwin Mellen Press.
- STEVENS, P. F. (1982) Augustin Augier's "Arbre Botanique" (1801), a remarkable early botanical representation of the natural system. *Taxon*, Utrecht, 32:169,211.
- (1984) Metaphors and typology in the development of botanical systematics 1690-1960, or the art of putting new wine in old bottles. *Taxon*, Utrecht, 33:169-211.
- STICHT, T. (1993) Educational uses of metaphor, en: A, ORTONY (Ed) *Metaphor and thought*. 2nd edition. Cambridge, Cambridge University Press.
- STRICKLAND, H. E. (1841) On the true method of discovering the natural system in zoology and botany. *Annals and magazine of Natural History*, 6:184-194.
- STRIKE, K. & POSNER, G. A. (1985) A conceptual change view of learning and understanding. En: West, L. & Pines, L. (eds) *Cognitive structure and conceptual change*. Academic Press, pp. 211-231.
- SUTTON, C. (1978) *Metaphorically speaking: the role of metaphor in teaching and learning science*. Leicester, University of Leicester School of Education.
- TABER, K. (2001) Shifting sands: a case study of conceptual development as competition between alternative conceptions, *International Journal of Science Education*, 23 (7):731-753.
- TAYLOR, CH. (1985) Human agency and language, *Philosophical papers 1*. New York: Cambridge University Press.
- THACKRAY, J & PRESS, R. (2001) *The Natural History Museum: Nature's Treasurehouse*, The Natural History Museum, Londres.
- THE TIMES. (1881), diciembre 11th.
- TORRES, J. L. (1995) *En el nombre de Darwin*. FCE, México.
- TOPPER. (1996) *Picturing knowledge*. Brian Baigrie Ed. University of Toronto Press.
- TUDGE, C. (2000) *The variety of life*, Oxford University Press.
- (2002) *The Variety of Life: A Survey and a Celebration of All the Creatures That Have Ever Lived*, Oxford University Press.
- VACKIMES, S. (2003) De oculta museographica. *Museum Anthropology* 26(1):11-20.
- (2003) Science in Museums. *Museum Anthropology* 26(1):3-10.
- (2008) *SCIENCE MUSEUMS, Magic or ideology?* Albedrío, México.
- VALADES, D. (1579) *Rhetorica Christiana*, FCE (2003), México.
- VALENCIA, S. (1999) El problema del concepto de especie, en: FARFAN, J & EGUIARTE, E (compiladores) *La evolución biológica*. UNAM.
- VAZQUEZ, E. (2009) El Museo de Historia Natural enfrenta décadas de olvido. *La jornada*, Viernes 5 de junio de 2009.
- VAN FRAASSEN, B. (1980) *The Scientific Image*, Oxford University Press.
- VOSNIADOU, S., & BREWER W. F. (1987) "Theories of knowledge restructuring in development." *Review of Educational Research* 57:51-67.
- VOSNIADOU, S. (1994) Capturing and modeling the process of conceptual change, *Learning and Instruction*, 4:45-69.

- VOSS, J. (2003) Depictions as surrogates for places: from Wallace's biogeography to Koch's dioramas, *Philosophy & Geography*, Vol. 6, No 2:59-81.
- (2007) Darwin's Diagrams: Images of the Discovery of Disorder. En Henning Schmidgen, Julia Kursell, Hans-Jörg Rheinberger (eds) *The Experimentalization of Life: Configurations between Science, Art and Technology*. Forthcoming
- WAGENSBERG, J. (2006) *Cosmocaixa, el Museo Total por Conversación entre Arquitectos y Museólogos*, con Terradas arquitectos, Sacyr-Sau.
- WAKE, D. B. (1994) Comparative terminology, *Science*, 265:268-269.
- WATSON, J. D. & CRICK, F.H. (1953) A structure dor Deoxyribose Nucleic Acid, *Nature*, 171:737-738.
- WATTS, M & BENTLEY, D. (1994) Humanizing and feminizing school science: reviving anthropomorphic and animistic thinking in constructivist science education, *Int. J. Sci. Educ.* 16(1):83-97.
- WEGENER, A. (1929) *Die Entstehung der Kontinente und Ozeane*, Kurt Stüber (Ed), 2003.
- WILEY, E. O. (1981) *Phylogenetics, The theory and practice of phylogenetic systematics*. Wiley-Liss, Nueva York.
- WILKINS, J. (1668) *An essay towards a Real Character and Philosophical Language*. London: Royal Society.
- WILLIAMS, (1998) *Focus on form in classroom second language acquisition*, The Cambridge applied linguistics series. Cambridge University Press.
- WILLIAM Y SHAILOR, (1991) *DIAGRAMAS DE PARENTESCO*
- WISE, N. (2006) Making Visible. *The History of Science Society*, 97:75-82.
- WHITFIELD, P. (1993). *From so simple a beginning*, Macmillan Publishing Company, Nueva York.
- WOESE, c; KANDLER, O & M. L. WHEELIS, M. L. (1990) Towards a natural system of organisms: Proposal of the domains Archaea, Bacteria and Eucarya. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*.
- WONDERS, K. (1993) Habitat dioramas as ecological theatre, *European Review*, Cambridge University Press, Vol. 1, Issue 3:285-300.
- WOOD-ROBINSON, C. (1994): Young people inheritance and evolution, en *Studies on Science Education*, n. 24, pp. 29-47.
- YANNI, C. (2005) *Nature's Museums: Victorian Science and the Architecture of Display*. Princeton Architectural Press, Nueva York.
- YATES, T. L.; BRAVO-SALAZAR, J. & DRAGOO, J.W. (2004) The importance of the tree of life to society, en *Assembling the Tree of Life*, Oxford University Press, Nueva York.
- ZUCKERKANDL, E., & PAULING, L. in *Evolving Genes and Proteins*, V. Bryson and H. J. Vogel, Eds. (Academic Press, New York, 1965), pp. 97-166; *J. Theor. Biol.* 8, 357 (1965).
- ZOOK, K.B. (1991) Effects of analogical process on learning and misrepresentation. *Educational Psychology Review* 3(19):41-72.

