

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL LITORAL

Facultad de Bioquímica y Ciencias Biológicas

Facultad de Humanidades y Ciencias



Tesis para la obtención del Grado Académico de
Doctor en Educación en Ciencias Experimentales

**TITULO: “LA INTERPRETACIÓN DE LA
EVOLUCIÓN BIOLÓGICA MEDIANTE
REPRESENTACIONES
ICÓNICAS Y DIAGRAMAS FILOGENÉTICOS”**

Marcela Torreblanca

Director de Tesis: Dr. Agustín Aduríz-Bravo

Co-director de Tesis: Dr. Sebastián Apesteguía

Lugar de realización: Junín (Buenos Aires)

-2015-

**“LA INTERPRETACIÓN DE LA EVOLUCIÓN
BIOLÓGICA MEDIANTE REPRESENTACIONES
ICÓNICAS Y DIAGRAMAS FILOGENÉTICOS”**

“Los seres organizados se representan con un árbol echando ramas irregularmente. Algunas ramas dan muchas más ramas... Tanta brotes terminales que mueren como los que se generan nuevos...”

Charles Darwin

ÍNDICE

RESUMEN 1

ABSTRACT 3

INTRODUCCIÓN 5

ANTECEDENTES 6

PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN 8

OBJETIVOS 9

MARCO METODOLÓGICO 12

MARCO TEÓRICO 16

1. UNA IMAGEN VALE MÁS QUE MIL PALABRAS 17

1. a- Texto e imagen, sistemas de representaciones 20

1. b- Imágenes y texto son dos formas de representación 20

1. c- Las representaciones 21

1. d- Las funciones de las representaciones icónicas 22

1. e- Formas de representación 23

1. f- Imágenes gráficos, diagramas... 24

1. g- Modelos y representaciones gráficas 24

1. h- Representación – Interpretación 26

1. i- Analogías – metáforas 26

1. j- Diagramas e imágenes como mediadores 27

2. REPRESENTACIONES ICÓNICAS EN BIOLOGÍA 30

2. a- Utilización de imágenes en la enseñanza de la biología 30

2. b- Las imágenes y diagramas en la interpretación de la evolución 30

2. c- Los íconos canónicos como obstáculos epistemológicos 32

2. d- Los diagramas en los libros de texto 33

3. LA REPRESENTACIÓN ICÓNICA DE LA EVOLUCIÓN 46

3. a- De la escalera al árbol 46

3. b- La representación de la clasificación de los seres vivos con redes y esquemas simétricos 60

3. c- Nomenclatura Bi- nomial 66

3. d- Darwin y la creación del árbol evolutivo 70

Darwin y la representación del ancestro común 73

El Árbol del Origen 76

3. e. La evolución del árbol evolutivo 79

3. f- Escuelas de clasificación y representaciones de dendrogramas 95

3. g- Sistemática – filogenética 96

3. h- Cladismo 99

3. i- Construcción e interpretación de cladogramas 102

3. j- Representaciones bioinformáticas 107

3. k- Dificultades para representar la taxonomía con enfoque evolutivo 112

3. l- Otras representaciones acordes con teorías alternativas 115

4. La culpa es de Aristóteles 121

4. a- Persistencia de la Gran Cadena del Ser 121

4. b- Persistencia de las concepciones 122

4. c- Hacia el cambio de representaciones y sus implicaciones didácticas 123

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS 125

5. REPRESENTAR LA EVOLUCIÓN 126

5. a- La representación gráfica de la evolución en alumnos de Primero SB sin instrucción previa 126

5. b- La idea de ancestro común y su representación gráfica en alumnos de Segundo SB. 147

La representación del ancestro común en Segundo SB. 170

5. c- La representación gráfica de la evolución en alumnos de Tercero SB. 177

5. d Comparación individualizada de alumnos que realizaron las tres pruebas 185

5. e- Análisis estadístico de todas las representaciones según curso y año 191

5. f- Análisis de las representaciones realizadas en el taller de construcción de Árboles filogenéticos 202

5. g- Continuidad de las representaciones en Tercero 204

5. h- Comparación de las representaciones de los dos Segundos y Tercero 208

- 5. i- Análisis estadístico de la evolución de las representaciones sobre evolución 211**
- 5. j- Selección de imágenes representativas de la evolución y su justificación 217**
- 5. k- Del discurso a la imagen 241**
- 5. l- De la imagen al discurso 241**
- 5. m- Persistencia de la progresión lineal y el sentido común 243**

EXPERIENCIAS DIDÁCTICAS 244

6. CONSTRUCCIÓN E INTERPRETACIÓN DE ÁRBOLES 245

- 6. a- Del árbol genealógico al árbol evolutivo 245**
- 6. b- Desde el ancestro ramificamos 247**
- 6. c- De la matriz al árbol 250**
- 6. d- Obstáculos epistemológicos e interpretaciones erróneas más comunes 253**

7. LAS REPRESENTACIONES EN LA ENSEÑANZA DE LA EVOLUCIÓN 256

- 7. a- La utilización del modelo del árbol filogenético como herramienta de enseñanza-aprendizaje 256**
- 7. b- El enfoque histórico en la utilización de las representaciones como recurso didáctico. 256**

8- PROPUESTA DIDÁCTICA 257

- 8. a- Propuesta didáctica: Imágenes como mediadoras de la interpretación de los obstáculos 257**
- 8. b- Secuencia didáctica 259**

CONCLUSIONES 262

BIBLIOGRAFÍA 266

ÍNDICE DE FIGURAS Y GRÁFICOS 272

ANEXO 277

Abreviaturas y símbolos:

ESB: Enseñanza Secundaria Básica (Primero, Segundo y Tercer año del secundario actual de la provincia de Buenos Aires).

EGB: Enseñanza General Básica (Primer ciclo, de primero a tercero, segundo ciclo, de cuarto a sexto y tercer ciclo séptimo octavo y noveno, se corresponde ahora con secundario básico).

Ed.: Editorial.

SB: Secundario Básico

Resumen

La epistemología y la historia de la ciencia brindan el encuadre necesario para construir secuencias didácticas en las cuales las representaciones icónicas cumplan una función sustancial para detectar preconcepciones y obstáculos epistemológicos en el proceso de aprendizaje de las teorías evolutivas, la clasificación y taxonomía, y la historia evolutiva y filogenia de los seres vivos.

Se eligió como problema de investigación la utilización de imágenes y diagramas representativos de la relación histórica y evolutiva de los seres vivos, elementos que tienen presencia conspicua en libros de texto y propuestas educativas. Se partió de los siguientes objetivos específicos: 1. analizar las producciones sobre evolución de las especies (producciones gráficas, imágenes, esquemas y diagramas, y su justificación) de estudiantes de enseñanza secundaria básica; 2. detectar los principales obstáculos en la construcción de árboles evolutivos y cladogramas; 3. confrontar las imágenes con sus justificaciones y con el discurso escrito; 4. comparar las representaciones históricas de la evolución con los obstáculos epistemológicos presentes en los estudiantes; 5. sistematizar y buscar patrones comunes en las representaciones y sus obstáculos en estudiantes de distintos niveles educativos. Para ello se efectuó un estudio longitudinal, de carácter exploratorio, con un seguimiento de los mismos estudiantes durante 3 años, teniendo en cuenta una variedad de categorías analíticas, tales como: representación lineal o ramificada; continuidad, direccionalidad y progreso; temporalidad; complejidad; diferenciación; ancestro común; descendencia con modificación. Se analizaron la correspondencia descriptiva o explicativa, la coherencia conceptual y representativa y los distintos niveles de errores conceptuales. Los mismos fueron vistos desde modelos evolutivos actuales.

De las indagaciones realizadas y del seguimiento sistematizado de las representaciones gráficas producidas por los estudiantes se infiere que el esquema de árbol no es espontáneo. Dicha representación surge cuando es enseñada por analogía con el árbol genealógico, pero se mantienen las confusiones con el desarrollo individual, la linealidad y la progresión. La concepción lineal y progresiva de la evolución resurge en los distintos niveles educativos y está fuertemente asociada a la inclusión del hombre dentro de los esquemas gráficos. Es significativa la separación del ser humano de los animales, o su diferenciación como peldaño superior de la evolución. Se observó asimismo una escasa relación con conocimientos previos, y también la existencia de preconcepciones erróneas y persistentes provenientes del sentido común y del imaginario colectivo. Se registró en el análisis multivariado escasa relación entre la imagen y el discurso escrito; se vio también que el lenguaje utilizado en las consignas impacta en los resultados de las producciones. La utilización de estrategias de construcción e interpretación de imágenes como activadoras resultó ser muy fructífera; en los talleres llevados adelante con los estudiantes se evidenció su utilidad como mediadoras del aprendizaje de conceptos abstractos como descendencia y ancestro común.

Como principal derivación de esta tesis se sugiere la utilización de la iconografía, las imágenes y los diagramas como instrumentos dentro de secuencias didácticas que se encuadren histórica y epistemológicamente a fin de enseñar las representaciones de la evolución de las especies y sus diversas interpretaciones.

Abstract

Epistemology and history of science provide the necessary to build didactic sequences in which the iconic representations fulfill a substantial function to detect preconceptions and epistemological obstacles in the learning process of evolutionary theories, classification and taxonomy, evolutionary history and phylogeny of living beings.

The use of pictures and diagrams representing the historical and evolutionary relationships of living things, elements that have conspicuous presence in textbooks and educational proposals was chosen as research problem. It began with the following specific objectives: 1. analyze productions on evolution of species (graphic productions, images, diagrams and charts, their justification) of students in basic secondary education; 2. identify the main obstacles in the construction of evolutionary trees and cladograms; 3. to confront images with their justifications and written discourse ; 4. Compare the historical representations of evolution with the epistemological obstacles in students; 5. systematize and look for common patterns in the representations and obstacles in students from different educational levels.

A longitudinal, exploratory study, following the same students for three years was made, taking into account a variety of analytical categories, such as linear or branched representation; continuity, direction and progress; seasonality; complexity; differentiation; common ancestor; and descent with modification.

Descriptive or explanatory correspondence, conceptual and representative consistency and the various levels of conceptual errors were analyzed. They were seen from current evolutionary models.

From the investigations carried out and the systematic monitoring of graphic representations produced by students is inferred that the scheme is not a spontaneous tree. It arises when such representation is taught by analogy with the family tree, but the confusions remain with the individual development, linearity and progression.

The linear and progressive conception of evolution emerges at different educational levels and is strongly associated with the inclusion of man in graphic schemes. It is significant the separation of human animals or their differentiation as top step of evolution. Inadequately relation to previous knowledge, and also the existence of persistent erroneous preconceptions and from common sense and collective imagination it was also noted.

Insignificant relation between image and written discourse was recorded in the multivariate analysis; I also saw that the language used in the slogans has great impact on the results of the productions. Using construction and interpretation of images strategies as activating proved very fruitful; in workshops with students carried forward its usefulness as mediators of learning abstract concepts such as offspring and showed common ancestor. As main proposal of this thesis, suggested use the iconography, images and diagrams as tools in teaching sequences that fit historical and epistemological representations to teach the evolution of species and their models and interpretations.

Introducción

La evolución de las especies por medio de un ancestro común se representa mediante la metáfora del árbol. Desde que Darwin formulara esa teoría y realizara sus primeros esbozos de ramificaciones, los dendrogramas y el árbol de la vida también fueron evolucionando, del mismo modo sus significados e interpretaciones. Se desarrollaron disciplinas específicas para la producción y el estudio de esas representaciones, como la filogenética y, con ella, distintas escuelas y enfoques para la construcción de árboles evolutivos, como el cladismo, la fenética, la sistemática evolutiva, etc. Pero en diversos medios de divulgación, libros escolares y en el sentido común aún persiste la representación lineal en escalera, de la transformación de las especies de una en otra en forma encadenada. Ese ícono persiste en el imaginario colectivo y se transforma en una imagen tan arraigada que puede considerarse un verdadero obstáculo epistemológico en la enseñanza aprendizaje de la evolución en alumnos de niveles secundario y terciario como así también en docentes.

La historia y la epistemología de la Ciencia pueden brindar la base para analizar e interpretar las producciones y selecciones de representaciones icónicas en la enseñanza aprendizaje de la evolución y su aplicación didáctica.

Por lo tanto, considero que es necesario transformar como problema de investigación la utilización de imágenes y diagramas que representan la relación histórica-evolutiva de los seres vivos por su presencia conspicua en libros de texto y propuestas educativas.

La utilización de diagramas evolutivos puede transformarse en una potente herramienta que facilite la comprensión del proceso evolutivo fundado en el concepto de ancestros comunes.

Este proyecto surge como derivado de la investigación correspondiente a la tesis de Maestría “El Enfoque Histórico Contextualizado como Facilitador de la Enseñanza de los Mecanismos Evolutivos”, presentada en el año 2010 en la Universidad Nacional del Litoral. En ella se utilizaron las imágenes icónicas del árbol y la escalera para indagar qué representación seleccionaban los alumnos de nivel secundario y de qué manera lo justificaban a través del discurso textual. En esta nueva instancia, además de continuar explorando qué imagen seleccionan los alumnos en distintos niveles educativos, analizo las representaciones espontáneas realizadas por alumnos de ESB sobre la evolución de las especies, con un seguimiento de tres años en la misma cohorte. A partir de la comparación e interpretación de las distintas producciones mediante categorías

preestablecidas, intentaré identificar dificultades y obstáculos, estilos de construcción y explicaciones en relación con distintas imágenes.

En una primera etapa preveo un acercamiento a la fundamentación teórica que sustenta la investigación y el análisis de los resultados preliminares de una indagación exploratoria realizada en distintos libros de texto de uso común en niveles secundarios y terciarios, continuando la investigación anterior de la Maestría. Se examinarán las producciones icónicas de los alumnos de las distintas cohortes. Se incluirán análisis de test de selección de diagramas evolutivos realizados con alumnos de enseñanza secundaria básica y su comparación con datos obtenidos en diversos cursos de secundario superior, terciarios y universitarios. También se aportarán datos de talleres de construcción de árboles filogenéticos realizados en cursos de alumnos de secundario básico, de nivel terciario de profesorado de Biología y educación Primaria, y con docentes de distintos niveles.

Antecedentes

No existe bibliografía específica sobre investigaciones que den cuenta de la utilización de árboles filogenéticos o la construcción de cladogramas y su aplicación didáctica. Sí hay experiencias educativas sobre la utilización de las clasificaciones evolutivas (Guimarães, 2004) y la selección de imágenes representativas en relación con adaptación (Jimenez Aleixander, 1993). Baum y Ofner (2008) dan cuenta que la temática del árbol filogenético no aparece en los currículos escolares, siendo este contenido facilitador de la estructuración e integración de los conceptos evolutivos y el marco organizacional de la diversidad biológica. Martin y Craig (2005) señalan que la base adecuada para la comprensión de la evolución y la clasificación de los seres vivos es comprender los árboles filogenéticos (Aranjo Llamas y Roa Acosta, 2009). En el caso de la utilización de imágenes en la enseñanza de la evolución, Mendez y Granados, (2012) han descripto algunas representaciones diagramáticas de la síntesis moderna que aparecen en materiales de divulgación científica, pero que sólo se utilizan para ilustrar, no como herramienta de enseñanza.

El estudio de las imágenes en la enseñanza-aprendizaje de las ciencias tiene un importante acervo en disciplinas como la física y la química (Jiménez Valladares, 1996 y 1998; Jiménez, Perales, 2002a; 2002b; Jimenez, Hoces Prieto, 1997). En biología, se

ha estudiado su inclusión en libros de texto, la representación de modelos mediante esquemas e imágenes, con contenidos tales como células, aparatos y sistemas (Perez de Eulate, Llorente Cámara, 1998). Se ha analizado el impacto de las imágenes como uso y abuso en la enseñanza de las ciencias (Perales Palacio, 2006). En cuanto a su estudio psicológico destaca el trabajo de Otero (1998) sobre las representaciones mentales y su relación con las imágenes en la enseñanza de las ciencias.

Preguntas de investigación

- ¿Qué dibujan los alumnos de secundaria básica cuando se les pide que representen la evolución de las especies?
- ¿Qué imagen eligen la mayoría de los estudiantes cuando se les pide que seleccionen la más representativa?
- ¿Son coherentes sus producciones y selecciones de dibujos o esquemas con sus justificaciones?
- ¿Cómo influyen las representaciones icónicas en la enseñanza de la evolución?
¿Qué modelo predomina, árbol o escalera?
- ¿Los materiales bibliográficos que están al alcance de los alumnos influyen en su concepción y representación gráfica del proceso evolutivo?
- ¿La enseñanza del concepto de evolución mediante ancestros comunes incide en la elaboración y/o selección de representaciones del proceso evolutivo?
- Enseñar aplicando un enfoque histórico que incluya las representaciones realizadas y sus criterios ¿Influye en las producciones icónicas que realizan los alumnos?
- ¿Hay una evolución de las representaciones desde primer año que no poseen instrucción sobre la teoría a tercer año que ya pasaron por la instrucción sobre la teoría de los ancestros comunes?
- ¿La utilización de una secuencia didáctica basada en los obstáculos evidenciados en las representaciones históricas incide en la producción de los diagramas e imágenes por parte de los alumnos que realizaron en dicha secuencia?
- ¿El hecho de haber tenido los contenidos de la teoría evolutiva en distintos niveles educativos va a evidenciarse en la selección de las representaciones ramificadas de dicho proceso?

- ¿Persisten los obstáculos relacionados con el antropocentrismo y la progresión lineal en las producciones de los docentes y alumnos avanzados de terciario?
- ¿Las representaciones diagramáticas como modelos acotados son facilitadores para comprender la evolución de las especies?

Preguntas operativas:

- ¿Qué dibujan los alumnos de secundario básico cuando se les pide que representen la evolución de las especies?
- ¿Qué dibujan cuando se les pide que representen la evolución de las especies teniendo en cuenta los ancestros comunes?
 - ¿Qué justifican de sus representaciones en forma explícita?
- ¿Hay coherencia entre imagen y justificación?
 - ¿Hay referencias explícitas o implícitas con símbolos o signos al Fijismo-Creacionismo?
 - ¿Hay referencias explícitas o implícitas a la linealidad?
 - ¿Hay referencias explícitas o implícitas a la progresión?
 - ¿Los esquemas y dibujos poseen ramificaciones?
 - ¿Qué enunciados activan la selección de una imagen u otra?
 - ¿El haber tenido libros de textos con imágenes influye en la producción espontánea de las mismas?
 - ¿Sobre qué enunciados y/o inferencias constituyen los argumentos para justificar la selección de una imagen u otra?
 - ¿Qué significados activan la lectura de una imagen/representación versus qué representaciones activan la explicación escrita o verbal?
 - ¿Distintas representaciones activan significados distintos?
 - ¿Es previa la construcción del significado a la imagen/representación? O ¿Van juntos conceptos e imágenes?
 - ¿Las representaciones presentadas sin explicaciones previas, activan los significados esperados?
 - ¿Son construcciones sociales preexistentes que hay que interpretar y/o construir según reglas?
- Tener el concepto de ancestro común y la comprensión de la especiación ¿facilita la interpretación/ construcción de representaciones ramificadas?

- ¿Hay alguna diferencia significativa que denote una evolución de las representaciones y superación de los obstáculos desde primer año a tercer año del secundario?
- ¿Qué obstáculos conceptuales se presentan (en alumnos de nivel secundario) en la interpretación de los árboles evolutivos?
- Si se enseñan los modos de construcción de diagramas evolutivos y árboles filogenéticos ¿van a incidir en la comprensión del proceso evolutivo?
- ¿Persisten los obstáculos que conllevan a representaciones antropocéntricas y lineales en los distintos niveles educativos?

Objetivo general

Identificar obstáculos epistemológicos y de aprendizaje en la interpretación, construcción de distintas representaciones icónicas en la enseñanza -aprendizaje del proceso evolutivo y ensayar estrategias didácticas para su utilización como herramientas facilitadoras.

Propósitos

- Construir un marco teórico basado en un enfoque histórico-epistemológico que brinde la posibilidad de dar un encuadre que sustente el análisis y la interpretación de las producciones de los alumnos.
- Detectar dificultades y obstáculos asociados a las representaciones gráficas (imágenes y diagramas) en la interpretación de la historia evolutiva de las especies.
- Proveer insumos teóricos-prácticos para optimizar la enseñanza de la evolución.

Objetivos Específicos

- Construir un marco teórico sobre las funciones de las imágenes desde un enfoque cognitivo.
- Realizar un estudio histórico de las representaciones evolutivas, especialmente el origen y desarrollo de los diagramas filogenéticos.

- Analizar las producciones sobre evolución de las especies (producciones gráficas, imágenes, esquemas y diagramas, y su justificación) de estudiantes de enseñanza secundaria básica
- Comparar las imágenes realizadas por los alumnos con sus justificaciones (discurso escrito).
- Detectar si existe un cambio o evolución en las representaciones de los alumnos de secundario básico en el transcurso de tres años. Luego de haber tenido los conceptos de la teoría evolutiva.
- Indagar la influencia de la consigna docente en las producciones de los alumnos de secundario básico.
- Detectar los principales obstáculos en la construcción de árboles evolutivos y cladogramas en alumnos de diferentes niveles.
- Indagar qué imagen icónica sobre la evolución seleccionan los alumnos de distintos niveles educativos y relacionar con su justificación-interpretación de la misma.
- Observar la influencia de distintas estrategias en la enseñanza de los diagramas evolutivos en alumnos de secundario básico y en talleres para docentes y estudiantes avanzados de profesorado.
- Comparar las representaciones históricas de la evolución con los obstáculos epistemológicos presentes en los estudiantes.
- Sistematizar y buscar patrones comunes en las representaciones y sus obstáculos en estudiantes de distintos niveles educativos.
- Aportar un nuevo enfoque en la utilización de imágenes y diagramas filogenéticos en la enseñanza de la evolución como mediadores y activadores de conocimientos previos.
- Aspirar a formalizar un avance teórico en el estudio de las representaciones de la evolución de los seres vivos, sus sistemas de clasificaciones y su aplicación didáctica.
- Ensayar una propuesta didáctica que se base en el uso de imágenes y diagramas evolutivos basada en un enfoque histórico, tomando los obstáculos epistemológicos como instruccionales.
- Optimizar dicha propuesta en base a los análisis e interpretaciones de los resultados de las investigaciones realizadas.

Categorías predeterminadas

Se tienen en cuenta las siguientes categorías: Tipo de imagen o esquema, representación lineal o ramificada; direccionalidad y progreso; temporalidad; incremento en complejidad; diferenciación; transformación o ancestro común y descendencia con modificación. En cuanto a la relación imagen-texto, primero se tiene en cuenta los distintos niveles textuales, si hay o no correspondencia descriptiva o explicativa, si se da una justificación o llegan a una argumentación. Luego se interpreta la coherencia conceptual y representativa, la información implícita en la imagen versus la información explicitada en el texto y los distintos niveles de errores conceptuales. Los mismos vistos desde la teoría evolutiva actual (ancestro común), las confusiones comunes con el desarrollo individual y las concepciones asociadas al sentido común.

Categorías de análisis

- ❖ Diseño de la imagen:
 - tipo de ícono (Ilustración, diagrama, esquema mixto...)
- ❖ Grado de analogía,
 - utilización de metáforas
- ❖ Sobre la representación en general:
 - representación lineal o ramificada,
 - direccionalidad,
 - linealidad,
 - progresión,
 - continuidad.
- ❖ En cuanto a la representación de las relaciones evolutivas:
 - similitud (por afinidades, por analogías, por homologías),
 - genealogías,
 - simetría,
 - ramificación,
 - reticulación,
 - convergencia,
 - divergencia,

- evolución,
- temporalidad,
- incremento en complejidad,
- diferenciación;
- transformación o ancestro común y descendencia con modificación.

MATERIALES Y MÉTODOS

1. Seguimiento de las producciones icónicas de dos cohortes de secundaria básica durante 3 ciclos lectivos.
2. Secuencia didáctica basada en un enfoque histórico epistemológico.
3. Indagación exploratoria de producciones y selecciones de imágenes en distintos niveles educativos (Secundario- Terciario-Universitario, Capacitaciones docentes)

MARCO METODOLÓGICO

Enfoque multimetodológico.

Encuadre Naturalista – Investigación descriptiva-interpretativa.

Encuadre naturalista - Investigación descriptiva-interpretativa

- Descripción
- Interpretación
- Triangulación de datos
- Análisis cuantitativo comparativo

METODOLOGÍA

Enfoque

El diseño se encuadra dentro de un paradigma naturalista. Este encuadre básicamente consiste en recopilar información de eventos según estos ocurren en su ambiente “natural” como por ejemplo dentro de un salón de clases en una escuela durante sus tareas habituales. También se realiza investigación participante, porque el investigador

interviene como docente y se integra a las actividades “normales” de la escuela. Entendiendo por “normales” que no se alteran por el hecho de realizar una investigación. El investigador es parte de la planta de docentes de las instituciones donde se realiza el mayor seguimiento o bien posee un vínculo con la institución al concurrir como profesor de práctica en las que se toman pruebas aisladas de selección y justificación de imágenes.

Procedimientos, recursos y materiales

Para construir la principal fuente de datos de esta tesis se realiza el seguimiento de tres cohortes de secundario básico. En cada año se solicita que representen gráficamente la evolución de las especies y justifiquen en forma textual.

Cohorte 1:

Ingresantes 2009 (1º año). 15 alumnos (sólo estuvieron presentes 12 el día de la prueba)

Segundo año 2010, 16 alumnos (13 presentes el día de la prueba)

Tercer año 2011. 14 alumnos (13 presentes el día de la prueba)

Comparación: sólo 10 alumnos estuvieron en las tres pruebas.

Cohorte 2:

Ingresantes 2010 (1º año): 15 alumnos. (10 alumnos realizaron la prueba)

Segundo año 2011, 10 alumnos

Tercer año 2012. 9 alumnos

Cohorte 3:

Ingresantes 2011 (1º año) 12 alumnos realizaron la prueba

Segundo año 2012, 11 alumnos

Tercer año 2013. 9 alumnos

La cohorte 1 es la elegida para hacer la comparación y seguimiento de 8 alumnos que hicieron la prueba en los tres años.

Los cursos de secundario básico no tienen más de 20 alumnos cada uno y concurren a la misma escuela.

Para obtener datos secundarios de otras fuentes se realizan trabajos de campo en cursos diferentes Tomando pruebas de selección y justificación.

Cursos donde se realizan las primeras pruebas de selección y justificación de representaciones:

Secundario Básico: 2 cursos (Chacabuco y Junín).

Secundario Superior: dos cursos (Junín).

Terciario: Profesorado en Biología, primero y cuarto años, 3 cursos de Junín, cuarto año, un curso de Los Toldos. Profesorado en Educación Primaria, dos cursos de tercer año, Junín. Profesorado en Educación Especial, un curso, Junín.

Universitario: 3 comisiones de primer año de la cátedra Introducción a la Biología de la carrera Agronomía de la Universidad Nacional del Noroeste de la provincia de Buenos Aires (UNNOBA)

Taller para docentes de Biología, primaria e inicial (Construcción de árboles) 20 asistentes)

En el análisis de los datos extraídos de las fuentes antes mencionadas se incluyen metodologías descriptivas, analíticas, interpretativas, análisis estadístico cualitativo, observación de clases con confrontación de resultados de las diferentes pruebas realizadas.

Se realizan talleres de construcción de árboles filogenéticos en Segundo de secundario básico con observación participante y análisis de las producciones grupales e individuales. Los mismos talleres se adecuarán para realizarlos con docentes en la ciudad de Chacabuco.

Se utilizan distintos recursos: Pruebas gráficas, esquemas, dibujos, guías de actividades, presentaciones multimedia.

Resultados esperados

En las indagaciones preliminares se constata que la construcción de esquemas o imágenes con ramificaciones no es espontánea en los alumnos aunque hayan tenido el concepto de ancestro común.

Se espera detectar las dificultades y obstáculos en la representación ramificada de la evolución y la relación con el texto escrito (coherencia y correspondencia), las justificaciones orales y la selección de representaciones figurativas y no figurativas. Se

espera encontrar relaciones de los resultados obtenidos con los obstáculos e interpretaciones que se dieron en la historia de la utilización de las imágenes y diagramas para representar la historia evolutiva de los seres vivos y la filogenética como, por ejemplo, la selección y o construcción de árboles filogenéticos intermedios que coloquen al hombre en la cúspide o lo diferencien de alguna manera de los demás seres vivos connotando progreso como los árboles haeckelianos.

MARCO TEÓRICO

1. UNA IMAGEN VALE MÁS QUE MIL PALABRAS

1. a- Texto e imagen, sistemas de representaciones

Las imágenes forman parte del discurso en la enseñanza-aprendizaje de las ciencias. Su uso se fue incrementando en los libros de texto y en variedad de recursos didácticos.

Las imágenes y su interpretación pueden convertirse en facilitadores o pueden afianzar los obstáculos epistémicos. Pero también las imágenes tienen una función mediadora, como facilitadoras e intermediarias de la comprensión de conceptos abstractos. Esta función está dada por la potencialidad de la imagen, que puede ser interpretada de variadas formas. Dependiendo de las experiencias y estructura previa del conocimiento del sujeto, la imagen va a tener un significado particular a partir de la interpretación de la misma. La interpretación es una traducción del mensaje icónico. La imagen junto a su significado se transforma así en una construcción subjetiva. La interpretación de la imagen siempre se construye en el presente, aunque la imagen haya sido elaborada en el pasado. Tanto la imagen como el texto transmiten información, pero de diferente manera. Por ejemplo, las imágenes no pueden ser verdaderas ni falsas en el sentido lógico que tienen los lenguajes verbales. (Martine, 2012). Pueden tener más de un significado. La imagen puede tener diferentes niveles de codificación. El dominio de estos códigos puede ser desigual según los contextos, la situación histórica, y por lo tanto, las interpretaciones resultantes deferirán según los sujetos.

¿La imagen es el objeto? La imagen posee una función analógica, representa algo, pero no es el objeto en sí. Toda representación es referida por sus espectadores históricos y sucesivos a enunciados ideológicos, culturales, simbólicos que le dan sentido (Aumont, 1996).

Las imágenes son representaciones análogas, parecidas, pero no idénticas a sus referentes (Shepard, 1978)

Para comprender la formación de las imágenes partimos de la percepción. Y ¿qué es percibir? Percibir implica separar o segmentar elementos de la escena o seguir el devenir de procesos: percibir es crear perceptos, contrastándolos contra un contexto en el cual se desarrolla el proceso perceptivo. El agente sensorial es siempre parte de dicho proceso (Redolar, 2013).

Percibir es ya intervenir “saber qué está, dónde”. Al percibir se realizan planes de acción a corto plazo, se ponen en acción procesos de atención y memoria de corto plazo. Percibir implica atender- ordenar- organizar.

También existen imágenes independientes del sistema de percepción. Imágenes mentales construidas Las personas elaboran imágenes mentales (Shepard, 1978; Kosslyn, 1986, 1996) pudiendo someterlas a una transformación mental, estructural y funcional. Este carácter transformador de las imágenes es extraordinario y, a diferencia de la percepción visual, no depende del ambiente, es claramente constructivo. (Otero, 2001)

La teoría del procesamiento de las imágenes según el enfoque neurocientífico de las redes neuronales propone canales distintos al procesamiento de la información textual. Esta teoría se ocupa de los procesos cognitivos basada en modelos de redes computacionales. Este modelo computacional está apoyado en datos neurológicos y neuropsicológicos que parecen apoyar cada uno de los procesos y estrategias que intervienen en la generación, inspección, transformación, etc., de las imágenes (Kosslyn, 1980). Los subsistemas de procesamiento son interpretados por Kosslyn como redes neuronales encargadas cada una de ellas de funciones relacionadas con las imágenes mentales, pero no exclusivas de ellas.

Para Kosslyn las imágenes mentales son un proceso cognitivo, y como tal, intervienen estructuras y procesos implicados en otros procesos cognitivos (atención, memoria, etc.); la idea de Kosslyn es parecida a la mente modular de Fodor¹ (1982), pero los módulos no son encapsulados, sino que son partes que se ensamblan en redes neuronales; es decir, las imágenes están compuestas por diferentes partes o piezas "multipartes" y cada una de estas piezas es construida por una red neuronal.

El procesamiento de la información en imágenes es mucho más rápido y se codifica y recupera más fácilmente que la información lógica-textual. Las imágenes pre-organizan los objetos y sus propiedades, cuando se recupera parte de una imagen, no es una parte aleatoria, no es como romper un rincón de una foto o dibujo. Más bien, las imágenes

¹Fodor (1984) Se ocupó de describir los sistemas de entrada. Cada sistema es un módulo. Los módulos son: -Encapsulados - Específicos de dominio. Y la información se procesa en forma obligatoria y rápidamente.

parecen organizarse en partes de significado, que se recordarán en términos de relaciones espaciales a través de ellas.

Cuando se utilizan imágenes es necesario prestar atención al material con que se está trabajando, esto permite que la información se procese más minuciosamente y que, por tanto, mejore la ejecución; todas las imágenes, de alguna manera, utilizan información semántica almacenada en la memoria; las estrategias permiten asociar elementos entre los cuales no tiene por qué haber una relación clara en un principio; hay que tener en cuenta que en el proceso de codificación se establece una clave que facilita el recuerdo.

Podemos diferenciar imágenes mentales de imágenes visuales. Las imágenes visuales se parecen a la experiencia real de ver algo; en el caso de imágenes mentales, estas representaciones se recuperan o se forman en la memoria y no de la estimulación sensorial inmediata. En este sentido, suele hablarse de "los ojos de la mente" como un procesador que interpreta las representaciones casi-pictoriales (es decir, aquellas que subyacen a nuestra experiencia perceptual) en términos de categorías conceptuales.

Cuando este proceso interpretativo se aplica a recordar información perceptual en lugar de información que viene de los sentidos, entonces lo que se experimenta es una imagen en lugar de un percepto. La percepción es un proceso de reducción de información en el cual un conjunto caótico de sensaciones son reducidas a una forma más simple y organizada, este proceso reorganizativo genera nuestras percepciones estructurándolas en unidades correspondientes a objetos y a propiedades de los objetos. Estas grandes unidades pueden ser almacenadas y más tarde ensambladas como imágenes, que se experimentan como entidades casi pictoriales.

Según Kosslyn, (1986) las imágenes:

- 1) No contienen relaciones distintivas identificables, las relaciones sólo emergen del conglomerado de componentes que se están representando.
- 2) No contienen argumentos primitivos discretos, los componentes de una imagen no son entidades discretas que se relacionan unas con otras de maneras precisas. Una imagen de una caja, puede descomponerse en caras, bordes, etc., pero éstos no son argumentos elementales de ella.

3) No parecen tener una sintaxis. Cualquier sintaxis que establezca que una figura está "bien formada", dependerá de alguna clase de interacción con componentes semánticos, una imagen es una "imagen de". Es posible crear figuras no condicionadas por las leyes que regulan la naturaleza de los objetos de mundo, como las figuras imposibles de *Escher*². El significado de una imagen se asigna por procesos que trabajan por encima de la representación y no son inherentes a la representación en sí.

4) Las imágenes no son abstractas en el sentido en que lo son las proposiciones. Una imagen de un dibujo será diferente si proviene de una descripción hablada o desde otra imagen. (Kosslyn, 1980).

1. b- Imágenes y texto son dos formas de representación

Con respecto a las representaciones, proliferan una variedad de constructos que responden a diferentes abordajes teóricos de mayor o menor envergadura. Según Riviére (1987) la Psicología Cognitiva refiere sus explicaciones a constructos de naturaleza mental que tienen un nivel de discurso propio, en el que podrían incluirse las operaciones y estructuras de las que nos hablan los miembros de la Escuela de Ginebra, las representaciones proposicionales de Physylyn, las imágenes mentales de Kosslyn o Schepard, los esquemas de Rumelhart, los scripts de Chunk y Abelson, los sistemas de producción de Anderson, los modelos mentales de Johnson-Laird, las representaciones icónicas y simbólicas de Bruner, los subsumidores de Ausubel y los signos e instrumentos de Vigotsky. (Otero, 2001)

Hay una interrelación entre la dimensión visible de la imagen y su dimensión inteligible que puede ser expresada por el lenguaje oral o escrito.

Tanto la imagen como el texto transmiten información, pero de diferente manera. Por ejemplo, las imágenes no pueden ser verdaderas ni falsas en el sentido lógico que tienen los lenguajes verbales. Pueden tener más de un significado. La imagen puede tener diferentes niveles de codificación. El dominio de estos códigos puede ser desigual según los contextos, la situación histórica y las interpretaciones resultantes deferirán según los sujetos. La imagen posee una función analógica, representa algo, pero no es el objeto en sí. Toda representación es referida por sus espectadores históricos y sucesivos a

² Escher M. C., (1898-1972). Artista gráfico, sus principales características fueron la dualidad y la búsqueda del equilibrio, la utilización del blanco y el negro, la simetría, el infinito frente a lo limitado, el que todo objeto representado tenga su contrapartida.

enunciados ideológicos, culturales, simbólicos que le dan sentido. El realismo de una imagen también es ideología (Aumont, op. cit)

Es necesario conceptualizar y acordar significados de los términos implicados en los distintos análisis que se llevarán a cabo en esta tesis, como representación, distintas formas de representación, íconos, analogías, metáforas, modelos...

1. c- Las representaciones

Desde la época de Kant, el término “representación” ha quedado atrapado en una dialéctica filosófica (Toulmin, 1977), por un lado ha sido identificado con una imagen o continuo sensorial (idea) y, por otro, a un sistema deductivo formal con premisas y demostraciones “evidentes”. Se ha tomado también a la representación como imagen o modelo mental de los conceptos. Para Toulmin, estos términos: “imágenes” y “modelos” son medios alternativos, adecuados para simbolizar los conceptos colectivos que forman la “*transmisión*” de una disciplina científica. Toulmin sostiene que las representaciones son compartidas.

En psicología de la educación, según el enfoque constructivista, cada persona construye a partir de la interacción con diferentes mundos y objetos, de tal modo que las estructuras cognitivas desde las que se represente el mundo son resultado de ese proceso de aprendizaje constructivo (Pozo, 1999). Es decir, se construyen los objetos, el mundo que vemos y la mirada con la que lo vemos. Posteriormente, Pozo aborda el tema del aprendizaje visto como conocimiento y plantea que conocer es hacer explícitas las propias representaciones. Aprender está relacionado con la capacidad de conocer y manejar las representaciones explícitas (Pozo, 2003). Para que una representación se haga explícita es necesario traducirla a otro código distinto, por lo que la explicitación y el aprendizaje consciente requieren de la mediación cultural de sistemas de representación que van siendo progresivamente más complejos.

En las corrientes constructivistas de enseñanza de la ciencia se habla de “negociar” significados, por lo tanto, las representaciones al hacerse explícitas son compartidas y también son construidas socialmente.

1. d- la función de las representaciones icónicas

Las imágenes son una forma de representación externa, con atributos diferentes y comunes a la escritura y a los códigos numéricos.

En la enseñanza de la biología se utilizan variadas representaciones gráficas e imágenes de distintos tipos. Acotando este análisis, se podrían clasificar en figurativas, esquemáticas y mixtas (donde se incluyen otras formas de representación como números o texto).

Las imágenes utilizadas en la ciencia pueden funcionar como “mapas-modelo” (Giere, 1999), pues en ellas hay una selección de rasgos, una abstracción de propiedades que hace posible que se subsuman en ella, por similitud, determinados objetos del mundo real o, en otras palabras, las imágenes tendrían un valor clasificatorio, definitorias, y es posible que contengan información que supera la contenida en el objeto mismo. Incluso las representaciones pictóricas más naturalistas y realistas, las que dicen estar copiadas del natural, contienen rasgos subjetivos con información a ser interpretada.

De manera similar con las imágenes, los modelos incluyen varios grados de estructura analógica, pudiendo ser completamente o parcialmente analógicos y parcialmente proposicionales (Gómez López, 2005).

Las imágenes comparten los atributos de los modelos, pero, siendo sólo una representación "visual" del modelo, no poseen capacidad explicativa, deben ser interpretadas. Una imagen "vale por mil palabras", pero así mismo, una proposición "vale un número infinito de imágenes" que a su vez son "visualizaciones" de modelos.

Desde la psicología cognitiva, el término modelo mental se refiere a una representación mental elaborada por las personas cuando interaccionan con su medio, textos, imágenes o combinaciones entre ambos. Los modelos mentales incluyen datos procedentes del exterior, conocimientos previos y expectativas del sujeto, etc., dando lugar a representaciones dinámicas en la memoria a corto plazo. (Johnson-Laird, 1980). Bruner habla de representación mental (Bruner, Goodnow, y Austin, 1956). Piaget también se ocupa de las imágenes como construcción de representaciones mentales (Piaget, (1980). Bruner y sus colaboradores (1956) consideran como uno de los tres sistemas de representación en el pensamiento, el icónico. También debe destacarse el estatus asignado por Piaget al pensamiento figurativo en cuanto a poseer una capacidad transformadora y anticipatoria.

Suele decirse que “Una imagen vale más que mil palabras”, pero se debería agregar, siempre que se posea el conocimiento necesario para interpretarla. Es decir, no alcanza con las imágenes, como lo afirmaran Piaget, Bruner y Johnson-Laird, quienes postularon formas complementarias de representación. Esto no quiere decir que la imagen sea insuficiente, que sea un epifenómeno o que tenga un papel inferior a las proposiciones en la cognición. Se plantea el caso de que, cuando no se poseen representaciones proposicionales, se recurra a las imágenes para generar luego representaciones de tipo proposicional. Esta opción está implicando que esta vía figurativa o icónica podría resultar muy útil en la adquisición de conceptos. Posiblemente no cualquier imagen resulta adecuada y se podría hipotetizar que las “mejores” serían aquellas que se corresponden con visualizaciones de un modelo mental, asociado al concepto o evento que se pretende representar. (Johnson-Laird, 1996). La imagen y los diagramas son representaciones que permiten aprender de forma más íntegra y rápida. Con ellas se pone en juego la capacidad de procesamiento visual, lo que produce economía en la estructuración y comprensión (Larkin y Simon, 1987).

1.e. Formas de representación

Tradicionalmente, se habla de dos formas de representación el lenguaje icónico y el lenguaje proposicional

Desde el constructivismo piagetiano se ha considerado que la representación proposicional es la única forma representacional existente y, más aún, que sus reglas de manipulación, se basan en el cálculo formal permitiendo así que la mente "trabaje" con una lógica formal. Las imágenes se traducirían en una interpretación formal para ser analizadas y / o construidas.

Johnson-Laird plantea que existen por lo menos tres formas en la que podemos codificar, representar mentalmente información: las representaciones proposicionales, los modelos mentales y las imágenes (auditivas, visuales, táctiles).

Algunas imágenes funcionarían como una especie de mapas mentales. Conexiones que guían ideas, conceptos, tareas en pos de la resolución de un problema.

1. f. Imágenes, gráficos, diagramas...

Las imágenes se pueden clasificar, según su función, en “*referencial, cognitiva, expresiva o emotiva*” (Martine Joly, 2012).

La imagen es una especie de signo. Joly (2012) cita a Peirce (1978) quien considera que el ícono corresponde a la clase de signos cuyo significante tiene una relación analógica con lo que representa.

Siguiendo estos autores se pueden clasificar distintos tipos de íconos:

- Imagen
- Diagrama
- Metáfora

La imagen posee una relación analógica cualitativa entre semejante y referente.

El diagrama posee una analogía relacional e interna al objeto.

La metáfora es un ícono que trabaja con un paralelismo cualitativo, es una figura retórica que puede concernir a lenguajes verbales o no.

El punto común a todo tipo de imagen es la analogía. Una imagen es ante todo algo que se asemeja a otra cosa (Joly, op.cit.)

Un diagrama es un gráfico que presenta información simplificada con respecto a la relación de elementos de un conjunto.

Los gráficos, en general, son tipos de representaciones visuales. Pueden incluir elementos figurativos, signos y símbolos. Su finalidad es comunicar algo.

1. g. Modelos y representaciones gráficas

Se considera a los modelos como “representantes de” (Palma, 2008) y son asimilables a las metáforas. Un modelo produce un enlace, un puente entre representación y representado. Estos enlaces pueden estar mediados por reglas. La epistemología reconoce que los modelos poseen ciertas funciones, como comprender un dominio de fenómenos (u objetos) a partir de otro más cercano y conocido. Por lo general tienen una función heurística y didáctica. Pero no tienen poder explicativo en sí mismos, ni probatorio. Serían útiles en el contexto de descubrimiento según la epistemología tradicional.

Los modelos escolares son distintos a los modelos científicos puesto que sufren una transposición y muchas veces se recurre a modelos analógicos simplificados.

Se parte de la idea que las imágenes que representan a la evolución biológica son modelos. La imagen lineal y la imagen ramificada de la evolución son modelos contrapuestos.

El sujeto construye imágenes o selecciona según el “modelo” o representación que posee internalizado.

En psicología cognitiva se emplea la frase “modelo mental” (Johnson-Laird, 1980) como representación interna de la realidad que puede expresarse conceptualmente o por medio de imágenes. Según palabras de Johnson-Laird: *“La teoría de los modelos mentales se ha pensado para explicar los procesos superiores de la cognición y, en particular, la comprensión y la inferencia. Sugiere un inventario simple de tres partes para el contenido de la mente: hay procedimientos recursivos, representaciones proposicionales y modelos. Los procedimientos son indecibles. Llevan a cabo tareas como el mapeamiento de las representaciones proposicionales dentro de los modelos. También proyectan un modelo subyacente dentro de otras formas especiales de modelos -una visión bidimensional o imagen. Hay presumiblemente algunas otras formas de procedimiento que juegan una parte en el pensamiento. Prototipos y otros esquemas, por ejemplo, son procedimientos que especifican por defecto valores de ciertas variables en modelos mentales”* (Johnson-Laird, 1983, pág. 446-447). Esta teoría sirve como punto de partida para analizar los procesos que entran en juego al construir o seleccionar una imagen para explicarlo y/o justificarla.

Los modelos permiten a los individuos hacer inferencias y predicciones, entender los fenómenos, decidir las acciones a tomar y controlar su ejecución. Este es el sentido de "working model".

Un modelo puede ser definido como una representación de un cuerpo de conocimientos que satisface las siguientes condiciones:

a - su estructura no es arbitraria; corresponde a la estructura de la situación que representa. Representa un estado de cosas o hechos reales o imaginarios ;b - puede consistir de elementos que corresponden a entidades perceptibles; en este caso pueden ser concebidos como una imagen, perceptible o imaginaria; c - no contiene variables, pues representa entidades específicas. (Johnson-Laird, 1990)La formulación moderna del concepto de modelo mental es debida a Kenneth Craik (1943). Para él, los seres humanos traducían eventos externos en modelos internos y razonaban por manipulación

de estas representaciones simbólicas, retraduciendo luego los símbolos resultantes en acciones o en evaluaciones de hechos externos.

Los modelos, que pueden ser construidos como resultado de la percepción, de la interacción social o de la experiencia interna, no emplean reglas de inferencia de ninguna clase (por eso no contienen variables) - ni formal ni de contenido específico - pero asumen que el razonamiento depende sólo de la manipulación de esos modelos, lo que implica que es posible razonar sin que el proceso involucre necesariamente una lógica formal. (Greca y Moreira, 1996).

1. h. Representación- Interpretación

En el momento de la construcción de diagramas e imágenes también se construye su significado como una expectativa, una especie de hipótesis sobre que será interpretado de la manera como se desea transmitir. El espectador será quien decodifique, pero en base a sus conocimientos previos, estructuras, conexiones y experiencias. Si bien una imagen puede tener muchas interpretaciones, siempre existe un acuerdo preestablecido, tácito o explícito entre autor y espectador que establece orientaciones, parámetros y criterios para “leerla”. Algunas convecciones son generales, como la lectura de una representación evolutiva de izquierda a derecha y de abajo hacia arriba, como la típica representación lineal o en escalera del proceso de hominización, o el árbol figurativo heackeliano con el hombre, “cumbre de la evolución” en la punta de su copa.

En cada interpretación subyace una teoría o enfoque; por eso es tan importante establecer acuerdos y legitimaciones previos para conformar un discurso interpretativo común (Toulmin, 1977), definiendo términos y descubriendo signos y símbolos. En general, interpretar es traducir, de una forma de representación a otra y construir argumentaciones en base a significados preestablecidos.

1. i. Analogías – Metáforas

La analogía “o la semejanza” como denominador común, ubica a la imagen “en la categoría de representaciones” y su función es la de evocar, la de significar otra cosa que no es ella misma. De esta manera, es un signo. La imagen construida apela a la semejanza (entre el objeto y la imagen que lo representa) de allí su fuerza (vale para imágenes científicas, virtuales, de dibujos, etc.) (Aumount, op. cit)

La imagen y los diagramas son representaciones que permiten aprender de forma más íntegra y rápida. Con ellas se pone en juego la capacidad de procesamiento visual, lo que produce economía en la estructuración y comprensión (Larkin, y Simon, 1987). Para Joly “*la definición retórica de imagen, según Peirce ... solo es visual*” (la imagen icónica). “*la imagen no es lo importante del icono, pero toda ella es una signo icónico, al igual que el diagrama y la metáfora*” (pag. 42)

Como se expresó anteriormente, la analogía es común en los distintos significados de la “imagen” (visual, mental, virtual, etc.) “*parece ser ante todo la analogía*”. Y sea lo que sea “una imagen” es antes que nada ***algo que se asemeja a otra cosa***

Entonces, la analogía “*o la semejanza*” como denominador común, ubica a la imagen “*en la categoría de representaciones*” y su función es la de **evocar**, la de significar otra cosa que (no es) ella misma. De esta manera, es un signo.

“La imagen también es un lenguaje, un lenguaje específico y heterogéneo; que por esta razón se distingue del mundo real, y que propone, por medio de signos particulares una representación elegida y necesariamente orientada; distinguir las principales herramientas de este lenguaje y lo que puede significar su presencia o su ausencia; relativizar su propia interpretación comprendiendo al mismo tiempo los fundamentos; tantas son las pruebas de libertad intelectual que el análisis pedagógico de la imagen puede soportar.” (Joly, 2012)

1. j. Diagramas e imágenes como mediadores

La imagen funciona como mediadora y complemento del discurso verbal o escrito. Sirve de modelo facilitador para la interpretación de conceptos complejos en los cuales no alcanza sólo el lenguaje proposicional con las múltiples relaciones y significados que pueden establecerse.

Por eso la imagen tiene una gran importancia didáctica.

Las funciones de la imagen pueden ser, por un lado, espejo y, por otro, mapa o ambas (Aumont, 1992). Este autor, citando a Gombrich, sostiene que la analogía icónica posee un doble aspecto: por un lado el aspecto espejo, cuando se duplica ciertos aspectos de la realidad visual. Es la imagen figurativa como imitación de la imagen especular. Por otro lado, tiene el aspecto mapa, la imitación de la naturaleza, pasando por esquemas mentales. Estas representaciones tienden a la simplificación y son esquemáticas. Y estos

aspectos no son puros, puesto que, como sostiene el autor citado, *“siempre hay un mapa en un espejo”*.

Esas imágenes-analogías son facilitadores, nexos que de alguna manera plasman la realidad y ayudan a interpretarla.

Se pueden utilizar como disparadores, para expresar preconcepciones y, de alguna manera, ponen en evidencia los obstáculos en la interpretación de fenómenos complejos, modelos y concepciones arraigadas que se han convertido en símbolos de comunicación social, como el caso de la evolución humana en “escalera”.

La noción de obstáculo epistemológico la debemos a Bachelard: *“es en el acto mismo de conocer, íntimamente, donde aparecen, por una especie de necesidad funcional, los entorpecimientos y las confusiones. ... causas de estancamiento y hasta de retroceso, causas de inercia que llamaremos obstáculos epistemológicos”*³ (pag. 15. Edición 2003)

Estos obstáculos no permiten una correcta apropiación del conocimiento objetivo. A lo largo de la historia de la filosofía se habían realizado grandes esfuerzos para determinar las dificultades específicas que no permitían una apropiación adecuada de la realidad, pero estas dificultades se identificaban con la insuficiente capacidad de los órganos sensoriales para captar los diferentes fenómenos naturales, o con lo inapropiados de los instrumentos materiales utilizados en la investigación de los acontecimientos naturales. Un obstáculo se manifiesta por errores que no son debidos al azar. Son errores que aparecen una y otra vez, son reconocibles, se sabe que van a aparecer y que persisten.

Además, estos errores en un mismo sujeto están ligados entre sí por una fuente común, básicamente una manera de aprender o una concepción característica, un conocimiento anterior que tiene que ver con todo un dominio de acción.

Los obstáculos epistemológicos no son necesariamente explícitos ni difíciles de franquear. Lo ideal sería tratar de franquear el conocimiento que obstaculiza; es decir, ver el contexto en el cual es válido. Así mismo en el que no lo es, por lo que no se trata de eliminar el obstáculo, sino de conocerlo para desarrollar estrategias para superarlo. Los obstáculos no se eliminan de una vez y para siempre, sino que son recurrentes y nunca se eliminan por completo. Pueden surgir tanto en el momento de construcción del conocimiento (primer momento) como en una etapa de finalización. Y pueden ser sorteados en un contexto determinado y mantenerse intactos en otros.

³ En “La Formación del Espíritu Científico”, su primera edición fue en 1948.

Bachelard afirma que la opinión es el primer obstáculo epistemológico. El “sentido común” es, por supuesto, una fuente mayor de obstáculos epistemológicos. Para superar esos obstáculos, él habla de “ruptura epistemológica”; sugiere que hay algo que romper, una barrera que debe ser derribada para incorporar nuevo conocimiento. De aquí surge su noción de obstáculo epistemológico; es decir, es cualquier concepto o método que impide una ruptura epistemológica. Los obstáculos son residuos de maneras previas de pensar que, cualquiera haya sido su valor en el pasado, comienzan a bloquear la marcha de la obtención de nuevo conocimiento.

Por otro lado, al enfocar los obstáculos desde el punto de vista didáctico, se debe tener en cuenta la noción de objetivo-obstáculo (Astolfi, 1999). Este enfoque busca hacer interactuar y confrontar trabajos y reflexiones, a menudo divergentes, que se han realizado, con objetivos pedagógicos unos, y con las representaciones de los alumnos, otros. Esto renueva tanto la concepción de los objetivos como la de los obstáculos. Éstos ya no se caracterizan de forma negativa, ya que se examinan las condiciones de su superación posible. Son considerados más dinámicamente por constituir un reto conceptual más que un impedimento para el aprendizaje; en cuanto a los objetivos, ya no se definen, en forma conductista, a través tan sólo de los comportamientos observables que se buscan, sino que se centran en mayor medida en los procesos de transformación intelectual que se persiguen. Los obstáculos sirven de guía para construir la secuencia de enseñanza-aprendizaje. La secuencia didáctica pasa de ser una sucesión progresiva de actividades a un conjunto de estrategias destinadas a superar los obstáculos que se presentan en el proceso de adquisición de un conocimiento. Los obstáculos pueden tener un paralelismo con la historia científica de dicho conocimiento. Han derivado de la comprensión lógica de la estructura científica. Coinciden con los obstáculos que se fueron presentando a lo largo de la historia de la disciplina. En este caso, la representación lineal y progresiva de la evolución de las especies. (Torreblanca, 2010).

2. REPRESENTACIONES ICÓNICAS EN BIOLOGÍA

2. a- Utilización de imágenes en la enseñanza de la biología

En la enseñanza de la biología se utilizan múltiples representaciones gráficas e imágenes de distintos tipos. Acotando este análisis, se podrían clasificar en figurativas, esquemáticas y mixtas (donde se incluyen otras formas de representación como números o texto).

Las imágenes utilizadas en la ciencia pueden funcionar como “mapas-modelo” (Giere, Op. Cit.) pues en ellas hay una selección de rasgos, una abstracción de propiedades que hace posible que se subsuman en ella, por similitud, determinados objetos del mundo real. En otras palabras, las imágenes tendrían un valor clasificatorio, definitorias, y es posible que contengan información que supera la contenida en el objeto mismo. Incluso las representaciones pictóricas más naturalistas y realistas, las que dicen estar copiadas del natural, contienen rasgos subjetivos con información a ser interpretada.

Siguiendo a Perales Palacios (2006) es fundamental el papel jugado por las representaciones gráficas en el contexto de la modelización que la comunidad científica utiliza para facilitar la descripción, la explicación y la predicción de los fenómenos naturales. Tomando la idea del filósofo de la ciencia Mario Bunge, especialmente ilustrativa para estos propósitos, resulta la vertiente explicativa de los modelos y, en especial, la denominada explicación interpretativa.

2. b. Las imágenes y diagramas en la interpretación de la evolución

La teoría de la evolución basada en la descendencia con modificación desde ancestros comunes asume tradicionalmente la representación icónica del árbol.

El diagrama ramificado es el modelo que actualmente se utiliza para representar las relaciones evolutivas entre los seres vivos. Darwin fue quien introdujo la metáfora del “Árbol de la Vida” en sus borradores, escritos en 1837.

El árbol de la vida es la representación de la evolución en su deriva ramificada a través de nodos o raíces comunes. Pero no siempre el ícono del árbol fue el que predominó en las representaciones del devenir de los seres, teniendo en cuenta la jerarquía de los mismos. La escalera o cadena de los seres, la representación lineal, fue un ícono muy arraigado que aún perdura en el sentido común.

Desde la más temprana historia (en las civilizaciones del Medio Este y de Europa, en sus religiones y tradiciones culturales) cadenas, cuerdas, escalas y escaleras han servido de metáforas para representar el orden en el Universo y las jerarquías y conexiones entre el Cielo y la Tierra. Y algunas veces aparece el árbol utilizado en el mismo sentido metafórico. El orden lineal y progresivo era compatible con los rangos jerárquicos de la Creación. La cosmología bíblica que tiene a Yahvé como creador, pone al hombre como la cumbre de la jerarquía natural. Por lo tanto se asume un ordenamiento lineal de la naturaleza, desde lo simple a lo complejo, de lo menos perfecto a lo cada vez más perfecto, hasta asemejarse a Dios.

La escala de la Naturaleza fue muy utilizada, tanto por fijistas como por transformistas, para representar el orden jerárquico de los seres.

Después de que Linneo realizara su clasificación natural, dividiendo los seres en tres Reinos: mineral, vegetal y animal, se buscaron alternativas para realizar una especie de mapa que representara de alguna manera esa clasificación y con la escala lineal ya no alcanzaba. Aunque al principio Linneo aceptó la idea de un orden natural creciente representado por una única escala lineal, entre 1750 y 1751 se dio cuenta que ni siquiera las plantas podían representarse siguiendo una única unidad continua si se quería tener en cuenta todas las categorías.

Buffon (1707-1788)⁴ también aceptó la escala natural de los seres vivos. Pero, en realidad, se enfocó en una clasificación de los animales que, en contraste con la escala lineal tradicional, resultó bastante más compleja. En esa escala sólo persistía la jerarquía en los géneros principales, en los aspectos correlacionados en tamaño y fecundidad, pero después empezaban las ramificaciones colaterales.

Luego Lamarck intentó adaptar la escala a su concepción evolutiva progresista y lineal, pero después él también se dio cuenta que no alcanzaba con una escalera vertical y tuvo que reformarla agregando conexiones laterales (Ragan, 2009).

Antes que Darwin hubo intentos de agrupar a los seres en figuras en forma de árbol pero no tenían aún un fundamento evolutivo. Fue Darwin quien plasmó la idea del “Árbol de la Vida” y realizó las primeras representaciones ramificadas del origen de las especies por medio de ancestros comunes.

⁴Georges Louis Leclerc, conde de Buffon (Montbard, 7 de septiembre de 1707 –París, 16 de abril de 1788) fue un naturalista, botánico, matemático, biólogo, cosmólogo y escritor francés.

Luego fue Haeckel (1896) quien generalizó la representación del árbol y le dio el nombre de filogenética al estudio de la evolución de los seres vivos y árbol filogenético a su representación como analogía con los árboles genealógicos.

Las representaciones de Haeckel influyeron en la concepción de la evolución de inicios del siglo XX y se popularizaron en libros de texto. La imagen figurativa del árbol con el tronco ancho, en la base los seres “menos evolucionados” y, en la cúspide, el hombre fue el modelo predominante de la concepción progresiva y jerárquica de la evolución que se enseñaba en los libros de educación secundaria hasta casi finalizar el siglo XX.

La forma que tiene el árbol puede decirnos mucho sobre la concepción de la evolución que posee su autor. Un árbol cónico con la punta hacia arriba como la forma clásica que creemos tiene un pino, nos refleja la mayor diversidad en las ramas inferiores y en la punta muy poca o, como en los árboles de Haeckel, indica una direccionalidad y progresión, donde sólo estarán los más evolucionados. Pero es raro encontrar árboles filogenéticos con la figura de un pino en la actualidad. En libros de texto podemos hallar árboles con un troco central y ramas laterales como un tallo de judías o la forma de un ciprés; esta forma también expresa direccionalidad y cierta linealidad, como una escalera ramificada. Es una representación intermedia entre la escalera y el arbusto.

2. c. Los íconos canónicos como obstáculos epistemológicos

Aunque ni la actual teoría evolutiva ni el registro fósil respaldan la idea de progreso lineal en la evolución, es muy difícil sacarse esa idea de encima. La misma palabra evolución, que Darwin había evitado y que popularizó Spencer⁵, se tomó como equivalente a progreso, aunque su significado era “desenrollar”.

En la mayoría de los libros de texto y en las propuestas didácticas para la enseñanza de la evolución, para explicar el origen de la biodiversidad y la teoría del ancestro común, se utiliza como modelo el icono del árbol evolutivo, en sus más diversas representaciones. Pero la representación que más prevalece es la del árbol con las ramas hacia arriba con una direccionalidad manifiesta. Y se sigue hablando de “eslabones perdidos” dando la idea de la evolución como una cadena unidireccional no bifurcada. Por otro lado, la imagen de la evolución humana, representada linealmente y en forma progresiva de izquierda a derecha, inunda textos y publicaciones de divulgación que se utilizan en la escuela. En la enseñanza de la evolución, las imágenes están usualmente

⁵Hebert Spencer (1820-1903) fue un naturalista, filósofo, psicólogo y sociólogo británico. Instauró el Darwinismo social en Gran Bretaña y fue uno de los más ilustres positivistas de su país

asociadas a representaciones metafóricas. La metáfora se utiliza frecuentemente en la enseñanza de la ciencia y también fue utilizada en el discurso científico para transmitir conocimientos nuevos o de un alto nivel de abstracción. Las metáforas contribuyen a concretizar y simplificar fenómenos abstractos y complejos relacionándolos con otros ya conocidos. El icono del árbol como representación de la evolución de las especies es una imagen metafórica muy fuerte para comprender la historia de la diversidad biológica.

El otro ícono que está instalado en el imaginario colectivo se basa en la metáfora de la escalera y tiene mucha fuerza aún. La errónea equiparación de evolución y progreso denota una tendencia sociocultural más que una conclusión biológica. Esta falsa noción de la evolución (Gould, 1995) se relaciona con uno de los íconos canónicos más comunes para representar cualquier concepto científico: la marcha o la escala del progreso evolutivo. La versión clásica de este ícono, ampliamente usado por la cultura popular en la publicidad y en el humor gráfico, pero también presente en libros de texto y en exposiciones museísticas, muestra una secuencia lineal escalonada de formas que avanzan de izquierda a derecha.

Los medios de comunicación masivos, mediante publicidades, series, películas e historietas, nos siguen invadiendo con la representación lineal y progresiva del cambio evolutivo. Esto refuerza el modelo sostenido por el sentido común y la percepción intuitiva.

Las influencias religiosas también tendieron a buscar una diferencia entre el ser humano y los demás primates y colocarlo en la punta como “más evolucionado”. Teilhard de Chardín, un religioso que sostuvo una forma particular y lineal de la teoría de la evolución durante del siglo XX, influyó la educación y su visión, también llevó a influenciar la paleoantropología cambiando la manera de representar el registro fósil. (Gould, 1986).

Existen concepciones de la evolución lineal muy arraigadas en el imaginario colectivo, como la del origen del hombre a partir de los primates que se van levantando progresivamente hasta lograr el bipedismo y la forma humana actual. ¿Quién no ha visto una camiseta con esa imagen?

2. b- Los diagramas en los libros de texto

Actualmente no podemos imaginar un libro de biología sin imágenes.

El uso de la imagen como lenguaje con recursos propios de significación queda en muchos casos limitado a una función ilustrativa, lo que significa desaprovechar su enorme potencial didáctico y su capacidad expresiva (Brunner y Palmucci, 2010)

En los libros de texto de Biología se utilizan imágenes y diagramas ilustrativos y explicativos desde hace más de 40 años.

En los libros de texto de Ciencias Naturales y Biología, analizados desde 1950 a la actualidad, se observa que a partir de la década de los sesenta se comienzan a utilizar diagramas e ilustraciones de forma didáctica. Anteriormente, había muy pocas ilustraciones y sólo acompañaban al texto, sin aportar a su interpretación, sólo como ornamento, sin referencias ni etiquetas explicativas. La profusión de imágenes y diagramas en los libros de distintos niveles surge en la década del noventa.

En ciertos contenidos la imagen siempre estuvo fuertemente asociada. Por ejemplo no podemos imaginar célula sin su modelo icónico, el cual, si consideramos los libros de texto desde 1920 hasta la actualidad, vemos la evolución que sufrió. Lo mismo sucede con la representación de las Eras Geológicas con la inclusión de imágenes de seres extintos en que se aprecia su modificación a través de los años, por ejemplo dinosaurios como lagartos gigantes hasta su forma más aviana.

Para simplificar se tomaron diferentes períodos y se analizaron varios libros de texto disponibles en bibliotecas de la Escuela Normal, Instituto Superior del Profesorado Junín, Escuela Nacional de Junín, Instituto Santa Ana de O'Higgins y de colecciones particulares, además de algunos ejemplares obtenidos en "mercados de pulgas" y afines. Período 1900-1940: Durante este período la enseñanza era instrucción y tenía un enfoque enciclopedista. Las asignaturas como la Biología no existían como tal. En las escuelas Normales se daba Anatomía, Fisiología e Higiene y, por otro lado, Ciencias Físico Naturales. Los libros de texto eran totalmente descriptivos y las imágenes sólo tenían un papel ilustrativo. Figura 1.

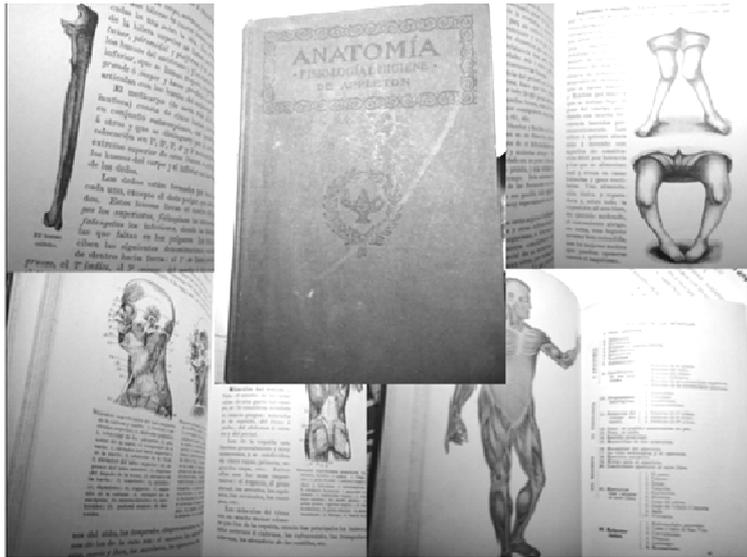


Figura 1: En el libro Anatomía y Fisiología para Escuelas Normales, 1913.

En el período 1940-1950 las imágenes siguen cumpliendo sólo una función ilustrativa y no poseen aún un papel destacado. La función de los libros de texto en este periodo es formativa, y se enfocan más en el trabajo y la producción.

Existen libros de Zoología, Botánica, etc. Aún no hay libros de Biología para secundario.

En dichos libros, de la década del cuarenta se hace hincapié en los animales y plantas útiles al hombre.

En la siguiente foto (Figura 2) se muestra un ejemplar del libro Ciencias Físico Naturales de G. F. Mario, Trigésima cuarta edición (1948).

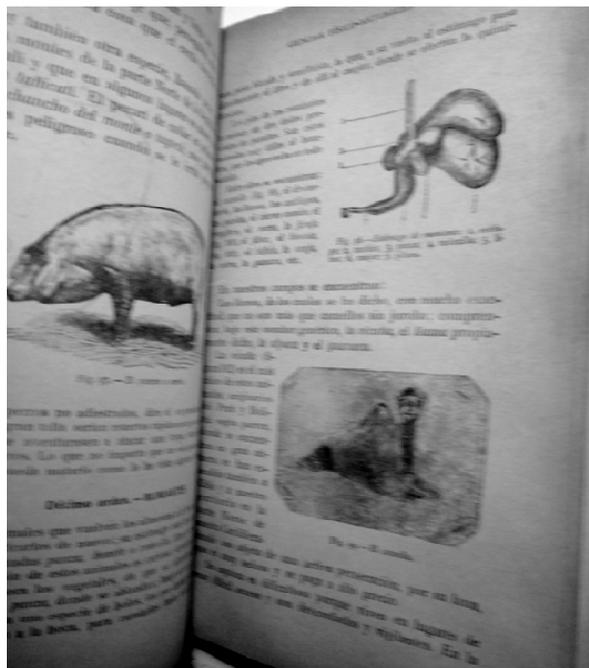


Figura 2: Libro Ciencias Físico naturales, 1948.

En el período 1960 -1970 comienza a presentarse un enfoque didáctico que surge de las nuevas orientaciones sobre la enseñanza de las ciencias (Figura 3). Se priorizan las actividades experimentales y los “trabajos prácticos” y las imágenes sirven para acompañar y guiar dichos trabajos. También cumplen una función de registro gráfico. Surgen esquemas, cuadros sinópticos y diagramas para ordenar y seguir pasos y algoritmos. También aparecen clasificaciones representadas por árboles.

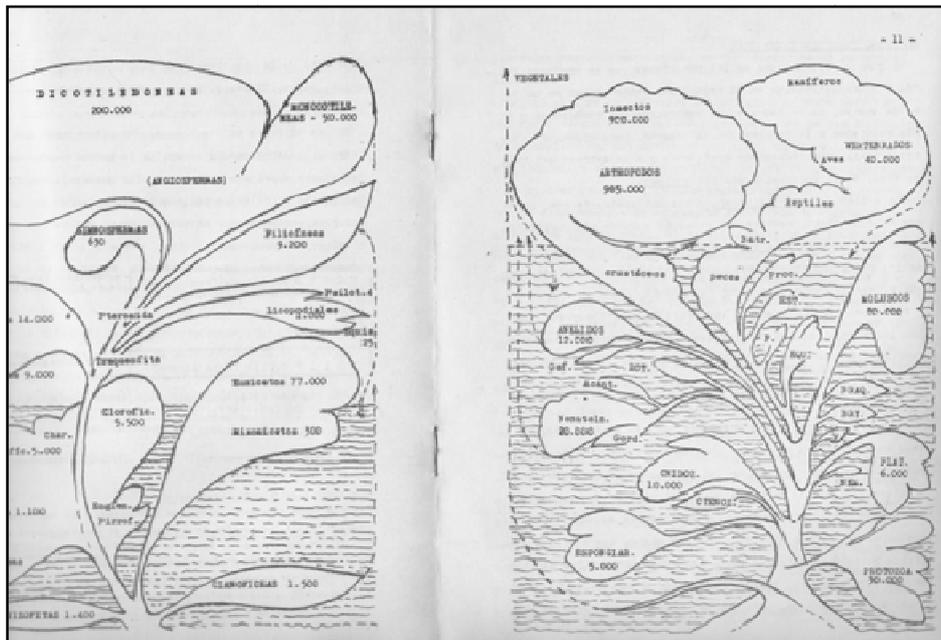


Figura 3: Revista Biológica 6 editada por Alberto Fesquet, 1967. Se distribuía con los libros de texto como material para el docente.

Los esquemas tipo árboles o ramificaciones se empiezan a incluir para las clasificaciones de los seres vivos a partir de la década del setenta en los libros utilizados para secundario, especialmente para bachilleratos y escuelas normales.

Dichos esquemas tienen un marcado enfoque haeckeliano ya que tienden al progreso y, en algunos casos, como en el ejemplo siguiente, (Figura 4) que ilustran los seres adaptados a distintos medios en unas ramas figurativas a la que llaman “árbol filogenético de los animales”.

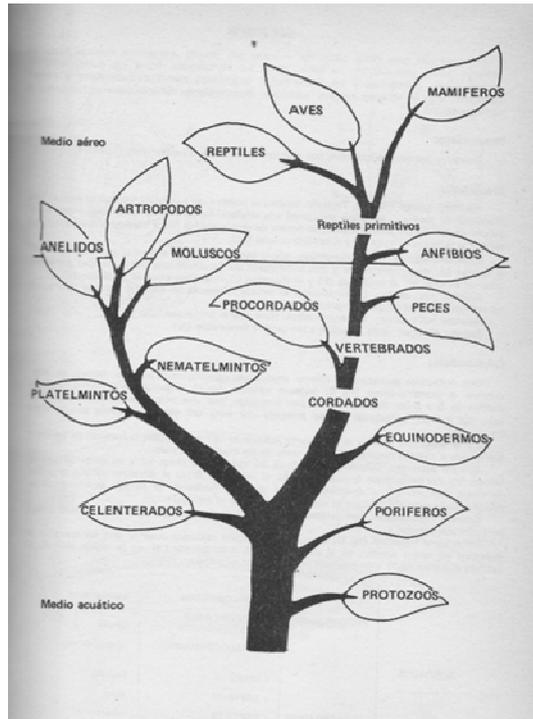


Figura 4: Libro Zoología Ecológica para Segundo año secundario de Lucy F. de Vattuone, Ed. El Ateneo, edición 1977.

A fines de la década de los setenta es introducido el enfoque “El aprendizaje por descubrimiento” que se basa en la idea de que para aprender ciencia hay que hacer ciencia, y que supone una construcción activa de conocimiento por parte del alumno. Fomenta principalmente la actividad autónoma de los alumnos, hasta el punto que, en algunos casos, implica rechazar cualquier tipo de guía o dirección del aprendizaje. El proceso de construcción de conocimientos adquiere una importancia casi mayor que la enseñanza de los contenidos.

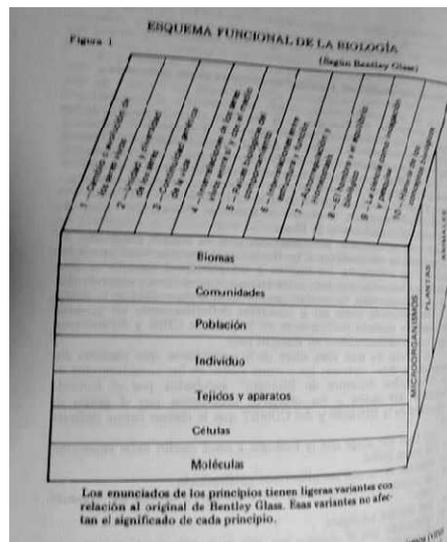


Figura 5: En el cuadernillo para profesores de Editorial Kapelusz, 1982.

En la década de los ochenta proliferan más editoriales y libros de Biología. Algunos acompañados por libros o cuadernillos para el docente (Figura 5). En el secundario se pasa al enfoque ecológico y las imágenes cobran mayor importancia. Fotografías, dibujos, esquemas y todo tipo de representaciones gráficas se usan para complementar el mensaje textual sobre ecosistemas, adaptaciones, relaciones de los seres vivos con el ambiente, y en capítulos finales también se hace referencia a la evolución con esquemas y dibujos con marcada tendencia lineal y progresiva.

Las imágenes acompañan las guías de trabajos prácticos. En ese período se realizaba la disección de animales. En la siguiente imagen del libro de Vatuone (Figura 6) de segundo año se representa la disección de la paloma.

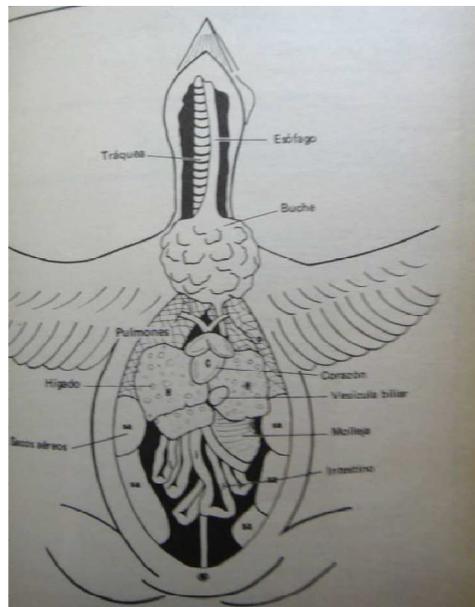


Figura 6: Biología 2. L. F. Vatuone, 1983

En este período y, hasta 1995 los libros reflejan lo que las editoriales entendían por “aprendizaje por descubrimiento” y las imágenes se proponían como guías en los “trabajos prácticos” (Figura 7) (Figura 9).

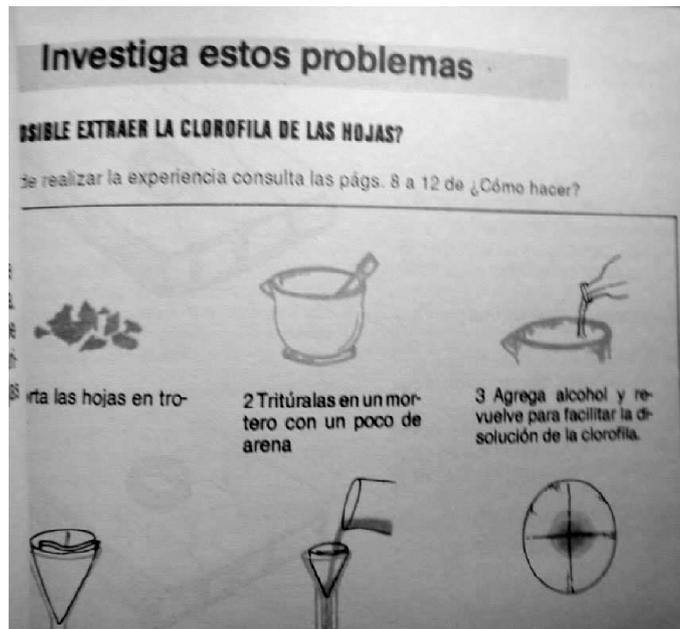


Figura 7

En el ejemplo seleccionado a continuación las imágenes muestran como “cortar” a las planarias. (Figura 8)

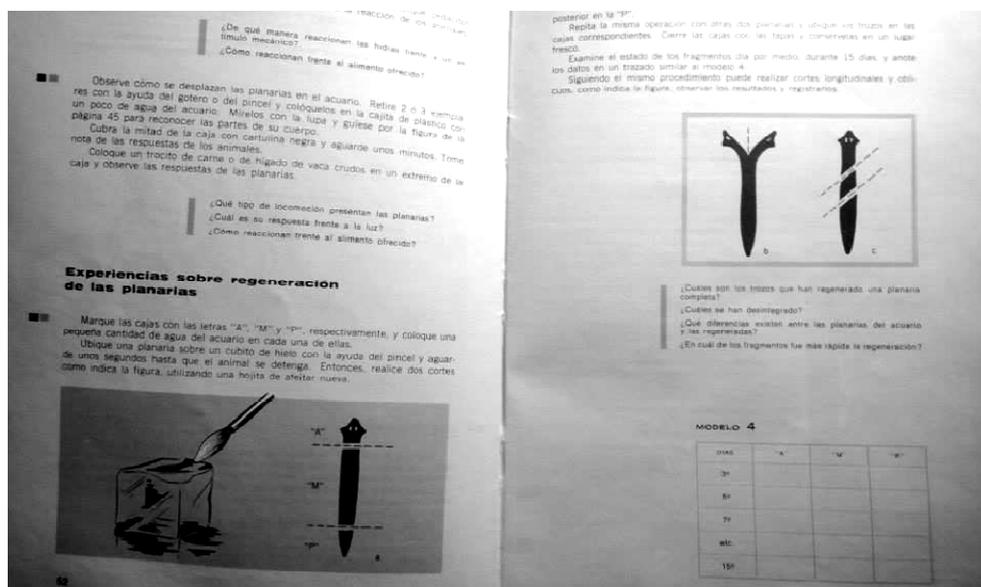


Figura 8

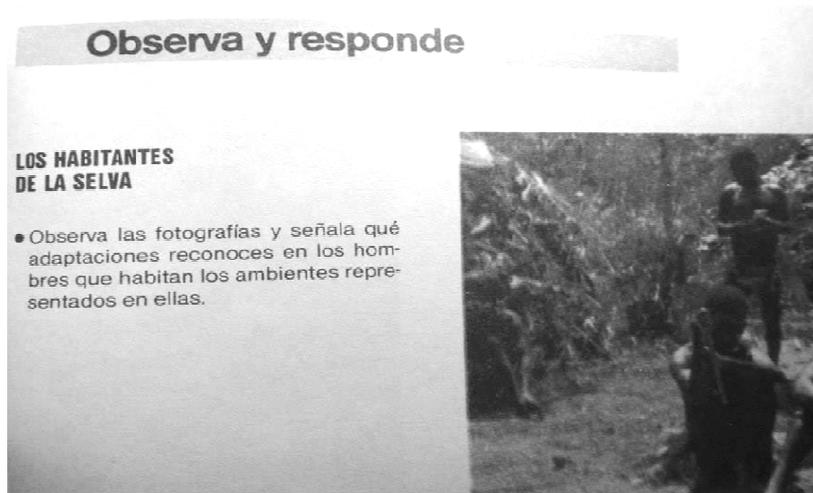


Figura 9

Luego de la reforma que surge a partir de la Ley Federal de Educación, desde el año 1996, comienzan a aparecer propuestas editoriales diversas. En la mayoría de ellas las imágenes juegan un papel principal en el diseño, no así en su función didáctica porque en la mayoría de los casos son distractores. En una sola página hay demasiadas imágenes y esquemas, con las más diversas funciones, ilustrativas, informativas, “de relleno”. Algunas imágenes sólo están para hacer más atractivo y amigable el texto, como monigotes en los márgenes o caricaturas. En algunos casos es tan profusa y desordenada la proliferación que sus funciones se solapan y se tornan en trabas para la interpretación (Figura 10).

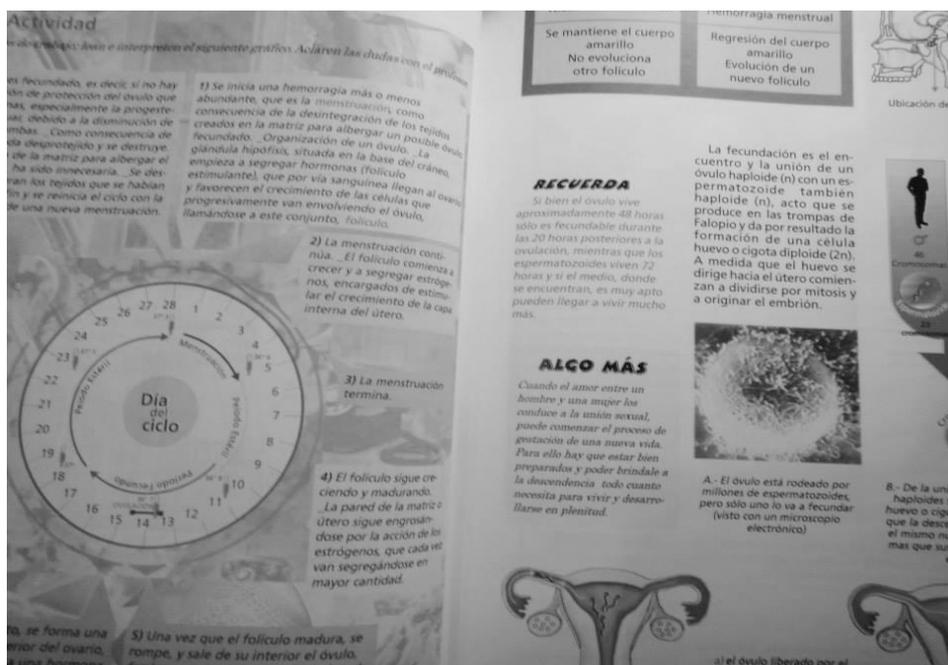


Figura 10: Biología 3, Santillana, 2010

Esta tendencia se continúa hasta la actualidad (Figura 11).

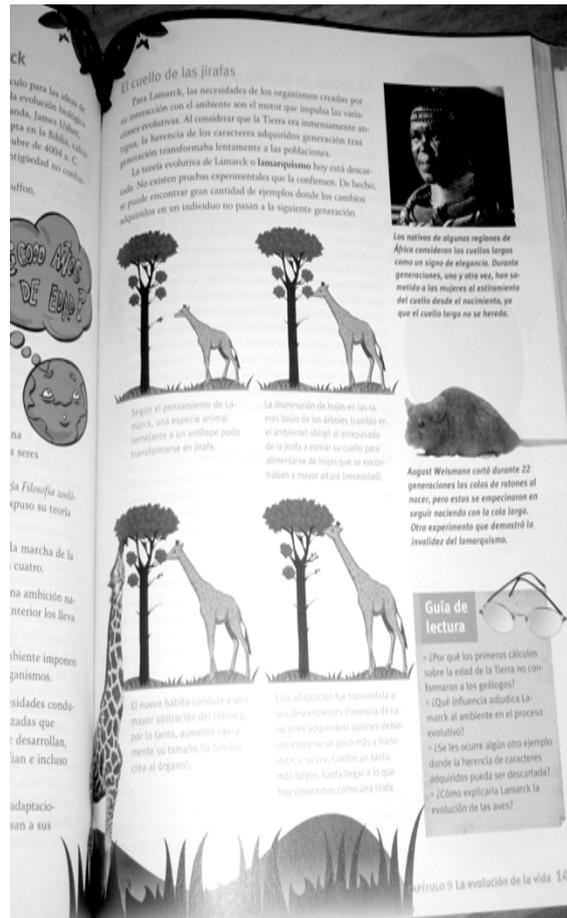


Figura 11: Libro de Ciencias Naturales para segundo, Tercer ciclo EGB, Puerto de Palos, 2009.

Con respecto a imágenes que responden a modelos preestablecidos, como en el caso de las representaciones sobre los mecanismos evolutivos, las mismas van pasando de libro en libro de distintas editoriales y se repiten desde hace veinte años, como en el caso de las jirafas y la evolución de su cuello (Torreblanca, et al, 2009).

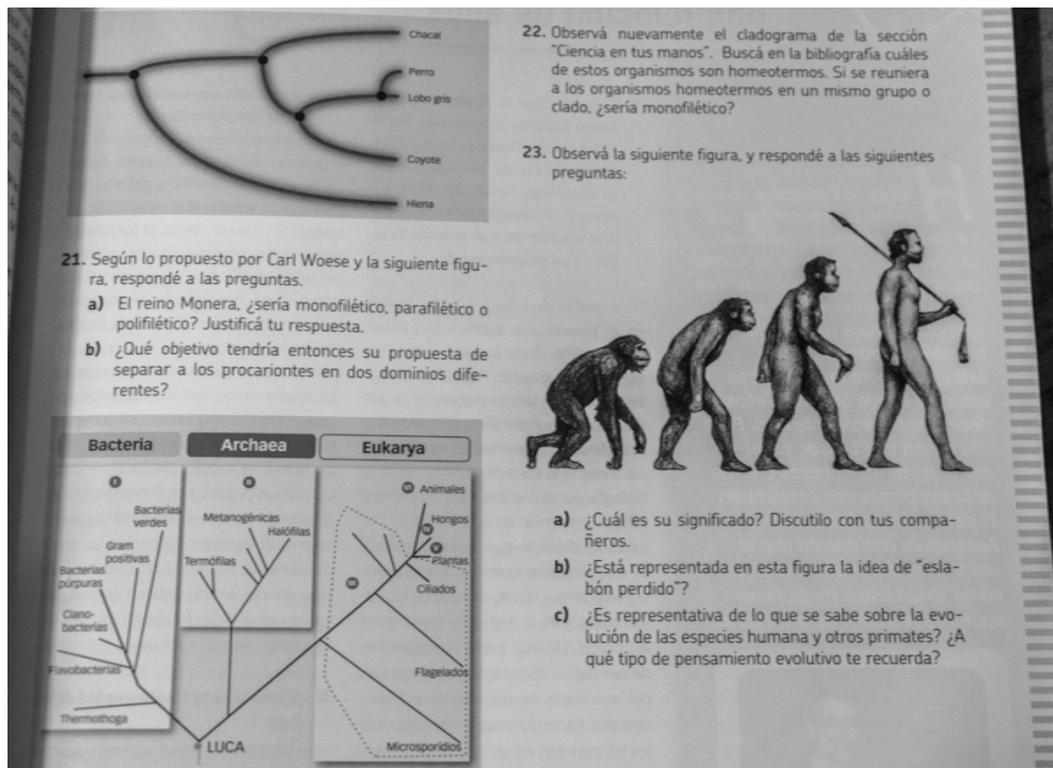


Figura 12: Biología 2. Saberes clave. Santillana, 2013

Y en relación con las pruebas de la evolución, desde la década de los ochenta, en los libros de Vattuone hasta los actuales de editorial Santillana se ilustra con la evolución del caballo (Figura 13).

La mayoría de estas imágenes y diagramas copiados de ediciones anteriores dan un enfoque lineal y progresivo de la evolución.

Igualmente, ocurre con la introducción de la escala de la evolución humana, muchas veces sólo en forma decorativa (Figura 14).

En dos ejemplares actuales se utiliza dicha imagen para problematizar su representación (Figura 12) (Figura 16), pero en la mayoría de los textos analizados aparece sin referencias, sólo en forma ilustrativa o como anexo ornamental del texto (Figura 15).