Citas electrónicas

Archivos y Museos

American Museum of Natural History: www.amnh.org consultada en 2007-2009
 Archivo de la American Philosophical Society: www.pachs.net consultada en 2008
 Imágenes de libre acceso: www.commons.wikimedia.org consultada en varias ocasiones durante el 2009

Imágenes de libre acceso: www.flickr.com consultada en 2007-2009
Kentucky Creation Museum: tomada de www.creationmuseum.org consultada en 2008
Museo de Historia Natural y Cultura Ambiental de México: www.sma.df.gob.mx consultada en 2008
Museum für Naturkunde Berlin: www.naturkundemuseum-berlin.de consultada en 2008
Peabody Museum of Natural History, Yale University: www.peabody.yale.edu consultada en 2009
The British Library: <http://www.bl.uk/> consultada en 2007
www.en.wikipedia.org consultada en 2007-2009

Universidades

EVOLUTION 101: www.evolution.berkeley.edu consultada en 2007-2009
Ouzounis, A. (2005) Microbial Evolution, en *European Bioinformatics Institute- EBI*:
<http://genome.cshlp.org> consultada en 2007
www.educ.fc.ul.pt consultada en 2007

Organizaciones

GJI Genome Portal: <http://genome.jgi.org> consultada en 2009
NOAA - National Oceanic and Atmospheric Administration: ww.noaa.gov/ consultada en 2008

Páginas de internet

www.wordinfo.com
Genome News Network: www.genomenewsnetwork.org consultada en 2007
Content Matters: www.contentmatters.info consultada en 2007
www.activity.ntsec.gov.tw consultada en 2007
www.nescent.org consultada en 2008
www.shutterbug.com consultada en 2008
www.franceshunter.wordpress.com consultada en 2008
www.gallery.nen.gov.uk consultada en 2008
www.nzbirds.com consultada en 2008
www.wikiwak.com consultada en 2008
www.dumontreise.com consultada en 2008
blog.max-fun.de consultada en 2008
www.parisconnected.files.wordpress.com consultada en 2008
www.avolites.org.uk consultada en 2009
www.cetacea-evolution.org consultada en 2009
www.simbio.com consultada en 2009
www.brad.ac.uk consultada en 2009
www.timpanogos.wordpress.com consultada en 2009
www.gallup.com

Glosario

Árbol evolutivo: es un árbol que muestra las relaciones evolutivas entre varias especies u taxones superiores que se cree que tuvieron una descendencia común.

Árbol de especies: árbol más básico en filogenia también denominado cladograma.

Anagénesis: la *anagénesis* o evolución filética es la evolución progresiva de las especies que implica un cambio en la frecuencia genética de una población entera en lugar de un suceso de bifurcación cladogenético.

Analogía: caracteres parecidos pero no homólogos, realizan las mismas funciones biológicas. Puede ser convergencia o paralelismo.

Apomorfo: carácter derivado de un estado ancestral. Por ejemplo, la presencia de alas en los insectos es apomorfo ya que deriva de un estado anterior sin alas. Suponiendo que en una población P un carácter pasa del estado c a c'. Al estado c, que antecede a c' en el tiempo se le denomina estado *plesiomórfico*; al estado c', que sucede a c en el tiempo, estado *apomórfico* que representa una *novedad evolutiva* para P; si pertenece sólo a P (y a ninguna otra especie) se le denomina *autapomorfía*.

Árbol filogenético: gráfico que representa las relaciones filogenéticas entre los diferentes taxones tal como son entendidas por un investigador particular. Es una hipótesis sobre las relaciones filogenéticas de un taxón.

Autapomorfo: apomorfía exclusiva de una especie. Por extensión apomorfía compartida únicamente por un grupo supraespecífico.

Carácter: un rasgo que es una parte observable o un atributo de un organismo (puede ser anatómico, etológico, genómico, bioquímico...)

Cladística: sistemática filogenética a la que se añaden los postulados del análisis cladístico.

Clado: un grupo monofilético en un cladograma.

Cladogénesis: ramificación o evolución divergente que es causada por especiación. La cladogénesis o bifurcación es el mecanismo de especiación más importante. Se produce por aislamiento reproductivo de diferentes poblaciones de una especie debido a barreras a la hibridación que pueden ser precigóticas o postcigóticas.

- Las **barreras precigóticas** son mecanismos de aislamiento que tienen lugar antes o durante la fecundación, a la que limitan, actúan antes del intercambio gamético. Puede ser por aislamiento ecológico, etológico o mecánico.
- Las **barreras postcigóticas** son todas las que atañen a la viabilidad de los individuos producidos, a través de abortos espontáneos, esterilidad del híbrido, muerte prematura, híbridos débiles y enfermizos, etc.

Cladograma: esquema dicotómico que muestra una hipótesis sobre las relaciones filogenéticas de varios taxones. Se construye en los supuestos del análisis cladista. No refleja el grado de divergencia. Cada nodo está definido por una o varias sinapomorfias. Los cladogramas son dirigidos ya que de otro modo no se pueden identificar los clados (si no está dirigido se está en presencia de una red o red de Wagner). Las redes preceden a los cladogramas cuando la polarización del árbol se realiza a posteriori.

Clasificación. acción de ordenar los seres vivos en grupos, es decir, distribuirlos por categorías en función de las relaciones de parentesco.

Convergencia: parecido adquirido independientemente en diferentes taxones, por consecuencia no heredados de la especie ancestral a estos taxones. Si la convergencia es en grupos cercanos es paralelismo.

Dendrograma: cualquier diagrama semejante a un árbol.

Dendrograma tipológico: véase *filograma*.



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Especiación: es el proceso mediante el cual una población de una determinada especie da lugar a otra u otras poblaciones, aisladas reproductivamente entre sí y con respecto a la población original. El término se aplica a un proceso de división de clados (cladogénesis) más que el de evolución de una especie a otra (anagénesis).

Especiación alopátrica o alopátrida: la especiación geográfica o alopátrica es el modelo que cuenta con un mayor número de ejemplos ampliamente documentados. Se trata de la especiación gradual que se produce cuando una especie ocupa una gran área geográfica que no permite que los individuos que estén muy alejados puedan cruzarse entre sí, debido a barreras geográficas como mares, montañas o desiertos. Se trata, entonces, de la separación geográfica de un acervo genético continuo, de tal forma que se establecen dos o más poblaciones geográficas aisladas. La separación entre las poblaciones puede ser debida a migración, a extinción de las poblaciones situadas en posiciones geográficas intermedias, o mediada por sucesos geológicos. La barrera puede ser geográfica o ecológica, como por ejemplo cumbres que separan valles en las cordilleras o zonas desérticas que separan zonas húmedas. La separación espacial de dos poblaciones de una especie durante un largo periodo de tiempo da lugar a la aparición de novedades evolutivas en una o en las dos poblaciones debido a que el medio ambiente es distinto en las diferentes zonas geográficas; se detiene el flujo genético entre poblaciones.

Especiación peripátrica: en la especiación mediante poblaciones periféricas o especiación peripátrica, la nueva especie surge en hábitats marginales, habitualmente en los límites de distribución de una población central de mayor tamaño. El flujo interdémico entre estas poblaciones puede reducirse y finalmente ser inexistente, gracias a lo cual estas poblaciones periféricas pueden convertirse en especies diferentes. Estaríamos ante casos de aislamiento geográfico, y posterior especiación, producidos por fenómenos de dispersión y colonización. Igual que en el caso anterior, la adaptación a esos ambientes puede ser el desencadenante de la divergencia, pero al tratarse de poblaciones pequeñas, los factores estocásticos pueden tener mayor importancia. Como ejemplos de este tipo de especiación podemos considerar la radiación evolutiva de las especies de *Drosophila* en Hawai. El amplio número de especies de drosophilidos en este archipiélago (más de 500 especies), parece haber surgido mediante especiación por migración y diversificación. Muchas de estas especies son endémicas de una isla, lo que sugiere que son productos de la fundación de una colonia por muy pocos individuos, provenientes de una isla próxima, y de la posterior divergencia evolutiva. Varias de las predicciones de este modelo (las especies emparentadas deben estar en islas próximas, y las especies más modernas en islas formadas más recientemente) han sido confirmadas mediante técnicas moleculares. Los organismos que presentan una menor capacidad de dispersión y que se estructuran en pequeñas poblaciones son, en general, los mejores candidatos para este tipo de especiación.

Especiación simpátrica o simpátrida: la especiación simpátrica implica la divergencia de ciertas poblaciones hasta conseguir independencia evolutiva dentro de un mismo espacio geográfico. Habitualmente conlleva que las nuevas poblaciones utilicen nichos ecológicos diferentes, dentro del rango de distribución de la especie ancestral, desarrollando mecanismos de aislamiento reproductivo. La divergencia en simpatria puede estar impulsada por la especialización ecológica de algunas poblaciones, aunque también existe la posibilidad de que la especiación se produzca por hibridación entre especies muy próximas.

Especiación parapátrica: según este modelo, la especiación se produce sin una separación geográfica completa de las poblaciones. De hecho, la especie hija puede compartir parte del rango de distribución con la especie madre e hibridar en las zonas de contacto. Las poblaciones suelen divergir debido tanto a factores estocásticos como a selección local. La migración inter-démica y la hibridación pueden contrarrestar la divergencia, pero en determinadas circunstancias, la selección diversificadora (a favor

de variaciones locales) puede ser el factor más importante, implicando la formación de clinas en la frecuencia de algunos loci. El apareamiento clasificado y una reducción en eficacia biológica de los híbridos conduciría al desarrollo final de la especiación.

Especie biológica: grupo de poblaciones naturales entrecruzables que se encuentran reproductivamente aisladas de otros grupos.

Especie evolutiva: un linaje que evolucionó separadamente de otros linajes y que tiene sus propias tendencias evolutivas y destino histórico.

Especie hermana: si dos (o más) especies presentan heteropatnía y son estrictamente monofiléticas se les denomina **especies hermanas**.

Especie pancrónica: especies no extintas que son extremadamente parecidas con especies identificadas a través de fósiles. Organismos que mantienen características morfológicas muy semejantes o iguales a las de sus antecesores.

Especie troncal: en una especiación, la especie que da lugar a las nuevas especies.

Estado de un carácter: el valor específico tomado por un carácter en un taxón determinado o en una secuencia.

Feneticismo (=sistemática fenética, taxonomía numérica): Procede de Sokal & Sneath (1963) y Sneath & Sokal (1973). Surgió por oposición al evolucionismo y se considera un método libre de cualquier teoría. Se fundamenta en una evaluación del parecido global de los organismos.

Fenograma: dendrograma que clasifica los taxones en función del grado de similitud global. Se calcula a partir de una distancia y se utilizan algoritmos basados en el análisis multivariante. Pertenecce al feneticismo.

Filogénesis: es el proceso del origen de comunidades próximas en la naturaleza por la bifurcación de una especie troncal común respectivamente a cada una de las comunidades individuales.

Filogenética: corresponde a los postulados de la Sistemática Filogenética.

Filogenia (=filogénesis, genealogía): Historia del desarrollo evolutivo de las especies. Curso histórico de la descendencia de los seres vivos.

Filograma: árbol que muestra relaciones genealógicas entre organismos. Difiere del cladograma en que las ramas se dibujan proporcionales a la cantidad de cambio evolutivo. Es propio del evolucionismo. También se le llama dendrograma tipológico.

Grupo externo (*outgroup*): es cualquier grupo usado en el análisis que no es incluido en el taxón bajo estudio. Se utiliza para fines comparativos y debe ser lo más cercano posible al grupo interno, preferentemente su grupo hermano.

Grupo hermano (*sister group*): es el taxón filogenéticamente más próximo al grupo interno.

Grupo interno (*ingroup*): es el grupo actualmente estudiado por el investigador.

Grupo natural: organismos contenidos en un clado que comparte un ancestro común (grupo monofilético).

Heteropatnía: oposición de por lo menos un par de autapomorfías. La heteropatnía permite reconocer dos especies como morfológicamente distintas.

Holotipo: el espécimen u otro elemento usado por el autor o designado por él como el tipo nomenclatural; mientras que el holotipo existe regula automáticamente la aplicación del nombre correspondiente.

Homólogo: dos caracteres son homólogos si se cumple alguna de estas dos condiciones: a) Son el mismo carácter que es encontrado en el ancestro común de los dos taxones. b) Son caracteres diferentes que tienen una relación ancestral descrita como preexistente (uno deriva del otro).

Homoplasia: similitud en una o varias especies de órganos o de partes de órganos de los que se puede presumir que esta correspondencia no proviene de un antecesor común. Incongruencia en la transformación evolutiva de un carácter. Puede ser una analogía (convergencia y paralelismo) o una reversión.

Isotipo: un duplicado del holotipo, que forma parte de la colección original.

Lectotipo: espécimen o elemento seleccionado a partir de material original para servir como tipo nomenclatural cuando no fue asignado un holotipo con la publicación o por pérdida del mismo. El lectotipo se debe elegir entre los isotipos, si no existen isotipos se debe elegir entre los sintipos, si tampoco hay sintipos se elige un neotipo.

Linaje: una o más poblaciones que comparten una historia común de descendencia no compartida por otras poblaciones.

Monofilia: (=clado, monofilia estricta) grupo que comprende una especie ancestral y todos sus descendientes. Están definidos por, al menos, una sinapomorfia. En el evolucionismo es llamado grupo holofilético.

Neotipo: es un espécimen o cualquier otro elemento elegido para servir de tipo nomenclatural cuando falta todo el material sobre el cual está basado el nombre del taxón.

Nodo: el punto donde cada rama se bifurca o termina

Nodo terminal: cuando el linaje termina en él. Normalmente corresponde a los taxones observados, normalmente se les llama simplemente terminales.

Parafilia: grupo que comprende una especie ancestral y sólo una parte de sus descendientes. Están definidos por al menos una simpliosiomorfia. Véase *polifilético*.

Plesiomorfo: estado primitivo (ancestral) de un carácter.

Polaridad: en un carácter, es la determinación del estado plesiomorfo y apomorfo. Normalmente 0: plesiomorfo, 1: apomorfo. La polaridad lleva implícita la ordenación.

Polifilético: grupo que deriva de dos o varias especies ancestrales. Está definido por al menos una convergencia. Grupo en el cual el antecesor más reciente es asignado a otro grupo y no al mismo grupo. Véase *parafilético*.

Polimorfismo: variación intrapoblacional entre los individuos de una población.

Primitivo: describe un estado de un carácter el ancestro común de un clado.

Simpliosiomorfia: carácter plesiomorfo presente en dos o más taxones. Carácter homólogo que se encuentra en dos o más conjuntos de especies, que se emitió de una especie ancestral, la cual no es la más cercana a esos grupos de especies.