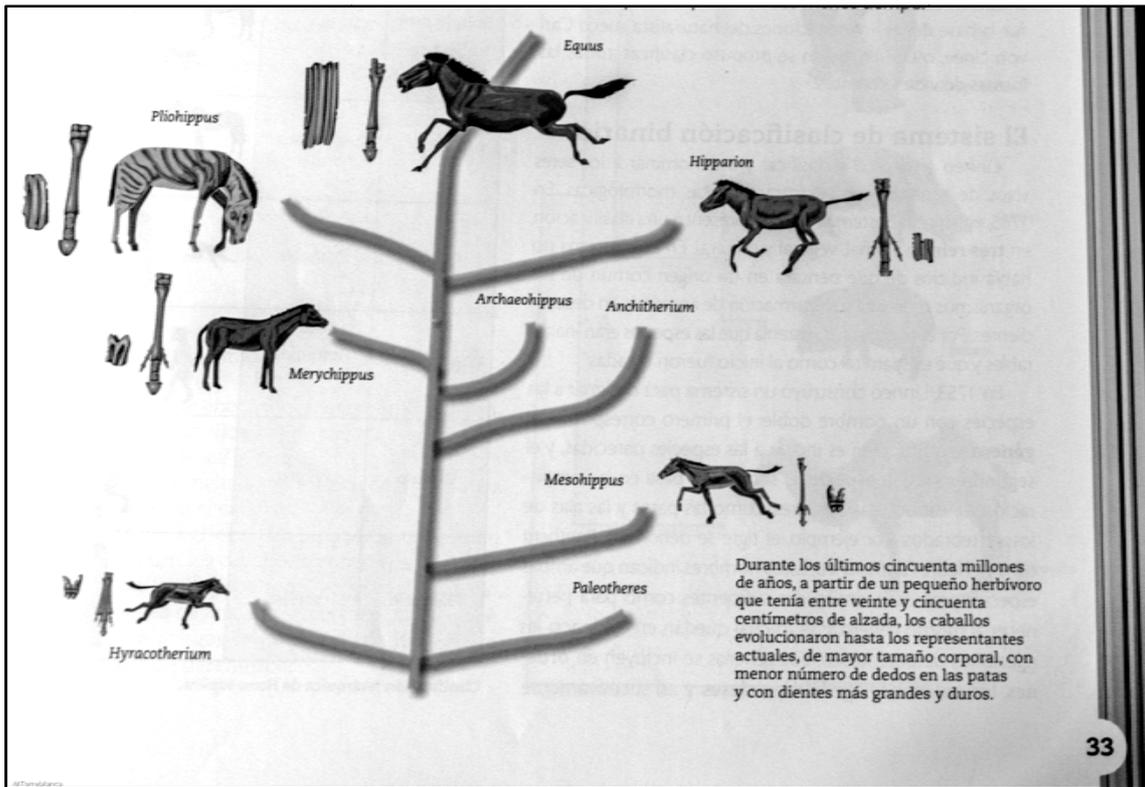


Figura 13: Biología 2, Nuevamente Santillana, 2011

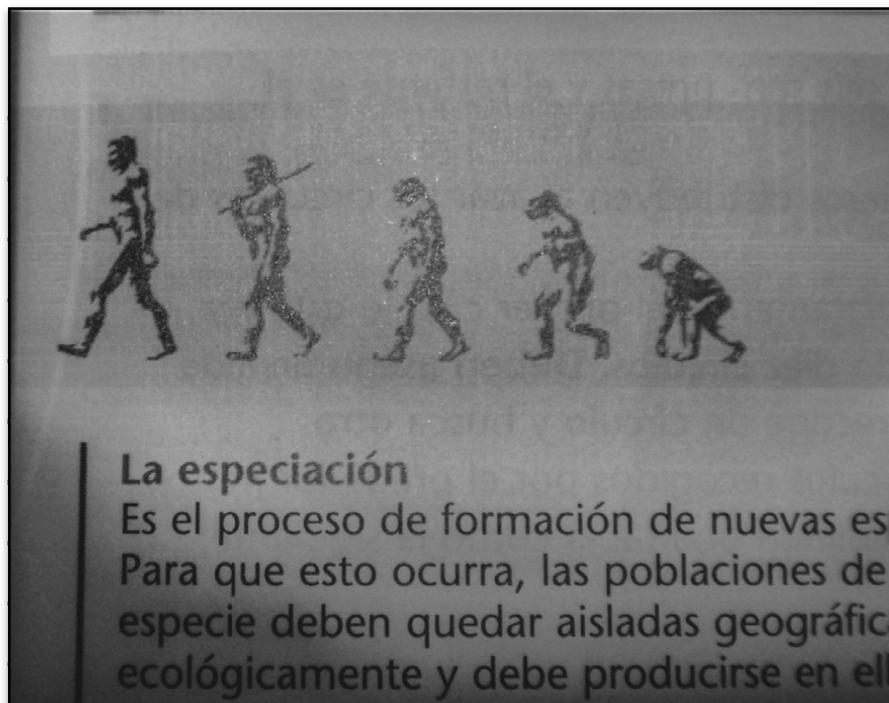


Figura 14: Biología para pensar- Ed. Kapelusz - Norma, 2010

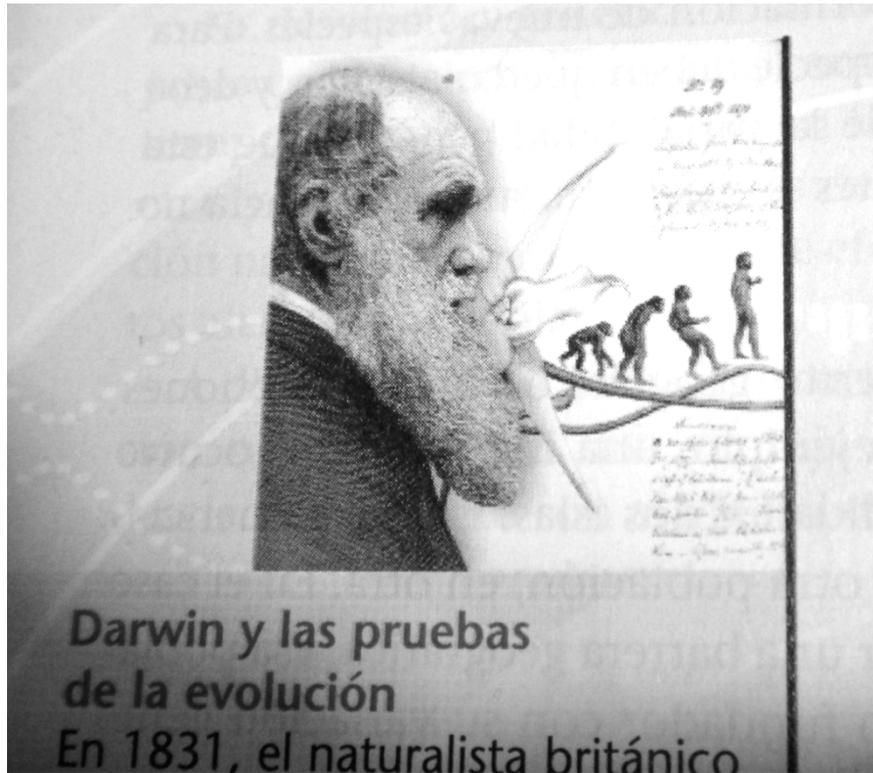


Figura 15: Biología 2. Santillana. 2006

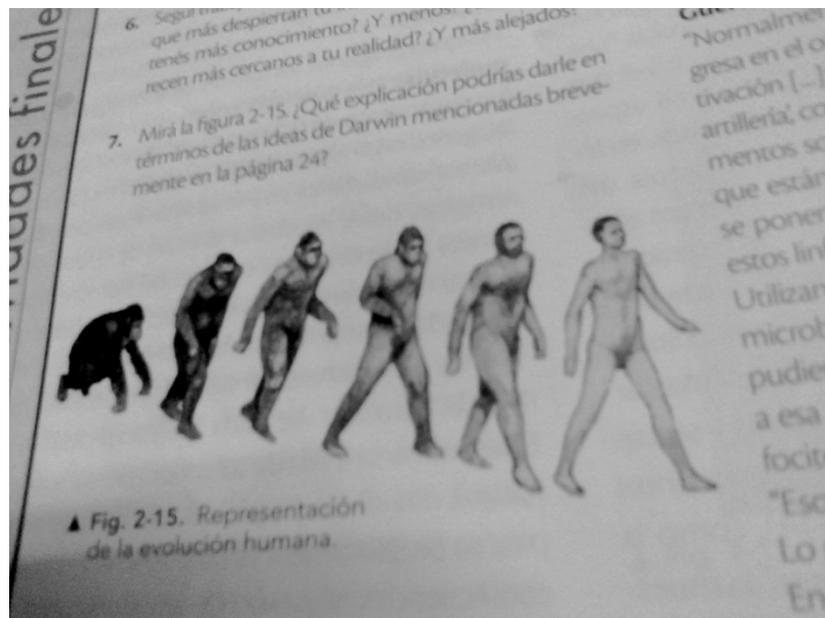


Figura 16: Biología. Santillana. Perspectivas, 2006. Pag. 26 y 253.

3. LA REPRESENTACIÓN ICÓNICA DE LA EVOLUCIÓN

Ninguna orden de inteligencia divina une a las especies.

Los lazos naturales son genealógicos junto a caminos contingentes en la historia.

Stephen Jay Gould

3. a- De la escalera al árbol

Como se refirió anteriormente, desde la más temprana historia, en distintas civilizaciones, se han utilizado metáforas lineales y encadenadas para representar el orden en el Universo y las jerarquías y conexiones entre el Cielo y la Tierra. Sólo, algunas veces, aparece el árbol utilizado en el mismo sentido metafórico. El orden lineal y progresivo era compatible con los rangos jerárquicos de la Creación.⁶

Algunos ejemplos del Orden Lineal en la Naturaleza:

Charles de Boullé en 1512 (Figura 17) organiza los cuerpos materiales y espirituales en forma de una cadena hasta llegar a Dios. No explicita a minerales, plantas, animales ni el hombre. Empieza por la Tierra, el Agua, el Aire y el Fuego, los 4 elementos materiales.

⁶Bien conocida es la escala natural de Aristóteles que fue retomada por los cristianos, sostenida por casi dos mil años y todavía influye en el sentido común con la creencia que el hombre es el rey de la Creación. En ella ocupa el peldaño superior por sobre todos los seres vivos e inanimados, amo y señor de la naturaleza, con todo el peligro que entraña esta creencia para el planeta y para el hombre mismo.



Figura 17: Orden lineal en la Naturaleza, del libro *Physicorum elementorum* de Charles de Bouelles, 1512.

Otra representación que sigue este enfoque es la de Ramón Llull, (Figura 18) extraída del libro *Liber de ascensu et decensu intellectusof* que fue escrito en 1304, pero publicado en 1512. El orden de las cosas conectadas entre sí hasta llegar a Dios está representado por una escalera. Ésta presenta ocho escalones que contienen: rocas, fuego, plantas, animales “brutos”, el hombre en el quinto escalón y, en el octavo y último, a Dios.

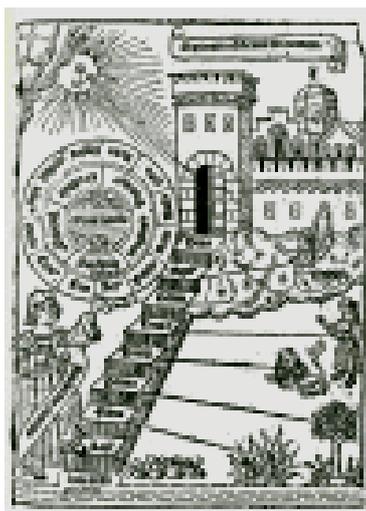


Figura 18. Representación de Ramón Llull, 1304, 1512.

Esta vez la escala jerárquica es representada como una escalera en una imagen figurativa.

La escala de la Naturaleza fue muy utilizada (como ya se dijo), tanto por fijistas como por transformistas, para representar el orden jerárquico de los seres.

Buffon (1707-1788)⁷ también aceptó la escala natural de los seres vivos, pero agregó ramas laterales para clasificar a los seres vivos “derivados”. En total presentó veinticinco géneros y trece especies aisladas.

Buffon sostenía que existían géneros principales de animales “nobles” y que, luego de ellos, derivaban variedades que por ir aclimatándose a distintos ambientes “degeneraban”. Por ejemplo decía: *“si comparamos a los animales libres con los domésticos, encontraremos que entre los primeros existen menos variedades. Pero si la comparación se realiza entre la especie humana y el conjunto de los animales, veremos que estos últimos se hallan más determinados por el clima.”* Esa capacidad diferente de variabilidad es usada por Buffon en 1758 para establecer una jerarquía entre las especies que seguiría la línea de una escala natural: en primer lugar tendríamos al ser humano, el ser “más noble” de la creación, que constituía una única especie y cuyas variedades eran ligeras. A continuación estarían todas aquellas especies que, carentes de variedades, no habían degenerado y que poseían caracteres debido a los cuales no podrían ser confundidas con ninguna otra. Luego vendrían animales menos “nobles”: los que tenían “vecinos”, por ejemplo, el caballo y el asno. El perro se hallaría aun más

⁷Georges Louis Leclerc, conde de Buffon (Montbard, 7 de septiembre de 1707 –París, 16 de abril de 1788) fue un naturalista, botánico, matemático, biólogo, cosmólogo y escritor francés.

abajo en la escala, por estar tan cerca del lobo, el zorro y el chacal. A medida que se desciende, se ubicarían especies con un número cada vez mayor de ramas colaterales, de modo tal que ya no resultaba posible reconocer el tronco común de esas familias, demasiado numerosas. Finalmente, se llegaba a los insectos, a las especies "ínfimas" con tantas vecinas que no podían ser consideradas por separado; por eso, Buffon se vio obligado a tomarlas en bloque; es decir, en géneros, para poder denominarlas.

En la representación de Buffon, aunque no fue graficada, todos los animales cuadrúpedos parecen tener un "tronco principal" del cual brotan algunas o muchas "ramas" colaterales. Así, el elefante se propaga sólo en línea directa, mientras que las ovejas provienen del musmón. Claramente, es éste un caso de degeneración: las ovejas son débiles y requieren de protección contra el frío y los depredadores; el musmón, una especie de carnero, en cambio, está armado de cuernos, posee un pelaje resistente y es muy ágil. El rinoceronte carece de vecinos, pero caballos, asnos y cebras forman una familia en la cual el caballo figura como la rama principal. El lobo y el zorro son los dos troncos principales de un género cuyas ramas colaterales son el perro y el chacal. Y así sucesivamente.

Uno de los principales exponentes de la escala natural fue Charles Bonnet (1720,-1793), biólogo y filósofo suizo que hizo importantes contribuciones, especialmente en el estudio de la reproducción por partenogénesis en los insectos, la respiración de las mariposas y la regeneración de órganos en gusanos (Figura 19).

IDEE D'UNE ECHELLE
DES ETRES NATURELS.

L'HOMME.	Sensées.
Orang-Outang.	PIANTES.
Singe.	Lichens.
QUADRUPÈDES.	Moufflers.
Écureuil volant.	Champignons, Agarics.
Chacaloteau.	Truffes.
Amiaque.	Cornes & Coralloides.
OISEAUX.	Lichophytes.
Oiseaux aquatiques.	Amaribe.
Oiseaux amphibies.	Talcs, Gyps, Sélénites.
Foissas volans.	Ardoucs.
POISSONS.	PIERRES.
Foissas rampans.	Pierres figurées.
Anguilles.	Crysalisations.
Serpens d'eau.	SELS.
SÉPENS.	Vitrés.
Limacs.	MÉTAUX.
Limacons.	DÉMI-MÉTAUX.
COQUILLAGES.	SOUFRES.
Vers a terre.	Émines.
Togues.	TERRES.
INSECTES.	Terre pure.
Guillemets.	EAU.
Terre, ou Solitaire.	AIR.
Éléphant.	FEU.
Orme de Mer.	Matières plus subtiles.
Serpens.	
PIANTES.	

Figura 19: Cadena de los Seres de Bonnet de *Traité d'insectologie*, 1745.

En esta representación, Bonnet concibió una gradación continua desde el átomo hasta los ángeles. La sucesión de los seres es completa (comprende a todos los que existen) continua (la naturaleza no hace saltos) y ascendente. Como creía en la preformación; es decir, que el desarrollo de todo ser vivo se debía a un germen preexistente, él creía que esa escala jerárquica estaba dada por la esencia de las especies, no por su forma actual, sino por un germen interior (invisible e indestructible) que habría permanecido idéntico a lo largo de la historia, a pesar de las variaciones exteriores sufridas por las especies durante las "revoluciones" que periódicamente habrían puntuado la historia de la Tierra. También propuso un paralelismo entre el desarrollo embrionario y la jerarquía orgánica, una idea que esboza la futura teoría de la recapitulación que luego desarrollará Haeckel.

De todas maneras, Bonnet seguía siendo fijista (para él las especies habían sido creadas una sola vez) y su escala natural apoyaba la clasificación de Aristóteles.

Las claves jerárquicas inventadas por Linneo intentaban ayudar en la identificación y recuperación de la información y se presentaban organizadas; muchas veces, este

sistema presentaba ramas en su estructura lógica. Así que, de a poco, la escalera se fue transformando en árbol. (Figura 20).

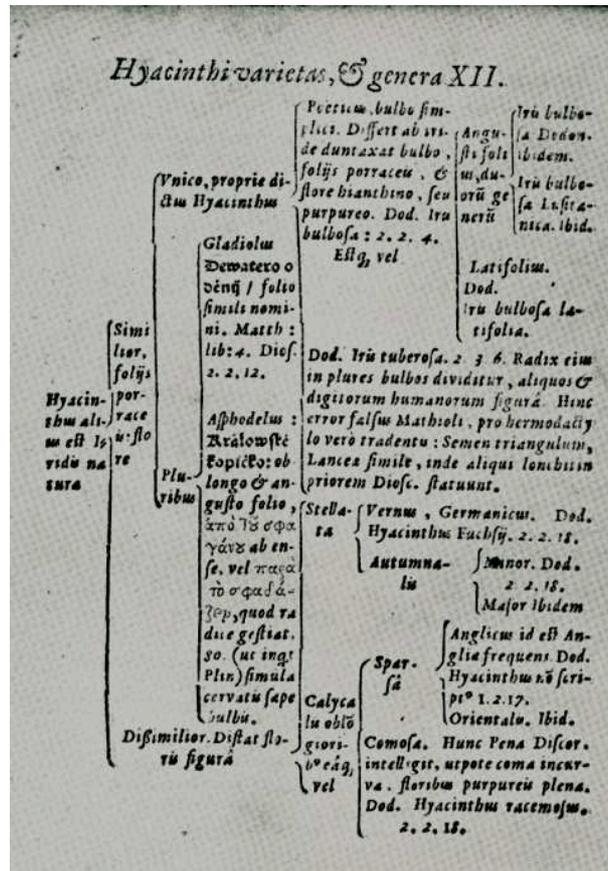


Figura 20: Claves dicotómicas en la jerarquía de las especies, del libro *Methodi herbariae libri tres* de Adam Zaluziansky à Zaluzian de 1592.

Hubo representaciones figurativas del árbol que tiende sus ramas hacia el cielo, conservando la idea de la jerarquía, como la de Carl Edward Von Eichwald (1795–1876) que sería la primera representación en forma de árbol de un sistema de clasificación. Este sistema de clasificación fue propuesto por Peter Simon Pallas (1741–1811) y fue publicado en la Haya, Holanda en 1766 en un libro con un nombre complejo: *Elenchus Zoophytorum*⁸. (Figura 21).

⁸El nombre completo es *Elenchus zoophytorum, sistens generum adumbrationes generaliores et specierum cognitarum succinctas descriptiones, cum selectis auctorum synonymis*. van Cleef, Den Haag 1766

Una revisión de las representaciones que contiene referencias a este sistema se encuentra en la publicación científica de Mark A. Ragan: *Tree and Networks before and after Darwin*. *Biology Direct* 2009 4:43. BioMed Central.

Pallas⁹ realizó una síntesis entre Linneo y Buffon. Utilizó el sistema binomial pero admitía que las especies no son estables de forma definitiva, sino que pueden evolucionar en su apariencia de forma notable a causa de factores climáticos.

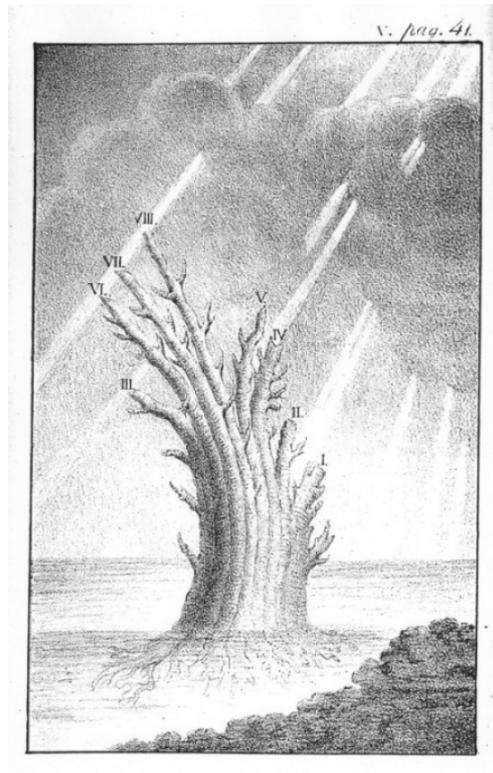


Figura 21: Árbol de la Vida Animal, aparece en *Zoología specialis* de Carl Edward von Eichwald publicado en 1829.

En esta representación, Eichwald¹⁰ propuso ocho tipos primarios de animales en las ramas principales que luego se dividen en subramas. Las ramas están enumeradas con números romanos.

Una de las ideas precursoras que se rescata en el libro *Zoología specialis* es la que proponía que los animales se habían originado en las orillas poco profundas de los océanos primitivos a partir de “glóbulos mucosos primitivos” que estarían representados

⁹ Peter Simon Pallas nació y murió en Berlín, pero estuvo en Inglaterra, Holanda y pasó la mayor parte de su vida en Rusia. Fue un prolífico investigador. Realizó muchas publicaciones sobre historia natural, fauna y flora y se lo consideró uno de los fundadores de la anatomía comparada. También estudió la composición de un meteorito que cayó en Siberia. Fue corresponsal de Linneo. Pudo dedicarse de lleno a sus investigaciones puesto que fue protegido por Carolina la Grande.

¹⁰Karl Eduard von Eichwald fue un médico, botánico, geólogo ruso, que también estudió fósiles.

en las raíces del árbol. Luego, en la sucesión temporal, los seres se fueron diferenciando y ramificando, elevándose en relación al tipo primario.

También antes de Darwin, hubo árboles jerárquicos que intentaron clasificar y ordenar el sistema linneano.

Agustín Augier fue un botánico que a principios del siglo XIX, en 1801, trató de representar la diversidad de las especies vegetales utilizando un árbol. Lo llamó *Arbre botanique*. Su clasificación era linneana, las ramas representaban tribus y clases, se unían en subramas, las familias, que contenían hojas que representaban a los géneros (Figura 22).

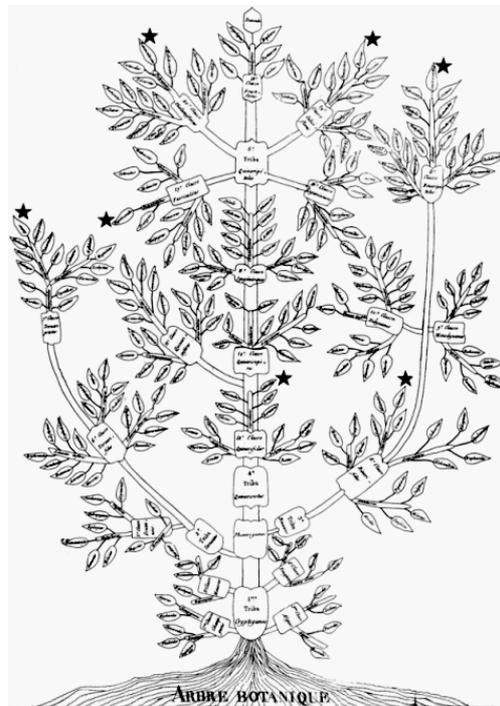


Figura 22: Árbol de A. Augier, 1801

Fueron los transformistas los que trataron de darle significado evolutivo a sus representaciones con sus árboles, o escaleras un poco ramificadas. Estos transformistas eran científicos o filósofos que creían que las especies se transformaban dando lugar a otras, generándose una nueva a partir de una ya existente. Primero les venía bien la escalera para representar el origen de las especies por transformación natural, pero después ya no les alcanzaba.

Entonces, para representar las relaciones entre grupos de seres vivos y su origen transformista lineal también se tuvieron que construir algunas ramificaciones. Por ejemplo Robert Chambers¹¹ (1802 –1871) escribió un libro (*Vestiges of the Natural History of Creation* de 1844) que leyó Darwin después de publicar su teoría, en el cual había un esbozo de ramas (Figura 23).

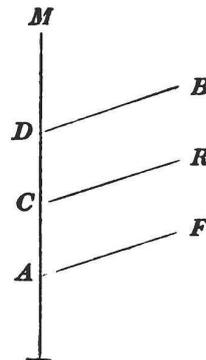


Figura 23: Diagrama que está en el libro Vestigios de Robert Chambers, 1844.

Y Jean Batiste Lamarck intentó hacer un diagrama que no llegó a ser un árbol, pero con algunas ramificaciones

Ya en 1840, nos acercamos a Darwin. Es más, él ya había hecho su borrador aunque no se había publicado. Ese año, en un libro de Geología, aparece una representación singular que intenta unificar geología y paleontología con zoología y botánica basada en el registro fósil. Aparecen dos árboles, uno para las plantas y otros, para los animales y están incluidos en el tiempo geológico, lo que representa el origen y la diversidad de los grupos en cada una de las Eras.

Edward Hitchcock¹² fue quien publicó en su libro *Elementary Geology* el siguiente esquema (Figura 24), el que estaba coloreado a mano y tenía el título: “*Paleontological Chart*”.

¹¹Naturalista escocés que escribió sobre las transformaciones de las especies tendiendo hacia la antropogénesis (la formación del hombre) una evolución progresiva y condireccionalidad manifiesta. A Darwin le pareció un libro con poco rigor científico, basado sólo en especulaciones. Así mismo, le sirvió, porque preparó el terreno para su teoría. La sociedad victoriana empezó a plantearse sobre la mutabilidad de las especies.

¹²Edward Hitchcock (1793-1864) fue un geólogo estadounidense, pionero en los estudios geológicos de ese país.

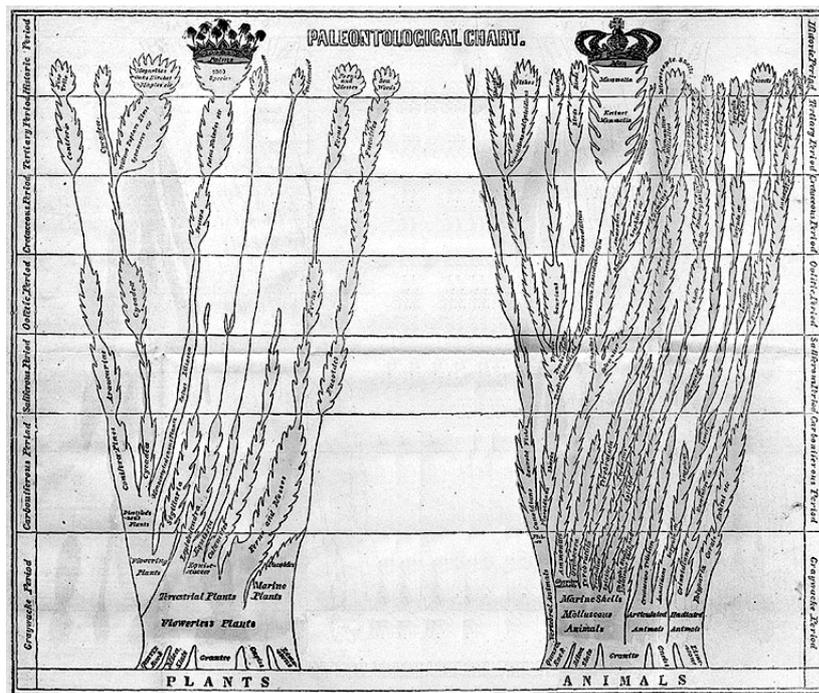


Figura 24: *Paleontological Chart*, Hitchcock, 1840.

Hitchcock, al igual que el famoso paleontólogo francés Cuvier, aceptaba el cambio a través del tiempo observado en la estratigrafía. Percibía la historia de la vida Era tras Era, discurriendo en el tiempo geológico, pero no consideraba que las especies se originaban una de otras, sino que eran reemplazadas, quizá por intervención divina. (Archibald, 2009).

Igualmente Hitchcock, no creía literalmente en el creacionismo bíblico, sino que defendió herméticamente que el cambio en el registro fósil no se debía a un mecanismo evolutivo. No existía evidencia de ello, entonces no les quedaba otra que invocar a la mano de Dios. En su representación sí se evidenciaba una tendencia hacia la perfección y el progreso.

Otros que tampoco adhirieron al mecanismo evolutivo para explicar el cambio geológico fueron el naturalista suizo Agassiz (1807 –1873) y el geólogo escocés Miller de Hugh (1802–1856).

Los tres publicaron representaciones que se asemejaban a árboles, pero Hitchcock parece haber sido uno de los más tempranos al hacerlo en 1840.

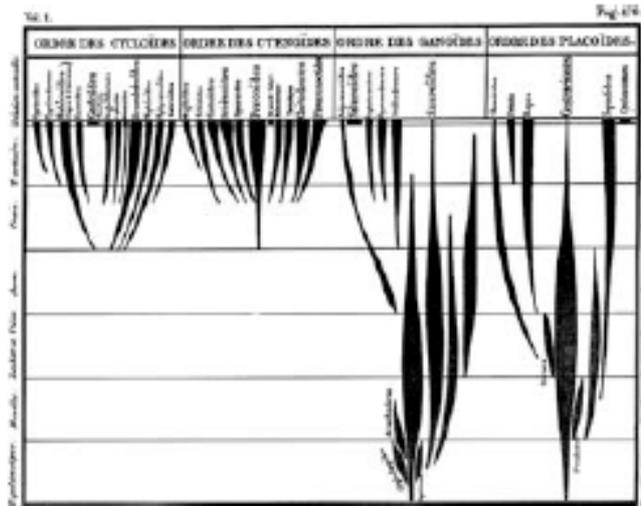


Figura 25: Diagrama de Agassiz (1844) En él se representan múltiples creaciones.

Agassiz representó las relaciones geológicas de los peces (Figura 25). Actualmente estos diagramas combinados con árboles filogenéticos se continúan usando en libros de texto de paleontología.

Lyell, el geólogo que tanto influenció en Darwin, que en un principio tampoco admitía el transformismo o la evolución, también aceptaba las representaciones que mostraban la distribución de los fósiles estratigráficamente. Pero, a diferencia de Hitchcock, él no creía que había una tendencia a la perfección. Hitchcock, aunque era contrario a la postura de Lamarck, vio progresión en la historia del registro fósil. Lyell consideraba que los cambios eran lentos y graduales y también criticó a Lamarck porque consideraba que todos los pequeños grupos habían estado presentes en la historia temprana de la vida y aún existían, algunos sin cambios aparentes. No le cerraba que éstos hubieran ido transformándose en otros cada vez más complejos, si aún existían. Por eso Lyell, que paradójicamente defendía el dinamismo del planeta, prefería seguir siendo fijista al referirse a las especies. Cuando Darwin publica el Origen de la Especies, Lyell acepta el mecanismo de transmutación propuesto por su amigo y todas las cuestiones le cerraron. Una Tierra con cambios lentos y graduales a nivel geológico, acompañados por una evolución de las especies, también lenta y gradual, como lo postulaba Darwin en su libro.

Después de Lamarck el próximo que reconoció al árbol como el diagrama preferido para mostrar la historia evolutiva fue el paleontólogo alemán Heinrich Georg Bronn

(1800–1862), quién empleó una analogía del árbol figurativa en 1858. Usó un muy espigado árbol con ramas erguidas etiquetadas con letras. Y, si lo observamos, no muy detalladamente, es bastante parecido al publicado por Darwin -un año después- en el Origen de Especies.

Bronn parece haber tenido la idea de la mayoría en esa época, anterior a la de Darwin: una tendencia hacia la perfección, formas menos perfectas echando ramas hacia formas más perfeccionadas, que aparecen posteriormente. Por ejemplo, explicaba que “la ramita c de la primera rama sólo se desarrolla después de la ramita b de la segunda...” (Figura 26)

Darwin en 1859 publica el libro que posee una única representación gráfica, un diagrama ramificado.

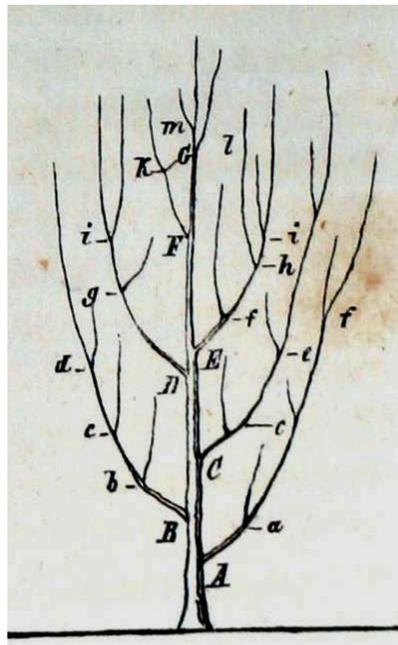


Figura 26: El árbol de Bronn, 1858.

Aunque ciertamente Bronn no era un creacionista, no reconoció la selección natural de Darwin como mecanismo de cambio para explicar su modelo. Fue un transformista sin necesidad de explicar su método.

La transición de la escalera al árbol, o al menos a algunas ramificaciones con trasfondo transformista, la realizó Lamarck.

Ya un árbol había sido presentado por Augier a principios del siglo XIX, pero no hay evidencias de alguna intención de mostrar las relaciones evolutivas entre los grupos representados. Es decir, Augier aparentemente no pretendía demostrar la transformación de especies. Por contraste, Lamarck creó toda una teoría sobre el cambio evolutivo, la transformación de unas especies en otras, aceptando la generación espontánea continuada a partir de formas primitivas y la transformación ascendente de la vida existente. Esta transformación lineal y ascendente es el eje de su teoría y para esa concepción, la escalera le venía como anillo al dedo. La escala natural que había planteado Aristóteles, estática, ahora era dinámica. Para una analogía actual sería una escalera mecánica. Los escalones subían peldaño tras peldaño hacia la complejidad.

En su publicación de 1778 *Flore Française*, Lamarck se inclinó por la opción de una escala unitaria de la vida. Después, en 1802 en *Recherches sur l'organisation des corps vivants*, dejó atrás la continuidad lineal en una simple cadena o escala porque era insuficiente para abarcar toda la diversidad animal. Para explicar los orígenes de grupos específicos de animales, los cetáceos, por ejemplo, vio que era necesario aplicar ramas. Pero para los “animales inferiores” persistió la progresión lineal sin bifurcaciones.

El primer árbol de Lamarck (más como concepto que como figura) lo presentó en una añadidura a sus apuntes de 1809 que conformaron su más famosa obra: *Philosophie Zoologique*. A esa representación, que ni siquiera podemos llamar dendrograma, le damos el status de transición entre escalera y árbol. Es una línea que tiene algunas ramas entrecruzadas, parece más bien una escalera de caracol doble, pero ya no es una simple escala o cadena; aparecían algunas ramas (Figura 27).

Dicho “árbol” tendía a representar las dos direcciones del transformismo lamarckiano: por un lado el avance progresivo lineal hacia la perfección y por otro, la transversalidad como tendencia horizontal de las ramas hacia la adaptación.

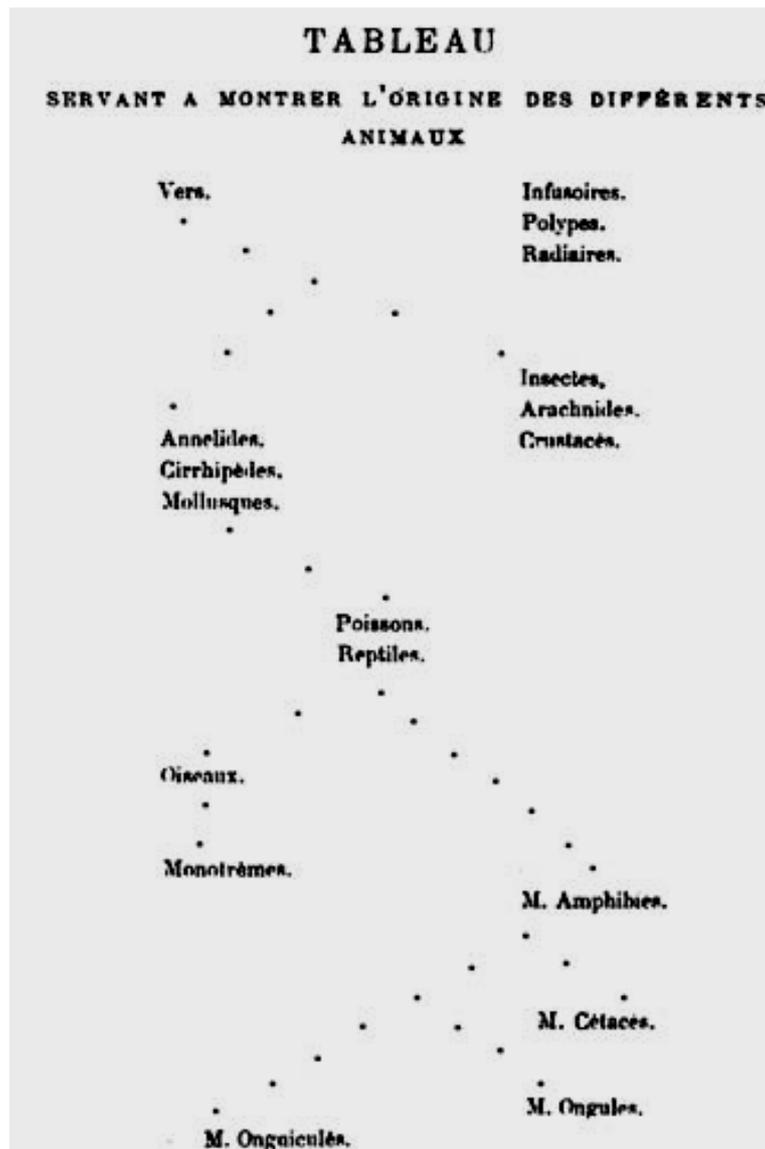


Figura 27: Este cuadro representa el origen de los diferentes animales (Lamarck, 1809).

Luego, en 1809 en *Histoire naturelle des animaux sans vertèbres*, su “árbol” mostró más ramas. Si bien todavía no vemos la forma del árbol en estas representaciones, sí hay ramificaciones. Los títulos de estos cuadros revelan su trasfondo evolutivo, el primero se refiere al origen de los animales y al segundo lo denomina “Orden presunto de la formación de los Animales, ofreciendo dos series separadas, subramas” (Figura 28).

*ORDRE présumé de la formation des Animaux ,
offrant 2 séries séparées , subrameuses.*

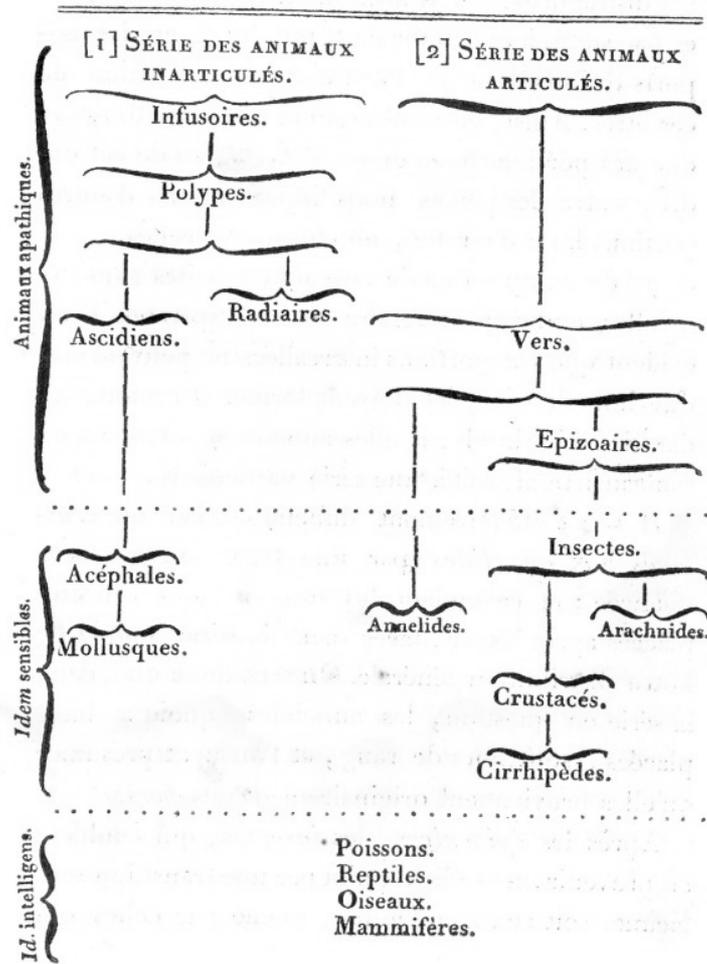


Figura 28: Representación realizada por Lamarck, 1815.

El puntapié inicial para la evolución y sus representaciones ya estaba dado. (Archibald, 2014). Pero también en ese momento aparecen unos tipos de representaciones que merecen ser analizadas más adelante. Unas representaciones que compitieron con los árboles hasta a veces llegar a fusionarse con ellos, son las redes.

3.b- Representación de los seres vivos con redes y esquemas simétricos

La idea de utilizar redes para representar la diversidad de los seres y sus conexiones es tan antigua como la del árbol, pero este último terminó siendo seleccionado¹³ por los evolucionistas que prefirieron su metáfora por sobre otras. Pero desde hace un tiempo, cuando se comenzó a explorar el mundo microbiano, se fue volviendo a reflotar las redes.

En el año 1750, el italiano Donati en *Della Storia Naturale Marina Dell Adriatico* describe las relaciones de afinidad de los seres acuáticos mediante una red. Aunque seguramente no fue la primera representación en forma de red, pero es llamativo que ya en el siglo XVIII se representen las relaciones con interconexiones.

Y en 1774 Johann Rübiling realizó una red de afinidades entre los órdenes naturales de las plantas en una publicación llamada “*Ordines naturales plantarum comentario botánica*” (Figura 29).

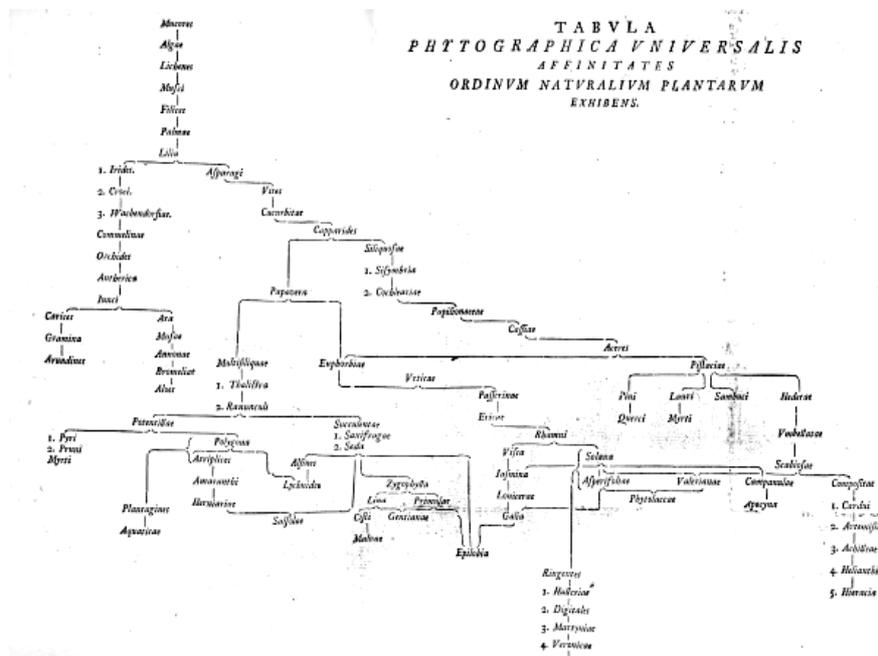


Figura 29: Red de afinidades botánicas de Johann Rübiling, 1774.

¹³ Las cosas a veces sufren por parte de la sociedad algo parecido a una selección natural. De forma que, algunas son seleccionadas por sus ventajas por cierto grupo e impuestas luego a la comunidad. En 1994, en el “Pulgar del Panda de la Tecnología” Stephen Jay Gould nos cuenta cómo el teclado *qwerty*, que aún utilizamos en nuestras computadoras, permaneció en el mercado y se estableció a pesar de que no estaba ordenado de la manera más cómoda. Lo mismo sucedió con los videocasetes, las normas de televisión, entre otras “cosas”.

En estas redes aparece el concepto de “afinidades” comparando con el parecido de las partes más evidentes, por ejemplo, las flores en las plantas. En estos casos, tratan de representar con gran detalle esas afinidades. Pero también hubo redes para representar las afinidades entre animales como la de Johann (Jean) Hermann en 1783, entre otras.¹⁴

Con los animales se tuvieron en cuenta afinidades entre sistemas internos además de parecidos externos.

Entre los famosos conocidos está Cuvier, que también utilizó la metáfora de la red, aunque no la esquematizó, para enfatizar las conexiones entre todos los seres vivos. Por supuesto que esas conexiones no eran para nada evolutivas, sino estructurales. Cuvier era firmemente fijista y contrario a las ideas de su cuasi-contemporáneo Lamarck.

Cuvier menciona la red en el siguiente párrafo:

“...los métodos sistemáticos consideran sólo las afinidades más cercanas; ellos buscan sólo poner a un ser entre otros dos, y así están incesantemente en el error; el verdadero método ve a cada ser en medio de todos los otros; muestra todas las radiaciones por las que se conecta más o menos estrechamente dentro de esta inmensa red que constituye la naturaleza organizada” ¹⁵

Buffon, otro personaje importante de la historia de la geología y la paleontología, realizó una red para representar la genealogía de las razas de perros. Esta sí es una red con un principio evolutivo (si se intenta ver desde ese punto de vista). Porque él postulaba un origen común de las razas que luego, por cruzamientos, se fueron modificando (Figura 30).