Sinapomorfia: carácter apomorfo compartido por dos o más taxones. Carácter homólogo que se encuentra en dos o más taxones, que se hipotetiza tuvo su origen en la especie ancestral de esos taxones.

Sintipo: es uno de los especímenes citados originalmente por el autor que no designó holotipo o que ha enumerado simultáneamente varios ejemplares como tipos.

Sistemática: ciencia que investiga la diversidad y las relaciones entre organismos, con el propósito de producir un sistema de referencia general para el estudio de los mismos.

Sistemática Filogenética: procede de Hennig (1966). Está basada en la clasificación mediante las relaciones filogenéticas entre taxones monofiléticos. Se busca la secuencia de transformaciones de estados plesiomorfos a apomorfos.

Taxón: grupo de organismos a los que se da un nombre. En principio cualquier rango taxonómico es un taxón. Hay dos tipos de taxones: Naturales y Artificiales.

Taxón natural: es un grupo de organismos que existe en la naturaleza. En el ámbito de la Sistemática Filogenética se entiende a una especie particular o a cualquier grupo de organismos monofilético.

Taxón artificial: son aquellos que no existen en la naturaleza. Son grupos de organismos no monofiléticos. Por ejemplo, los insectos Apterygota, los paquidermos o los reptiles.

Taxonomía: el método de clasificar objetos en grupos. En Biología la clasificación de organismos vivos en taxones.

Índice de figuras y cuadros

CAPÍTULO II

Figura 2.1. Modelo de Boyer para la síntesis de ATP (tomada de Perini, 2005).	62
Figura 2.2. Diagrama de la proteína hemaglutinina neuraminidasa (tomada de: Genome News Network, Noviembre 10, 2000).	62
Figura 2.3. Dibujos del sistema nervioso de Santiago Ramón y Cajal (tomada de Ramón y Cajal, 1894).	64
Figura 2.4. Ejemplos de diagramas (tomada de Darnell et al., 1993).	65
Figura 2.5. Rinoceronte de Dürer, 1515 (tomada de www.commonswiki.org).	67
Figura 2.6 "Pinzones de Darwin" de John Gould, 1839 (tomada de www.commonswiki.org).	68
Figura 2.7. Columna vertebral de Leonardo da Vinci, 1489 (tomada de Leonardos's Anatomical Drawings, 2004).	68
Figura 2.8. Árbol de Gingko, de Louis Claude Richard, 1800 (tomada de www.commonswiki.org).	68
Figura 2.9. Nautilus pompilius, de Richard Owen, 1832 (tomada del archivo del Royal College of Surgeons, Inglaterra: www.rcseng.ac.uk).	68
Figura 2.10. Cómo se obtiene agua del tronco de los árboles, de Stephen Halles, 1727 (tomada de Brown, 1996).	69
Figura 2.11. Sobre el movimiento de la sangre, de William Harvey, 1628 (tomada de Brown, 1996).	69
Figura 2.12. Boceto del árbol de la vida de Darwin, 1838 (tomada del Peabody Museum of Natural History, Yale University: www.peabody.yale.edu).	69
Figura 2.13. Origen de los continentes y océanos, de Alfred Wegener, 1929 (tomada de Wegener, 1929).	69
Figura 2.14. Ilustración de Jan van Rymdyk (tomada del archivo del Royal College of Surgeons, Inglaterra: www.rcseng.ac.uk).	70
Figura 2.15. Ilustraciones de Leonardo da Vinci de la anatomía femenina (tomada de Leonardos's Anatomical Drawings, 2004).	71
Figura 2.16. Arquetipo de los vertebrados de Richard Owen (1854) (Tomada del Archivo de la American Philosophical Society: www.pachs.net)	72
Figura 2.17. Poliedro de Galton, 1889 (Tomada de Gould, 2001).	72
Figura 2.18. Uno de los mapas cromosómicos de Thomas Morgan, 1911 (tomada de Barahona & Piñero, 1994).	73
Figura 2.19. Árbol de la vida de Darwin, 1859 (tomada de Darwin, 1957).	73
Figura 2.20. René Descartes, Fuerza centrífuga, 1644 (tomada de Baigrie, 1996).	76
Figura 2.21. René Descartes, Percepción de la distancia, 1664 (tomada de Baigrie, 1996).	76



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Fig. 2.22. Gran cadena del ser de Didacus Valades, en <i>Rhetorica Christiana</i> , 1579 (tomada de The British Library: http://www.bl.uk/).	79
Figura 2.23. Las gradaciones lineales de la cadena de los seres, según Charles White, 1799 (tomada de Gould, 1989).	80
Figuras 2.24 y 2.25. Imágenes de revistas (izq. India, der. Rusa) que muestran la escala del progreso (tomada de Gould, 1989).	81
Figura 2.26. Rudolph Zallinger, Evolución del hombre en “Early Man”, 1965 (tomada de www.commonswikimedia.org).	81
Figura 2.27 Versión modificada de la imagen de Mike Peters en el Dayton Daily News (tomada de www.avolites.org.uk).	82
Figura 2.28. La “evolución del hombre” En la revista Content matters No 1 vol 2.	82
Figura 2.29. Un creacionista ocupa el lugar que le corresponde en la marcha del progreso. Bill Day en el Detroit Free Press (tomada de Gould, 1989)	82
Figura 2.30. Imagen encontrada en la cuarta página de google, después de 69 resultados relacionados con la evolución del hombre.	83
Figura 2.31. Evolución de los equinos (tomada de www.activity.ntsec.gov.tw).	84
Figura 2.32. Iconografía de la filogenia de los mamíferos (tomada de Gould, 1989).	85
Figura 2.33. Iconografía de la filogenia de los celomados (tomada de Gould, 1989).	86
Figura 2.34. Iconografía de la filogenia de los vertebrados (tomada de Gould, 1989).	86
Figura 2.35. Árbol evolutivo en Atlas of Evolution, de Sir Gavin de Beer, 1950 (tomada de De Beer, 1950)	87
Figura 2.36. Una de las tantas opciones de árbol filogenético (modificada de Baum, 2005).	90
Figura 2.37. Otra opción de árbol filogenético que muestra exactamente los mismos grupos pero cuyo orden se ha cambiado (modificada de Baum, 2005).	90
CAPÍTULO III	
Figura 3.1. Boceto de 1837 (tomada de www.peabody.yale.edu).	98
Figura 3.2. La única imagen en <i>El Origen de las Especies</i> , 1859 (tomada de Darwin, 1957).	99
Figura 3.3. Diagramas de Mac Leay, 1819-1821; Berkeley, 1838; Swainson, 1836 & Kaup, 1854 (tomados de: O’Hara, 1991).	100
Figuras 3.4 y 3.5 Bocetos de genealogías ramificadas de Darwin, previos a la publicación del Origen (tomadas de Voss, 2007).	101
Figura 3.6. Dos modelos de árboles de ramificación irregular. Darwin, <i>Cuaderno Rojo</i> (tomada de Eldredge, 2004).	103
Figura 3.7. Cuaderno de notas B, 1837 (tomada de Eldredge, 2005).	103
Figura 3.8. Diagrama incluido en el proyecto inicial de Darwin <i>Natural Selection</i> (tomada de Stauffer, 1975).	107
Figura 3.9. Espécimen del alga <i>Bossea orbignyana</i> recolectado por Darwin en 1834 (tomada de Bredekamp, 2005).	109

Figura 3.10. Comparación según Bredekamp del diagrama de Darwin de 1859 y el espécimen de <i>Bossea orbignyana</i> recolectado por Darwin en la Patagonia en 1834 (tomada de Bredekamp, 2005)	109
Figura 3.11. Árbol familiar de Jesús, en <i>Pacino da Bonaguído</i> , Cook: árbol 49. Siglo XIV (tomada de www.educ.fc.ul.pt).	110
Figura 3.12. Árbol familiar (izquierda, tomada de www.wilsonsalmanc.com), Árbol filogenético (derecha, tomada de whitfield, 1993).	111
Figura 3.13. La <i>Scala Naturae</i> o Gran Cadena del Ser de Charles Bonnet, 1745 (tomada de O'Hara, 1991).	112
Figura 3.14. Las <i>afinidades</i> circulares del orden <i>insesoria</i> de aves, Vigers, 1824, (tomada de O'Hara, 1991).	113
Figura 3.15. Mapa de la familia Alcedinidae de aves, de Strickland, 1841 (tomada de Papavero & Llorente, 1994).	113
Figura 3.16. Árbol evolutivo de Martin Berry, 1837 (tomada de Richards, 1993).	115
Figura 3.17. Comparación entre el diagrama de Martin Barry (izquierda, tomada de Richards, 1993) y el de Charles Darwin (derecha, tomada de www.peabody.yale.edu).	116
Figura 3.18. Filogenia de aves de Huxley, 1863 (tomada de O'Hara, 1991).	117
Figura 3.19. Evolución de las aves turbinariales, Forbes, 1882 (tomada de O'Hara, 1991).	117
Figura 3.20. Primer árbol de Haeckel, 1866 (tomada de www.commonswikimedia.org).	119
Figura 3.21. Dibujo de Haeckel (tomada de George Romene <i>Darwinism illustrated</i> , 1982)	120
Figura 3.22. Árbol genealógico del hombre, Haeckel, 1874 (tomada de www.commonswikimedia.org).	121
Figura 3.23. Árbol genealógico polifilético de los organismos, Haeckel, 1868 (tomada de Dayrat, 2003).	123
Figura 3.24. Árbol evolutivo de los mamíferos, Haeckel, 1866 (tomada de Dayrat, 2003).	124
Figura 3.25. Ejemplo de una genealogía y una filogenia (tomada de Colbert, 1980).	126
Figura 3.26. Representación de Alfred Romer (1949) de las relaciones entre los vertebrados tetrápodos, con la inclusión de algunos fósiles (tomada de Lecointre & Le Guyader, 2006).	127
Figura 3.27. Genealogía de los vertebrados tetrápodos (tomado de Lecointre & Le Guyader, 2006).	127
Figura 3.28. Esquema de argumentación conceptual filogenética de Hennig, 1966 (tomada de Hennig, 1966)	129
CAPÍTULO IV	
Figura 4.1. Dos ejemplos de árboles enraizados.	140
Figura 4.2. Dos ejemplos de árboles sin raíz (tomado de Parmakeles et al., 2008 8:79).	140
Figura 4.3. Dendrograma de 1914 encontrado en el libro de texto <i>Civic Biology</i> (tomado de Areson, 2001).	141
Figura 4.4. Fenograma (tomado del memorandum 22 de la NOAA, 1994).	142
Figura 4.5. Cladograma (tomada de www.evolution.berkeley.edu)	143
Figura 4.6. Comparación entre fenograma y cladograma	144
Figura 4.7. Los cladogramas son los árboles más básicos en filogenia (tomado de Gray & Shear, 1995:6).	145
Figura 4.8. Filograma que muestra el enriquecimiento de los linajes a través del tiempo (tomado de Llorente, comunicación verbal).	146
Figura 4.9. Árbol que muestra la aparición de los linajes en el tiempo geológico (tomado de Forey & Janvier, 1995:38).	146
Figura 4.10. Filograma con componentes ecológicos (tomado de Shear, 1995:271).	147

Figura 4.11. Filograma de la familia <i>Bathyergidae</i> (rata topo). (Tomado de Honeycutt, 1995:282)	147
Figura 4.12. Tres árboles filogenéticos que muestran diferentes hipótesis sobre la relación entre los tetrápodos y los peces (tomado de Gorr & Kleinschmidt, 1993:173).	148
Figura 4.13. Representación del linaje ancestral (ilustración de la autora).	150
Figura 4.14. Nodo (ilustración de la autora).	151
Figura 4.15. Evento de especiación (ilustración de la autora).	151
Figura 4.16. Representación de la historia de los linajes (ilustración de la autora).	152
Figura 4.17. Explicación de clado (modificado, www.evolution.berkeley.edu).	152
Figura 4.18. Árbol filogenético de los tres dominios (tomado de www.evolution.berkeley.edu).	153
Figura 4.19. Árbol filogenético del reino de los animales (tomado de Tudge, 2000:196-197).	153
Figura 4.20. Árbol filogenético del filo de los moluscos (tomado de Tudge, 2000:240-241).	154
Figura 4.21. Árbol filogenético de la clase de los condrictios (tomado de Tudge, 2000:368-369).	154
Figura 4.22. Árbol filogenético del orden de los primates (tomado de Tudge, 2000:474-475).	155
Figura 4.23. Árbol filogenético de la familia de las compuestas (tomado de Tudge, 2000: 610-611).	155
Figura 4.24. Árbol simplificado de los tres dominios de Carl Woese (1977)	157
Figura 4.25. Filogenia que presenta tanto el tiempo como las extinciones (tomado de www.evolution.berkeley.edu).	158
Figura 4.26. Árbol filogenético que muestra enriquecimiento de linajes a lo largo del tiempo geológico (tomado de Gould, 1989).	159
Figura 4.27. Clasificación anidada de los cladogramas (imagen de la autora).	160
Figura 4.28. Imagen de un tubo de rayos catódicos visto desde el cátodo (tomado de Hanson, 1958).	162
Figura 4.29. Árbol filogenético que muestra tres cladogramas principales (modificado de Baum et al, 2005).	163
Figura 4.30. Árbol filogenético idéntico al de la figura 21 pero con las ramas rotadas (modificado de Baum et al, 2005).	163
Figura 4.31. Diagrama del árbol de Benjamín C. Gruenberg (tomado de The Story of Evolution, 1919:71).	165
Figura 4.32. Portada del libro de William King Gregory Our Face from Fish to Man. (1929)	166
Figura 4.33. Diagrama de William Diller Matthew: La evolución del caballo (tomado de Areson, 2001).	167
Figura 4.34. Imagen de la portada del libro de Thomas Henry Huxley, Man's Place in Nature (1863).	167
Figura 4.35. La típica imagen de la marcha del progreso que puede leerse como una transformación gradual de simios en hombres (tomado de www.commonswikimedia.org).	168
Figura 4.36. Fósil de un celacanto, <i>Caridosuctor populsoom</i> . Imagen de un celacanto actual, <i>Latimeria chalumnae</i> (tomado de www.commonswikimedia.org).	169