¹⁴ que no se desarrolla aquí. Consultar en internet en el paper previamente citado de Mark Ragan Trees and networks before and after Darwin. <http://www.biology-direct.com/content/4/1/43/figure/F7>

¹⁵ Traducido de Cuvier G, Valenciennes A: *Histoire Naturelle des Poissons, Tome Premier*. Paris: F.G. Levrault; 1828-1849. Página 569.

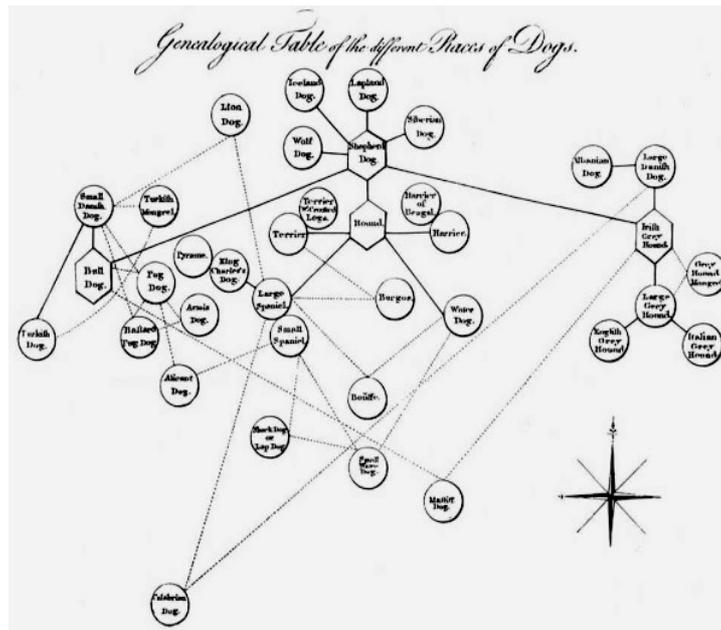


Figura 30: Tabla en forma de red sobre la genealogía de las razas de perros. Georges-Louis Leclerc, Comte de Buffon y Louis-Jean-Marie Daubenton (1753).

Luego, las redes se fueron entrelazando con otras representaciones más geométricas, poliedros, círculos, pero no con intenciones evolutivas, sino más bien como mapas de la sistemática linneana.

Representaciones de la sistemática Linneana

Linneo¹⁶ clasificó a los seres vivos según sus semejanzas morfológicas estableciendo el actual sistema nomenclatural jerárquico. No obstante, los grupos que creó no fueron hechos de cualquier modo. De acuerdo con las creencias de la época el mundo había sido creado, tal como lo conocemos hoy, por una entidad Divina superior. Por este motivo, Linneo buscaba describir el orden natural que encierra toda la naturaleza, orden establecido por ley divina.

Aunque al principio Linneo aceptó que esa naturaleza se refleja en una escala lineal, luego, por 1750 o 1751, él comprendió que ni siquiera las plantas se podían colocar en una cadena continua, unitaria, simple. En 1750, esto parece salir a la luz en una frase de su *Philosophia Botanica*:

¹⁶ Linneo fue un botánico sueco, médico, y zoólogo que creó los fundamentos para el esquema moderno de nomenclatura binomial. Es conocido como el padre de la taxonomía moderna, y también es considerado uno de los padres de la ecología. Muchas de sus escrituras estaban en latín, y su nombre se escribía en latín como Carolus Linnæus (después de 1761 Carl von Linné).

“Los fragmentos del método natural pueden ser buscados diligentemente. Éste es el primer y último desideratum en un estudio botánico. La naturaleza no produce saltos. Todas las plantas muestran afinidades en cualquier lado, como los territorios en un mapa geográfico.” (Traducción del original).

En este párrafo Linneo reconoció que su propio sistema de la naturaleza sólo correspondía al método natural en una pequeña porción en la ensambladura de partes (fragmentos) de la Naturaleza. Tuvo en cuenta que todo puede estar conectado. Por ejemplo, entre las plantas una familia puede ser inmediata a una, dos, o más de dos relacionándose a otras, a diferencia de una cadena, donde cada familia debe tener dos vecinos, exactamente uno delante y el otro atrás (incluso las plantas “menos- perfectas” se unirían debajo a los minerales, y las plantas “más-perfectas” se unirían hacia arriba, a los animales).

Su analogía del mapa parece no haber sido tomada literalmente al principio. Pero luego, 14 años después de la muerte de Linneo se intentó dibujar un mapa para las plantas. Paul Giseke hizo uno en 1792, y después de esto la empresa “cartográfica” persistió hasta 1859, cuando Darwin, ese año publicó su libro sobre el Origen de las Especies. Entre los que aportan las ideas más novedosas de esa época destaca el botánico suizo Alphonse de Candolle (1806-1893) que estableció las reglas para distribuir los taxa¹⁷ de las plantas en un "mapa" bidimensional.

A partir de allí, se intentaron representaciones geométricas. Algunas de éstas, muy complicadas, llamadas quinarias. Estas representaciones derivaban de un sistema quinario o quinárico; es decir, basado en 5 constantes. Un sistema de numeración antiguo fundamentado en los 5 dedos de una mano. Estas representaciones se basaron en clasificaciones artificiales, adaptándolas a su sistema, forzando a formar 5 grupos que a su vez se dividían en 5 subgrupos, y así sucesivamente (Figura 31).

¹⁷ Taxa es el plural latinizado de taxón. Taxón es el grupo elegido como básico para una clasificación.

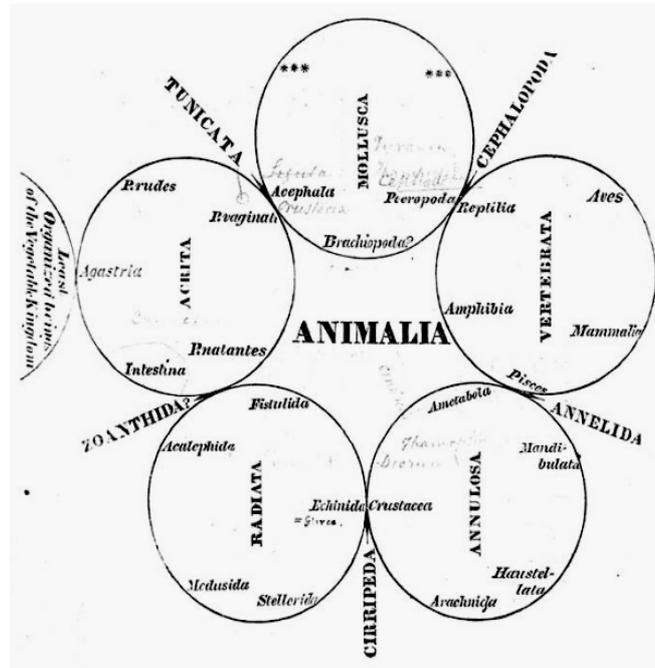


Figura 31: Sistema quinario de los animales, del Volumen I, Parte 2 del libro *Horae entomologicae* de William Sharp Macleay, 1821.

Notable entre estas alternativas es un sistema quinario en el que se colocaron grupos en un ciclo dentro de ciclos. La idea moderna de esta representación pertenece a Fischer de Waldheim, quién en 1805 agrupó animales organizados en una serie de círculos inmediatos alrededor del hombre. O el desarrollado en 1821 por Macleay, en el que los animales se constituyen como cinco grandes grupos naturales (clasificados como Acrita, Radiata, Annulosa, Vertebrata y Mollusca), cada uno de los cuales es divisible en cinco grupos menores. Los grupos subalternos, de cada clase, colocados en un círculo, representan las afinidades dentro de esa clase; y colocando las cinco clase-círculos en un anillo más grande muestran las afinidades entre clases diferentes. Muy lindo y muy simétrico, pero complicado y con muchas excepciones a las reglas, incluyendo similitudes analógicas para forzar la simetría del diagrama.

Una representación muy atractiva es la siguiente, esta vez para ordenar la clasificación de las plantas teniendo en cuenta sus afinidades morfológicas.

3. c- Nomenclatura Bi-nomial

Algo imprescindible para comprender el orden en la naturaleza es darle nombre a todas las cosas que forman parte de ella. Y, en el caso de los seres vivos, debían ser nombres significativos y que no se repitieran. Los nombres que usaba la gente confundían porque podían estar repetidos en otra región o no hacían referencia a nada que reflejara de alguna manera al ser vivo que nombraba; además, en cada idioma eran diferentes.

Entonces Linneo propuso una nomenclatura binominal, o sistema binomial o nomenclatura binaria. Es decir, nombrar a los seres vivos usando dos nombres. En realidad, el sistema binomial fue iniciado por Aristóteles, que agrupaba a “genos” y “eidos”, pero el sistema no era sólo para cosas vivas. Estos nombres conforman, para Linneo, el nombre científico del ser vivo.

Los nombres científicos se escriben con dos palabras: una para el género, con mayúscula y otra para la especie, con minúscula. Linneo eligió el latín para escribirlas, en ese entonces el lenguaje de los "hombres cultos" en todo el mundo, con el objeto de asegurar que todos los científicos entendieran la nomenclatura. Actualmente se sigue utilizando el latín o se latinizan los nombres agregándoles terminaciones similares a las palabras latinas.

En las reglas de la nomenclatura se establece que se debe usar un sustantivo para el género y un adjetivo, “epíteto específico”, para la especie. Este nombre científico debe subrayarse o destacarse con otro tipo de letra en un texto. Sirve para evitar confusiones en la identificación y registro de los organismos. Si dos autores dan a la misma especie dos nombres diferentes, el que queda como válido es el que se haya publicado primero en una revista especializada o medio importante. Si un nombre queda como sinónimo, esto se señala poniendo "Sin". Se debe poner el año de descubrimiento de la especie para evitar problemas en el futuro.

La aplicación de la nomenclatura binomial está regulada internacionalmente por varios códigos que contienen una serie de normas. Los dos más importantes son: el Código Internacional de Nomenclatura Zoológica (ICZN, abreviatura en inglés) para los animales y el Código Internacional de Nomenclatura Botánica (ICBN) para las plantas. Aunque los principios generales subyacentes de la nomenclatura binomial son comunes a estos dos códigos, puede haber algunas diferencias.

El Código Internacional de Nomenclatura Zoológica (ICZN o ICZN Code) es una convención ampliamente aceptada en zoología que gobierna el nombramiento científico formal de organismos clasificados como animales. Los códigos regulan principalmente: cómo se establecen los nombres correctamente en el marco de la nomenclatura binomial, qué nombre tiene que ser usado en caso de conflicto entre distintos nombres propuestos y de qué manera deberán ser citados en la literatura científica.

Linneo no sólo adoptó la nomenclatura binomial, también creó un sistema de clasificación jerárquico basado en afinidades que conformaba distintas categorías estáticas e inmutables. Muchas de esas categorías todavía se usan en la biología actual. La clasificación jerárquica Linneana se basaba en la premisa de que las especies eran la menor unidad, y que cada especie estaba comprendida dentro de una categoría superior o género.

Las categorías establecidas por Linneo fueron percibidas como absolutas y etimológicas, sin relación de parentesco evolutivo ni continuidad genealógica alguna.

Actualmente la especie es considerada por el Código Internacional de Nomenclatura como la categoría taxonómica básica. Hasta avanzado el S. XIX se consideraba a la especie como "grupos de individuos con características morfológicas propias que se diferencian de otros grupos próximos"; esto se reconoce como especie morfológica. Linneo concibió a la especie como inmutable y expresó que "hay tantas especies hoy como formas distintas fueron creadas al principio". Es decir, no consideraba posible que una especie creada por Dios pueda cambiar o extinguirse. Luego de la aceptación de las ideas de Darwin este postulado fijista cayó, ya que las especies pueden variar con el tiempo o extinguirse.

Las jerarquías taxonómicas establecidas por Linneo son las que venían usando para clasificar y nombrar nuevas especies hasta hace pocos años, arañando la actualidad. En este sistema se asigna Taxa¹⁸ a una categoría que indica su línea absoluta en una jerarquía. Las categorías principales (del más al menos inclusivo) contienen: reino, filo, clase, orden, familia, género y especie. Así, los géneros son parte de familias, las familias forman parte de órdenes, etc.

¹⁸ Como vimos en la página 67 taxa es el plural de taxón. Este último es la unidad de clasificación, formada por un grupo de organismos con características definitorias.

Ejemplo de la clasificación del ser humano:

Reino: *Animal*

Phylum: *Cordados*

Clase: *Mamíferos*

Orden: *Primates*

Familia: *Hominidae*

Género: *Homo*

Especie: *sapiens*

Linneo consideraba dos reinos para los seres vivos: Animal y Vegetal, después estaba el reino Mineral para agrupar esos objetos inertes. Luego, Haeckel (1866-94) consideró tres reinos: Protista, Animal y Vegetal. En 1959 Whittaker instauró 5 Reinos: Animal, Protista (protozoos y algas), Fungi (hongos), Plantas y Monera (bacterias). En 1977 Woese, agrega un reino más, las Arquibacterias¹⁹, hoy llamadas arqueas. Este mismo investigador, en 1990, crea tres dominios para clasificar a los seres vivos: Eukarya, Bacteria y Archaea. Las características para separar estos dominios son el tipo de célula, compuestos que forman la membrana y estructura del ARN; es decir, elementos de base en la organización y estructura de los organismos.

El árbol de los dominios (Figura 33) se inicia con LUCA; es decir el más lejano antecesor común que dio origen a los demás seres vivos que comenzaron a ramificarse. LUCA quiere decir "último antepasado común universal" (last ultimate common ancestor). Las relaciones de parentesco de los organismos de entonces pueden representarse como una raíz enredada, una red que representa la transferencia horizontal de genes y la formación de nuevas especies por procesos endosimbióticos, palabra a la que le dedicaremos más tiempo cuando hablemos nuevamente de las redes y de Lynn Margulis.

¹⁹ El término arquibacteria es una denominación desestimada. Hoy se las denomina arqueas. Las arqueas, como las bacterias, son procariotas que carecen de núcleo celular o cualquier otro orgánulo dentro de las células. En el pasado, se las consideró un grupo inusual de bacterias, pero como tienen una historia evolutiva independiente y presentan muchas diferencias en su bioquímica respecto al resto de formas de vida, actualmente se las clasifica como un dominio distinto en el sistema de tres dominios.

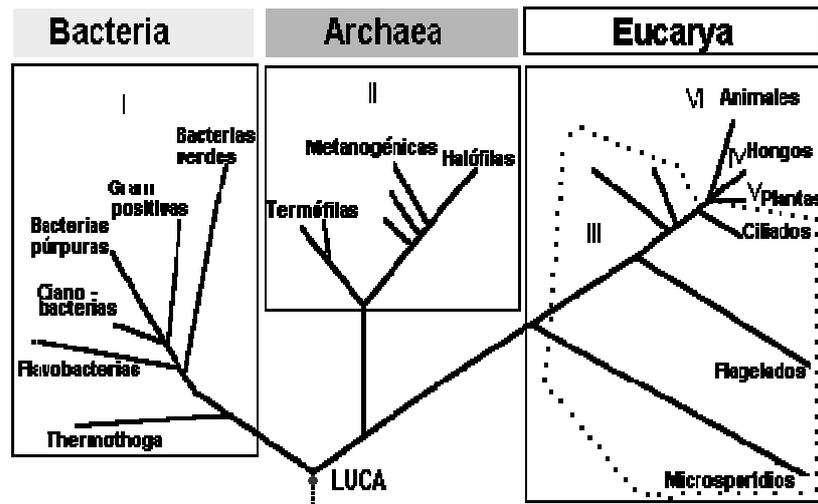


Figura 33: Árbol de dominios

El primer árbol filogenético que intentó relacionar a todos los seres vivos estaba basado en datos de secuencia, obtenidos de los genes de una subunidad pequeña de ARN. El árbol construido con esa hipótesis reveló que la clasificación en 5 reinos ofrece una idea errónea de las relaciones entre los seres vivos. La división en dominios es más coherente con la evolución de los seres vivos.

3. d- Darwin y la creación del árbol evolutivo

Actualmente se utiliza el término dendrogramas para nombrar a los diagramas ramificados. En la época que Darwin inició sus esbozos, aún no se empleaban. Los dendrogramas tuvieron distintas aplicaciones, en matemática, circuitos eléctricos, computación, administración, etc. Pero las primeras ramas que dibujó Darwin ni siquiera formaron algo que mereciera llamarse “árbol”. No existía tampoco la estructura denominada “árbol” en matemáticas a la que actualmente se la denomina “grafo”.

Antes de que Darwin esbozara el famoso esquema que se considera el origen del árbol de la vida, y que apareció en docenas de tapas de revistas y remeras en 2009, cuando se conmemoró el cumpleaños número doscientos de Darwin, él ya había esbozado algunas ramas en una página anterior de su borrador.

Cuando volvió de su viaje alrededor del mundo en el HMS Beagle, Darwin comenzó a escribir sus ideas en unas libretas, una especie de anotadores en los cuales se puede seguir la construcción de sus ideas sobre la transmutación de las especies. A esos anotadores se los identificó con letras. En ellos, en forma desordenada, como cualquiera anota en un borrador, se ocupó de distintos tópicos, geológicos, filosóficos, biológicos que tienen que ver con el cambio a través del tiempo de la Tierra y las especies que en ella habitan (y habitaron). Relacionó sus pensamientos con las observaciones de su viaje, los datos de los criadores de palomas y lo que leía (comentó libros y frases de otros autores), y así fue estructurando ideas y reflexiones que luego formarían parte de “su teoría” como él la llamaba. Muchos han estudiado y estudian esos cuadernos para tratar de elucidar cómo Darwin creó la teoría que cambiaría la visión de la vida y el pensamiento de la humanidad.

Por suerte Darwin guardaba todo. Ordenados y bastante prolijos, los cuadernos de notas estaban elaborados para que los investigadores hurgaran en sus primeros pensamientos evolutivos. Si bien contienen, a veces, frases sueltas, poco relacionadas, fuera de contexto, otras cortadas o tachadas, hojas arrancadas y puestas en otro lugar, se puede seguir cómo construyó varias hipótesis, las desechó, las retomó, las corrigió, etc. Un verdadero rompecabezas que sirve para rearmar aquellos primeros tiempos de gran producción de hipótesis, conjeturas e ideas poderosas que luego se plasmarían en sus obras publicadas.

La primera alusión a la metáfora del Árbol de la Vida la podemos hallar en el cuaderno B, entre las páginas 18 a 28. En esas páginas menciona el cambio de las especies en el tiempo y se detiene en los ejemplos de los perezosos y el megaterio, los armadillos y el gliptodonte. Llegando así, a la página 21 precisamente donde plasma la idea del árbol ramificado:

“Los seres organizados se representan con un árbol echando ramas irregularmente. Algunas ramas dan mucho más ramas... Tantos brotes terminales que mueren como los que se generan nuevos...”

Y en la página 25 tiene una revelación importante: compara el Árbol de la Vida con la forma ramificada de un coral

“El árbol de vida debe llamarse el coral de vida, la base de ramas muertas, quizás; para que no puedan volver a aparecer”

En la segunda parte de esa anotación tiene en cuenta la extinción, que es una vez y para siempre, y podría estar representada por ramas muertas, la mayoría acumuladas cerca de la base del árbol-coral.

La representación del coral es compatible con la idea de que las ramas muertas (especies extinguidas) son más numerosas que las existentes, por lo tanto el árbol debe ser mucho más ancho y frondoso cerca de la base que en las puntas. Por eso el coral ramificado desde su base es más representativo del origen de la diversidad que un árbol cuyo tronco se comienza a ramificar a cierta altura y puede tener una copa pareja. Sin embargo, el coral imaginado es bidimensional. Otra representación posible es la del arbusto de la vida que esboza la copa ramificada cónica o desde la base, con varias ramas principales y, sobre todo, tridimensional.

Darwin nunca representó gráficamente su idea del Árbol de la Vida. Solo dibujó ramificaciones en los borradores y un dendrograma²⁰ muy particular en el Origen para ilustrar cómo se forman nuevas especies cuando opera la selección natural acumulando cambios graduales.

²⁰ Dendrograma es una representación en forma de árbol que contiene ramas que se van dividiendo. La representación de Darwin contiene ramas que se van dividiendo y entraría en la definición de árbol como representación no figurativa. Pero de ninguna manera es la representación del Árbol de la Vida.

En la página 26 de ese mismo cuaderno aparecen los primeros retoños para explicar la formación de nuevas especies a partir de las existentes (Figura 34).

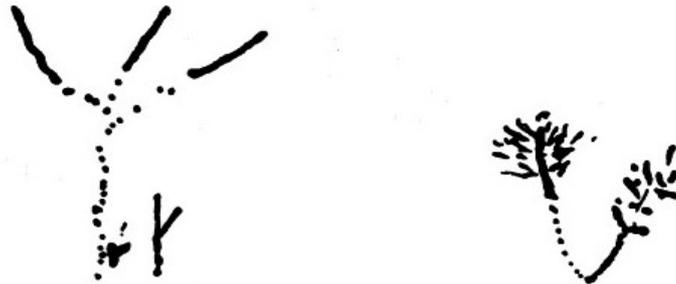


Figura 34, Primeros esquemas ramificados en el borrador B.

En ese momento Darwin creía que las especies formaban una mónada²¹ y que tenían una duración en su existencia comparable a la vida de un individuo, excepto en la escala de tiempo. Es decir, surgían, se reproducían, maduraban y luego se extinguían, cuando acababa su lapso de existencia (Figura 35).

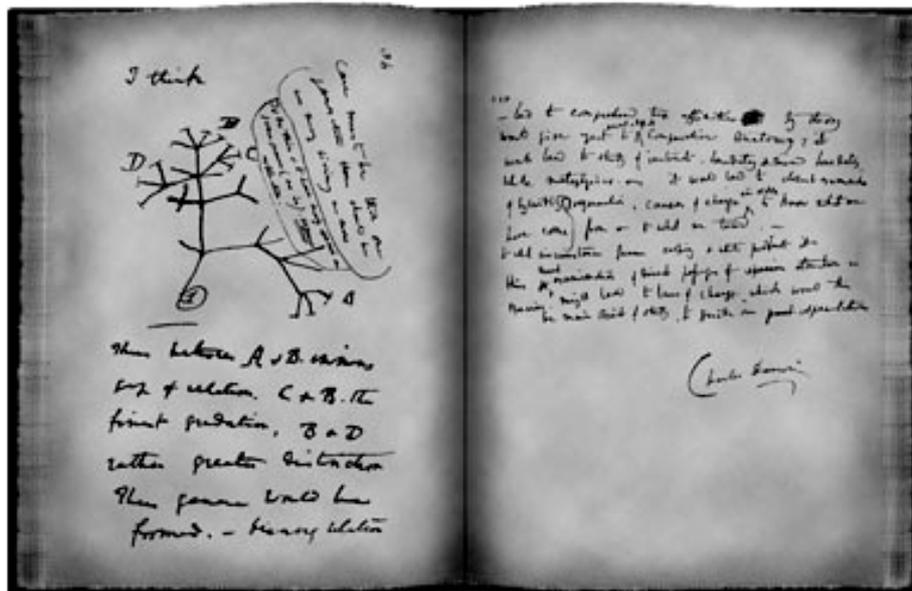


Figura 35. Esquema del cuaderno borrador B.

¡Acá está el árbol esperado!

²¹Mónada (del griego μονάς *monas*, "unidad" de μόνος *monos*, "uno", "solo", "único"). Todavía conservaba un concepto esencialista de la especie. Si bien no las consideraba inmutables, sí eran entidades identificables en el espacio y en el tiempo, discontinuas y con una existencia estable por un lapso determinado.

En la página 36 encontramos al famoso “*I Think*” (yo pienso).

Pero ¿eso era un árbol? No nos entusiasmemos, Darwin no identificó a este esquema como un árbol. Después, cuando sus seguidores se pusieron a crear distintos árboles evolutivos, vieron a éste como el origen de esas representaciones, pero para Darwin era un esquema más en su anotador, ni idea tenía que iba a tomar tanta trascendencia.

Darwin y la representación del ancestro común

Y ¿qué piensa Darwin a cerca de ese esquema? El bosquejo no está solo, en las ramas hay letras y en su base un número y a los costados y debajo hay una especie de descripción (Figura 36).

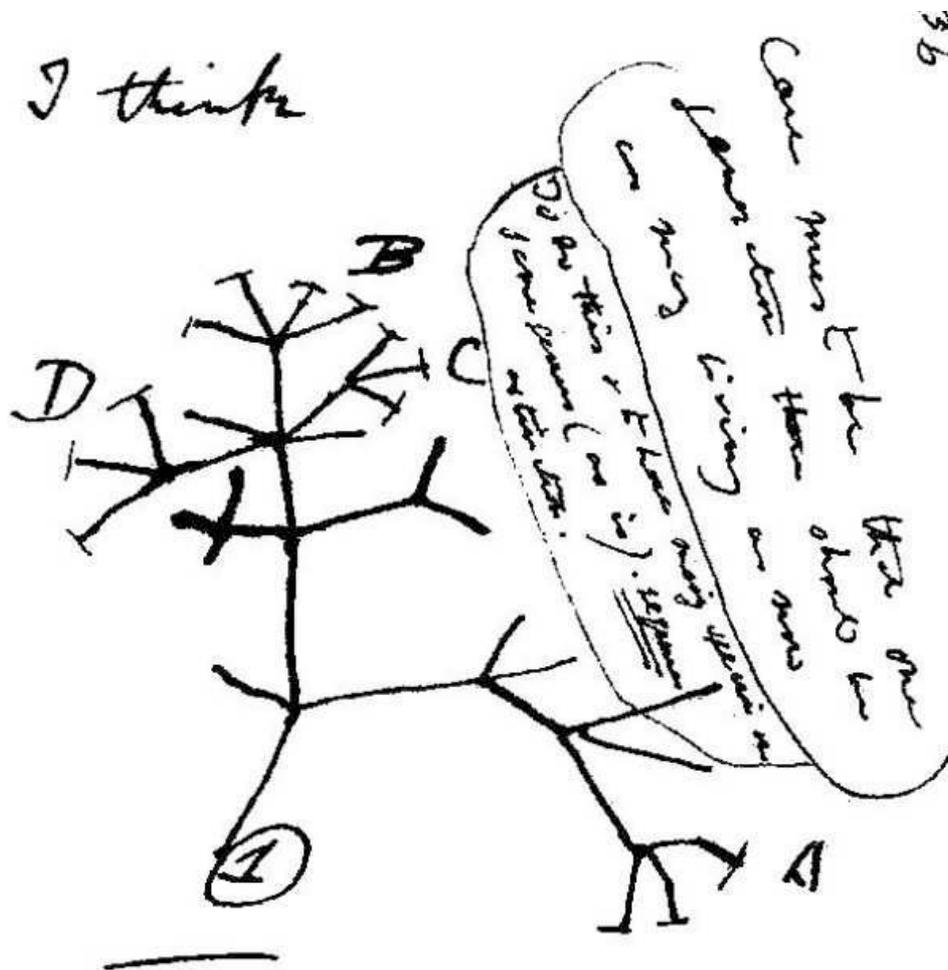


Figura 36: Esquema ampliado, borrador B, 1838.

Escrito junto al esquema encontramos que dice lo siguiente:

“*Yo pienso*”

“El caso debe ser entonces que una generación debe ser numerosa viviendo actualmente. Para hacer esto & para tener muchas especies en un mismo género (como es) requiere extinción.”

“Así entre A + B el inmenso hueco de relación. C & B la gradación más fina, B & D la distinción bastante mayor. Así se formarían genera. - produciendo la relación”

(Traducción del original, se conservan los signos y el orden de la redacción textual)

Recordemos que era un anotador y presenta las frases incompletas, como un recordatorio para él, no una comunicación para que lean otros. Así y todo, se entiende la idea que subyace al esquema.

Representa las relaciones entre especies y géneros teniendo en cuenta la extinción, la palabra está subrayada (en el esquema estaría representada por las ramas cortadas). También en el esquema aparece algo importante, el punto de origen de las ramificaciones. Es decir, la representación del ancestro común que da origen a las nuevas especies. El punto de conjunción donde nacen las ramas. Serían los nodos en la concepción actual.

Aparentemente, la idea del ancestro común no era original de Darwin, ya Buffon (1767) la había insinuado en sus especulaciones sobre la degeneración de las especies derivadas de los tipos ancestrales para aclimatarse a las condiciones de los distintos continentes. Y su abuelo Erasmus Darwin hablaba de un ancestro para todos los seres vivos. Y no nos olvidemos de Owen, discípulo de Cuvier, el paleontólogo inglés que identificó los fósiles que Darwin recogió en su viaje y que, si bien era fijista²², con su búsqueda de arquetipos para los vertebrados, le dejó “en bandeja” a Darwin las evidencias de parentesco para establecer las relaciones evolutivas entre ancestros y grupos derivados.

²²Owen como Cuvier no creía en la transformación o trasmutación de las especies. Pensaba que eran entidades fijas, que podían extinguirse porque desaparecían del registro fósil en las capas siguientes y que eran reemplazadas por otras especies que surgían quizá por intervención divina. Ellos decían que se basaban en evidencias y en el registro fósil no habían hallado evidencia de transformaciones ni tampoco eran observables durante la vida. Esa era la mayor objeción que Cuvier le había hecho a Lamarck, que su teoría era especulativa y que no aportaba evidencias. Quizá por eso Darwin llena su libro de ejemplos y observaciones. Él había leído a Lyell el cual sostenía una dura crítica a Lamarck en su tratado “Principios de Geología” publicado en 1830 - 1833. Entonces se tomó su tiempo para reunir “evidencias” y no ser especulativo. Tan es así que llegó a convencer a Lyell quien pasó a aceptar la descendencia con modificación y la teoría del ancestro común. Esta teoría fue aceptada fácilmente por los contemporáneos de Darwin, no así el mecanismo de trasmutación, la selección natural que recién fue comprendida y aceptada por la comunidad científica en el siglo XX.

En sus cuadernos de notas, Darwin, comienza a especular sobre el origen de las especies y le “sale” el esquema ramificado para apoyar su idea.

Cuando Darwin garrapateó sus primeras ramificaciones no tenía idea de la selección natural y todavía no tenía muy claro el tema de la especiación y de cómo se sustituían unas especies por otras. Esto último era la cuestión que más le ocupaba sus pensamientos en ese momento. El “misterio de los misterios” como el mismo lo describió.

Cuando estuvo en la Patagonia, él había observado dos especies distintas de ñandúes, uno a cada lado del Río Negro, también los guanacos actuales y los fósiles de una llama gigante, los armadillos como la mulita, el peludo y el gliptodonte fósil, hallado en las mismas pampas donde habitaban aquéllos. En sus reflexiones, se preguntaba qué había sucedido y qué causa natural había detrás de ese reemplazo de especies emparentadas. Cómo unas especies reemplazaron a otras, en el mismo espacio, como el caso de los ñandúes o en el tiempo, como las especies fósiles por las actuales.

Por esos tiempos, Darwin manejaba una hipótesis curiosa, las especies que formaban una entidad a la que denominó mónadas, tenían un tiempo de existencia, luego se extinguían y su lugar era ocupado por otras. Y se preguntaba cómo se originaban las nuevas a partir de las anteriores. Especulando, empezó a dibujar su esquema.

Si bien la idea de “especies mónadas” luego fue descartada por él mismo, fue la que guió sus primeras representaciones, del origen por reemplazo de las especies, mediante un esquema ramificado.

Por eso decimos que del error también se construye. De una hipótesis errónea, Darwin construyó el modelo de ramificación que luego perdurará en su teoría.

Allí en su estudio, él comenzó a recordar lo observado en su viaje y pensó en la sustitución de unas especies por otras en el espacio y el tiempo. Supuso que las especies actuales derivaban de una anterior, quizá extinta. Esta idea se fue formando al recordar las observaciones de animales establecidos en islas y que mantienen un parecido a los de los continentes cercanos, creyendo que se diversificaron de un ancestro continental manteniendo algunos rasgos en común. Un claro ejemplo es el de las calandrias de las Galápagos. Cuando estuvo allí, observó 4 especies, una en cada isla, éstas tenían algunas diferencias en sus picos, plumaje o comportamiento. También había visto aves

parecidas en Chile, Argentina, Uruguay y Perú. Al volver de su viaje, comenzó a pensar en estas aves y se le ocurrió un atisbo de explicación al proceso de especiación o generación de nuevas especies a partir del aislamiento geográfico. Imaginó que algunas de estas aves se trasladaron del continente a las islas y allí, al quedar aisladas, fueron desarrollando características diferenciales, en su plumaje, sus picos, adaptándose a nuevos ambientes, pero conservando otras características que las hacen similares. Porque todas se originaron de una especie anterior, que estaba en el continente: el ancestro común.

Darwin comenzó a llamar a su teoría “Descendencia con modificación” (él nunca habló de “evolución”) En esa frase, quedó implícita la idea del ancestro común y de allí se puede ver claramente la imagen mental de las ramas que se bifurcan o polifurcan a partir de un punto. De una especie ancestral pueden surgir dos o más especies que se irán diversificando en el tiempo y el espacio.

El árbol del Origen

El único esquema que posee el libro más famoso de la historia de la Biología, El Origen de las Especies, publicado por Darwin en 1859, es una especie de dendrograma; o sea, un diagrama ramificado. No tiene forma de árbol ni pretende ser una representación de uno. No tiene mucho que ver con la metáfora del Árbol de la Vida que imaginó el mismo Darwin. Es un diagrama que ayudaría a comprender al lector el problema “algo complicado”, como dice él mismo, de la divergencia de los caracteres y la extinción por acción de la selección natural sobre descendientes de un antepasado común.

El esquema está en el capítulo IV, dedicado a la selección natural y trata de representar la especiación por acumulación de variaciones en los caracteres. Parte de las especies representadas con las letras A hasta la L que, según menciona, pertenecen a un género grande, porque en promedio varían más las especies que pertenecen a géneros mayores. Las líneas punteadas y ramificadas que parten de A, por ejemplo, representan su variada descendencia. Las rayitas que continúan son los caracteres que fueron seleccionados y son preservados y, cuando llegan a una línea horizontal, se establece un punto con una letra minúscula donde hay una variedad determinada, que puede convertirse en ancestro de otras.

Así, por ejemplo la especie A ha producido tres formas (a, f y m), las que fueron divergiendo en caracteres durante generaciones sucesivas. Desde allí van a diferir ampliamente entre sí y de su ancestro común. Las diferencias pequeñas se van acumulando y las especies van divergiendo hasta obtener diferencias mayores. Gradualmente se van formando nuevas especies por variación en los caracteres y la selección natural preserva a algunos de éstos. Aunque también se demuestra con el diagrama que el proceso es irregular, algunas especies cambian o varían más que otras. Algunas permanecen inalteradas por largos periodos. Tampoco siempre se van a preservar las variedades más divergentes pues, como se ve, formas intermedias pueden resistir por mucho tiempo y pueden producir o no descendientes modificados, dependiendo de relaciones complejas con el entorno y las otras especies.

Y Darwin dice al terminar de explicar el esquema “Así creo yo que se multiplican las especies y se forman los géneros” (Figura 37)

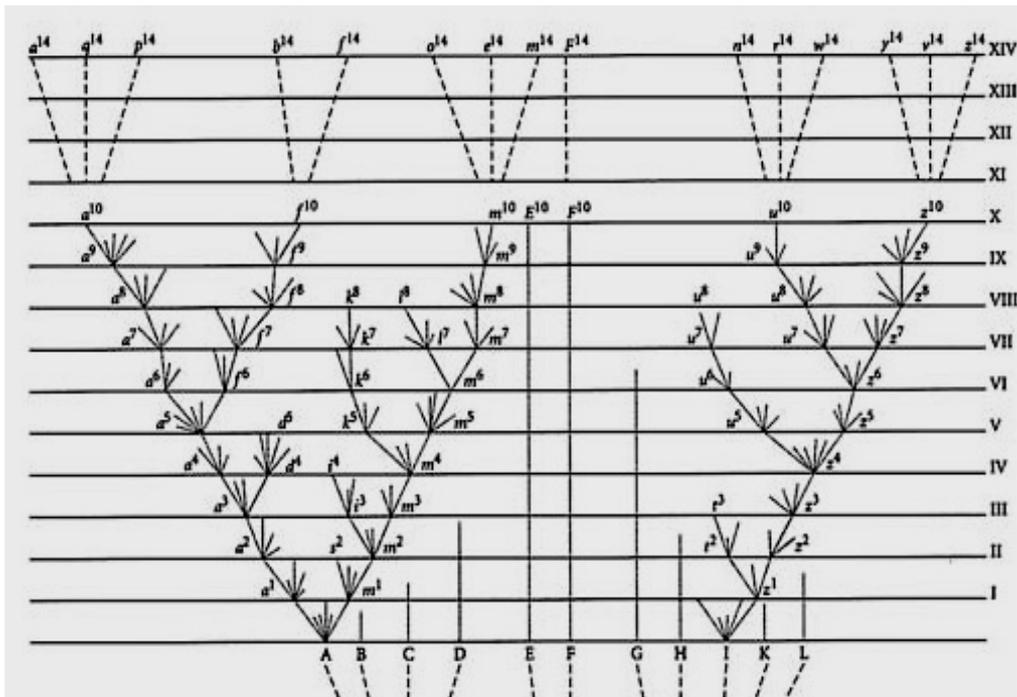


Figura 37: Único esquema que aparece en el libro “El Origen de las Especies”, 1859.

Y en el remate final de ese mismo capítulo aparece la explicación evolutiva de la metáfora del Árbol de la Vida:

“Algunas veces, las afinidades de todos los seres de la misma clase han sido representadas por un gran árbol, y creemos que esta idea es bastante verdadera. En efecto, los renuevos verdes y florecientes pueden representar las especies que existen; y

los producidos durante años anteriores pueden representar la larga sucesión de especies extinguidas. En cada período de crecimiento, todos los retoños han tratado de ramificarse en todas las direcciones y de sobresalir y sofocar a las ramas y renuevos que los rodean, de la misma manera en que las especies y los grupos de especies han dominado en todos los tiempos a otras especies en la gran batalla por la vida. Los troncos divididos en grandes ramas, y éstas en otras cada vez más pequeñas, fueron también en otro tiempo, en la juventud del árbol, retoños florecientes; y esta conexión de los brotes antiguos y actuales en los ramificados brazos puede representar a las mil maravillas la clasificación de todas las especies extinguidas y vivas en grupos subordinados a otros grupos. De los muchos retoños que florecieron cuando el árbol era un mero arbusto, solamente dos o tres, que hoy son las ramas grandes, sobreviven y soportan a las otras, y asimismo, de las especies que vivieron durante períodos geológicos hace mucho tiempo, muy pocas han dejado descendientes vivos y modificados. Desde el primer crecimiento del árbol, más de una rama de todos los tamaños se ha deteriorado y caído, y éstas pueden representar aquellas órdenes, familias y géneros enteros que no tienen representantes vivos y que no son conocidos únicamente en estado fósil. Del mismo modo que de vez en cuando vemos una ramita solitaria saliendo por la parte baja del tronco de un árbol, que por alguna circunstancia ha sido favorecida y todavía vive en aquel sitio, se nos presenta también un animal, como el ornitorrinco o el pez de légamo, que en grado pequeño enlaza por sus afinidades a dos grandes ramas de vida, y que en la apariencia se ha salvado de la competencia fatal, por haber habitado en un paraje protegido. Como los retoños dan por el crecimiento lugar a otros retoños, y éstos, cuando son vigorosos, se ramifican y dominan por todos lados a muchas ramas más débiles, creemos que es eso lo que ha sucedido con el gran árbol de la vida, que llena con sus ramas muertas y rotas la corteza de la tierra, cuya superficie cubre con sus restantes ramificaciones, siempre hermosas y crecientes.” (1859)

Más que los esquemas del libro este párrafo podríamos decir que determina el origen de una corriente que después se llamó “filogenia”.

3. e- La evolución del árbol evolutivo

Haeckel²³ tenía la tendencia de crear vocablos, tanto para uso científico como profano (Gould, 2007). La palabra Filogenia es una invención de él. Fue acuñada en 1866, (del griego: φυλον *phylon*: "tribu, raza" y γενεα *geneá*: "nacimiento, origen, procedencia"). Aparece en su libro *Generelle Morphologie der Organismen (Morfología general de los organismos)* (1866). Los términos filogénesis y phylum (filo) fueron acuñados también por Haeckel. En 1866 definió la filogénesis y su adjetivo filogenético del siguiente modo: "*Phylogenetic pertains to evolutionary history*" ("la Filogenética pertenece a la historia evolutiva"). En ese tiempo no se utilizaba la palabra evolución en el sentido que le damos ahora. Por eso él empleó la palabra filogenia para explicar el origen y la transmutación de las especies. El término evolución estaba relacionado más con el desarrollo y con la recapitulación ontogenética (ya se desarrollará más adelante).

Haeckel diagramó varias figuras de árboles con sentido evolutivo. El más conocido (Figura 38) posee un ancho tronco y se dirige ascendentemente hacia el hombre dejando hacia los laterales las ramificaciones correspondientes a los demás seres vivos. Las representaciones de Haeckel son especulativas, no se basan en observaciones empíricas, fundamentadas especialmente en su teoría de la recapitulación. Su árbol tiene una direccionalidad y progresión hacia el hombre, que está en la cima de su copa. Esta representación jerárquica conllevó a una interpretación racista de la supremacía del hombre "civilizado" sobre las demás razas y especies.

Actualmente la filogénesis hace referencia a un proceso particular, mientras que la filogenia es la ciencia que estudia los procesos y sus resultados. Algunos autores enfatizan la bifurcación como el eje central de la filogenia.

O'Hara en 1988 utiliza la siguiente definición: "*Filogenia es la crónica evolutiva: la secuencia ramificada del cambio de caracteres en los organismos a través del tiempo.*"

²³Ernst Heinrich Philipp August Haeckel, (1834 - 1919) biólogo y filósofo alemán.

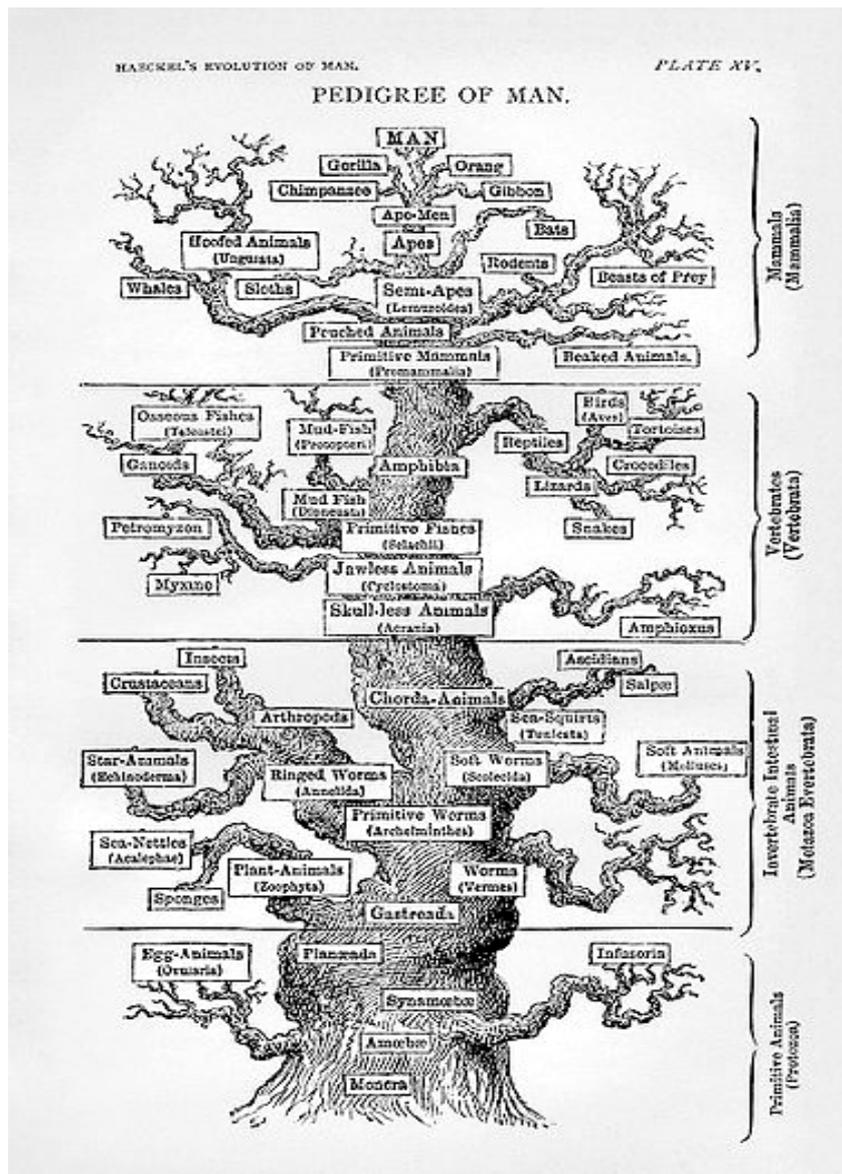


Figura 38: “Pedigrí del hombre”. Árbol genealógico de Haeckel.