Figura 4.37. Lamprea, cícada, cazuelita de mar *limulus polyphemus* (Tomado de www.commonswikimedia.org). 170

Figura 4.38. *Archaeopterix* (tomado de www.commonswikimedia.org). 171

CAPÍTULO V

Figura 5.1. Cédula en la Casa de los Pájaros en el Zoológico Nacional de Washington, D.C. (Foto: Colin Purrington www.flicr.com). 180

Figura 5.2. Izquierda: máscara de Bali. Derecha: máscara de Nueva Guinea, ambas en el AMNH (tomadas de www.amnh.org) 181

Figura 5.3. Bustos de los ancestros del Hombre en el AMNH de Nueva York 181

Figura 5.4. Árbol evolutivo de Osborn (1926) 182

Figura 5.5. Izquierda: cédula del *Homo ergaster* Derecha: Neandertales en el AMNH (tomada de www.amnh.org). 183

Figura 5.6 Fotografía de Jean Luc Dubin en el Museo del hombre de Paris (tomada de Flickr. Com). 184

Figura 5.7. Desfile de esqueletos en la Galería de Paleontología y Anatomía Comparada del Museo de Historia Natural de Paris (tomada de www.shutterbug.com). 187

Figura 5.8. Edward Jenner (tomada de www.franceshunter.wordpress.com). 188

Figura 5.9. Humanos y dinosaurios en el Museo de la Creación de Kentucky (tomada de www.creationmuseum.org). 190

Figura 5.10. Jardín del Edén en el *Museo de la Creación* de Kentucky (tomada de www.creationmuseum.org). 191

Figura.5.11. Diagrama que muestra la diferencia entre el razonamiento humano y la palabra de Dios. (tomada de www.creationmuseum.org). 192

Figura 5.12. Diorama del *Museo de la Creación*. (tomada de www.creationmuseum.org). 193

CAPÍTULO VI

Figura 6.1. Boceto del Museo de Sloan, 1827 (tomada de Yanni, 2005). 198

Figura 6.2. Montagu House (tomada de Yanni, 2005). 199

Figura 6.3. Gran Exhibición, Londres 1851 (tomada de www.gallery.nen.gov.uk). 200

Figura 6.4. Galería de los mamíferos fósiles. Museo Británico, 1875 (tomado de Catálogo Histórico del Museo Británico de Historia Natural, 2009) 201

Figura 6.5. Richard Owen (tomada de www.nzbirds.com). 201

Figura 6.6. Plano del Museo de Historia Natural de Owen, 1859 (tomado de Yanni, 2005) 202

Figura 6.7. Traslado del British Museum a las nuevas instalaciones de South Kensington (tomado de Catálogo Histórico del Museo Británico de Historia Natural, 2009) 203

Figura 6.8. Fachada de terracota del Natural History Museum de Londres en South Kensington (tomada de www.wikiwak.com). 204

Figura 6.9. Fósiles, cráneos y huesos se exhiben en el Natural History Museum de Londres (foto de la autora).	206
Figura 6.10. Fachada del Berlín Museum für Naturkunde (tomada de www.dumontreise.com).	206
Figura 6.11. Vista de las colecciones en el nuevo edificio de InvalidenstráÙe (tomada de Glaubrecht <i>et al.</i> , 2008).	207
Figura 6.12. Esqueleto del dinosaurio más grande del mundo (tomada de www.blog.max-fun.de).	208
Figura 6.13. Espécimen preparado (tomada de www.naturkundemuseum-berlin.de).	209
Figura 6.14. Exhibición que muestra “la diversidad de la vida” foto de la autora).	210
Figura 6.15. Árbol evolutivo interactivo (foto de la autora).	211
Figura 6.16. Exhibición sobre mutaciones (foto de la autora).	212
Figura 6.17. Grandes transformaciones (foto de la autora).	212
Figura 6.18. Exhibición sobre Homologías (foto de la autora).	213
Figura 6.19. Variación geográfica y polimorfismo (foto de la autora).	213
Figura 6.20. Fragmento de ADN (foto de la autora).	214
Figura 6.21. Dos de los árboles evolutivos que se encuentran exhibidos en el Museo de Historia Natural de Berlín (foto de la autora).	215
Figura 6.22. Museum of Natural History <i>circa</i> 1910 (tomada de www.amnh.org).	216
Figura 6.23. “Lucha en las copas de los árboles”. AMNH, 1883 (tomada de Yanni, 2005).	217
Figura 6.24. Búfalo africano en el <i>Akeley Hall of African Mammals</i> del AMNH (tomada de www.amnh.org)	218
Figura 6.25. Cladograma del arreglo de la exhibición del <i>Origen de los vertebrados</i> del AMNH (tomada de www.amnh.org).	220
Figura 6.26. Árbol evolutivo circular en la galería de los <i>Orígenes del Hombre</i> (foto de la autora).	221
Figura 6.27. Diagrama de William King Gregory de 1934 (tomada de Areson, 2001).	223
Figura 6.28. La misma serie presente en el libro de texto “Biología” de la editorial Porrúa, 1963 (tomada del libro de Texto “Biología” de la editorial Porrúa, 1963).	224
Figura 6.29. Fachada de la <i>Grande Galerie de l’evolution</i> (tomada de parisconnected.files.wordpress.com).	224
Figura 6.30. El primer nivel de la Galería está dedicado al ambiente acuático (foto de la autora).	226

Figura 6.31. Ballena Austral foto de la autora).	226
Figura 6.32. En la <i>Grande Galerie de l'Evolution</i> el espacio está libre de textos foto de la autora).	227
Figura 6.33. Desfile de animales terrestres foto de la autora).	227
Figura 6.34. Peces pelágicos foto de la autora).	229
Figura 6.35. La exhibición de especímenes es el principal atractivo para el público infantil (tomada de www.flickr.com).	229
Figura 6.36. Primer Gabinete de Historia Natural de la Ciudad de México ubicado en Plateros 89 (tomada de www.sma.df.gob.mx).	231
Figura 6.37. Primer Museo de Historia Natural de la Ciudad de México en San Ildefonso (1802) (tomada de www.sma.df.gob.mx).	231
Figura 6.38. Fachada del Museo Nacional en la calle de Moneda (tomada de www.sma.df.gob.mx).	232
Figura 6.39. <i>Museo Nacional de Historia Natural</i> en Santa María la Ribera (tomada de www.sma.df.gob.mx).	232
Figura 6.40. Deterioro masivo de las colecciones en el Museo del Chopo (tomada de www.sma.df.gob.mx).	233
Figura 6.41. Construcción del Museo de Historia Natural en Chapultepec (tomada de www.sma.df.gob.mx).	233
Figura 6.42. Diez bóvedas conforman el museo de historia natural de la Ciudad de México (tomada de www.sma.df.gob.mx).	234
Figura 6.43. La oscuridad domina en las salas del museo (tomada de www.sma.df.gob.mx).	235
Figura 6.44. Dioramas del Museo de Historia Natural de la Ciudad de México (foto de la autora).	235
Figura 6.45. En una larga vitrina se muestra la evolución de los seres vivos (foto de la autora).	236
Figura 6.46. Diagrama que acompaña a la cédula de sección en la cual se muestra la aparición de los diferentes grupos de animales y plantas en el tiempo (foto de la autora).	237
Figura 6.47. <i>Diplodocus carnegii</i> (foto de la autora).	237
Figura 6.48. Mandíbula del gran Megalodón (foto de la autora).	237
Figura 6.49. Diagrama que ilustra la evolución del caballo de manera lineal y progresiva (foto de la autora).	238
Figura 6.50. Dioramas de diferentes grupos de homínidos (foto de la autora).	238
Figura 6.51. Árbol evolutivo de los seres vivos (foto de la autora).	239
Figura 6.52. Árbol evolutivo de los mamíferos (foto de la autora).	240