Otro término que le debemos a Haeckel, es Ontogenia. Se refiere al desarrollo individual desde que el óvulo es fecundado hasta la vejez. En algunos casos, se entiende sólo como desarrollo embrionario. Para Haeckel era la secuencia de desarrollo de un individuo. Él creó la famosa ley biogenética²⁴ de la recapitulación, que pronto cayó en desgracia y ahora no se considera a rajatabla como él la proponía: En la secuencia ontogenética se repite en forma acelerada la secuencia filogenética. Es una frase que se hizo muy popular aunque para la ciencia pasaba de ser una cuestión seria. Tan famosa

²⁴ Biogenética, también es una palabra inventada por Haeckel, deriva de “biogénesis” que es, algo así, como el origen de la historia de la evolución orgánica.

que apareció en el programa de los Simpsons. En un capítulo un “Homero intelectual” escribió agonizante:

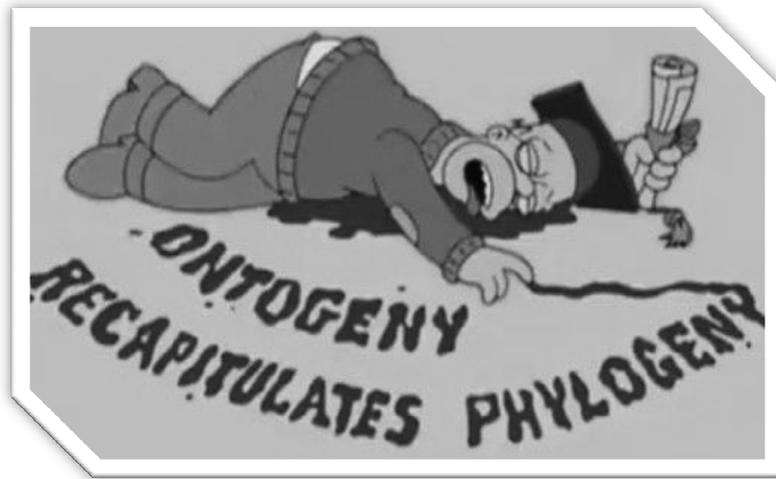


Figura 39: “La ontogenia recapitula la filogenia” (Los Simpsons, temporada 12, capítulo 9)

Y ¿qué quiere decir eso? ¿Para qué le sirvió a Haeckel?

“La ontogenia es la recapitulación breve y rápida de la filogenia... Durante su rápido desarrollo, un individuo repite los cambios de formas más importantes que sus antepasados desarrollaron por evolución durante su largo y lento desarrollo paleontológico”. Así lo explicó el mismo Haeckel en 1866.

Cuando el registro fósil no alcanzaba para completar las ramas de su árbol, recurría a observar el desarrollo ontogénico. Y así pudo completar la base de su árbol “Pedigrí del Hombre” (Figura 38), con ciertos engendros que, ahora, algunos nos suenan conocidos porque se refieren a seres concretos que luego se identificaron, pero en ese momento surgieron de sus especulaciones: móneras, amebas, sinamebas, planeas y gastreas. Éstos eran los cinco primeros estadios evolutivos que él reconstituyó a partir de la ontogenia de formas superiores.

Para complicar más las cosas, Haeckel pensaba que la filogenia y la ontogenia eran dos ramas coordinadas de la morfología. La filogenia era la historia del desarrollo del individuo abstracto, genealógico; la ontogenia, por su parte, era la historia del individuo concreto, morfológico.

Si bien se dice que Haeckel era una especie de discípulo de Darwin en Alemania, no tenía una interpretación Darwiniana de la evolución. Tenía su propia concepción, una

mezcla curiosa de las nociones de Darwin, Lamarck y Goethe. Creía intensamente en la herencia de los caracteres adquiridos y el papel de la selección que, para él, era limitado; los organismos acumulaban las variaciones para producir nuevas especies. La idea de los cambios evolutivos que sostenía era lineal. Por eso los nuevos cambios se adicionaban al final de la ontogenia, sin alterar su base ancestral.

Sí adhirió efusivamente a la idea del árbol, mencionada por Darwin como medio para representar las relaciones genealógicas de los seres vivos. Fue Haeckel quien introdujo la figura del árbol como representación preferida de la evolución.

Esquematisó y dibujó muchos árboles, algunos con simples rayas; otros, figurativos. Por supuesto el más famoso es el “Pedigrí del hombre”, pero intentó representar la evolución de todos los seres vivos con diferentes árboles o ramas de un árbol principal.

El “Pedigrí del hombre” lo publicó en 1896. Aún mantiene la idea de progresión en la que subyace la escala natural aristotélica. La evolución fue escalonada de lo simple a lo complejo, cada vez más perfecto hasta llegar al hombre, único, amo y señor del último tramo de esa evolución. Esta idea aún tan arraigada en el sentido común, todavía se ve representada en algunos diagramas con formas de pinos o ramas de judías.

En él resume sus ideas, más filosóficas que científicas, sobre el origen de la vida y su transformación lineal sobre un tronco común que diverge en ramas laterales. Su punto de vista lineal, transformista y progresivo se aplicó también con los humanos. No consideraba a todos en el mismo nivel, sino que dependía de su raza “*highest result of the development of the Mammalian line, the crown of Creation*” (Haeckel, 1876), *all humans are not at the same position at the top of the chain* (1876).

Su árbol tiene una direccionalidad y progresión hacia el hombre, que está en la cima de su copa. Esta representación jerárquica conllevó a una interpretación racista de la supremacía del hombre “civilizado” sobre las demás razas y especies.

Haeckel es considerado por algunos historiadores más un divulgador que un científico. Utilizó sus imágenes para convencer y transmitir sus ideas, como si fuese una especie de publicista (Rattray Taylor, 1959). La comunidad científica de su época lo denunciaba por fraudes y falta de evidencias en sus aseveraciones (Assmuth y Hull, 1915).

Actualmente, la filogénesis hace referencia a un proceso particular, mientras que la filogenia es la ciencia que estudia los procesos y sus resultados. Algunos autores enfatizan la bifurcación como el eje central de la filogenia.

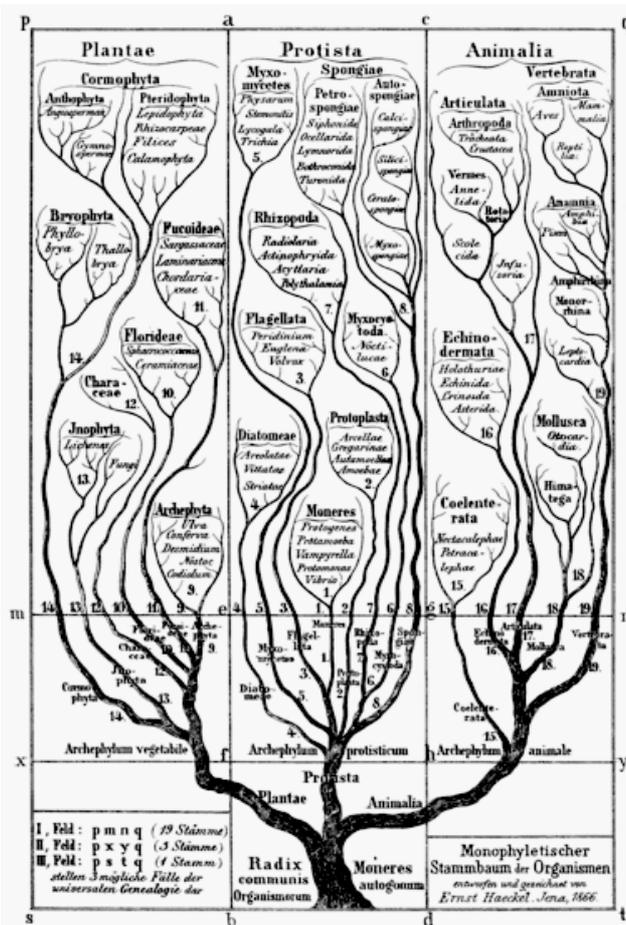


Figura 40: Árbol genealógico de los Seres Vivos, Haeckel 1866.

En este árbol nos muestra el orden en el cual fueron apareciendo los grupos, pero nos da la impresión errónea de que las especies evolucionaron según una secuencia hasta llegar a un punto donde se encuentran “los más evolucionados”.

El paleontólogo Stephen Jay Gould²⁵ en su libro “La Vida Maravillosa” analiza los árboles de Haeckel. Tan es así, que observa que todos los árboles de Haeckel se ramifican hacia arriba y hacia afuera, formando un cono invertido. Colocando debajo lo que consideraba más primitivo. Por ejemplo, en el árbol que destinó a los vertebrados todo se ramifica hacia arriba y hacia afuera formando dos niveles, con la mayor diversidad en la parte superior (Gould, 1992).

²⁵Stephen Jay Gould (1941 - 2002) fue un paleontólogo estadounidense, biólogo evolutivo, historiador de la ciencia, excelente escritor y uno de los más influyentes y leídos divulgadores científicos del siglo XX e inicios del XXI.

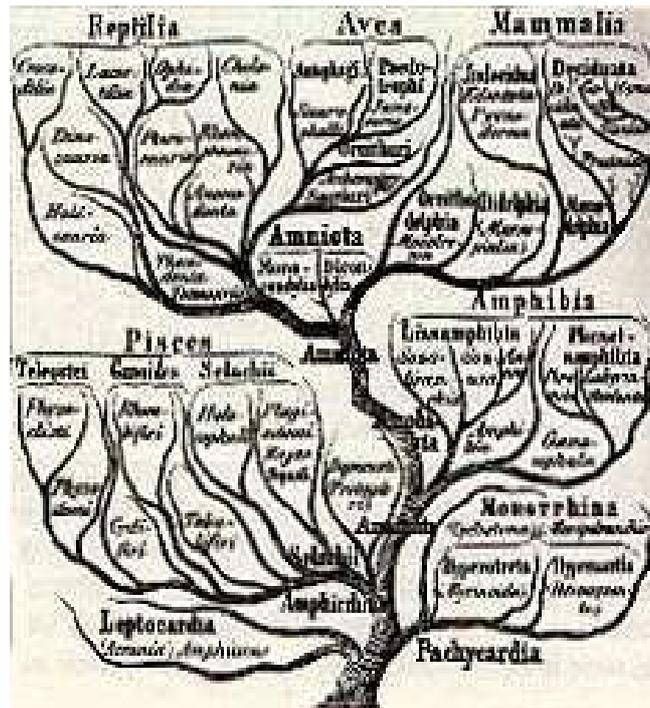


Figura 41: Árbol de los Vertebrados, Haeckel, 1866.

La parte inferior (Figura 41) que destinó a los anfibios y los peces, denota menos diversidad y mayor primitivismo. Y, en la parte de arriba, más ancha, están los reptiles, aves y mamíferos, más abundantes y “evolucionados”. Pero los peces son vertebrados muy diversos en morfología y cantidad entre los presentes en la actualidad, y eso no se refleja en ese esquema.

Sabemos que los anfibios aparecieron antes que los reptiles en el tiempo geológico, los reptiles avianos antes que las aves, pero esto no quiere decir que sean “menos evolucionados” por haber aparecido antes en el registro geológico. Su linaje siguió evolucionando, una rana actual es muy diferente a un anfibio basal, lo mismo que una serpiente con respecto a los primeros reptiles que conquistaron la tierra firme. Tanto las aves actuales, como los anfibios, los peces y los reptiles deberían ocupar el tope de las ramas porque su evolución continúa hasta el presente. Si tomamos la idea de Darwin, que las ramas cortadas serían los linajes extinguidos, el árbol ya no tendría la forma de un cono invertido. Sería un arbusto muy ramificado en la base y en el centro; o un coral como había previsto el propio Darwin. Igualmente es imposible que con un esquema o representación icónica se refleje totalmente el proceso evolutivo.

Todo esquema o representación es una simplificación y conlleva un objetivo determinado. Al elegir una manera de representar, una figura o dendrograma

determinado, se asume un compromiso adscribiéndose a un enfoque determinado, una forma de pensar la historia de la vida o el curso de la evolución.

Aunque el pensamiento científico actual no comparte la forma de pensar la evolución de Haeckel, sus árboles son un legado importante para la historia de la Ciencia. Con ellos nació una forma de representar la evolución y también una rama importante de la biología, la filogenia.

Es una lástima que a principios del siglo XX, en Alemania, el pensamiento de Haeckel fuera aprovechado por una funesta corriente de pensamiento: el nazismo. Como creía que las leyes de la evolución regían tanto para la naturaleza como para la civilización humana, la supervivencia del más apto confería entonces, a las razas “superiores”, la opción de dominar sobre las demás. Si bien Haeckel era pacifista, (y sus ideas también fueron tomadas, en un principio, por la izquierda) sus escritos, fomentaron en gran manera la ideología y el auge de las creencias nazis (Viecelov. 1959).

La superioridad de la “raza blanca” por sobre las demás se puede apreciar también en un contexto pre-evolucionista en “Historia de la Creación” publicado en 1843 por Carlos Germán Burmeister (1807-1892), primer director del Museo Público de Buenos Aires, asiduo defensor del fijismo y contrario a las ideas de Ameghino.

Luego de Haeckel, en Alemania, la filogenia tomó por caminos menos especulativos en busca de un método lógico. Zimmermann (botánico alemán, 1892-1980) definió claramente las relaciones filogenéticas teniendo en cuenta los ancestros cercanos y, proponiendo ese principio como única manera de representar las relaciones genéticas. Fue tomado por Hennig para construir su definición de monofilia (Morrone, 2013).

Entonces, se puede decir que el curso de la evolución, o la filogenia como lo designó Haeckel, se puede representar construyendo esquemas gráficos con ramificaciones arborescentes que comúnmente denominamos “árboles”.

También a esos esquemas se los pueden llamar dendrogramas, porque *dendro*, quiere decir, justamente árbol.

Los dendrogramas también se utilizan en otras disciplinas aparte de la biología, por ejemplo en matemática, computación (donde también se los denomina grafos) y en lógica, entre otras.

Vimos que la figura o esquema del árbol puede representar jerarquías, genealogías, organizar y ordenar seres vivos o no vivos.

Aquí nos vamos a centrar solamente en las representaciones de árboles evolutivos. Los que representan el curso de la historia de la vida.

Haeckel dibujó árboles figurativos; es decir, parecidos a la imagen del árbol real, una planta con tronco, ramas y subramas, pero luego los árboles se hicieron esquemáticos.

La forma del árbol y la disposición de sus ramas, desde puntos de unión o nodos que conforman la topología del mismo, dicen mucho de la concepción evolutiva que sostiene quien lo dibuja.

Una controversia que surgió no bien Darwin publicó su teoría fue si el curso de la evolución era gradual o iba a los saltos. Darwin había propuesto que los cambios eran lentos y graduales, casi uniformes en la escala temporal. La acumulación de muchos pequeños cambios llevaba a la formación de variedades, luego subespecies, y así a especies, subgéneros, y géneros. Y, como el registro fósil estaba incompleto ese gradualismo no iba a estar reflejado en él. A su gran defensor y su cercano discípulo Thomas H. Huxley²⁶ no estaba totalmente de acuerdo con esta cuestión del gradualismo y pensaba que la evolución bien podía ir a los saltos, por lo que dio el puntapié inicial al enfoque que se llamó saltacionismo, o sea, la posibilidad del origen repentino de nuevas especies. Algunos siguieron y justificaron esta idea, como De Vries²⁷, que creía en grandes cambios rápidos generados por mutaciones que podían originar nuevas especies sin intervención alguna de la selección natural.

Cuando se afianza la teoría Sintética de la Evolución a mediados del siglo XX se deja de lado el saltacionismo y se acepta la idea darwiniana del gradualismo. Tanto las variaciones en las poblaciones como el origen de nuevas especies se podían explicar por cambios lentos y graduales acumulativos. Hasta que en la década del setenta llegaron Stephen Jay Gould y Niles Eldredge con el equilibrio puntuado²⁸. Ellos proponían que el registro fósil, en la mayoría de los casos, podía demostrar realmente lo sucedido en la

²⁶Thomas Henry Huxley (1825 – 1895) fue un biólogo británico, conocido como el “*Bulldog de Darwin*” por su defensa de la teoría de la evolución de su amigo Charles Darwin.

²⁷Hugo De Vries, (1848-1935) Uno de los primeros genetistas. También era botánico, de origen neerlandés.

²⁸ Publicada en 1972. Esta teoría propone la alternancia de cambios evolutivos rápidos y de otros normales o lentos dentro de un linaje.

evolución. “*Si surgen nuevas especies con gran rapidez en poblaciones locales pequeñas y aisladas en las periferias, entonces esperar secuencias de fósiles que cambien de manera gradual y casi imperceptible es una quimera. Una nueva especie no surge por la lenta transformación de todos sus antepasados. Muchas discontinuidades del registro fósil responden a situaciones reales*”.²⁹ En las primeras publicaciones se relegaba el gradualismo para la microevolución³⁰, pero se lo objetaba en el proceso macroevolutivo³¹. Luego se entendió que, aunque el gradualismo continuaba en los procesos selectivos, sí puede cambiar a veces la velocidad en la que se producen grandes cambios en la producción de nuevas especies. Y esos cambios pueden estar muchas veces ayudados por eventos contingentes como ciertas catástrofes y extinciones masivas. Muchos criticaron a Stephen Jay Gould y su defensa del puntualismo, hasta que empezaron a hallar evidencias. Por un lado los biólogos Grant³² en las Galápagos, que estudiando a los pinzones, descubrieron que el modelo del equilibrio puntuado se reflejaba en la formación de nuevas variedades de pájaros en corto plazo. Por otro lado se comenzaron a encontrar registros estratigráficos de procesos de especiación en cortos plazos geológicos. Así que se comenzó a aceptar el puntualismo como otra alternativa. Bien podía ser que el proceso evolutivo fuese gradual y a veces, cuando los eventos y condiciones lo permiten, acelerado y puntual con períodos de estasis³³ si el ambiente no varía.

Y esos procesos se reflejan en árboles diferentes. Un árbol con ramas con curvas suaves para el gradualismo y otro, con codos y nodos remarcados, para el puntualismo. Y cada uno (o cada concepción) adapta la metáfora del árbol al curso de la evolución que desea

²⁹ Traducción de la publicación original "*Punctuated equilibria: an alternative to phyletic gradualism*" (1972) pp 82-115 in "Models in paleobiology", edited by Schopf, TJM Freeman, Cooper & Co, San Francisco.

³⁰ Evolución que se observa a nivel de la genética de las poblaciones. Cambio en las frecuencias de los alelos con variaciones en los fenotipos, sin llegar a traspasar la barrera de las especies.

³¹ Se refiere al origen y evolución de grupos taxonómicos situados por encima del nivel de las especies.

³² Peter y Rosemary Grant, dos biólogos evolucionistas que estudiaron los pinzones durante más de 30 años desde 1973 en la isla Dafne Mayor de las Galápagos, registrando el proceso de evolución de esos pájaros especialmente en los cambios de tamaño y forma de sus picos.

³³ Período en la historia de un taxón durante el cual la evolución filética parece haberse detenido (no se registran cambios evidentes).

reflejar. Para algunos es continuo, lento y suave; para otros, por momentos se acelera y luego tiene periodos estables hasta volver a apresurarse (Figura 42).

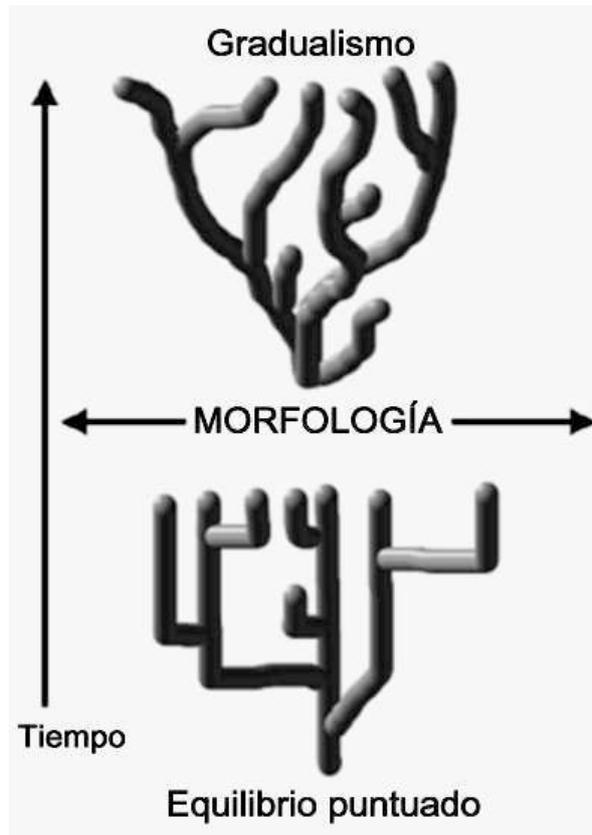


Figura 42: Representaciones de árboles según las distintas propuestas en relación la marcha que tomó la evolución (Gould, 1992)

Entre las formas híbridas de árboles aparecen los calibrados que incluyen la diversidad y la escala temporal, mostrando un diagrama donde las ramas se engrosan para expresar mayor abundancia relativa de taxones o grupos y se adelgazan cuando hay menos, cortándose cuando se produce la extinción. (Figura 43) Estos diagramas son parecidos a los que intentara Agassiz, pero los nuevos sí incluyen la evolución.

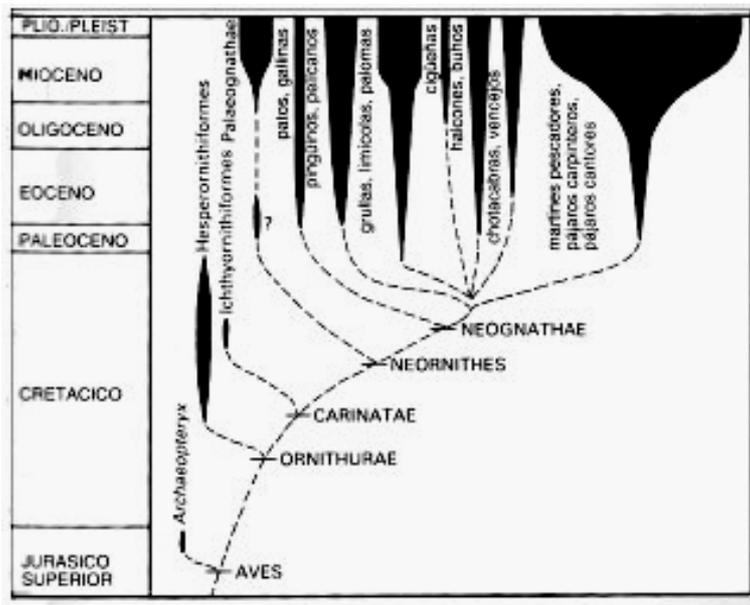


Figura 43: Diagrama de la evolución de las aves que incluye su abundancia relativa a través del tiempo geológico. Las líneas de puntos expresan las hipótesis de las relaciones evolutivas.

(Benton, 1991)

A más de un siglo de los llamativos dibujos de Haeckel, hay en la actualidad árboles para todos los gustos. Se construyeron, y se siguen construyendo de diferentes formas, topologías y posiciones. Hay distintas “escuelas de clasificación” que poseen sus propias reglas para armar árboles, como la sistemática evolutiva de Mayr,³⁴ con sus árboles genealógicos clásicos y darwinianos; la cladística con árboles de parentesco basados en ancestros comunes; la fenética que busca la mayor cantidad de similitudes entre los organismos; y otras escuelas filogenéticas con menos adeptos, pero que todavía pueden andar por algunas ramas de la biología.

En algunos árboles, que se denominan Filogramas (Figura 44) el largo de la rama expresa la magnitud del cambio que separa los taxones. Otros árboles tienen en cuenta el reloj molecular³⁵ que identifica el tiempo de separación entre cada linaje, expresado con un número, comúnmente millones de años. Estos estudios pueden hacerse basándose en la información de diferentes proteínas u otros elementos.

³⁴Ernst Mayr (1904-2005), biólogo evolucionista que participó en la creación de la Teoría sintética de la Evolución. Fue, además un renombrado taxónomo, explorador de los trópicos, ornitólogo, historiador de la ciencia y naturalista.

³⁵Es una técnica para datar la divergencia de dos especies. Deduce el tiempo pasado a partir del número de diferencias entre dos secuencias de ADN o proteínas. Un gen o proteína pueden considerarse relojes moleculares, puesto que su tasa de evolución es relativamente constante a lo largo de períodos largos y toma valores semejantes en distintas especies.

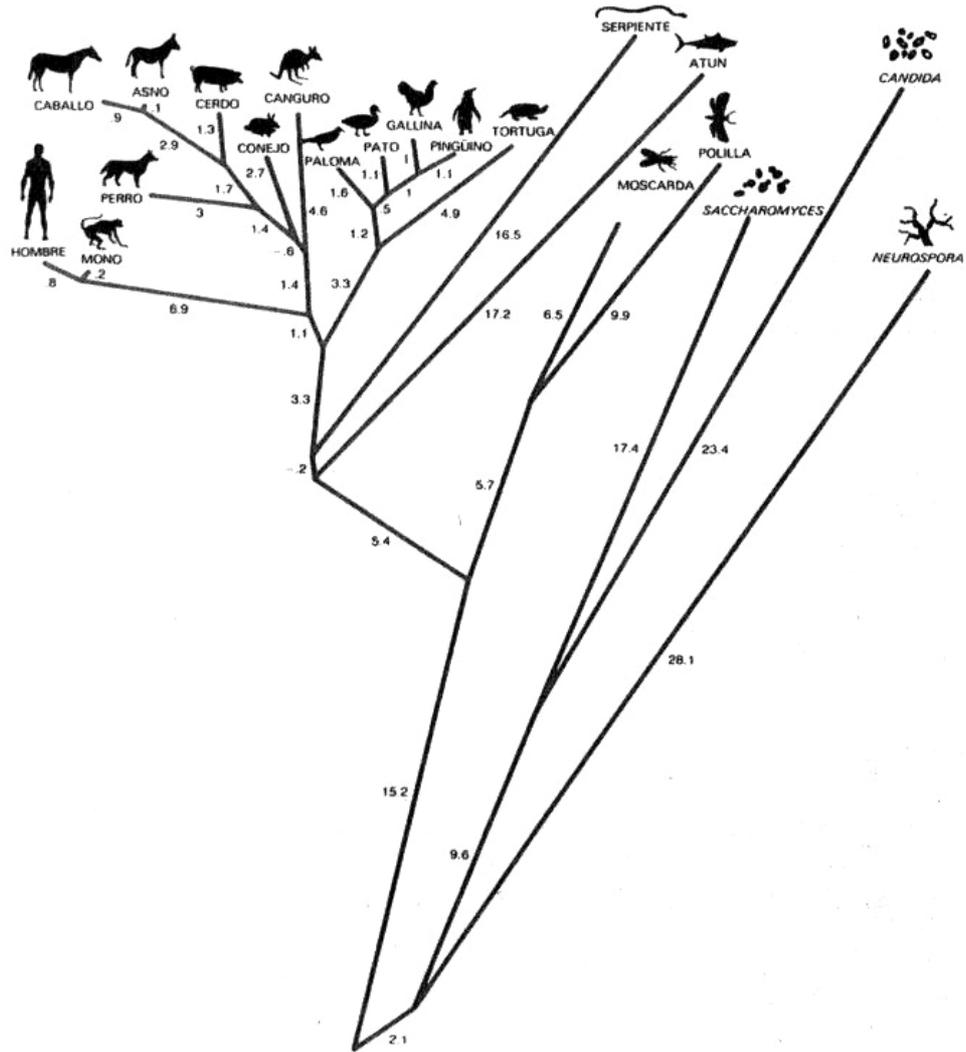


Figura 44: Filograma con distancias moleculares basadas en el citocromo c, una pequeña proteína que cumple con la función de transportar electrones en los complejos respiratorios de la mitocondria.

Como se expresó anteriormente, la forma que tiene el árbol puede decirnos mucho sobre la concepción de la evolución que posee su autor.

Así, un árbol cónico con la punta hacia arriba como la forma clásica que creemos tiene un pino, nos refleja la mayor diversidad en las ramas inferiores y en la punta muy poca o, como en los árboles de Haeckel, indica una direccionalidad y progresión, donde sólo estarán los más evolucionados en la punta. Pero es raro encontrar árboles filogenéticos con la figura de un pino en la actualidad. En libros de texto podemos hallar árboles con un troco central y ramas laterales como un tallo de judías o la forma de un ciprés, esta forma también expresa direccionalidad y cierta linealidad, como una escalera ramificada. Es una representación intermedia entre la escalera y el arbusto.³⁶ (Figura 45).

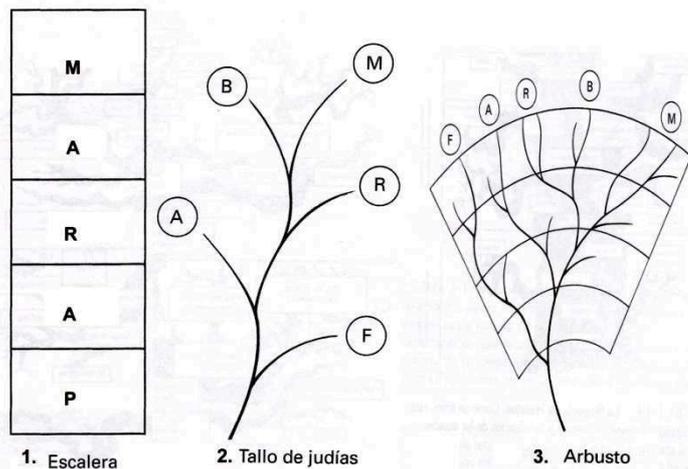


Figura 45: Las imágenes anteriores muestran distintas formas de representar la evolución de los vertebrados.

En estos esquemas el arbusto aún sigue teniendo la forma de cono invertido con la mayor diversidad en las especies existentes dispuesta hacia la actualidad. Aparentemente, si recorremos la historia de la vida con sus extinciones, no ha sido así.

Un árbol que incluya a los invertebrados seguramente no va a tener forma de cono. Un árbol que refleje la diversidad morfológica de los seres vivos va a tener la forma de un coral muy ramificado, como pronosticó Darwin, pero no bidimensional. La perspectiva de ese coral, ahora diríamos que se nos presenta en 3D (Figura 47).

³⁶Imágenes extraídas del libro de Kardong, Vertebrados. Anatomía comparada, función, evolución. Editorial McGraw-Hill Interamericana. Edición 2007.

Según Gould el árbol es irregular y más ancho cerca de la base que en la punta de la copa (Figura 46). Llega a esta conclusión luego de interpretar la acumulación de formas diversas de seres vivos representados, en un corto período, en el registro fósil. La llamó Explosión Cámbrica porque en un corto período, geológicamente hablando, aparecen diversas formas anatómicas de animales, cuya mayor parte luego se extingue, quedando unos pocos tipos que fueron los que dieron origen a los esquemas conocidos tanto de invertebrados como vertebrados. También allí se originó uno de los primeros cordados, con la incipiente morfología que llevarían todos los vertebrados.

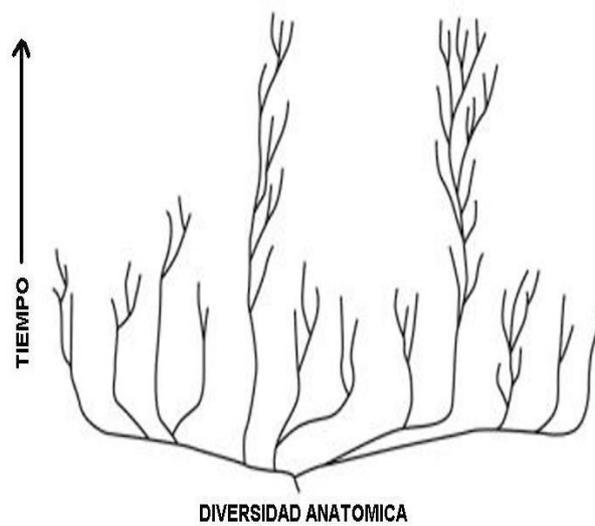


Figura 46: Modelo de base amplia 1: El árbol de Gould de su libro “La Vida Maravillosa”, 1989.

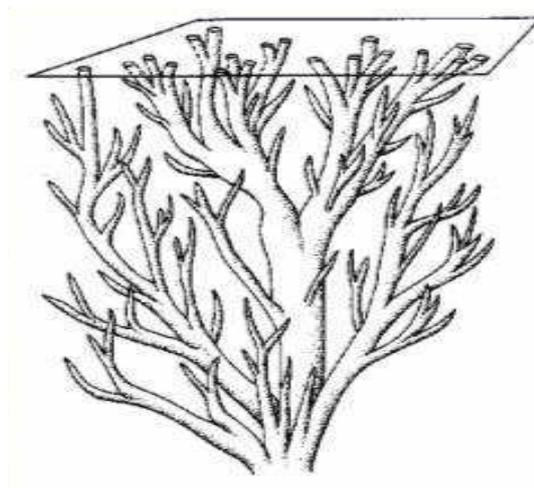


Figura 47: Modelo de base amplia 2: Coral de Darwin (2D) o arbusto bajo (3D)

Si bien el esquema ramificado ya está instalado para representar la concepción actual de la evolución de las especies, en publicaciones populares y hasta en libros escolares reaparecen esquemas lineales con distintas formas y características.

Aunque ni la actual teoría evolutiva ni el registro fósil respaldan la idea de progreso lineal en la evolución, es muy difícil sacarse esa idea de encima. La misma palabra evolución, que Darwin había evitado y que popularizó Spencer³⁷ se tomó como equivalente a progreso, aunque su significado era “desenrollar”.

En la mayoría de los libros de texto y en las propuestas didácticas para la enseñanza de la evolución, para explicar el origen de la biodiversidad y la teoría del ancestro común, se utiliza como modelo el icono del árbol evolutivo, en sus más diversas representaciones. Pero la representación que más prevalece es la del árbol con las ramas hacia arriba con una direccionalidad manifiesta. Y se sigue hablando de “eslabones perdidos” dando la idea de la evolución como una cadena unidireccional no bifurcada. Por otro lado, la imagen de la evolución humana, representada linealmente y en forma progresiva de izquierda a derecha, inunda textos y publicaciones de divulgación que se utilizan en la escuela. En la enseñanza de la evolución, las imágenes están usualmente asociadas a representaciones metafóricas. La metáfora se utiliza frecuentemente en la enseñanza de la ciencia y también fue utilizada en el discurso científico para transmitir conocimientos nuevos o de un alto nivel de abstracción. Las metáforas contribuyen a concretizar y simplificar fenómenos abstractos y complejos relacionándolos con otros ya conocidos. El icono del árbol como representación de la evolución de las especies es una imagen metafórica muy fuerte para comprender la historia de la diversidad biológica.

El otro ícono que está instalado en el imaginario colectivo se basa en la metáfora de la escalera y tiene mucha fuerza aún. La errónea equiparación de evolución y progreso denota una tendencia sociocultural más que una conclusión biológica. Esta falsa noción de la evolución, como decía Gould, se relaciona con uno de los íconos canónicos más comunes para representar cualquier concepto científico: la marcha o la escala del progreso evolutivo. La versión clásica de este ícono, ampliamente usado por la cultura popular en la publicidad y en el humor gráfico, pero también presente en libros de texto y en exposiciones museísticas, muestra una secuencia lineal escalonada de formas que avanzan de izquierda a derecha.

³⁷ Hebert Spencer (1820-1903) fue un naturalista, filósofo, psicólogo y sociólogo británico. Instauró el Darwinismo social en Gran Bretaña y fue uno de los más ilustres positivistas de su país

Los medios de comunicación masivos, mediante publicidades, series, películas e historietas, nos siguen invadiendo con la representación lineal y progresiva del cambio evolutivo. Esto refuerza el modelo sostenido por el sentido común y la percepción intuitiva.

Existen concepciones de la evolución lineal muy arraigadas en el imaginario colectivo, como la del origen del hombre a partir de los primates que se van levantando progresivamente hasta lograr el bipedismo y la forma humana actual. ¿Quién no ha visto una camiseta con esa imagen?

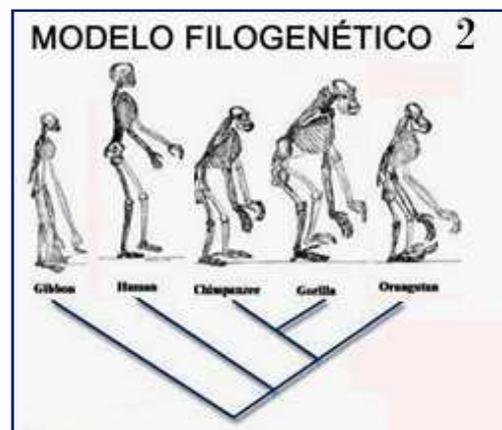
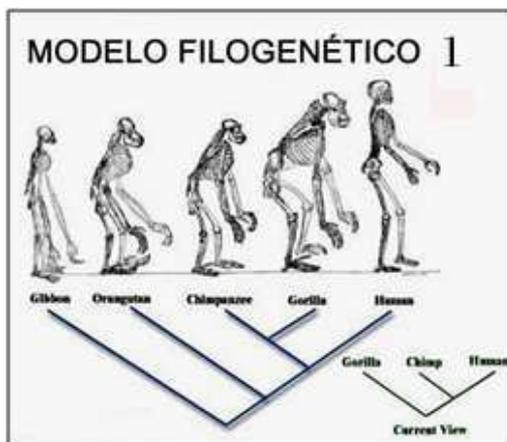
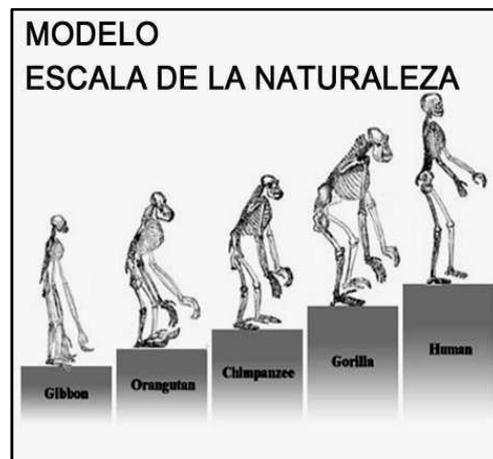


Figura 48: Tres modelos para representar las mismas relaciones evolutivas

Aunque el modelo escala es lineal, en el de la filogenética los nodos son articulados, por lo que la representación no necesariamente culmina con los humanos. El modelo filogenético 1 y 2 son equivalentes, significan lo mismo. (Imágenes extraídas de la web.)

3. d-Escuelas de clasificación y representaciones de dendrogramas

El fenetismo o feneticismo es otra forma de clasificación. Proviene de una escuela de clasificación no evolutiva denominada fenetista o feneticista. Surgió allá por el final de la década del cincuenta de la mano de dos científicos peleados con la filogenética, Sokal y Sneath³⁸. Según aseguraban estos autores, esta forma de clasificar no estaba basada en ninguna teoría, sólo se fundamentaba en el parecido global de los organismos, sin inferencias a priori.

Se basa en el sistema denominado taxonomía numérica o cuantitativa, agrupando a los organismos por similitud según la cantidad de caracteres que comparten.

En lugar de filogenética a su técnica o metodología se la denomina fenética y, a los árboles que producen, en lugar de dendrogramas, se los denomina fenogramas.

Esa técnica busca la clasificación de los organismos basándose en su similitud, desde su fenotipo, generalmente en su morfología, o en cualidades observables, sin tomar en cuenta su filogenia o relaciones evolutivas. Es una clasificación solamente descriptiva, que no niega la filogenia, pero intenta ser objetiva sin dar más importancia a un carácter que a otro.

En resumen, los organismos son agrupados sobre la base de su similitud global. Se clasifican en el mismo grupo los organismos que tengan la mayor cantidad de caracteres en común; o sea, los que son más parecidos. Se debe tener en cuenta la mayor cantidad de caracteres posibles, por eso se ayudan con programas informáticos, Como resultado se obtiene un dendograma no enraizado que, como ya se expresó, es denominado fenograma. En esa representación se establecen las relaciones de parentesco fenético de los organismos estudiados.

Las relaciones quedan expresadas por distancias: 0 representa las especies que no tienen ningún carácter en común y 1.000 aquellas con todos sus caracteres iguales. El nivel en la jerarquía linneana puede basarse en las distancias; se puede convenir que, por ejemplo, 900 represente el nivel de subgénero; 800, el de género; 600, el de tribu (categoría opcional entre género y familia) y así sucesivamente. Las unidades pueden ser especies, géneros o cualquier otra categoría taxonómica.

³⁸Sokal, R. R. & Sneath, P. H. A., 1963. *Principles of Numerical Taxonomy*. Freeman, San Francisco.

Como se basa en similitudes no tiene en cuenta las diferencias entre homologías y homoplasias.

Un ejemplo de fenograma:

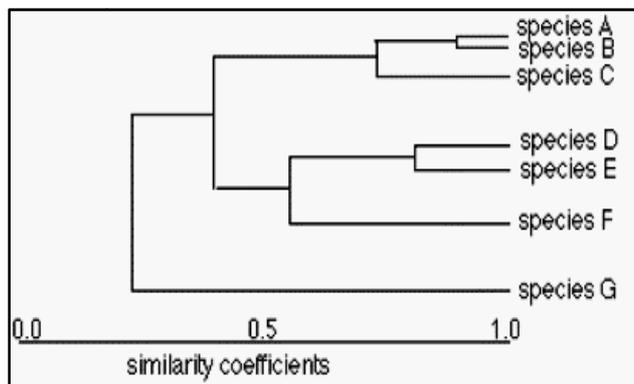


Figura 49: Fenograma

Actualmente casi ni se utiliza esta metodología. Los cladistas, filogenetistas evolutivos coparon la Web con potentes herramientas informáticas gratuitas y documentadas que facilitan la construcción e interpretación de dendrogramas filogenéticos y árboles y arbolitos para todos los gustos. Solamente para los microbiólogos todavía puede ser útil, pues lo pueden usar agrupando virus, organismos al límite del concepto de seres vivos que brindan demasiada información como para armar con ellos árboles filogenéticos.

3. g-- Sistemática – Filogenética

El camino evolutivo de las especies (como ya se ha dicho) no es lineal. No es una sucesión encadenada de especies en una única línea. Por eso es que una cadena o escalera no es la mejor representación para este tipo de evolución. La figura que representa la evolución darwiniana de las especies (como ya se mencionó) es un árbol. Esa evolución es la historia filogenética de las especies. Una filogenia es una sucesión de formas orgánicas emparentadas secuencialmente por relaciones reproductivas. Y los cambios experimentados a lo largo de la filogenia constituyen el cambio filogenético o cambio evolutivo (Mayr, 1995).

El árbol genealógico brindó la metáfora para representar la “genealogía” de los seres vivos. El biólogo Ernst Mayr³⁹ dijo que la representación del árbol filogenético se basa

³⁹ Ernst Mayr (1904-2005), biólogo evolutivo que participó en la conformación de la Teoría Sintética de la Evolución, fue quien desarrolló el concepto biológico de especie, también contribuyó con la filosofía e historia de la ciencia y fue un gran taxónomo.

en la teoría del antecesor común. La ascendencia común y ramificación, evolutivamente hablando, son lo mismo. La ascendencia común refleja una perspectiva hacia atrás y la ramificación hacia adelante.

A partir de Haeckel y por casi un siglo, hubo numerosos intentos, fallidos o incompletos, para formular un método de reconstrucción de la filogenia y su representación gráfica como un árbol genealógico. Recién en 1950 el entomólogo alemán Willi Hennig⁴⁰, presentó el método al que denominó sistemática filogenética, ahora denominado cladismo⁴¹, que actualmente se ha convertido en el enfoque más aceptado para reconstruir la historia de la vida.

Willi Hennig, publicó *Grundzüge einer Theorie der phylogenetischen Systematik* en 1950 aunque una versión preliminar fue publicada en 1936 (Morrone, 2013). En Argentina fue traducido en 1968 por iniciativa del biólogo Osvaldo Reig.

Allí sentó las bases de un método que derivó en el cladismo.

Mayr fue uno de los primeros en hablar de sistemática evolutiva. Pero: ¿Es lo mismo hablar de sistemática que de taxonomía?

Mayr citó en su libro “Así es la Biología” (1995), a su amigo y cofundador de la Teoría sintética, el paleontólogo George G. Simpson, quien había propuesto restringir el término “taxonomía” a los aspectos tradicionales de la clasificación y aplicar el de “sistemática” al estudio científico de los tipos de organismos, de su diversidad y de todas las relaciones existentes entre ellos.

¿Y cómo se entiende en la actualidad la diferencia entre sistemática y taxonomía?

La taxonomía ha sido definida como el conjunto de leyes que permiten organizar y clasificar la información biológica utilizando diferentes métodos como el feneticismo, el cladismo, la taxonomía evolutiva, criterios de tipo bioquímico, ecológico, paleontológico, etc. Es una disciplina eminentemente empírica y descriptiva, acumula fenómenos, hechos, objetos y, a partir de dicha acumulación, genera las hipótesis explicativas iniciales.

La sistemática es la ciencia de la diversidad; es decir, la organización del conjunto total del conocimiento sobre los organismos. Incluye la información filogenética,

⁴⁰Willi Hennig, (1913- 1976), biólogo y entomólogo alemán. Fue militar durante el nazismo, no se ha comprobado si pertenecía a este partido. Fue capturado por los soldados británicos al finalizar la guerra. Durante su reclusión como prisionero de guerra comenzó a diseñar su sistemática que publicara luego en 1950.

⁴¹Aunque actualmente no es exactamente lo mismo. Para ampliar sobre el significado de este término ver: Ciencia Hoy, "Cladismo y diversidad biológica", 21: 26-34, 1992.

taxonómica, ecológica y paleontológica. Es una disciplina de síntesis, de abstracción de conceptos, enuncia teorías explicativas de los fenómenos observados. Por lo tanto, tiene una función predictiva, un trasfondo teórico que supera al de la taxonomía.