Figura 6.53. Árbol evolutivo de los reptiles (foto de la autora).	240
-------------------------------------------------------------------	-----

CAPÍTULO VII

Imágenes del Museo de Historia Natural de Berlín

Figura B1. Filogenia de los seres vivos (foto de la autora).	244
--------------------------------------------------------------	-----

Figura B2. Filogenia de los caballos (foto de la autora).	245
-----------------------------------------------------------	-----

Figura B3. Filogenia de los mamíferos (foto de la autora).	245
------------------------------------------------------------	-----

Figura B4. Filogenia del Ser Humano (foto de la autora).	246
----------------------------------------------------------	-----

Figura B5. Filogenia de los vertebrados (foto de la autora).	246
--------------------------------------------------------------	-----

Figura B6. Filogenia de los artiodáctilos (foto de la autora).	247
----------------------------------------------------------------	-----

Figura B7. Filogenia de los vertebrados (b) (foto de la autora).	248
------------------------------------------------------------------	-----

Figura B8. Filogenia de los saurios (foto de la autora).	249
----------------------------------------------------------	-----

Figura B9. Filogenia de los vertebrados (c) (foto de la autora).	250
------------------------------------------------------------------	-----

Imágenes del Museo de Historia Natural de Londres

Figura L1. Filogenia de los primates (foto de la autora).	251
-----------------------------------------------------------	-----

Figura L2. Hipótesis sobre relaciones ancestrales (foto de la autora).	252
------------------------------------------------------------------------	-----

Figura L3. Hipótesis sobre nuestro pariente extinto más cercano (fotos de la autora).	253
---------------------------------------------------------------------------------------	-----

Figura L4. Nuestro pariente vivo más cercano (foto de la autora).	253
-------------------------------------------------------------------	-----

Imágenes de la Gran Galería de la Evolución de París

Figura P1. Filogenia de los tres dominios (foto de la autora).	254
----------------------------------------------------------------	-----

Figura P2. Filogenia de los seres vivos (foto: cortesía de Carlos Guevara).	255
-----------------------------------------------------------------------------	-----

Imágenes del Museo de Historia Natural de Nueva York

Figura NY1. Filogenia de los vertebrados (foto de la autora).	256
---------------------------------------------------------------	-----

Figura NY2. Filogenia de los principales grupos marinos (foto de la autora).	256
------------------------------------------------------------------------------	-----

Figura NY3. Filogenia de los sirénidos (tomada de www.amnh.org).	257
-----------------------------------------------------------------------------------------------------	-----

Figura NY4. Filogenia de los pinnípedos (tomada de www.amnh.org).	257
------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----

Figura NY5. Filogenia de los seres vivos (foto de la autora).	258
---------------------------------------------------------------	-----

Figura NY6. Filogenia de la diversidad de vida (tomada de www.amnh.org).	259
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----

<i>Figura NY7. Filogenia de los primates (foto de la autora).</i>	259
<i>Figura NY8. Filogenia del ser humano (foto de la autora).</i>	260
Imágenes del Museo de Historia Natural y Cultura Ambiental de la Ciudad de México	
<i>Figura M1. Árbol evolutivo de los reptiles (foto de la autora).</i>	261
<i>Figura M2. Árbol evolutivo de los mamíferos (foto de la autora).</i>	261
<i>Figura M3. Árbol evolutivo de la vida (foto de la autora).</i>	262
<i>Figura M4. Evolución de la vida (foto de la autora).</i>	262
<i>Figura M5. Evolución del caballo (foto de la autora).</i>	263
Cuadros y figuras	
Cuadro 7.1. Resultados de los árboles evolutivos del Museo de Historia Natural de Berlín mediante la adecuación de la metodología de Donovan & Wilcox (2004)	264
Cuadro 7.2. Resultados de los árboles evolutivos del Museo de Historia Natural de Berlín mediante la adecuación de la metodología de Shapley (2004)	265
Cuadro 7.3. Resultados de los árboles evolutivos del Museo de Historia Natural de Londres y de la Gran Galería de la Evolución de París mediante la adecuación de la metodología de Donovan & Wilcox (2004)	266
Cuadro 7.4. Resultados de los árboles evolutivos del Museo de Historia Natural de Londres y de la Gran Galería de la Evolución de París mediante la adecuación de la metodología de Shapley (2004)	267
Cuadro 7.5. Resultados de los árboles evolutivos del Museo de Historia Natural de Nueva York mediante la adecuación de la metodología de Donovan & Wilcox (2004)	268
Cuadro 7.6. Resultados de los árboles evolutivos del Museo de Historia Natural de Nueva York mediante la adecuación de la metodología de Shapley (2004)	269
Cuadro 7.7. Resultados de los árboles evolutivos del Museo de Historia Natural de la Ciudad de México mediante la adecuación de la metodología de Donovan & Wilcox (2004)	270
Cuadro 7.8. Resultados de los árboles evolutivos del Museo de Historia Natural de la Ciudad de México mediante la adecuación de la metodología de Shapley (2004)	271
Cuadro 7.9 Representación por nivel de clasificación	272
Figura 7.1. Representación del porcentaje de árboles evolutivos en los cinco museos estudiados, que emplean determinado nivel de clasificación	273
Figura 7.2. Ilustración de la secuencia evolutiva de los caballos de Othniel Daniel Marsh, 1874	275
Cuadro 7.10. Estructura o forma de los árboles	276
Figura 7.3. Representación del porcentaje de arboles evolutivos que emplean determinada estructura o forma	277