Otros autores proponen que la taxonomía engloba a la descripción y la clasificación, además de la teoría e historia de la clasificación. No necesariamente tiene en cuenta a la evolución. Por ejemplo, la taxonomía clásica, estructurada básicamente con las jerarquías linneanas, no es evolutiva. La sistemática tiene que tener en cuenta todas las relaciones de los seres vivos, por lo tanto incluye a la evolución.

También se considera a la taxonomía como una subdisciplina de la biología sistemática, que estudia las normas y reglas que rigen la adscripción de los taxones a determinada categoría.

La tarea de la sistemática filogenética es construir un sistema que contenga únicamente grupos monofiléticos (con ancestros comunes y todos sus descendientes). Una vez que se ha reconocido a un grupo monofilético, automáticamente queda definido su grupo hermano. En cambio, la sistemática evolutiva de Mayr, podía incluir a grupos parafiléticos (que excluya a algunos descendientes) porque trataba de armar una genealogía teniendo como marco de referencia a los taxones linneanos, creando parentescos genealógicos a partir de ellos. Por ejemplo, mientras que para la sistemática filogenética las aves, por ser dinosaurios, están contenidas entre los reptiles, para la sistemática evolutiva, reptiles y aves son dos clases distintas.

Todas las clasificaciones son hipótesis filogenéticas. La taxonomía ordena a los organismos en un sistema de clasificación compuesto por taxones relacionados. El sistema jerárquico puede representar al mundo viviente en su totalidad.

Casi cien años después de que Darwin publicara *El Origen de las Especies*, Hennig propuso su método de clasificación destinado a reconstruir la historia de la vida. (Morrone, 1992).

Ese método se basa en el hecho de que, debido a la evolución, cada estructura biológica se define, en un sentido histórico, según el lugar que ocupa en el árbol genealógico de los seres vivos. Las estructuras y las funciones biológicas particulares que se heredan de las especies ancestrales permiten caracterizar tanto a esas especies ancestrales como a las que de ellas descienden. Tales características únicas son detectadas durante el análisis filogenético. Son parte de su resultado, gracias al cual es posible revelar las relaciones genealógicas o filogenéticas existentes entre las especies. De allí la importancia de elegir los caracteres correspondientes. (Hennig, 1968).

Podemos definir un carácter como un rasgo o atributo observable en un ser vivo. Los caracteres que se utilizan habitualmente son los morfológicos (de los que se ocupan todos los zoólogos, pero en particular los paleontólogos, por ejemplo), pero también los nucleótidos del ADN y los aminoácidos de las secuencias proteicas, sin descartar que puedan ser usados otros diferentes, tales como la distribución geográfica, especialmente en análisis biogeográficos, o de comportamiento y ecológicos si pueden ser identificables.

Para poder identificar a los caracteres que permitan hacer una inferencia filogenética es necesario conocer los conceptos de homología⁴² y analogía. Caracteres homólogos son aquellas estructuras o rasgos que tienen el mismo origen. Las analogías son los caracteres parecidos, pero sin origen común, por lo que no sirven para clasificar filogenéticamente. Se pudieron originar por convergencia adaptativa, pero a partir de estructuras diferentes, evolutiva y embrionariamente hablando. (Por ejemplo, las alas de los insectos y las de las aves).

Casi cualquier tipo de carácter, morfológico, ultraestructural, bioquímico, génico, aminoacídico, cariotípico, puede ser usado para inferir filogenias si se da la condición de homología. Las similitudes y diferencias en los estados del carácter elegido brindan evidencias de las relaciones de parentesco entre los taxones comparados.

3. h- Cladismo

Un “clado” es un linaje; es decir, todos los organismos de una línea evolutiva más el ancestro común que comparten. “Clado”, en griego significa rama y de allí viene la palabra cladismo. Es una metodología que busca reconocer las relaciones de parentesco, expresadas en árboles filogenéticos, y sirve también como herramienta para armar una clasificación natural. (Morrone, 2000).

El cladismo permite clasificar a los seres vivos por sus relaciones de parentesco e intenta reconstruir así la historia de la vida sobre la Tierra. Este sistema ha generado una verdadera revolución en la clasificación biológica. Es el más utilizado en la actualidad.

El cladismo descansa sobre el axioma fundamental de que en la naturaleza, como resultado de la evolución, existe un orden que se manifiesta en las similitudes de los

⁴²Hay homología entre órganos determinados de dos especies diferentes, cuando ambos derivan de la estructura correspondiente de su antepasado común, con independencia de cuan dispares puedan haber llegado a ser. Por ejemplo las aletas de los peces, con las alas de las aves, y los brazos nuestros son homólogos.

caracteres⁴³. No siempre la semejanza se debe a homología; como vimos anteriormente, puede deberse a analogía u homoplasia, (que quiere decir construcción semejante). Los organismos pueden parecerse porque sus ancestros desarrollaron independientemente caracteres semejantes, ausentes en su ancestro común (caracteres análogos).

Analogía podría darse si la condición de semejanza es presentada por estirpes no inmediatamente emparentadas, pero con un modo de vida parecido. Es decir, son caracteres análogos aquéllos que tienen la misma función pero origen distinto. Los mismos pudieron haber compartido algunos procesos que los modelaron, haberse originado por convergencia, paralelismo o reversión al estado ancestral (cuando pierde alguna estructura, por ejemplo).

Otros caracteres surgieron en la especie que dio origen al grupo del que forman parte. Estos últimos son los que hay que detectar (caracteres homólogos).

El método cladista se basa en técnicas que identifican grupos monofiléticos en función de caracteres derivados compartidos. Sólo le interesan los caracteres homólogos que son los que resultan del parentesco. Luego de que una especie se divide en dos linajes definidos, los mismos comienzan a evolucionar independientemente formando dos especies diferentes. Algunos de los caracteres homólogos que ambas especies poseen van a ir sufriendo cambios a través del tiempo, por mutaciones, selección natural y deriva génica⁴⁴. Estos caracteres modificados son llamados sinapomorfias. Estas sinapomorfias forman la serie de caracteres derivados o novedosos compartidos. Con ellos se identifican los puntos de ramificación del árbol. Como las sinapomorfias están anidadas, yendo hacia atrás en el árbol, de las ramas a la raíz, cada suceso de ramificación se reconocen una o más de ellas.

Para el cladista, lo más importante es encontrar esas sinapomorfias que identifican cada linaje. Lo básico del cladismo es identificar los caracteres derivados y evaluar sinapomorfias. Para eso estudian las homología, sus cambios a lo largo del tiempo en los distintos linajes, su dirección o polaridad.

⁴³Los caracteres son rasgos que presentan las entidades biológicas, desde las moléculas hasta los ecosistemas, los cuales son recogidos por las ciencias descriptivas de todos los niveles de integración (genética, bioquímica, anatomía, morfología...).

⁴⁴Son cambios en el conjunto de genes que posee una población debido a sucesos aleatorios. O lo mismo, son alteraciones en el fondo génico de una población, debidas a sucesos ocurridos por intervención del azar (catástrofes, contingencias climáticas, etc.)

Estos parámetros se deben poder medir en todas las especies bajo estudio. Una forma de diferenciar caracteres ancestrales y derivados es la de analizar grupos externos, grupos próximos que se hayan ramificado anteriormente. Se parte de la hipótesis de que este grupo posee el estado ancestral del carácter. Casi siempre se investigan varios grupos externos y se comparan con los taxones a estudiar.

El cladismo tiende a crear un gran número de categorías taxonómicas (habitualmente una por cada nodo de un cladograma) llevando a un exceso de categorías jerárquicas. Por eso sus clasificaciones son poco operativas. Pero el mayor problema reside en su inestabilidad.

Los árboles que se construyen con sus hipótesis se denominan cladogramas. Cada cladograma representa una hipótesis evolutiva global; ello lo convierte en algo extremadamente cambiante ya que nuevos estudios suelen llevar a una nueva clasificación taxonómica, con cambios jerárquicos sustanciales (por ejemplo, por algo tan común como la entrada de una nueva especie). Así, el árbol se cae y hay que reemplazarlo por una nueva configuración. Mejor dicho, el árbol viejo cae luego de que surgió el nuevo.

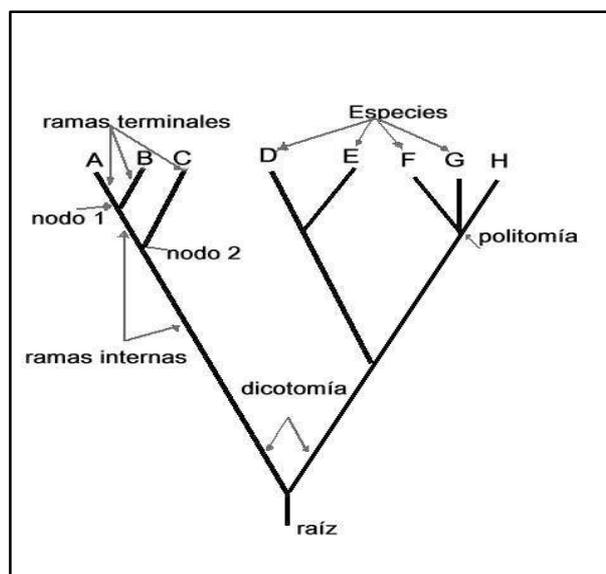


Figura 50: Estructura básica de un árbol filogenético.

Las ramas representan la evolución de un linaje. Se separan de otros linajes en los nodos. El árbol se forma por bifurcaciones internas o terminales (dicotomías) o, en el caso de que no puedan identificarse las relaciones, se representan las politonías (más de dos bifurcaciones desde un nodo) (Figura 59). En las puntas quedan los taxones terminales, especies, o unidades taxonómicas operativas, que bien pueden ser otras

categorías, géneros, clases, variedades... Algunos árboles pueden estar representados sin raíz, entonces toman formas semejantes a estrellas.

Más que para realizar clasificaciones, el cladismo se utiliza para estudiar la filogenia de distintos grupos, comparar taxones para encontrar parentescos evolutivos, ubicar taxones nuevos relacionándolos con linajes conocidos, etc. Dado que se manejan miles de combinaciones posibles para lograr los árboles más cortos, su metodología se adaptó a programas computacionales.

3. i- Construcción e interpretación de cladogramas

Tanto para los cladistas como para otros sistemas evolutivos, primero se tienen que elegir los caracteres, que deben ser independientes, heredables y homólogos. Y lo más importante observables y medibles

Partiendo de un contexto matemático, los caracteres pueden ser de variación discontinua (caracteres discretos, cualitativos, absolutos como presencia/ausencia de una estructura) o de variación continua (son los caracteres cuantitativos que comúnmente se refieren a dimensiones y cuya distribución en la población o en el taxón a estudiar se suele ajustar a una curva de Gauss). Se pueden convertir los continuos en discretos mediante el establecimiento de clases (por ejemplo, estableciendo categorías de 0 a 9, de 10 a 19, de 20 a 29, etc.).

La mala elección de caracteres va a dar árboles erróneos. Veamos el siguiente ejemplo:

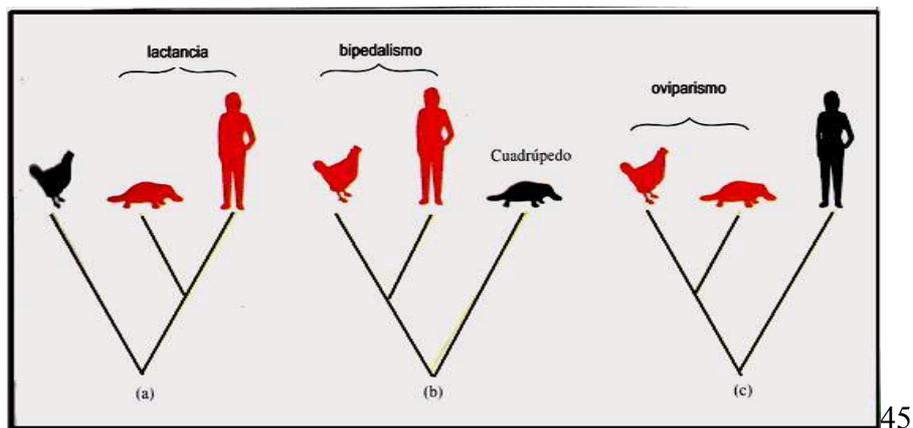


Figura 51. La selección de caracteres determina el árbol. Boyd y otros, 2001.

La elección, como carácter, de la locomoción bípeda, por ejemplo va dar una relación más estrecha entre la gallina y el ser humano (la elección del oviparismo, acerca a la gallina al ornitorrinco). La lactancia, en cambio, genera relaciones parecidas como

⁴⁵Esquema modificado de Boyd R., Silk J. Cómo Evolucionaron los Humanos. Editorial Ariel. 2001.

cuando se utiliza la secuencia de aminoácidos de la proteína mioglobina. El poner huevos (oviparismo) sería un ejemplo de un carácter ancestral, estaba mucho antes en otros linajes de la historia evolutiva, mucho antes que las gallinas, que los ornitorrincos, en los primeros reptiles. No es un carácter derivado, que se haya desarrollado recientemente en el último ancestro común. Por eso no sirve para inferir parentescos filogenéticos. Los caracteres derivados sí sirven. La lactancia, por ejemplo, está presente en el ancestro común más cercano entre el ornitorrinco y el hombre, no apareció antes que en los mamíferos, por eso genera una relación más coherente.

Los caracteres se organizan en una matriz. La delimitación de los caracteres se realiza en dos niveles, primero su identidad topográfica y luego la identidad de sus estados. En el primer nivel se establece un conjunto de características comparables entre los taxones operativos, en el segundo se hace el uso de los criterios clásicos para la delimitación de homologías potenciales. Las diferentes manifestaciones de los caracteres se identifican como iguales o diferentes. Operacionalmente estos pasos corresponden a definir las columnas de la matriz de caracteres (el primero) y asignar un valor a cada celda de dicha matriz (el segundo). Igualmente los estados de los caracteres, como no son categorías absolutas, pueden convertirse en uno u otro según las escalas jerárquicas o clasificatorias que se utilicen. En un estudio morfológico, la delimitación de un carácter es relativamente fácil mientras que es mucho más complicado el establecimiento de los estados. La utilización de caracteres continuos es problemático, por lo tanto los datos se deben discretizar; es decir, convertir los datos continuos en discretos. Los caracteres provenientes a las secuencias nucleotídicas, en cambio, poseen sólo 5 estados, 4 correspondientes a las bases (adenina, guanina, citocina y timina) y una proveniente de las deleciones (bases faltantes); entonces es muy fácil definir los estados. No así la delimitación. Para establecer identidades topográficas se realiza una alineación de secuencias⁴⁶, tratando de identificar espacios donde se han producidos mutaciones y de conservar la homología posicional. En un principio este proceso se hacía en forma manual, tratando de identificar esos espacios visualmente; ahora hay programas informáticos que se ocupan de eso.

⁴⁶Un alineamiento de secuencias es una forma de representar y comparar dos o más secuencias o cadenas de ADN,ARN, o secuencias proteicas para resaltar sus zonas de similitud, que podrían indicar relaciones funcionales o evolutivas entre los genes o proteínas consultados. Las secuencias alineadas se escriben con las letras (representando aminoácidos o nucleótidos) en filas de una matriz en las que, si es necesario, se insertan espacios para que las zonas con idéntica o similar estructura se alineen.

Y para armar el árbol también se recurre a herramientas informáticas. Existen actualmente dos tipos de métodos de construcción de árboles filogenéticos, cada uno con sus ventajas y limitaciones: métodos basados en distancias y métodos basados en caracteres.

Para construir un árbol sí hay recetas, son los algoritmos que se van a utilizar en los distintos métodos para operar con los caracteres. Porque un algoritmo es algo así como una receta, (un conjunto de instrucciones o de especificaciones sobre un proceso para hacer algo; una secuencia de acciones, o instrucciones para arribar a un resultado o solución de un problema). La palabra algoritmo deriva del nombre de un matemático árabe del siglo IX, Al-Khuwarismi, quien describió varios métodos para resolver problemas.

Para construir un árbol filogenético se siguen algoritmos que están plasmados en las instrucciones informáticas del programa que se elige para trabajar.

La mayoría de los métodos algorítmicos combinan en un mismo axioma la inferencia para construir el árbol y la definición del mejor árbol posible. Uno de los algoritmos más utilizados es el método de distancias. En él se convierten todos los caracteres en una matriz de distancia⁴⁷ que representa la divergencia relativa entre pares de especies o taxones básicos operativos. Este algoritmo agrupa los taxones por la menor distancia apareada usando la aproximación de los mínimos cuadrados. No vamos aquí a desarrollar matemáticamente estos métodos, sólo a explicarlos de la manera más simple posible (suponiendo que también quede algo entendible).

Las distancias evolutivas ya calculadas pueden ser usadas para construir una matriz de distancias entre todos los pares de taxones. Y así, basándose en los puntajes obtenidos de los cálculos de distancias entre pares de la matriz, es posible construir un árbol filogenético para todos los taxones involucrados.

Los algoritmos basados en distancias para construir árboles filogenéticos pueden ser subdivididos en métodos basados en agrupamiento o métodos basados en optimalidad (métodos de optimización).

Los algoritmos basados en agrupamiento calculan el árbol usando una matriz de distancias, iniciando por los pares de secuencias o caracteres morfológicos más similares. Algunos métodos más utilizados son: el método de pares no ponderados

⁴⁷En matemática, una matriz de distancias es una matriz cuyos elementos representan las distancias entre los puntos, tomados por pares, de un conjunto.

utilizando la media aritmética (UPGMA su sigla en inglés de unweighted pair group method using arithmetic average) y el de unión de vecinos (neighbor-joining).

Hay también variantes, como el método de distancia de dos parámetros de Kimura, que utiliza matrices de sustitución para estimar el número de sustituciones nucleotídicas en secuencias de ácidos nucleicos, por ejemplo.

Los métodos de neighbor-joining ("unión al vecino") emplean técnicas generales de agrupamiento de datos para el análisis de secuencias y se valen de la distancia genética como un medidor de agrupamiento.

Los algoritmos basados en optimalidad comparan muchas topologías (aspecto o formas de la ramificación) alternativas de árboles y seleccionan el que tenga el mejor ajuste entre las distancias estimadas en el árbol y las distancias evolutivas concretas.

Existen varios métodos de optimización. Estos métodos se inician con la definición de un criterio de optimización, con función objetiva, que evalúa un árbol dado. En un segundo paso, se usa un algoritmo que computa el valor de la función objetiva y busca el árbol que posea el mejor valor de acuerdo con el criterio seleccionado. Estos métodos permiten comparar filogenias alternativas y luego elegir la mejor. El algoritmo sólo es una herramienta para la evaluación de la función objetiva que permite encontrar los árboles que la optimizan. Las presunciones evolutivas que se establecen en el primer paso no están conectadas al algoritmo del segundo paso. Se debe encontrar un buen criterio para la función objetiva. Éste no lo da la computadora. Lo debe identificar el investigador.

Para encontrar los árboles óptimos, el criterio de selección puede hacerse mediante búsquedas exhaustivas (que evalúan todos los árboles posibles) o búsquedas heurísticas, que utilizan un proceso de reordenamiento. También se utiliza el "mejorado" de un árbol, por ejemplo, reubicando o adicionando ramas o también usando un método de descomposición de la diversificación del árbol estrellado (convertir la topología del árbol a la forma de estrella, sin raíz y luego ir reestructurándolo hasta encontrar el árbol óptimo). Los métodos heurísticos ahorran tiempo de cómputo pero arriesgan la garantía de optimización.

Con el criterio de máxima similitud se examina qué tan bien un árbol explica los datos observados y este examen se hace calculando la probabilidad de los datos dado un modelo de evolución. La topología que se encuentre tiene que tener la máxima probabilidad. La comparación de los árboles se inicia con un árbol de distancias o parsimonia (el mejor árbol obtenido), a partir del cual se generan otros, para encontrar

una predicción de los datos que se asemejen a los observados. El árbol que implica la más alta probabilidad de haber generado los datos observados es el que se considera de máxima verosimilitud. Este procedimiento funciona al revés de como lo hace la estadística tradicional, en donde se calcula la probabilidad de los datos dado un modelo previamente establecido.

Otro método que puede usarse es la inferencia bayesiana. Sirve para producir árboles filogenéticos de un modo muy cercano al de los métodos de máxima verosimilitud. Los métodos bayesianos parten de una distribución de probabilidades previa de los posibles árboles, que puede ser simplemente la probabilidad de un árbol entre todos aquellos que podrían generarse a partir de los datos dados, o puede ser una estimación más sofisticada, derivada del supuesto de la existencia de eventos estocásticos de divergencia como algún tipo de especiación.

Mientras que la verosimilitud mide la probabilidad de un árbol dado en los datos, el enfoque Bayesiano calcula las probabilidades posteriores de los árboles ya construidos. Este criterio implementa el teorema de Bayes, en el cual se incluyen las estimaciones de datos a priori, la probabilidad de los datos y un likelihood⁴⁸, para estimar una probabilidad posterior, de que la topología sea segura. Es decir, la obtención de la probabilidad posterior es lo mismo que se hace normalmente en la estadística convencional; en cambio, la estimación a priori utilizaría la probabilidad de toda información supuesta de antemano que dispongamos.

También existen métodos que nos permiten validar árboles. El más utilizado es el bootstrap⁴⁹. Este método se puede aplicar a todos los demás métodos que trabajen con secuencias de caracteres. Consiste en crear réplicas de los alineamientos a partir del original, eliminando cierto número de posiciones al azar en cada réplica. El número final de posiciones se mantiene constante añadiendo duplicaciones de los sitios que han permanecido. Los análisis se realizan a todas estas réplicas de los alineamientos y producirán tantos árboles como alineamientos derivados se hayan realizado. A continuación se calcula el árbol consenso indicando la frecuencia en que ese nodo está presente en el conjunto de todos los árboles. Se observó que valores de frecuencia mayores de 0,7 tienen un significado biológico alto. Por el contrario, valores menores

⁴⁸máxima probabilidad de que algo sea favorable

⁴⁹ El bootstrapping es una técnica para evaluar qué ramas de un árbol particular tienen más apoyo estadístico que otras.

de 0,5 nos indican que ese nodo no tiene consistencia en los replicados, y que probablemente no sea significativo.

Normalmente los árboles consenso obtenidos mediante bootstrap no muestran la distancia, únicamente la topología (la forma, el aspecto del árbol, que está dada por las conexiones entre sus nodos, la ubicación de las ramas, no por el orden en que son diagramados). Esto es debido a que la distancia calculada en cada réplica no es real, pues se fueron eliminando datos para obtenerla. Comúnmente los investigadores superponen al árbol sin bootstrap que contiene las distancias reales a los valores de los nodos obtenidos con el análisis bootstrap.

Quizá el método más simple para construir un árbol basado en agrupamiento sea el que utiliza el algoritmo UPGMA. Con ese algoritmo se construye un árbol por un método de agrupamiento secuencial. Dada una matriz de distancias, este método se inicia mediante la agrupación de los dos taxones con la menor distancia. Un nodo interior es colocado en el punto medio entre ellos y se crea una matriz reducida al considerar el nuevo grupo como un único taxón. Las distancias entre este nuevo taxón compuesto y el resto de los taxones se calculan para crear dicha matriz. El mismo proceso de agrupamiento se repite y otra nueva matriz reducida se crea. La iteración continúa hasta que todos los taxones se colocan en el árbol. El último taxón añadido se considera como el grupo externo, produciendo un árbol con raíz.

Este método, a diferencia de los otros, también basados en agrupamiento, tiene un algoritmo bien definido para comparar todas las posibles topologías de árboles a fin de seleccionar la que mejor se ajuste a la matriz de distancias evolutivas concreta. Una desventaja de este tipo de algoritmos es el tiempo de cómputo que demandan debido a la búsqueda exhaustiva que realizan.

Un principio muy fuerte en la evaluación de los árboles es el principio de parsimonia, al que, por su importancia, le dedicaremos un apartado completo.

3. j- Representaciones bioinformáticas

Herramientas informáticas que se utilizan para construir árboles utilizando los algoritmos mencionados:

Phylip⁵⁰: (PHYLogeny Inference Package) es un paquete de programas para inferir filogenias y construir árboles evolutivos. En el mismo están incluidos los métodos de:

⁵⁰Se puede bajar gratuitamente del sitio

máxima parsimonia, matrices de distancia, máxima verosimilitud, bootstrap⁵¹, árboles consenso y comparación de topologías de árboles, entre otros. Puede trabajar con secuencias moleculares, frecuencias de genes, sitios de restricción, matrices de distancia y caracteres discretos (0,1). Los programas en PHYLIP son usados de forma secuencial de tal manera que el resultado de un programa sirve como la entrada de otro. El orden de utilización y empalme de los programas depende del tipo de análisis que se desee realizar.

Mesquite⁵² es un software especializado para la biología evolutiva, diseñado para ayudar a los biólogos a analizar datos comparativos de los organismos. Su énfasis está en análisis filogenético, pero algunos de sus módulos se ocupan también de otros tópicos relacionados con la evolución, por ejemplo, de genética de poblaciones, datación estratigráfica relativa; también otros hacen análisis multivariado no filogenético. Todos los análisis se pueden complementar. Como es modular, los métodos y herramientas disponibles dependen de los módulos que se instalen. Hay versiones para Windows y para Mac. Posee un completo menú y una muy buena interfaz gráfica. Los análisis incluyen: reconstrucción de estados hereditarios (parsimonia, probabilidad); pruebas de proceso de evolución del carácter, incluso la correlación; análisis de especiación y proporciones de la extinción, simulación de la evolución de caracteres (categóricos, ADN, continuos); bootstrapping paramétrico; morfometría, construcción y comparación de árboles. Simulaciones y otros cálculos.

La ciencia que se ocupa del desarrollo y la aplicación de este tipo de herramientas para la investigación en genética y evolución es la bioinformática.

La bioinformática es la aplicación de tecnología de la informática a la gestión y análisis de datos biológicos. Los términos bioinformática, biología computacional y, en algunas oportunidades, biocomputación, fueron utilizados en muchas situaciones como sinónimos. Estos términos hacen referencia a campos de estudio interdisciplinarios muy vinculados, que requieren el uso o el desarrollo de diferentes técnicas que incluyen informática, matemática aplicada, (estadística, ciencias de la computación, inteligencia

<http://evolution.gs.washington.edu/phylip/software.html>

⁵¹ bootstrapping en informática, hace referencia al proceso donde un sistema simple activa otro sistema más complejo para servir al mismo propósito. Bootstrap sería realizar remuestreos.

⁵²Su programa principal y todos los módulos, más información, manual de uso y ejemplos están en <http://mesquiteproject.org/mesquite/mesquite.html>

artificial, y por supuesto las disciplinas vinculadas con la biología: bioquímica, genética, biología evolutiva, entre otras). Y, para el caso de la construcción de árboles evolutivos basados en morfología, la paleontología y para su calibración temporal, la geología.

Para terminar con las recetas va un ejemplo muy simplificado de la construcción de un árbol basado en caracteres morfológicos, partiendo de especies imaginarias

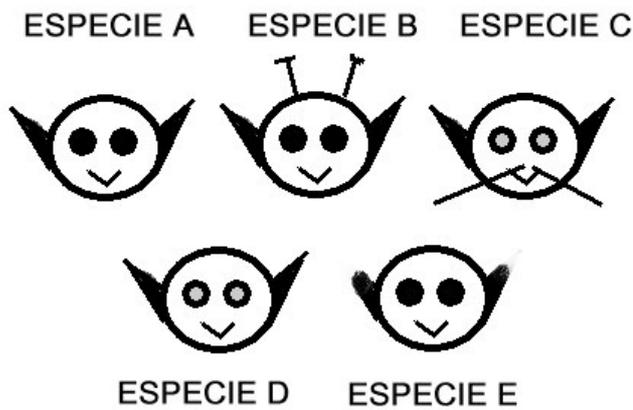


Figura 52. Ejemplo, especies imaginarias.

Se supone que se han detectado 3 caracteres derivados del ancestro común cercano: el color de ojos claros, la aparición de cuernos y la presencia de bigotes (Figura 52).

Entonces, surge la siguiente matriz de datos.

Taxon \ Character		1	2	3
		OJOS CLAROS	CUERNOS	BIGOTE
1	ESPECIE A	0	0	0
2	ESPECIE B	0	1	0
3	ESPECIE C	1	0	1
4	ESPECIE D	1	0	0
5	ESPECIE E	0	0	0

Figura 53: Matriz realizada con el software Mesquite.

El estado del carácter se representa con un 1 si está presente y con un 0, si no lo está. Por lo tanto son caracteres discontinuos, cualitativos.

Y uno de los posibles árboles filogenéticos que muestra las relaciones evolutivas de estos bichos hipotéticos sería el siguiente:

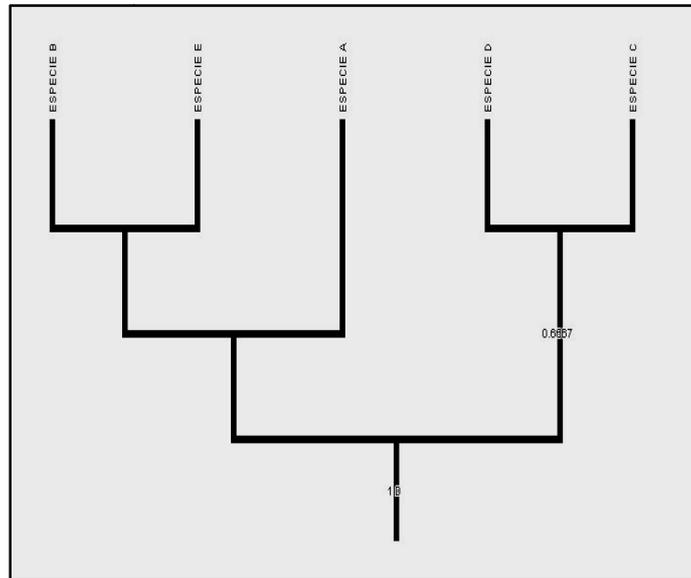


Figura 54: Árbol realizado en Mesquite

Los árboles pueden ser enraizados, o sea con raíz, o no enraizados. Un árbol con raíz es un árbol polarizado. Es decir, un árbol en donde conocemos la dirección de los cambios (cuáles linajes divergieron primero y cuáles posteriormente). En un árbol sin raíz solo se especifican las relaciones entre las unidades taxonómicas (como un árbol en forma de estrella). La mayoría de los métodos de reconstrucción filogenética generan árboles sin raíz. Para identificar la raíz (la posición del nodo más antiguo), normalmente es necesario utilizar un grupo externo. Es decir, una unidad taxonómica operativa (OTU en su sigla en inglés), o más, de la cual tengamos evidencia a partir de información externa tal como el registro fósil (o alguna otra fuente confiable) que claramente indique que dicha unidad ha ramificado antes que el resto de los demás taxones en estudio. También es posible colocar la raíz de un árbol en el punto equidistante a todas las unidades. Sin embargo hay que ser cuidadoso con este último método ya que su rigor depende de que la tasa de evolución molecular haya sido constante para toda la filogenia

y de que exista un muestreo filogenético adecuado (y amplio), entre otros factores.

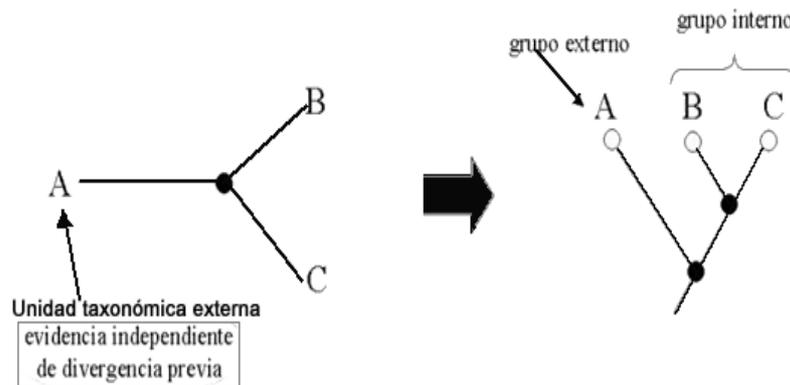


Figura 55: Tipos de árboles.

Como un árbol sin raíz (estrellado) se convierte en uno con raíz con el grupo externo representado en la rama más alejada del nodo que une al grupo interno (estudiado) (Figura 55).

¿Y cómo se puede decidir cuál es el mejor árbol? ¿Qué herramientas pueden ayudar a seleccionarlo?

Se utiliza el principio de parsimonia

La palabra parsimonia usada en ese contexto es algo así como lentitud, pesadez, o demasiada paciencia. No tiene mucho que ver ese significado con el del término parsimonia utilizado en filogenética. Aquí, el significado está relacionado con un principio heurístico; es decir, la explicación más simple entre varias alternativas⁵³.

En filogenia la parsimonia es un criterio para seleccionar la mejor hipótesis (del árbol de relaciones) entre varias igualmente precisadas por los datos. La evidencia tiene un papel limitado cuando los mismos datos apoyan varias hipótesis alternativas; es decir, permiten la construcción de varios árboles posibles, todos con las mismas condiciones. En esta situación se puede hacer uso de la parsimonia utilizando una de las propiedades lógicas más importantes: la simplicidad. Así, la parsimonia consiste en construir la topología (la forma del árbol) con el menor número de supuestos previos (o de pasos necesarios). La secuencia más corta. El proceso más sencillo es el elegido.

¿Y cuál árbol es mejor?

⁵³En filosofía se hace referencia a la navaja de Ockham como el principio de economía o principio de parsimonia (*lex parsimonia*), es cual un principio metodológico y filosófico atribuido a Guillermo de Ockham (1280-1349), según el cual cuando dos teorías en igualdad de condiciones tienen las mismas consecuencias, la teoría más simple tiene más probabilidades de ser correcta que la compleja.

Cuando se realiza la filogenia de algún linaje, el árbol o los árboles que se representan están basados en hipótesis evolutivas sobre los cambios que se produjeron en ese linaje, reflejadas en la selección de caracteres.

El mejor árbol, según el principio de parsimonia, es aquel que minimiza la cantidad total de cambios evolutivos que se han producido. “El árbol más parsimonioso” minimiza la cantidad de homoplasias.⁵⁴ Se supone que los procesos de convergencias, reversiones y paralelismos (que originan homoplasias) son más raros dentro de los cambios evolutivos que las modificaciones provenientes de un ancestro común cercano (caracteres homólogos derivados). Al minimizar el proceso, es más factible que permanezcan los cambios pertenecientes a homologías y tiendan a desaparecer las homoplasias (porque ya eran minoría).

El objetivo de la parsimonia, entonces, es encontrar el patrón de ramificación que minimice las homoplasias. Y, si es posible, realizar una búsqueda exhaustiva para evaluar todos los patrones posibles y así poder quedarse con el “mejor árbol”.

El principio de parsimonia es usado en la construcción de árboles pretendiendo minimizar la cantidad de ramificaciones basándose en el criterio de optimización. La decisión de qué criterio debe ser optimizado depende del modelo que se esté considerando.

Una vez que se ha elegido un método de parsimonia o una combinación de varios, el siguiente problema es encontrar el árbol más parsimonioso posible. Cuando el conjunto de datos es de tamaño pequeño o medio se pueden utilizar métodos de búsqueda completa, Para conjunto de datos de tamaño grande (más de 20 taxones) deben utilizarse otros métodos heurísticos ya que el tiempo de computación es excesivo y no permite hallar un resultado exacto.

El árbol más parsimonioso (que no es el árbol más lento o pesado) es el árbol más óptimo, cuyas ramificaciones representan mejor el proceso evolutivo de los taxones contenidos en él. Y ése es el mejor árbol y la mejor hipótesis filogenética para los linajes representados. La misma fue seleccionada de otras tantas hipótesis que, a la luz de las relaciones entre los datos, también podrían haber sido válidas, pero que al pasar por el colador del principio de parsimonia quedó “la mejor” porque sustenta el árbol más parsimonioso, el más simplificado. Y si es simple, tiene mayores posibilidades de ser correcto, como expresaba la regla de la navaja de Ockham.

⁵⁴Lo contrario de homologías, o sea son los caracteres parecidos análogos que no provienen de ancestros comunes cercanos.

3.k- Dificultades para representar la taxonomía con un enfoque evolutivo

¿Debe la taxonomía reflejar la filogenia? Algunos investigadores han respondido diciendo que la clasificación se ha de realizar sobre alguna base sólida, sea del tipo que sea. La relación elegida por los biólogos ha sido la de los parentescos de tipo evolutivo que llevan a parentescos de tipo morfológico. Es un criterio al que podemos llamar natural, ya que se puede observar directamente en la naturaleza. El problema, en el fondo, es determinar hasta qué punto la taxonomía debe ser compatible con la filogenia pues no necesariamente ha de ser un compendio exhaustivo de esta última.

Como ya decía Ameghino, toda clasificación debe ser natural; es decir, basada en los orígenes comunes de los organismos. Pero esto no es un asunto fácil. Los análisis filogenéticos dan como resultado mayores cantidades de categorías que las que existen en la clasificación taxonómica tradicional.

El cladismo no produce clasificaciones universales. Como se basa en hipótesis variables, las clasificaciones cladistas no son estables como las de la taxonomía tradicional, habiendo un continuo cambio de relaciones entre taxones.

Para construir un sistema de clasificación cladista se produce una continua búsqueda de nuevos caracteres que permitan acceder a nuevas fuentes de información filogenética. Los análisis morfológicos y moleculares son dos caras de la misma moneda y se utilizan de forma complementaria.

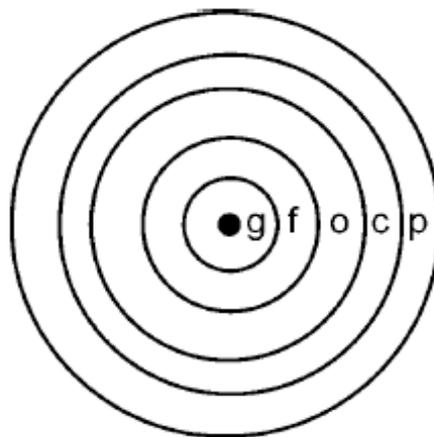


Figura 56: Clasificación tradicional, Laurin, 2005.

Asimismo, cladismo y taxonomía linneana no son compatibles (Laurin, 2005).

Para clasificar se sigue usando la taxonomía tradicional por su estabilidad y universalidad, pero cuando se quiere trasladar ésta a un sistema evolutivo se provocan confusiones.

La nomenclatura binominal (género y especie) asigna nombres a categorías absolutas (Figura 56). Los criterios para delimitar las categorías supraespecíficas fueron y son subjetivos, los nombres de los taxones no reflejan su jerarquía y mucho menos su evolución. En filogenia las categorías no son redundantes ni absolutas y tienen que provenir de un ancestro común.

En la taxonomía tradicional se incluye la categoría especie dentro de la de género, la de género dentro la de familia, la de familia dentro del orden, el orden en la clase, la clase en el phylum... (Figura 56)

Los sistemáticos evolucionistas intentaron armar conjuntos con las categorías linneanas teniendo en cuenta a la ancestría común y ajustar la clasificación con ese criterio. Trataron de incluir las categorías según sus relaciones evolutivas.⁵⁵

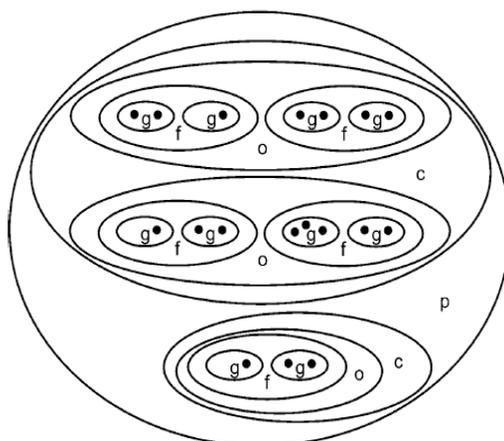


Figura 57: Clasificación cladista

Se complicando la clasificación cuando la jerarquía linneana quedó “*patas para arriba*”. Por ejemplo la clase Osteíctios, incluye a la superclase Tetrápodos, que a su vez agrupa a la clase Reptiles, que incluye a la subclase Diápsidos, que a su vez incluye al orden Saurisquios, que tiene dentro el suborden de los Terópodos, (Benton, 1995) y dentro de ellos está la familia que contiene nada menos que a una clase: ¡¡¡Aves!!!⁵⁶

⁵⁵ Esquemas extraídos de Laurin M. 2005. The advantages of Phylogenetic Nomenclature over Linnean Nomenclature. Pp. 67-97 in Minelli, A., Ortalli, G., and Sanga, G. (eds), Animal Names. Instituto Veneto di Scienze, Lettere ed Arti, Venice.

⁵⁶ Clasificación basada en la de Benton Michael J., 1995, paleontólogo contemporáneo especialista en vertebrados.

Se hace imposible complementar los dos enfoques (Figura 57). Pero se siguen utilizando para distintos fines, el cladismo representa mejor las relaciones evolutivas pero es inestable para ser utilizado como clasificación que brinde una nomenclatura permanente.

3.1. Otras representaciones acordes con teorías alternativas

Cuando se aceptó la hipótesis endosimbiótica para el origen de las células eucariotas y se encontró evidencia de la transmisión horizontal de genes en algunos microorganismos, algunos pensaron que al árbol filogenético le quedaba poca vida y que estaba pronto a derrumbarse.

La endosimbiosis es una teoría formulada por Lynn Margulis en 1967, quien describió el origen simbiogénico de las células eucariotas. Teoría que también se conoce por el acrónimo inglés SET (*Serial Endosymbiosis Theory*).

Lynn Margulis, falleció el 22 de noviembre del 2011 cuando tenía 73 años. Durante su vida escribió una serie de libros de divulgación científica junto a su hijo Dorion Sagan (hijo del famoso y mediático astrónomo Carl Sagan, quien fuera el primer marido de Lynn). En sus libros explica y fundamenta sus hipótesis, aportando evidencias de ejemplos del mundo microbiano. Desde un principio se sintió atraída por el mundo de los microorganismos, especialmente por las bacterias que, en aquel entonces, ella decía que eran consideradas solo por su carácter patógeno, como gérmenes que producían enfermedades y aún no habían captado el interés de la biología evolutiva.

Margulis se puso a indagar en publicaciones ignoradas y olvidadas para apoyar su primera idea intuitiva sobre la importancia del mundo microbiano en la evolución. Su idea se fue afianzando, se convirtió en una teoría y la comunidad científica comenzó a prestarle atención y a buscar evidencias para someterla a prueba.

La teoría sobre la aparición de las células eucariotas como consecuencia de la incorporación simbiótica de diversas células procariotas (endosimbiosis seriada) ahora está considerada como una explicación fundamental del origen de la diversidad microbiana.

Suponía a la simbiogénesis como la principal fuente de la novedad biológica. En el origen de la diversidad, en los albores de los tiempos geológicos los grandes saltos evolutivos se dieron gracias al proceso de endosimbiosis.

Lynn Margulis explicó en su libro *Planeta simbiótico*, de 1998, que en realidad el *Árbol de la Vida* a veces crece hacia adentro a partir de sí mismo. Las especies se juntan, se fusionan y constituyen nuevos seres que vuelven a empezar. Los biólogos, decía, le llaman a esto reunión de ramas, ya sean vasos sanguíneos, raíces o hifas de un hongo, son anastomosis. Para ella el *Árbol de la Vida* era una entidad enmarañada, con raíces y ramas que se encuentran bajo tierra y en el aire para formar excéntricos, expresaba, frutos nuevos e híbridos. La anastomosis, aunque es menos frecuente, es tan importante como la ramificación. Cuestionaba así la representación del árbol evolutivo tradicional. Proponía la metáfora de la mano para representar las relaciones de los seres vivos, representados allí por los 5 reinos, en cada uno de los dedos. Las bacterias y los protoctistas están ocupando el mayor espacio en la mano porque poseen la mayor diversidad y son los que van a dar origen a los demás reinos (Figura 58).

La teoría endosimbiótica describe el paso de las células procariotas (células bacterianas, no nucleadas) a las células eucariotas (células nucleadas constituyentes de los procariontes y componentes de todos los pluricelulares) mediante incorporaciones simbiogenéticas. Margulis describió este paso en una serie de tres incorporaciones mediante las cuales, por la unión simbiogenética de bacterias, se originaron las células que conforman a los individuos de los otros cuatro reinos (protistas, animales, hongos y plantas).



Figura 58: Representación de las relaciones entre los Reinos mediante una mano:

En la actualidad, esta teoría es mayoritariamente aceptada y se considera probada en sus tres cuartas partes (o sea la incorporación de tres de los cuatro endosimbiontes descritos por Margulis) (Figuras 59 y 60).

La mayor diversidad de la vida está en el mundo microbiano, y Lynn Margulis nos abrió una puerta para interpretar una propuesta alternativa que nos explica cómo evolucionó y evoluciona ese microcosmos; a veces con procesos muy diferentes a los explicados por

los neodarwinistas que principalmente se basaron en observaciones de especies de animales y plantas.