Cuadro 7.11. Interactividad	279
Figura 7.4. Representación de arboles evolutivos que son estáticos o interactivos en los museos de historia natural estudiados	280
Figura 7.5. Árbol filogenético de la exhibición Evolución en acción del Museo de Historia Natural de Berlín (foto de la autora).	281
Figura 7.6. Cladograma interactivo de <i>Dicraeosaurus</i> también en el Museo de Historia Natural de Berlín (foto de la autora).	282
Cuadro 7.12. Dimensionalidad	283
Figura 7.7. Representación de los porcentajes de arboles de acuerdo con su dimensionalidad	283
Cuadro 7.13. Orientación de las ramas	284
Figura 7.8. Representación del porcentaje de arboles según la orientación de sus ramas	285
Cuadro 7.14. Guía de interpretación	286
Figura 7.9. Representación por columna del porcentaje total de arboles que emplean algún tipo de guía de interpretación	286
Cuadro 7.15. Presencia de pictogramas o representaciones de los organismos	287
Figura 7.10. Representación del porcentaje de arboles que emplean determinado tipo de imagen para los organismos	287
Figura 7.11. Árbol interactivo de la exhibición <i>Evolution in action</i> del Museo de Historia Natural de Berlín	288
Cuadro 7.16. Presencia de intermedios como ancestros	289
Figura 7.12. Representación del porcentaje de árboles que muestran intermedios como ancestros.	289
Figura 7.13. Árbol evolutivo de los vertebrados en el <i>Museum für Naturkunde de Berlín</i> , en el cual se puede apreciar la presencia de formas intermedias (foto de la autora).	291
Figura 7.14. Detalle del árbol de los vertebrados en el cual se aprecia la presencia de intermedios, en este caso parece que <i>Lycaenops</i> es el ancestro de los mamíferos (foto de la autora).	291

CAPÍTULO VIII

Figura 8.1. Primer diagrama ramificado de Darwin, encontrado en su cuaderno de notas B, 1837 (tomada de www.peabody.yale.edu).	297
Figura 8.2. Hipótesis de los tres dominios de Carl Woese, 1970 (tomada de http:// genome.jgi.org).	298
Figura 8.3. “Árbol de la vida revisado” (tomada de Doolittle, 2000).	299
Figura 8.4. Filogenia hipotética en la cual se aprecia un evento de transferencia lateral de genes, Doolittle, 1999 (tomada de Suárez & Anaya, 2008).	300
Figura 8.5 . El origen de los tetrápodos (tomada de www.timpanogos.wordpress.com).	307

Figura 8.6. Reproducción de la primera ilustración de un gabinete de historia natural (tomada de www.en.wikipedia.org).	308
Figura 8.7. Diorama en el Museo Americano de Historia Natural de Nueva York (tomada de amnh.org).	309
Figura 8.8 'Gran marcha de los animales', Gran Galería de la Evolución de París (tomada de Flickr.com).	310
Figura 8.9 Exhibición que muestra 'la diversidad de la vida' en el Museo de Historia Natural de Berlín (foto de la autora).	310
Figura 8.10 Cladograma de los primates (Foto de la autora).	312
Figura 8.11 Exhibición introductoria de <i>Nuestro lugar en la exhibición</i> del Museo Británico de Historia Natural (tomada de Scott & Giusti, 2006).	313
Figura 8.12. Construcción de la 'Pared de la Biodiversidad' en la exhibición Evolución en Acción, Museo de Historia Natural de Berlín (tomada de (Glaubrecht <i>et al.</i> , 2008).	314
Figura 8.13. Diagrama evolutivo hipotético microbiano (tomada de Ouzounis <i>et al.</i> , 2005).	318
Figura 8.14. Filogenia de las ballenas (tomada de www.cetacea-evolution.org).	320
Figura 8.15. Árbol evolutivo hipotético (tomada de Crisp & Cook, 2005).	322
Figura 8.16. Ejemplo del uso correcto de los términos basal y derivado al referirse a un árbol filogenético (modificado de Crisp & Cook, 2005).	323
Figura 8.17. <i>Ceratophyllum</i> considerada como basal (tomada de Endress, 2001).	324
Figura 8.18 <i>Amborella</i> considerada como basal (tomada de Endress, 2001).	324
Figura 8.19 <i>Oryza</i> como grupo hermano (tomada de Endress, 2001).	325
Figura 8.20. Se pueden encontrar diferentes formas y orientaciones de cladogramas (tomada de Gregory, 2008).	329
Figura 8.21. Un aspecto importante para evitar interpretaciones erróneas en la lectura de árboles evolutivos (tomada de Gregory, 2008).	330
Figuras 8.22 (Gregory, 2008) y 8.23 (Baum, 2005) en las cuales se muestra la forma de invertir el orden de las ramas en los árboles evolutivos sin alterar la información.	331
CAPÍTULO X	
Figura 10.1. Espacio de la exhibición (cortesía de James Morris).	354
Figura 10.2. Entrada de la exhibición (imagen de la autora).	355
Figura 10.3. Todo en familia (imagen de la autora).	357
Figura 10.4. Pantalla de tacto (<i>touchscreen</i>) (tomada de www.simbio.com).	359
Figura 10.5. ¿Qué representan las filogenias? (tomada de Baum & Offner, 2008).	360
Figura 10.6. Árbol evolutivo a nivel de organismos individuales (tomada de O'Hara, 1994).	362
Figura 10.7. Cladograma de los primates (imagen de la autora).	363

Figura 10.8. Filogenia inflada (imagen de la autora).	364
Figura 10.9. Grandes Transformaciones (imagen de la autora).	366
Figura 10.10. Árbol circular (imagen de la autora).	367
Figura 10.11. Filogenia de Ceccarelli (tomada de Ceccarelli <i>et al.</i> , 2006).	368
Figura 10.12. Vista general de la exhibición (imagen de la autora).	369
Figura 10.13. Diferentes filogenias circulares (tomada de Bininda, 2007).	370
Figura 10.14. Cédulas de mano (imagen de la autora).	371
Figura 10.15. Cédula de la historia del árbol evolutivo (imagen de la autora).	372
Figura 10.16. La raíz del árbol (modificada de www.evolution.berkeley.edu).	373
Figura 10.17. Los nodos (modificada de www.evolution.berkeley.edu).	373
Figura 10.18. Especiación (modificada de www.evolution.berkeley.edu).	373
Figura 10.19. Historia Evolutiva (modificada de www.evolution.berkeley.edu).	374
Figura 10.20. Clados (modificada de www.evolution.berkeley.edu).	374
Figura 10.21. Lectura correcta de las filogenias (modificada de www.evolution.berkeley.edu).	375
Figura 10.22. Formas y orientaciones de los árboles (modificada de www.evolution.berkeley.edu).	375
Figura 10.23. Representación de las extinciones (modificada de www.evolution.berkeley.edu).	376
Figura 10.24. Representaciones alternativas de árboles (tomada de Gregory, 2008)	377
Figura 10.25. Topografía del árbol (tomada de Baum, 2005 & Gregory, 2008)	378
Figura 10.26. Los árboles evolutivos indican quién está más emparentado con quién (tomada de Baum, 2005)	378
Figura 10.27. Grupo externo (imagen de la autora)	379
Figura 10.28. Propuesta de árbol circular No.1 (imagen de la autora)	381
Figura 10.29. Propuesta de árbol circular No.2 (imagen de la autora)	382