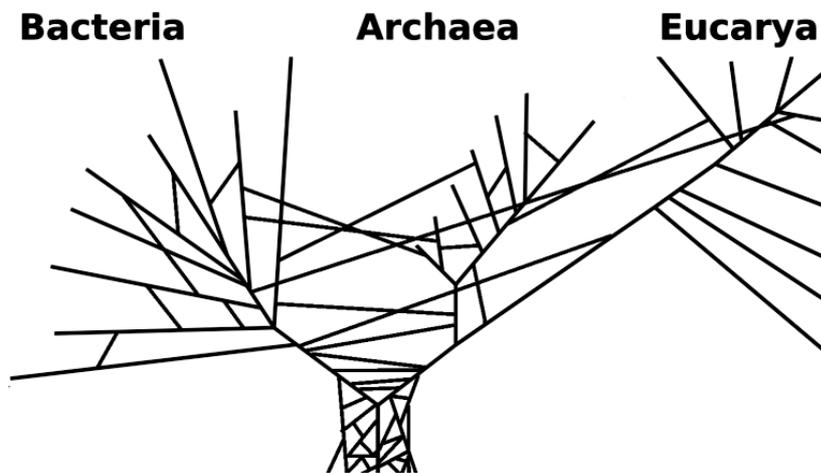


Figura 59: Dominios representados con árboles y redes

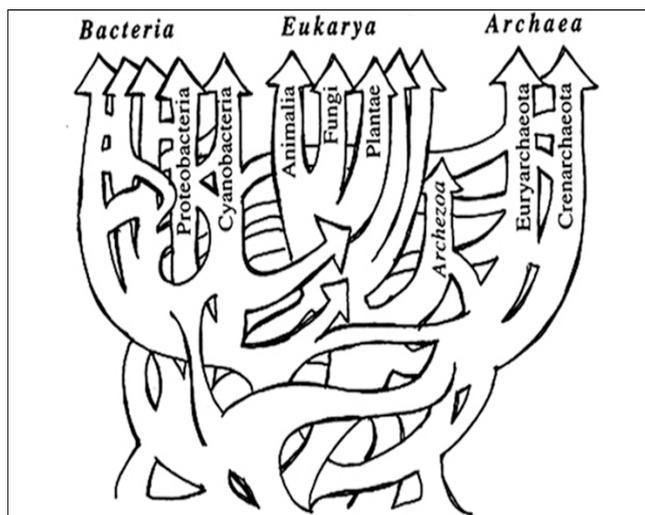


Figura 60: Árbol-red filogenético mostrando las transferencias genéticas horizontales

Aunque la teoría sintética y su ortodoxia con respecto a los procesos de especiación fueron sacudidas, el muro evolucionista neodarwiniano tiene fuerte cimientos y el hecho de que socavaran algunos no lo iba a tirar abajo.

Ni la fundamentación neodarwiniana ni su árbol se cayeron; eso sí, tuvieron que reconstruir sus raíces y reestructurar sus cimientos.

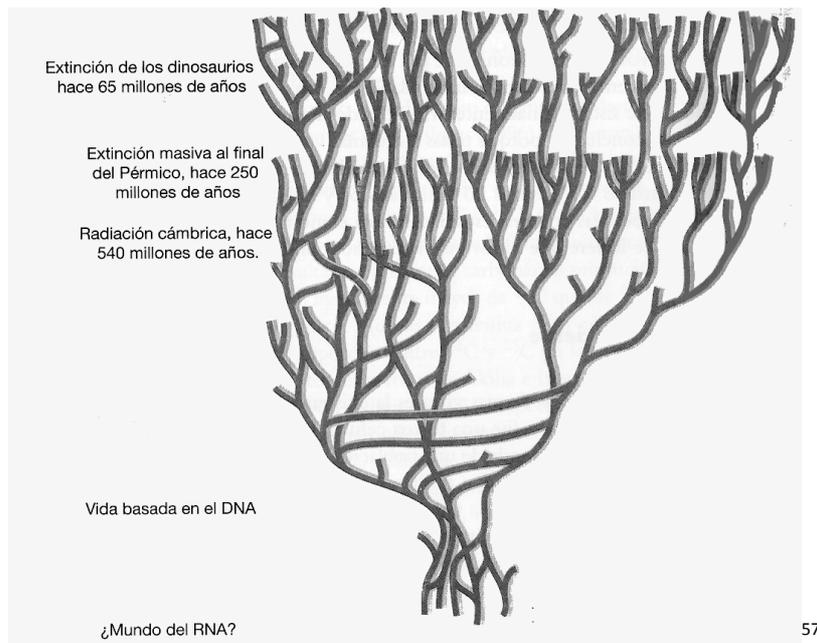


Figura 61 Árbol con anastomosis.

En este árbol no sólo se representan los orígenes anastomosados de los seres vivos y sus relaciones de transferencia horizontal, sino que también se intenta reflejar la diversidad relativa luego de cada radiación evolutiva y las extinciones en masa (Figura 61). Es probable que la representación no llegue a la actualidad, donde la intervención humana mediante la modificación extrema de los entornos naturales ha llevado a varias especies a la extinción. O quizá la poda realizada por las actividades humanas aún no reduce la copa del árbol como lo ha hecho una extinción en masa, pero quizá en la actualidad haya menos taxones que en eras geológicas anteriores. No se va a conocer en un futuro inmediato, puesto que el registro fósil quizá pueda estar incompleto (como creía Darwin) y aún falta mucho por explorar. Nuevos descubrimientos quizá hagan reconstruir el Árbol de la Vida muchas veces.

Actualmente se habla del súper Árbol de la vida

Con toda la información acumulada tras años de investigación y los miles de árboles de los distintos linajes ya cimentados, actualmente se intenta construir El Gran Árbol de la Vida, donde estén representados todos los seres vivos que existen en la actualidad o que alguna vez evolucionaron sobre este planeta, se extinguieron, pero dejaron como evidencia de su paso, al menos, algunas trazas o fósiles.

⁵⁷Extraído de Freeman S., Herron J. análisis evolutivo. 2 ° edición, Prentice Hall, 2002.

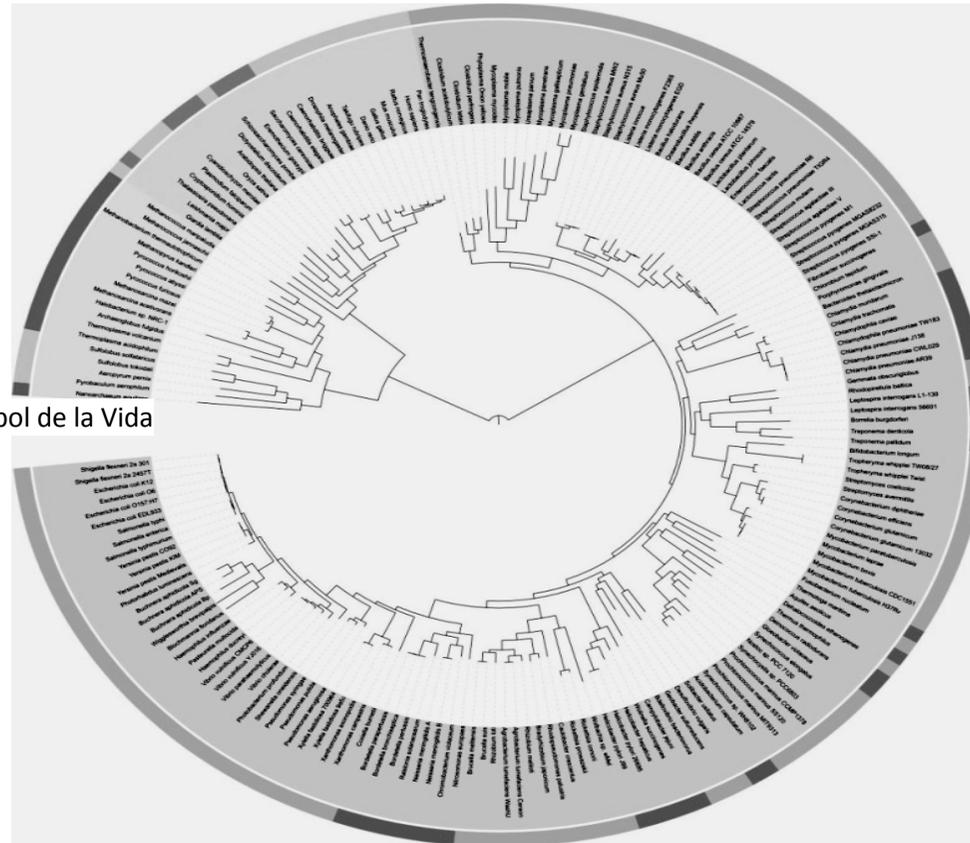
Un súper-árbol (*supertree*) (Figura 62) es un único y gran árbol filogenético rearmado combinando árboles filogenéticos más pequeños. Esta aglomeración obliga a albergar en un único árbol a otros que pueden haberse formado usando datos diferentes, extraídos de distintas fuentes (morfológicos, moleculares, citológicos) o desde una selección diferente de taxones. Se utilizan algoritmos específicos llamados algoritmos de *Supertree*) para juntar todos los árboles posibles. Estos algoritmos pueden resaltar áreas con relaciones dudosas, donde los datos adicionales podrían resolver cualquier ambigüedad en forma operativa.

Y la historia de la vida continúa y cada vez que se descubre un nuevo fósil o se comparan nuevas secuencias de ADN, el árbol filogenético de la vida se sacude. Surgen nuevas hipótesis y de allí nuevas conformaciones. El árbol también evoluciona. Con toda la información obtenida se trata de construir el Súper Árbol de la Vida, el que contenga a todos los seres vivos. Para ello se unen los árboles obtenidos de los distintos grupos, buscando sus ancestros comunes. Pero esos sub-árboles siguen cambiando y modifican también al Árbol de la vida.

Uno de los árboles más sacudidos es el de los homínidos, pero también estos últimos años, los más famosos: las aves, los mamíferos y anfibios han sacudido sus raíces y acrecentados sus ramas. Sus árboles fueron reconfigurándose a medida que se encontraron nuevos fósiles y se postularon nuevas hipótesis sobre los ancestros comunes. Buscando el origen monofiléticos de los distintos grupos se han intentado a veces distintos tipos de árboles. Los biólogos en cada una de sus especialidades siguen investigando y junto a cada nuevo descubrimiento o explicación aparece la figura de un árbol acompañando. Ya no se podría concebir una publicación de biología evolutiva, paleontología, sistemática, botánica, o zoología donde se presenten nuevos géneros o especies sin una representación gráfica del árbol con sus relaciones filogenéticas.

Figura 62

Representación circular del Súper Árbol de la Vida



⁵⁸Las imágenes del Árbol de la Vida fueron extraídas de la Web y están disponibles en varios sitios, accesibles desde una búsqueda simple.

4. La culpa es de Aristóteles

La metáfora de la “Escala Natural” representada tanto de forma visual como verbal, surgió con Aristóteles, quien definió una jerarquía para los seres de la naturaleza. En su décimo libro “*Historia Animalium*” presentó una clasificación de la vida acorde al punto de vista aceptado en esa época: tomando los cuatro elementos básicos de la naturaleza: agua, aire, fuego, tierra. Aristóteles definió grupos opuestos de animales, los de “sangre fría” y los de “sangre caliente”. Ubicó en una escala continua, desde las cosas inanimadas, continuando con las plantas, ascendiendo luego hacia los animales invertebrados de “sangre fría”, luego animales de sangre caliente, hasta el hombre. Luego con el cristianismo esa escala se extendió hasta el cielo colocando seres tales como ángeles y serafines... (Archibald, 2014).

Aristóteles también usó términos como especie y género, pero con distinto significado al actual (Mayr 1995); para él especie era la esencia y género era un grupo al que pertenecían las especies, mucho más abarcativo que la categoría actual.

Estas concepciones fueron mantenidas a lo largo de la historia y avaladas por la religión y la cultura en general contraponiéndose de alguna manera a las concepciones científicas que a partir del siglo XVIII fueron abandonando la idea esencialista para iniciar clasificaciones operativas, basadas en similitudes o parentescos.

4. a Persistencia de la Gran Cadena del Ser

A partir de las representaciones darwinistas, sustituyendo la escala lineal por ramificaciones arbóreas, la metáfora de la escalera y el encadenamiento lineal de los seres vivos no se desvanece.

Seguidores de Darwin como Huxley quien llegó a representar linealmente la evolución humana (Huxley 1863); o Haeckel con sus representaciones jerárquicas, continuaron reforzando la idea de encadenamiento y progreso en la historia natural de los seres vivos.

Henry Huxley en *Evidence as to Man's Place in Nature* para enfatizar la continuidad entre simios y humanos realiza una representación lineal que luego se traslada a diversos textos. El paleontólogo Othniel Marsh en “*Genealogy of the Horse*” expone el cambio gradual y progresivo de la reducción dactilar del caballo para demostrar el gradualismo en la evidencia fósil. Henry Osborn en 1905 en “*Origin and History of the Horse*” también realiza una

representación lineal correlacionando la evolución del caballo con el tiempo geológico. En 1929 el mismo paleontólogo en *“Progresive Stages of Development of Titanotheres from the Titanotheres of Ancient Wyoming, Dakota, Nebraska.”* Describe y representa gráficamente la tendencia gradual, progresiva y lineal hacia el cambio de estructuras exponiendo los fósiles en una línea temporal continua de abajo hacia arriba (Archivald, 2014).

Estas representaciones aún se repiten en los libros de texto utilizados en la actualidad, conviviendo con los cladogramas y dendrogramas de distintos enfoques sin un encuadre teórico ni contextualización histórica.

“La Gran cadena del Ser” fue una expresión común en la literatura de divulgación del siglo XVIII (Capanna, 2006). La clasificación de Linneo, en parte fue un tributo a esa idea.

La idea de esta cadena del ser fue tan perdurable que no desapareció con el evolucionismo. En cambio, cuando se consideró el tiempo geológico en las representaciones, la jerarquía se transformó en series históricas, ordenando los eslabones de la cadena configurando una línea ascendente y progresiva que iba de los protozoos al hombre. Haeckel con sus árboles popularizó esa idea.

4. b. Persistencia de concepciones

Una concepción presenta diversos aspectos: informativos, operativos, relacionales, dubitativos en sentido estricto, y organizativos. La primera función de esta persistencia es la conservación de un conocimiento o de un conjunto de saberes, incluidos los de tipo práctico. La inclusión de una concepción en la memoria permanente no se hace directamente, sino que se modela por integración en una estructura. Una concepción organiza informaciones y constituye la huella de una actividad anterior. Sin embargo, esta función no es lo mismo que un simple recuerdo. La información estructurada y conservada se reutiliza posteriormente en situaciones nuevas. Las concepciones se transforman debido a la situación que las activa, hasta en un campo de problemas (Giordan, 1995)

Las concepciones Remiten no sólo a los elementos que este último va a movilizar directamente para explicar, prever o actuar, sino también a la historia del mismo, hasta su ideología, sus estereotipos sociales e incluso sus fantasmas

Participan en el juego de relaciones que existe entre las informaciones, las operaciones y los procesos de los que dispone y los que irá encontrando a lo largo de toda su existencia. Sobre estos elementos elabora sus nuevos saberes e incluso sus futuras conductas.

Para introducir un modelo nuevo o movilizar un concepto, es necesario transformar el conjunto de la estructura mental. Su marco de cuestionamiento es reformulado por completo, su marco de referencia se reelabora ampliamente. Estos mecanismos nunca son inmediatos, sino que pasan por fases de conflicto o de interferencia.

4. c. Hacia el cambio de representaciones y sus implicaciones didácticas

En el aula se establece un intercambio de significados entre el lenguaje visual, verbal, gestual, icónico entre el docente y el alumno mediado por diferentes recursos. Esta interacción no siempre comparten los mismos significados (Quse, De Longhi, 2010). Hay frases y términos que si no son consensuados conllevan concepciones implícitas que se transforman en obstáculos a la hora de interpretar imágenes o diagramas. Estas dificultades semánticas pueden deberse a la polisemia de los términos a su uso cotidiano y las concepciones asociadas culturales aportadas por el contexto social. Un ejemplo, es la idea del ancestro común que puede tener diferentes significados asociados a situaciones y entornos disímiles.

El alumno en la clase, para promover un cambio en sus concepciones arraigadas y en la forma de representarlas simbólicamente, debe enfrentarse a un cierto número de elementos significativos: documentaciones, experimentos, argumentaciones que le llamen la atención, le hagan distanciarse, reformular sus ideas o argumentarlas. También son necesarios la enseñanza de formalismos: simbolizaciones, gráficos, esquemas o modelos, elementos que le ayuden a pensar, acompañándole en su camino.

Una nueva formulación del saber sólo sustituye a la antigua si el alumno encuentra en ella un interés y aprende a hacerla funcionar. Nuevas confrontaciones con situaciones adaptadas y con informaciones seleccionadas se revelan muy útiles para permitir una movilización del saber en estas etapas. En fin, un saber sobre el saber es igualmente necesario. Permite a los alumnos evaluar los avances, guardar distancias respecto a estos últimos o clarificar el campo de aplicación del saber (Giordan, 1999).

En la propuesta de cambio conceptual presentada en la tesis anterior (Torreblanca, 2010) se siguió el encuadre teórico propuesto por Pozzo (1999), quien propone que para el cambio

conceptual suelen darse ciertos saltos argumentales entre niveles distintos de análisis del mismo: el evolutivo (los cambios que tienen lugar como consecuencia del desarrollo cognitivo), el epistemológico (los cambios que han tenido lugar en la historia de la ciencia) y el instruccional (los cambios que deben producirse como consecuencia de la enseñanza). No hay motivos para creer que los cambios en los procesos y representaciones tengan que ser los mismos en los tres casos.

En las propuestas áulicas que se basan en el cambio representacional tomando como base un enfoque histórico se trata de asimilar el cambio instruccional al cambio epistemológico, buscando el paralelismo entre la enseñanza de la ciencia, como contexto de transmisión del conocimiento científico, y la propia investigación científica, como contexto de producción de ese mismo conocimiento.

El conocimiento implícito que forma parte de las concepciones arraigadas en los alumnos que están inmersos en un contexto sociocultural que las sostiene, deben hacerse explícitas para darles significados en el momento de la clase, para luego ser analizadas, interpretadas, confrontadas...

Lograr la primacía o el control del conocimiento explícito sobre esas creencias implícitas es más una conquista cognitiva y cultural, un logro del aprendizaje y la instrucción del modo defectivo o natural de funcionar de la mente humana; para esto es preciso diseñar escenarios y situaciones sociales que lo favorezcan (Pozo, 2003).

Análisis de Resultados

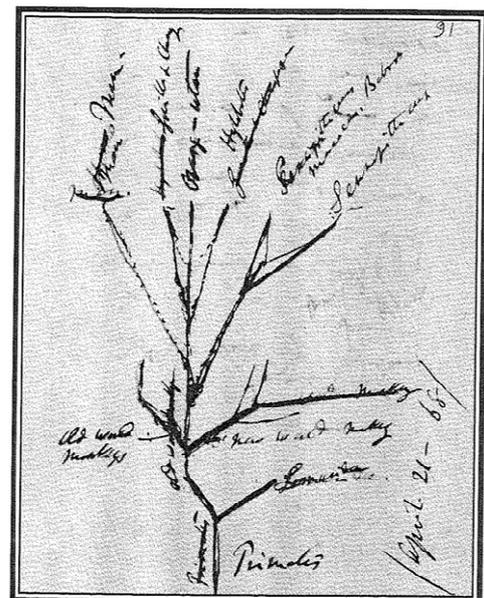


Figura 63: Esquema ramificado realizado por Darwin para representar las relaciones del hombre con los demás primates, fechado el 21 de abril de 1868. (Se encuentra en <http://darwin-online.org.uk/>)

4. REPRESENTAR LA EVOLUCIÓN

4. a- La representación gráfica de la evolución en alumnos de primero SB sin instrucción previa

Para indagar qué representan los alumnos de secundaria básica cuando se les pide que “hagan” la evolución de las especies, se tomaron tres cursos, Primero, Segundo y Tercero, durante tres años lectivos. También se seleccionaron 10 alumnos para hacer el seguimiento individual de sus producciones durante los tres cursos. Los alumnos de primer año, de 12 y 13 años de edad, no tuvieron contenidos explícitos de evolución y la mayoría expresaba desconocer quién fue Darwin y sólo habían dado “prehistoria” y el origen del hombre en Ciencias Sociales, en cuyo libro existe una representación lineal que influyó considerablemente en los dibujos realizados.

Las pruebas se realizan en la Escuela 3012, de O’Higgins, partido de Chacabuco. Una escuela rural compuesta solamente por los cursos de secundario básico, Primero, Segundo y Tercero con una sola división y con un promedio de 20 alumnos. La Escuela funciona en la institución privada “Instituto Santa Ana” compartiendo el edificio, pero es de gestión estatal, dependiendo de la dirección de la Escuela Media N^o 1 de Chacabuco. Los alumnos que asisten a dicha escuela, la mayoría hijos de trabajadores rurales, comerciantes y profesionales de la localidad, tienen formación religiosa, fueron al catecismo aunque asisten a la escuela estatal, al compartir instalaciones con la escuela de gestión privada católica, asisten también a eventos religiosos como así también antes de ingresar hacen oraciones junto a los alumnos de secundario superior que pertenecen al Instituto Santa Ana. Esta situación puede ser significativa a la hora de interpretar los resultados. La localidad de O’Higgins tiene una población de alrededor de 2000 habitantes, contando la zona rural aledaña. Posee también un templo evangelista con bastantes seguidores y cercano al pueblo se encuentra el “*Movimiento de los Focolares*” en una comunidad denominada Mariápolis pertenecientes a la religión católica, de la cuál algunos de los hijos de los integrantes concurren a la escuela.

La comunidad de O’Higgins es muy particular en cuanto a creencias y participación en los quehaceres escolares. La escuela estatal “funciona” de alguna manera como si fuese privada, en cuanto a la influencia de la figura familiar, sus valores, sentido común y exigencias. Actualmente, la mayor exigencia es la contención, primando sobre la calidad educativa. Esta visión surge principalmente de las entrevistas realizadas a preceptores, auxiliares y personal del gabinete.

Se eligió esta institución porque se priorizó la continuidad de las investigaciones realizadas en la Tesis de Maestría y por ser la escuela donde más antigüedad en la rama posee la docente investigadora y por lo tanto mayor conocimiento del entorno y el contexto donde está inserta.

Los estudios sistematizados comienzan en 2009.

Por lo tanto las cohortes en las cuales se realiza el seguimiento son las siguientes:

Cohorte 1: Ingresantes 2009 (1º año). Segundo año 2010, 3º año 2011.

Cohorte 2: Ingresantes 2010 (1º año) Segundo año 2011, 3º año 2012.

Cohorte 3: Ingresantes 2011 (1º año) Segundo año 2012, 3º año 2013.

Se presentan a continuación las producciones seleccionadas al azar de los alumnos de primer año, resultado de tres cohortes: 2009, 2010 y 2011. Realizados bajo la consigna: “*Realizar un esquema o un dibujo que represente la evolución de las especies*”

Cohorte 1: 2009 (primer año)

Estos alumnos están a cargo de una maestra, anteriormente estos cursos pertenecían a séptimo grado y fueron trasladados de la primaria (primer ciclo) a la escuela secundaria. En este caso, los chicos continuaron con la maestra, que tenía a cargo las horas de Ciencias Naturales, Ciencias Sociales, Lengua y Matemática.

La prueba fue tomada en una hora de Ciencias Naturales cedida por la maestra. A los alumnos se les explicó la consigna utilizando las mismas palabras que estaban escritas en la hoja de oficio que se les entregó para que realicen su producción. Varias veces se les aclaró que especies se refería a cualquier ser vivo. Y cuando preguntaban si podían hacer un mono, la maestra o la investigadora le respondían señalando que debían representar la evolución de las especies, o sea de los seres vivos o “que es la evolución de los seres vivos, de todos...”

Los alumnos tomaron su tiempo para dibujar, algunos con más detalles que otros.

La mayoría de los alumnos realizó un dibujo figurativo y algunos le colocaron texto explicativo y/o referencias.

Se presentan a continuación la mayoría de las producciones realizadas por los alumnos en ese momento.

Leandro:

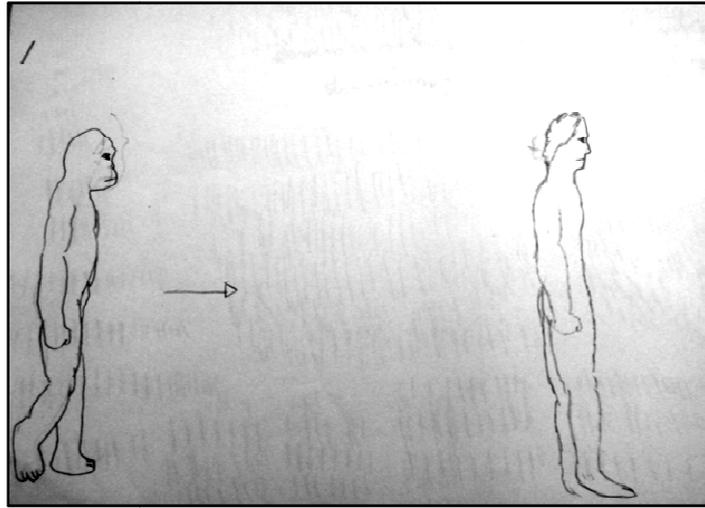


Figura 64

Elaboró un dibujo figurativo, un mono en dos patas, erguido y derecho y una flecha hacia la derecha indicando un hombre. Colocó el siguiente texto; *“Nosotros descendemos de una evolución de animales que fueron cambiando física y mentalmente”*

Es la típica representación lineal “del mono al hombre” que tanto subsiste en el sentido común

Pía:

Realizó un dibujo figurativo, una planta con un nido con huevos, luego una flecha hacia la derecha hacia una planta con un nido con pájaros. El texto que incluyó: *“Es un nido con un huevo en un árbol que luego evolucionó y nacieron pájaros y árboles más lindos”*

Existe en muchos alumnos de primer año la confusión entre evolución y desarrollo. Y el cambio a través del tiempo como algo propio de entes individuales.

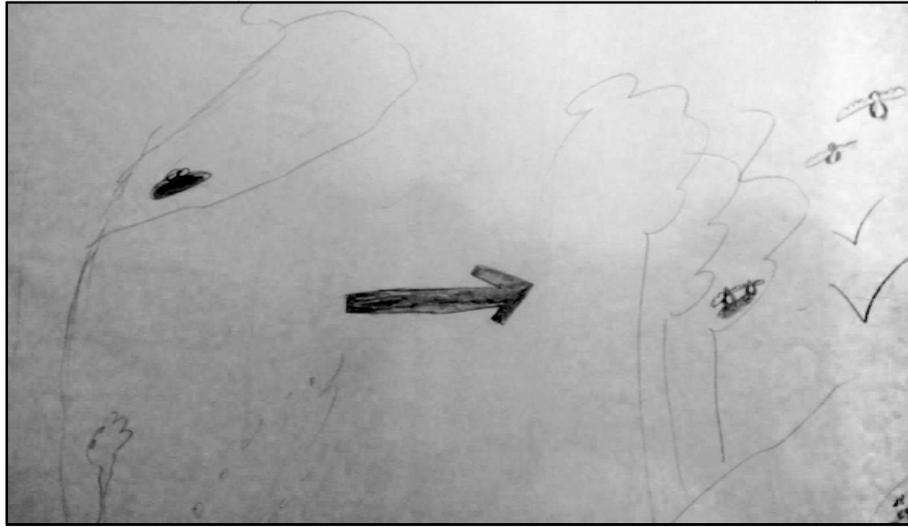


Figura 65

Julieta:

Dibujó un mono erguido y la flecha hacia la derecha indicando una figura humana desnuda a la cual le pone la etiqueta de “*persona*”. En el texto explicativo expresó: “*Dibujé esto porque el mono se transformó en hombre después de pasar por distintas formas o especies de monos*”

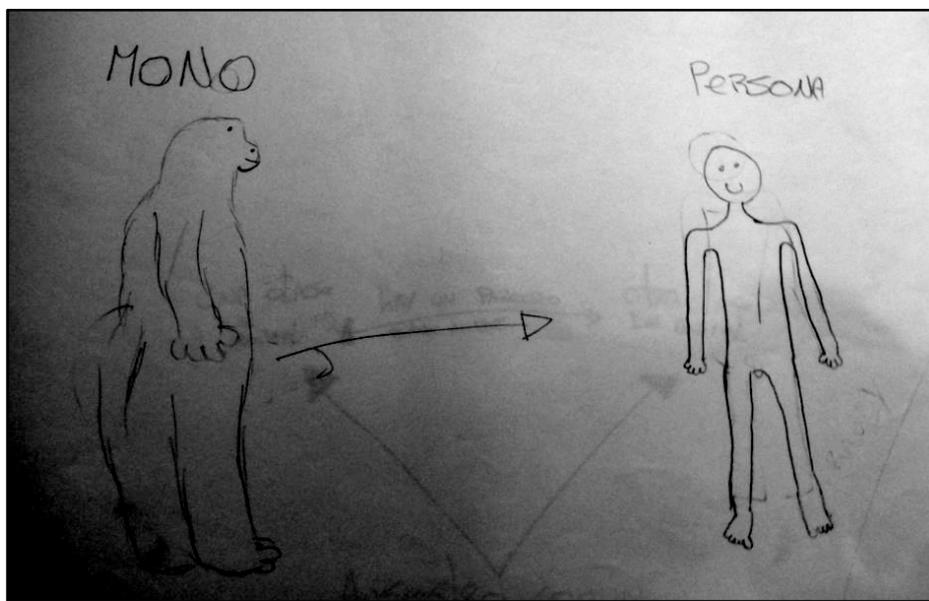


Figura 66

Esta representación es la que más se repite. Es significativo la socialización que realizan los alumnos de sus producciones y el querer convencer a los demás que dibujen lo mismo.

Federica:

Realizó un dibujo figurativo bastante curioso, por un lado dibujó unas especies de elipses o círculos amontonados a los que los referenció como “*rocas*”, luego una larga flecha hacia la derecha, y al final un celular con su texto indicativo. Agrega la siguiente explicación: “*El planeta evolucionó. Antes sólo había rocas y ahora encontrás celulares, computadoras, de todo*”

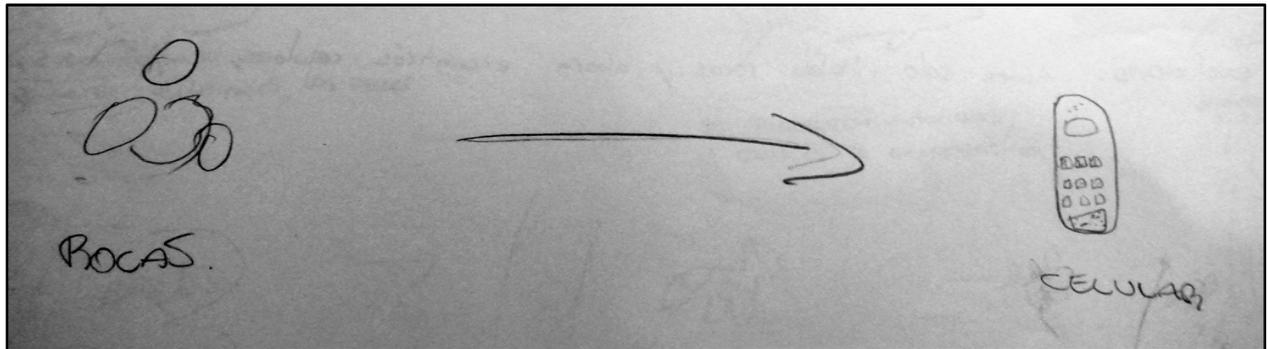


Figura 67

Si bien no hace referencia a la especie humana, el dibujo sigue teniendo una representación lineal de la evolución, que se relaciona principalmente al tiempo transcurrido.

Maricel:

Combinó un dibujo figurativo y esquemático con dibujos y flechas en varias direcciones interrelacionando las imágenes de monos y humanos de ambos géneros, puesto que tiene en cuenta principalmente el cruzamiento por reproducción. En el texto explicativo reveló: “*Yo dibujé un mono y una mona que fueron evolucionando y se convirtieron en lo que nosotros somos ahora y una mujer con un hombre forman un bebé y así sucesivamente*”

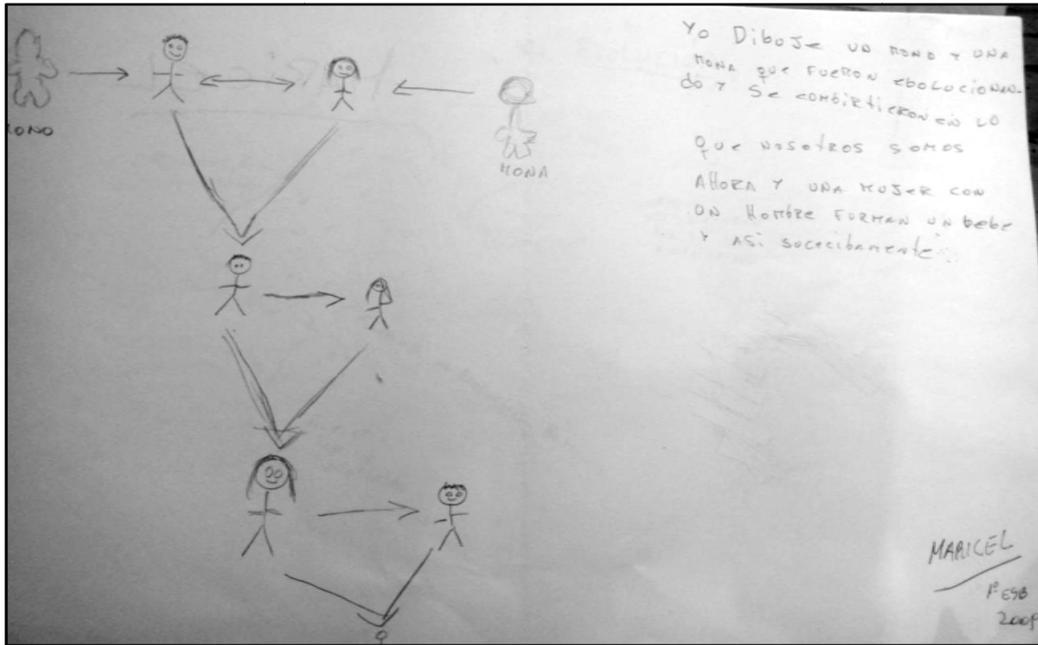


Figura 68

Lautaro:

Copió la representación de la evolución del hombre que aparece en el libro de Ciencias Sociales, texto que utilizan en otra asignatura dada por la misma maestra y que tenía debajo de su mesa. Al recordar esa imagen, la buscó para tener de referencia y ubicó el libro debajo de la mesa “para que no vieran que se copiaba”.

Este tipo de representación figura en varios libros de textos que estaban al alcance (en las bibliotecas escolares y comunitarias de la localidad) de los alumnos, tanto en su recorrido de la escuela primaria como en el secundario

Encarna a la típica representación lineal y progresiva que incluye armas, la cual está arraigada en el sentido común por estar presente en libros de texto y divulgación, los que se van reproduciendo desde hace más de 30 años.

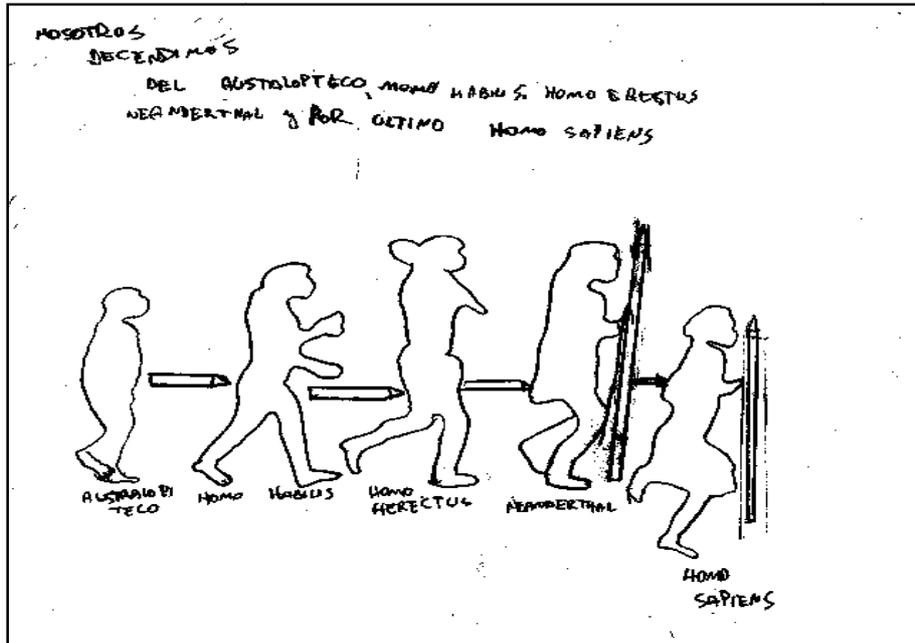


Figura 69

Lucila:

Representó “la evolución del cocodrilo” Detrás del dibujo explicó con flechas “De los huevos - nacen – luego salen de ellos- se forman reptiles pequeños y por último crece y evolución un cocodrilo”

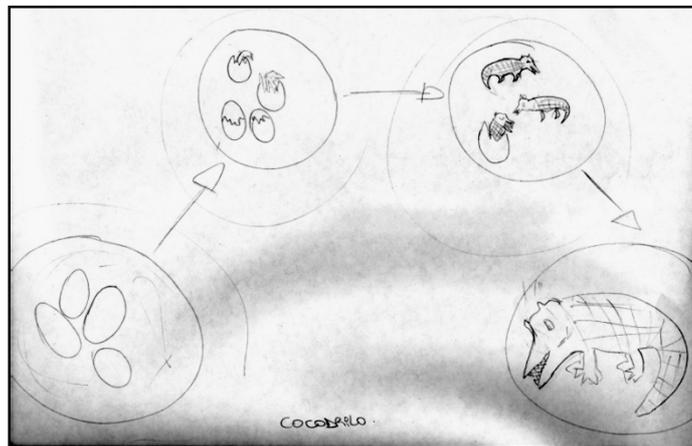


Figura 70

Laura:

Dibujó árboles con nidos y flechas hacia la derecha, primero con huevos, luego salen los pichones y crecen luego flechas que indican pájaros volando que se van incrementando en

número. Detrás explicó su secuencia: “*dos huevos nacieron y tuvieron dos huevos más y después los otros tuvieron otros dos y sigue y sigue...*”

Es interesante esta representación porque tuvo en cuenta la continuidad de la especie por medio de la reproducción, no solo el desarrollo individual.

Belén:

Dibujó una planta pequeña, una flecha hacia la izquierda y luego una planta grande. Detrás de la hoja escribió: “*Evolución de las plantas*” “*las plantas nacen de una semilla, van creciendo y van haciendo más grandes, primero está la semilla, después el arbusto, hasta convertirse en planta (evoluciona)*”. Otro ejemplo más del malentendido: evolución de la especie como desarrollo individual. Error muy común del pensamiento cotidiano.

Denisse:

Dibujó un mono erguido con cara sonriente y desnudo con la palabra *mono* sobre el dibujo y al lado un monigote esquemático con la etiqueta *humano*. No incluyó flechas ni descripción. Pero el sentido de su representación es el mismo que el de los demás alumnos que realizaron la evolución lineal del “mono al hombre”

Macarena:

Dibujó un hombre entre tres plantas, no colocó ninguna explicación. Esta alumna repitió primer año y estaba con actividades especiales, no lograba llegar a generalizar y abstraer ciertos conceptos. Probablemente no comprendió la consigna, al preguntarle qué dibujó, dijo, “*la evolución del hombre*” utilizando la palabra que había escuchado, pero, aparentemente, sin darle un significado.

Agustín:

Realizó un dibujo muy rápido con trazos muy débiles y explica “*Estos son nuestros descendientes los monos*” “*Primero australopitecus después homo habilis, homo erectus, homo neardenthal, homo sapiens*” Al lado de homo sapiens puso su nombre.⁵⁹

⁵⁹ Las copias escaneadas de los dibujos y esquemas realizados por estos alumnos no se incluyen porque no poseen la nitidez suficiente para poder apreciarlos, dada la calidad del trazo con que fueron elaborados.

Segunda Cohorte (Primer año, 2010)

Los alumnos de primer año del año 2010 realizaron representaciones similares a las realizadas por la cohorte anterior, en este caso se advierte mayor influencia de imágenes de libros de texto y de materiales de divulgación.

En esta cohorte comienzan con profesora de Ciencias Naturales, al tomar licencia la antigua maestra de séptimo grado. Con su maestra, en Ciencias Sociales, habían dado el origen del hombre, utilizando el libro de texto donde está la representación en escalera desde los homínidos, hasta el Homo sapiens y el hombre de Neandertal.

Estos conocimientos previos afianzaron su visión lineal y antropocéntrica a la hora de realizar sus producciones sobre “la evolución de las especies”.

Se muestran a continuación las producciones de los alumnos que realizaron en una hora de Ciencias Naturales junto a su profesora y la investigadora.

Joaquín C.:

Realizó un dibujo figurativo representando del mono al hombre elevándose y utilizando armas, palos y lanzas. En esta producción se nota la influencia de la representación del “origen del hombre” desarrollado en el área de Ciencias Sociales.

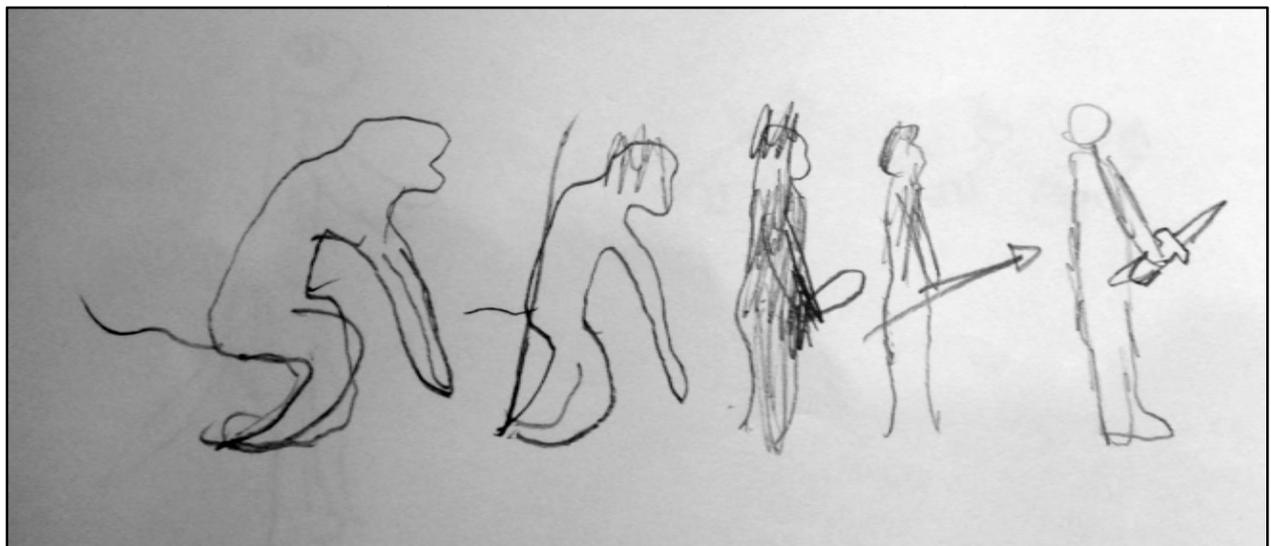


Figura 71

Joaquín A.:

Realizó un dibujo figurativo de 4 animales con muy pocos detalles, aparentemente serían dinosaurios, uno grande y tres pequeños, sin flechas ni indicación alguna. No se evidencia progresión ni cambio.

Los dinosaurios tienden a aparecer en este grupo de alumnos, considerando que para representar la evolución de alguna manera tenían que estar los seres extinguidos

Juane:

Realizó las figuras que representan mono en postura cuadrúpeda y figuras antropomórficas que se van elevando hasta un hombre, con flecha de izquierda a derecha, colocando las referencias. No puso el nombre a su dibujo.

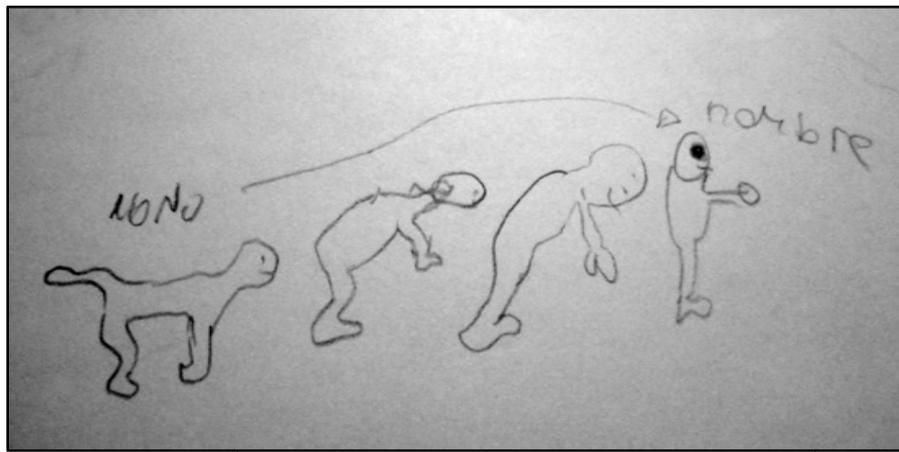


Figura 72

Facundo:

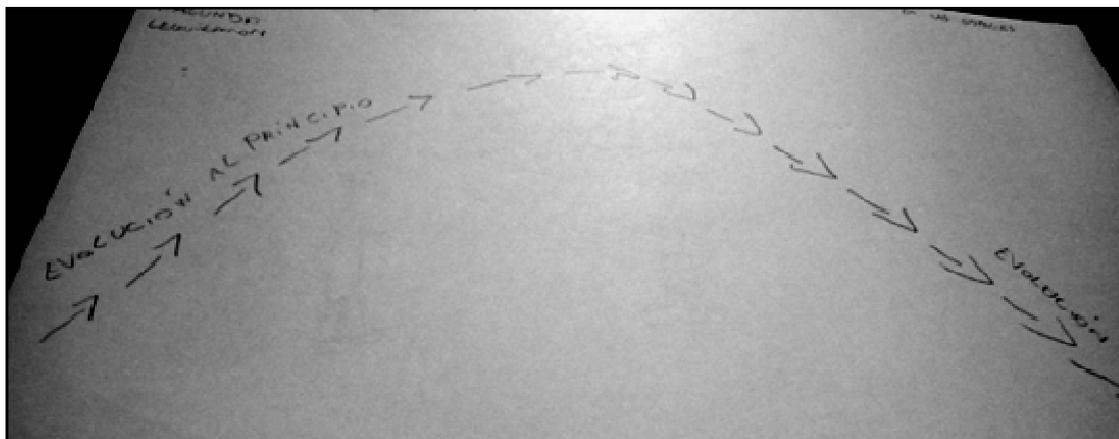


Figura 73

Elaboró un esquema con flechas que suben y luego se extienden hacia la derecha y hacia abajo. Colocó las siguientes indicaciones: “Evolución al principio” y “Evolución al final”.

Esta representación abstracta es llamativa y hay dos copias más de ella muy similares. Da cuenta de la linealidad y la progresión teniendo en cuenta el paso del tiempo. Al preguntarle por qué seguía una curva, respondió “*porque me salió así*” Aparentemente no le dio ningún significado.

José:

Realizó un dibujo figurativo y anotó: “*mono*”, “*mono con menos pelo*”, “*humano*”.

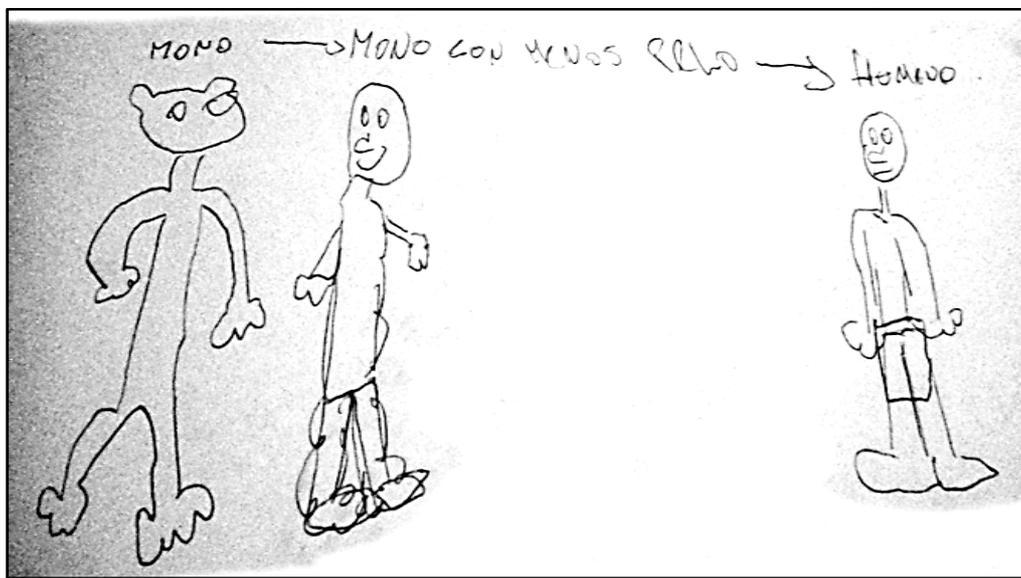


Figura 74

Particularmente, resulta cómico, pero es interesante que haya elegido la característica de la posesión de pelo como rasgo evolutivo. Por supuesto, para su visión, el tener menos pelo, denota ser más evolucionado, asociando el recubrimiento del cuerpo por pelos a los animales. “Menos pelo, menos animal”. Su concepción es lineal y progresiva hacia el humano.

Francisco:

Realizó un complejo dibujo mixto figurativo y esquemático agregando flechas hacia abajo y hacia la derecha. Colocó el texto: “*Organismo unicelular*”, “*organismo pluricelular*”, “*animal*” y flecha que va de pluricelular en una línea que dice “*humanos*” a “*mono*” y luego hacia abajo “*hombre de Neanderthal*” y otra flecha hacia abajo indicando “*persona*”.

Es significativo que considere sólo persona al “hombre actual” no así al hombre de Neanderthal.

También destacó la separación del animal de los humanos. Aparentemente intentó una bifurcación en su linealidad, para crear otra línea que separa la evolución humana a partir de los monos de los demás animales.

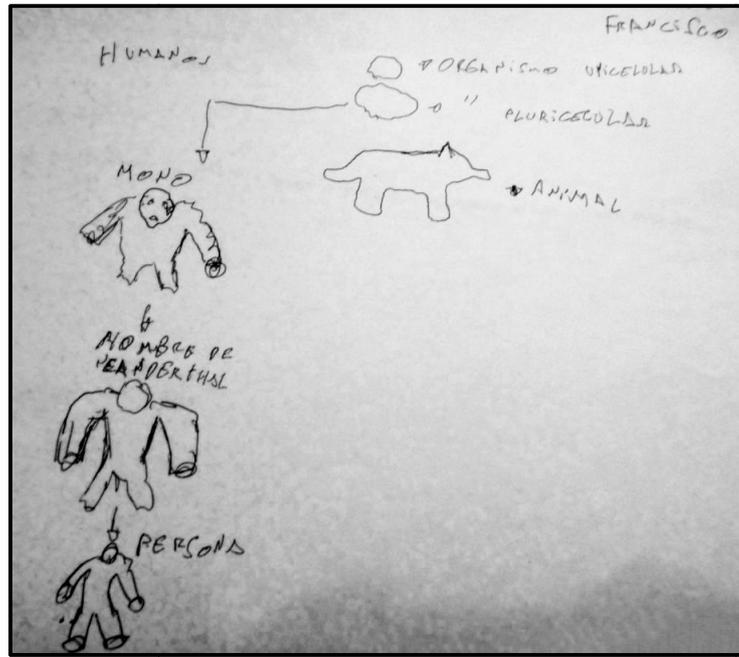


Figura 75

Trini:

Realizó un esquema tipo mapa conceptual. Con flechas y palabras que representan el cambio y la adaptación. Por no equivocarse, ya que era considerada la mejor estudiante del curso, antes de ponerse a dibujar consultó en su celular el significado de evolución y eso es lo que intentó plasmar en su esquema. No fue espontáneo.

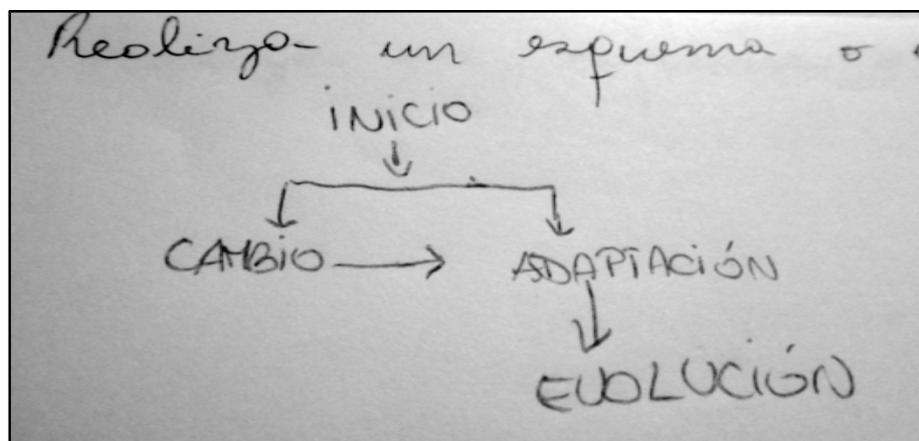


Figura 76

Macarena:

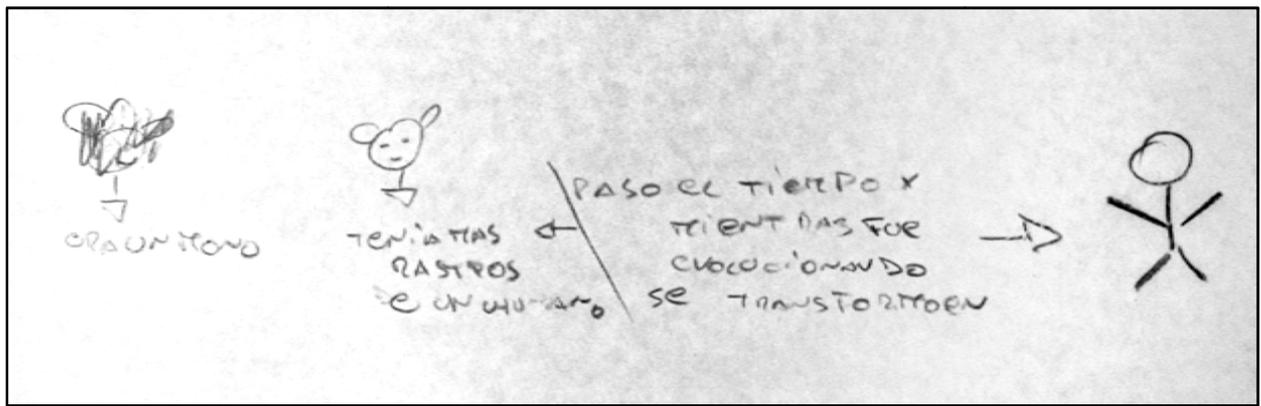


Figura 77

Elaboró un esquema mixto agregando dibujos y texto explicativo con flechas. En el texto indicó: “Era un mono”, “tenía más rastros de humano”, “pasó el tiempo y mientras se fue evolucionando se transformó en” y realizó una flecha hacia un monigote que representaría un humano. Es una representación lineal transformista, que tiene en cuenta el paso del tiempo.

Martina:

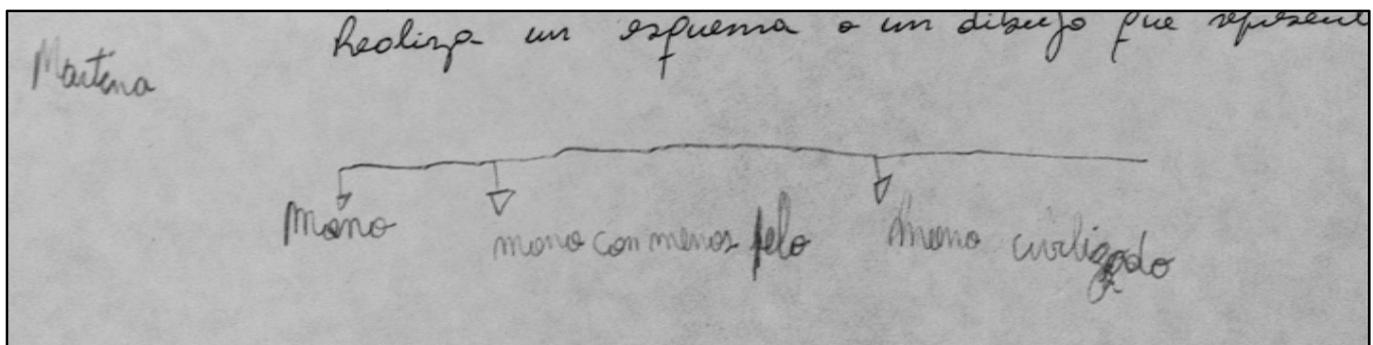


Figura 78

Realizó un esquema utilizando flechas hacia abajo y en cada flecha colocó el siguiente texto: “mono”, “mono con menos pelo”, “mono civilizado”. En este esquema lo más significativo es la utilización de la frase “mono civilizado”, integrando tener menos pelo y ser civilizado como ser evolucionado. También es una representación lineal aunque las flechas no indiquen dirección.

Jhasmin y Emily:

Estas dos chicas empezaron ese año, cuando ya habían comenzado las clases, son hijas de trabajadores rurales de nacionalidad peruana que se establecieron en una estancia cercana a la ciudad de Junín, a unos 20 km de la escuela. Aún no se integraron al grupo y se ven muy inseguras al realizar sus actividades. Preguntaron varias veces “Qué tenían que hacer”.

Ellas también realizaron la representación de las flechas que suben y bajan. (No se sabe quién se copió, ni quién fue el de la idea original). Existen tres dibujos similares. Facundo, se sentaba detrás de las chicas y también elaboró el mismo esquema. El siguiente es el dibujo de Jhasmin. Las dos chicas se sentaban juntas y compartían todas las tareas, es probable que sacaran la idea de este esquema de Facundo.

El uso de la flechas no fue sugerido por el docente, tampoco preguntaron si se podrían usar. Fue espontaneo. Y es significativo, ya que muestra claramente la direccionalidad lineal de la concepción que estos alumnos tenían del proceso evolutivo.

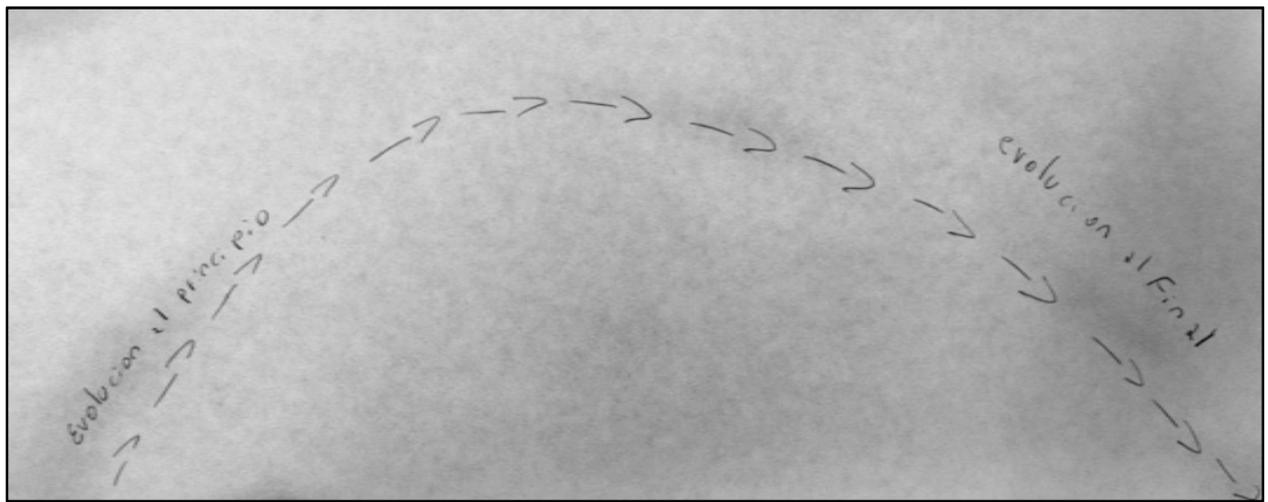


Figura 79

Keila:

Dibujó monigotes a los que les agregó flechas que indicaban: “*Mono*,” “*semimono*”, “*humano*”. (Figura 80).

Un esquema típico de este grupo, con linealidad progresiva hacia el humano, cúspide de la evolución.



Figura 80

Tomás:

Dibujó aparentemente dos “*hombre primitivos*” descalzos y con barba y un “*hombre actual*” con anteojos. No utilizó flechas, pero se infiere la linealidad siguiendo el orden de los dibujos de izquierda a derecha. El agregado de anteojos aparentemente le daría una idea de intelectualidad y civilización.

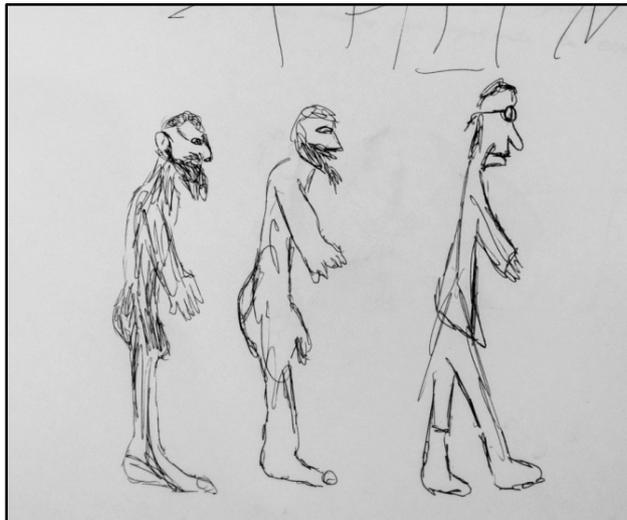


Figura 81

Tercera Cohorte (primer año 2011)

Este primer año también estuvo a cargo de la profesora de Ciencias Naturales. No era un curso muy numeroso. Sólo 13 alumnos estuvieron presentes el día de la prueba.

Elio:

Tomó a la evolución como un ciclo de reproducciones Esquema con texto: “Evolución”, “dos personas se reproducen” “dan lugar a un nuevo individuo” “este individuo crece y se reproduce” “y vuelve a ser todo el proceso”.

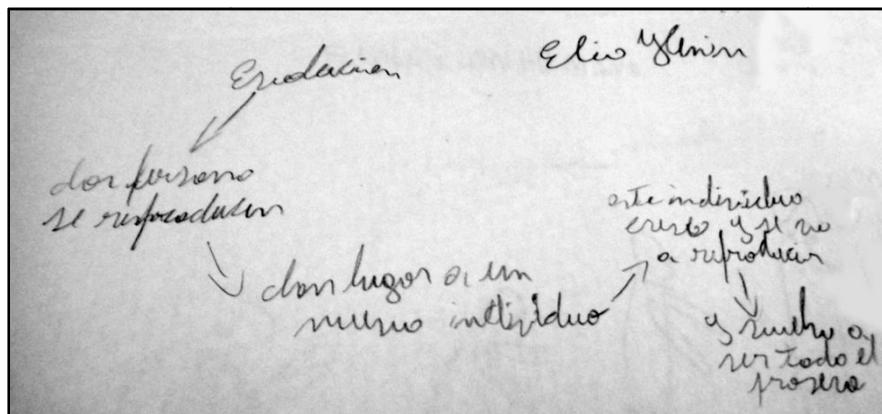


Figura 82

Es muy interesante este esquema porque es único y aparentemente no fue copiado de ningún medio. Elio también era un alumno muy particular y solitario, no se integraba al grupo y por momentos entraba en crisis y se bloqueaba diciendo que no podía hacer las actividades o no le salían las palabras. Se autoexigía demasiado y tardó bastante en armar su esquema. La idea de que el proceso evolutivo se relaciona con el proceso reproductivo es muy relevante, siendo que aún no ha tenido instrucción alguna con respecto a esos temas.

Facundo L.:

Con el título “Evolución humana”, realizó el típico dibujo de los monos que se van levantando hasta quedar erguido y con palos y lanzas. Aquí también se nota la influencia del libro de texto de ciencias sociales y el ícono que se instaló en el sentido común, que fue analizado en el marco teórico.

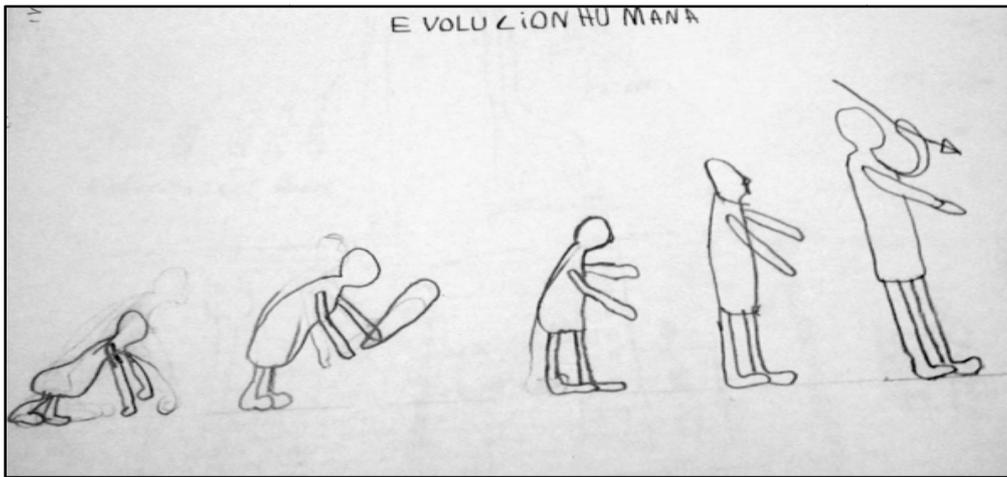


Figura 83

Matías:

Realizó un dibujo del “mono”, lo más significativo es que está colgando de una rama, al “hombre civilizado” con una especie de carpeta bajo el brazo, pasando por una serie de homínidos y hombres primitivos que se van enderezando y que portan distintas armas para concluir en el hombre actual con una notebook debajo del brazo.

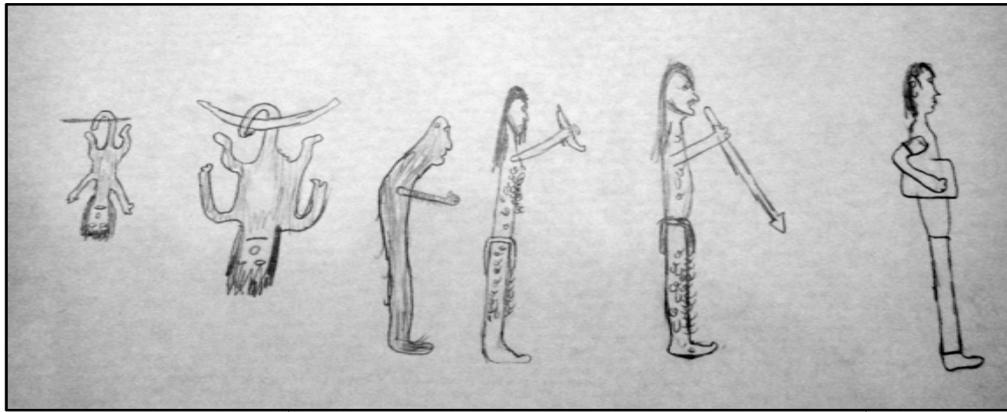


Figura 84

Carlos:

Realizó un esquema con mucho texto explicativo en una línea con flechas hacia abajo. En cada flecha escribió: “Los monos”- “fueron evolucionando, pareciéndose más a los hombres, tuvieron postura más o menos erguida, perdieron el pelo” – “cada vez se parecieron más a los hombres, su cerebro se estaba desarrollando y cada vez eran más erguidos” – “evolucionaron, y se convirtieron en el hombre de hoy, con un cerebro desarrollado, una

postura erguida”. El esquema no tiene la calidad suficiente para ser reproducido porque sus líneas no se imprimen por tener un trazo débil.

Ramiro:

Realizó una serie de dibujos que representan la evolución del hombre, de los animales, el pasaje del tiempo, “pasado”- “actualidad” y “evolución de la forma de vida”. Una hoja completa. Esta representación es bastante compleja, trata de tener en cuenta la evolución del hombre, en este caso la típica imagen lineal, los animales, que aparentemente no poseen un proceso que los relacione entre ellos y con el hombre, sino entre grupos como los dinosaurios con las aves, el tigre con el gato y otro animal, posiblemente un lobo, con los perros. Después tuvo en cuenta la evolución del paisaje y las viviendas, “la forma de vida” considerando el paso del tiempo.

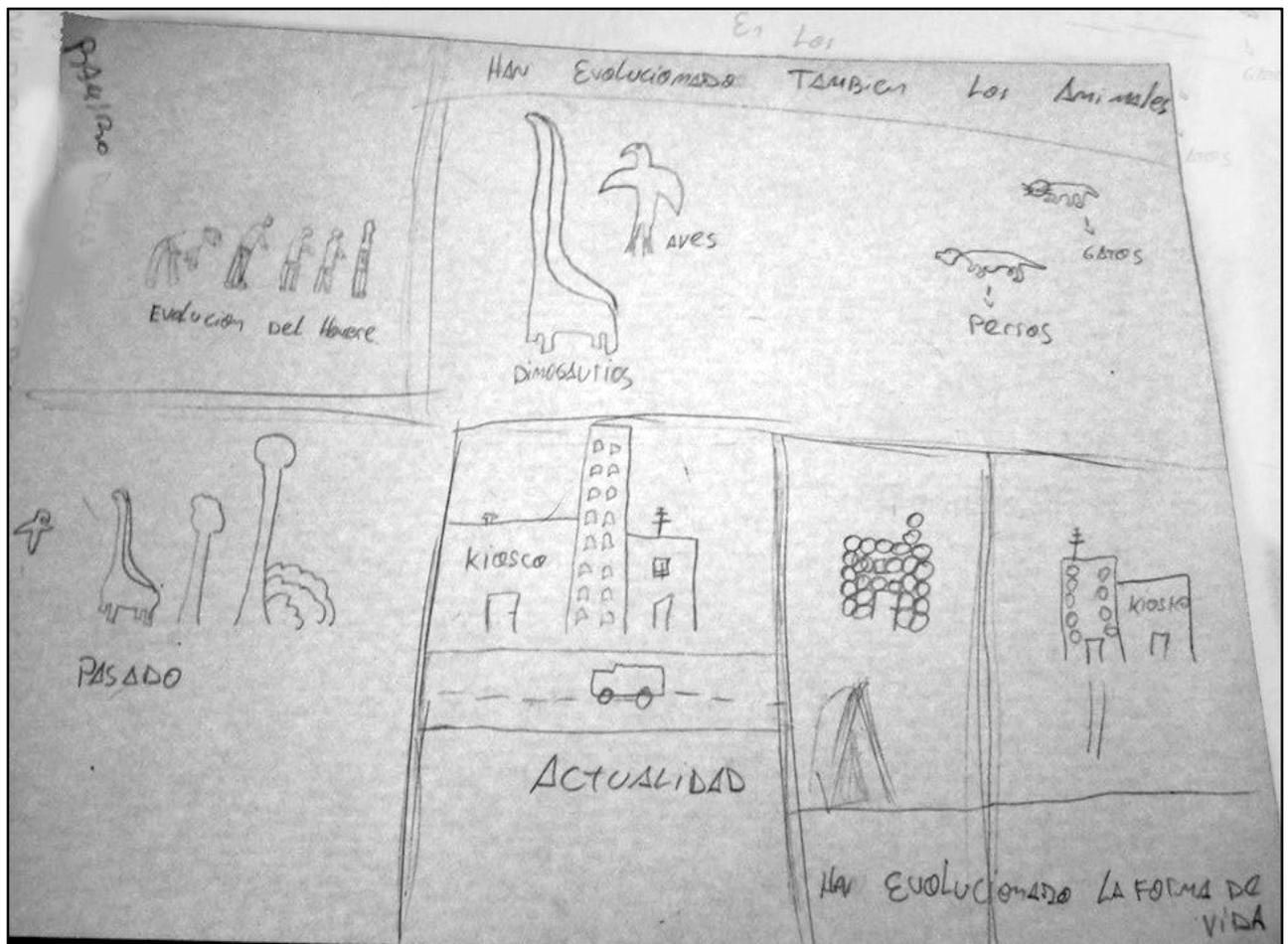


Figura 85

Malena:

Realizó un esquema donde unió con flechas, partiendo de la palabra Evolución, hacia abajo, luego, en el mismo nivel, horizontalmente: “Es el proceso por lo cual evolucionan todos los seres vivos”, “Al paso del tiempo se desarrollan”, “Después del paso del tiempo crecen hasta hacerse grandes” y de ahí parten tres flechas que se unen hacia abajo: “Por ej.: cuando sos bebé, vos te desarrollas y pasas por una etapa. Hasta que sea grande”. Confundió evolución de la especie con desarrollo individual.

Thiago:



Figura 86

Hizo una representación figurativa y lineal, desde un cartel que indica “*primera especie*” a un mono cuadrúpedo, luego otras figuras bípedas, una con una banana, hasta llegar al “*hombre*” con corbata y maletín.

Camila:

Realizó una representación figurativa. Aparentemente de forma rápida y con trazos suaves.



Figura 87

Hizo un dibujo de seres antropomorfos que se van irguiendo, no utiliza fechas ni etiquetas. El hombre erguido lo dibuja de frente, los anteriores de perfil.

María de los Ángeles:

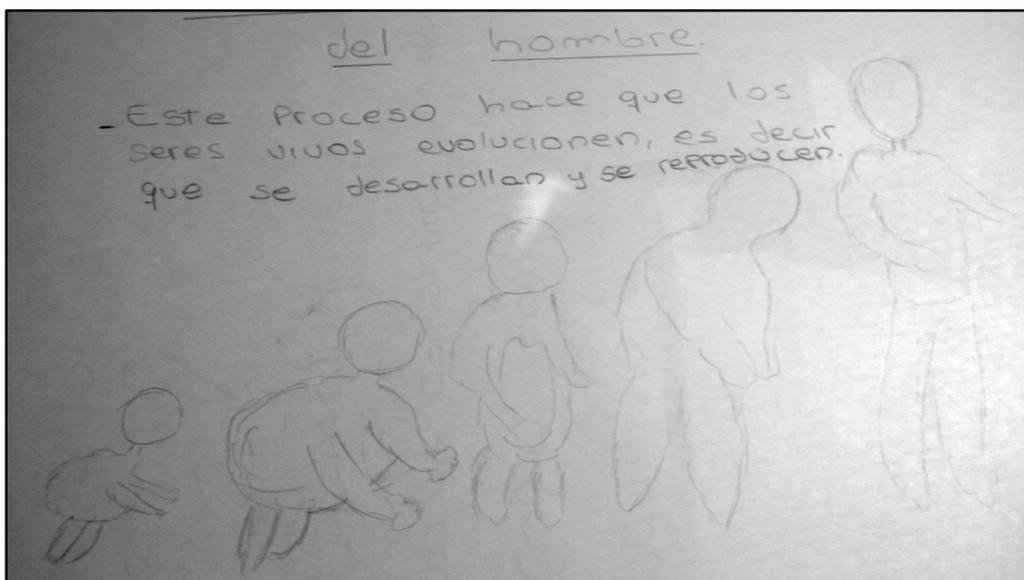


Figura 88

Colocó la siguiente frase antes del dibujo: “*este proceso hace que los seres vivos evolucionen, es decir que se desarrollan y se reproducen*”. Y realizó la representación que más se repite en este curso, figuras que se van irguiendo.

María:

También repite la misma representación, pero agregó etiquetas: “*Australopithecus*” “*Homo erectus*”, *hombre de neanderthal*”, “*homo sapiens*”, *Homosapiens sapiens*”

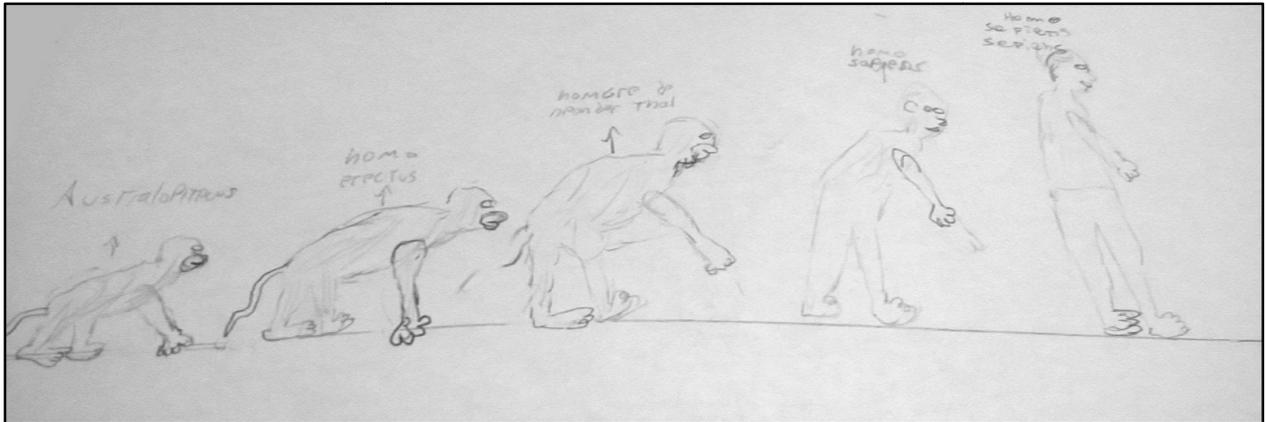


Figura 89

Diego:

Colocó la palabra evolución y una flecha hacia abajo y a la izquierda hacia la frase: “*Los monos fueron evolucionando hasta convertirse en personas como somos el día de hoy*”. No hay dibujo ni esquema.

Gianfranco:

Dibujó un dinosaurio en toda la hoja y colocó la palabra *Dinosaurios*. Es muy común que los chicos relacionen el término evolución con los dinosaurios, considerando como evolución algo que ocurrió en el pasado. También se denota aquí la influencia de los medios de comunicación.

Análisis preliminar:

En todas las representaciones de los alumnos de primer año predominaba la tendencia hacia la linealidad y la progresión centrada en la evolución humana, el hombre como punto cúlmine. Se reflejaba la “civilización” incluyendo vestimentas y accesorios y la idea de la progresión hacia la postura erguida y la formación de la “persona civilizada”. Hay casos que confundieron evolución con desarrollo individual y también, cuando se incluyó la temporalidad, aparecieron referencias a seres extinguidos como los dinosaurios, entendiendo que la evolución es algo que ocurrió en el pasado.

En cada cohorte se destacan tendencias y estilos que fueron copiados de alguna manera y siguieron ciertos patrones, pero a pesar de las distintas formas representadas y accesorios hay puntos en común, el más significativo es la linealidad y luego el antropocentrismo con la separación del “humano civilizado” de los demás seres. Si bien nunca se les pidió la inclusión del hombre, siempre se habló de especies y de seres vivo, es muy fuerte la presencia de la evolución humana, del hombre que procede de la transformación del mono. Mito común que forma parte de los conocimientos previos que los alumnos tiene muy arraigados y se transforman en un obstáculo persistente en la comprensión del proceso evolutivo mediante ancestro comunes con diversidad de ramificaciones sin progresión ni tendencia a la perfección alguna.

El contexto social donde bien estos chicos, su formación religiosa y los valores familiares influyen bastante en la construcción de esa visión de la evolución del hombre. Así mismo, no apareció ninguna referencia al creacionismo, aunque sí a la separación del hombre de los demás animales, algo que va a perdurar y reaparecer en pruebas con adultos con formación universitaria o terciaria. .

4. b- La idea de ancestro común y su representación gráfica en alumnos de segundo SB

A los alumnos de segundo de secundaria básica que el año anterior representaron la evolución de las especies, se les pidió que representaran la evolución de las especies, pero se le agregó a la consigna “*por medio de ancestro común*”. La propuesta se dio mientras se estaba desarrollando la secuencia didáctica sobre evolución. Cuando se realizó, los alumnos ya habían dado los contenidos: pruebas de la evolución, el viaje de Darwin y teoría del ancestro común. Todavía no habían visto árboles filogenéticos ni trabajado con representaciones gráficas.

La secuencia didáctica desarrollada posee los contenidos propuestos para segundo por el diseño curricular de la provincia de Buenos Aires.

Los que siguen son algunos ejemplos de las representaciones realizadas en tres cohortes.

Año 2010 (2° año Cohorte 1)

Estos alumnos estaban a cargo de la profesora-investigadora en el espacio de Ciencias Naturales, con ella desarrollaron todos los contenidos de la materia. En la segunda unidad didáctica se dieron los contenidos relacionados con evolución por ancestros comunes, allí se

trabajaron los ejemplos aportados por la historia de Darwin, los ñandúes, el avestruz y el emú; los gliptodontes, los peludos, mulitas y además otros ejemplos cercanos a su contexto; el caballo, las palomas, los cánidos...

Durante el desarrollo de esa unidad se tomaron las pruebas.

Belén:

Realizó una secuencia lineal de imágenes con flechas hacia la derecha con explicaciones: “Primera bacteria vivía en el agua. Después vinieron los animales acuáticos. También estaban los dinosaurios que después de una lluvia de meteoritos se extinguieron. Luego que se extinguieron los dinosaurios aparecieron distintas especies como los mamíferos, aves etc. Y luego aparecieron los humanos. Y seguirán evolucionando más especies diferentes a las de ahora.

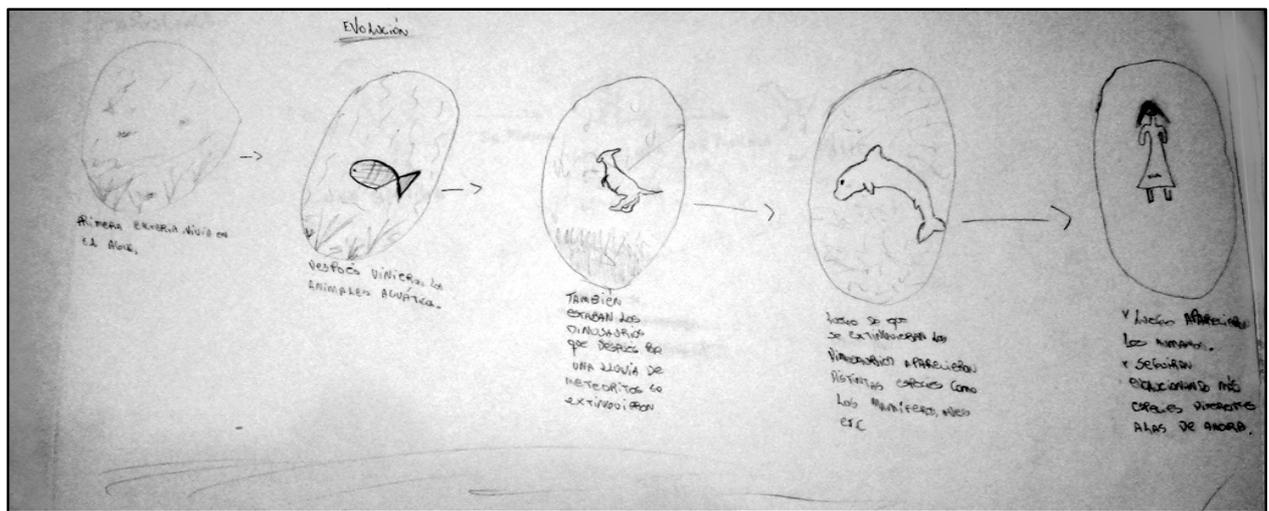


Figura 90

Contó un proceso evolutivo lineal teniendo en cuenta el tiempo y las contingencias, no influyó para ella el pedido del docente incluyendo en la consigna “ancestro común”

Marilén

Ella es una alumna que permaneció tres años en segundo, no tuvo la prueba de primero. Realizó una representación de tres células casi idénticas; de la del medio surgen dos flechas hacia un lado a la que colocó la etiqueta *eucariota* y hacia el otro, *procariota*, aunque las dos son parecidas, debajo explicó: “Es evolución para una célula evoluciona en 2 más desarrolladas” (Textual). Acá muestra la idea de una “célula ancestro”, algo que se va a repetir en varias representaciones.

Laura

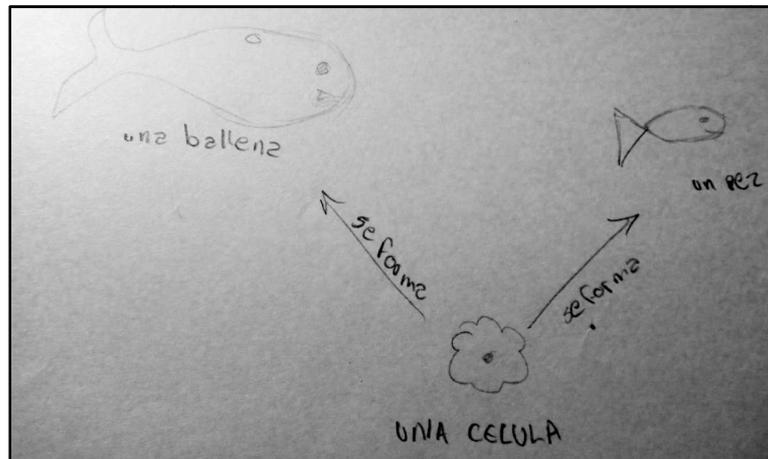


Figura 91

También representó una célula con dos flechas que se bifurcan hacia arriba, en cada flecha incluyó “se forma” y del lado de la izquierda *una ballena* y, a la derecha, *un pez*.

Detrás del dibujo está la explicación: “Una célula se reproduce y da dos especies diferentes y así sucesivamente”.

Carolina

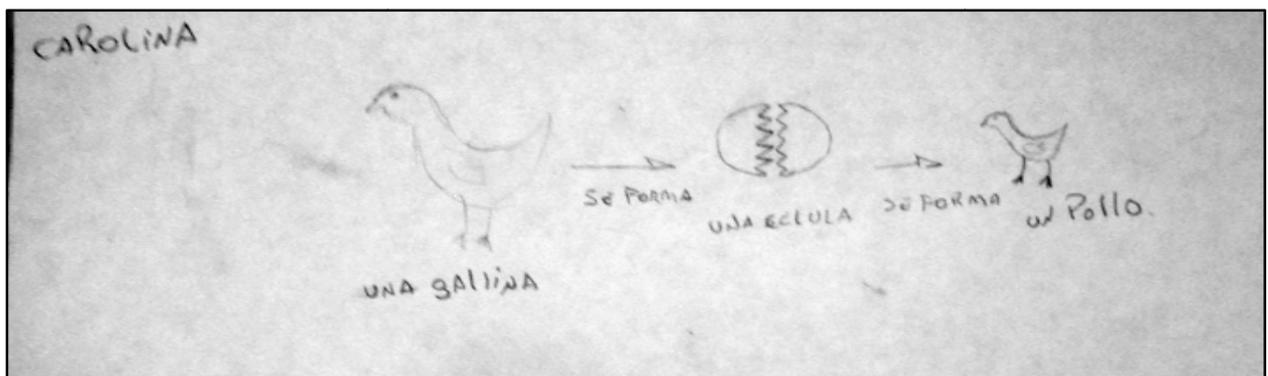


Figura 92

Representó una gallina, un huevo y un pollo con flechas hacia la derecha: “Una gallina” “se forma” (en la flecha) “una célula” “se forma” (en la flecha) un pollo. Otro de los casos que confundían evolución con desarrollo individual que volvió a reaparecer en segundo.

Denisse:

Con el título “*origen evolutivo de las aves*” realizó un dibujo similar al anterior.

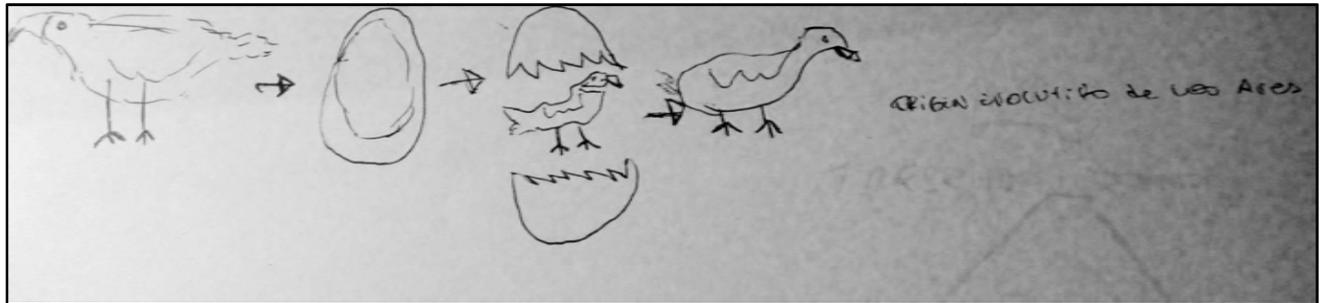


Figura 93

Macarena

Dibujó cuatro peces de diferente tamaño y colocó el título “*Forma acuática*”. No posee flechas ni explicación. Aparentemente hace referencia a la adaptación de la forma al ambiente acuático, pero no está explícito. Macarena tenía graves problemas de aprendizaje y estaba con un plan especial, una adaptación curricular. Tenía problemas para interpretar la consigna y no pudo abstraer la idea del ancestro común, aunque si trabajó con los ejemplos concretos.

Lucila

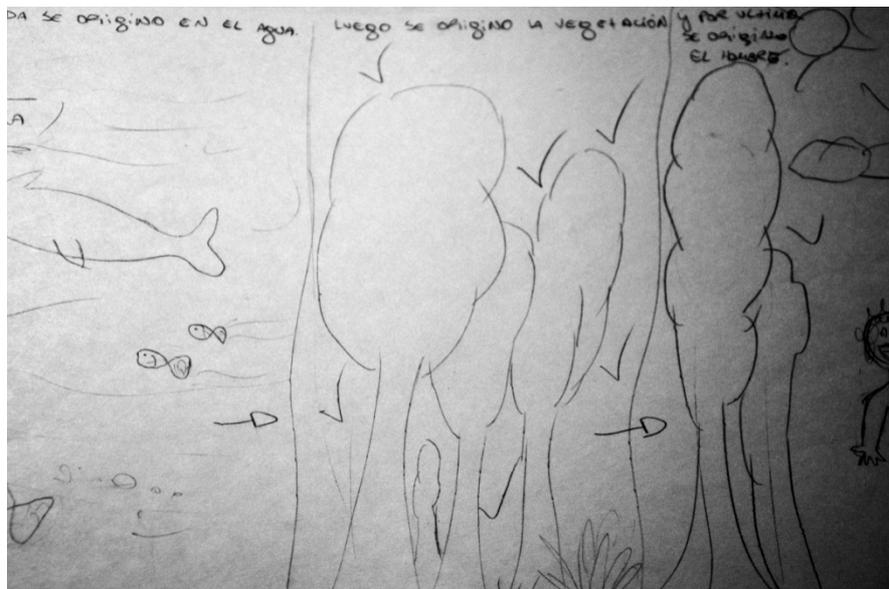


Figura 94

Dibujó una secuencia de tres dibujos unidos por flechas hacia la derecha, en el primero colocó: *“La vida se originó en el agua”* (hay peces). En el segundo: *“Luego se originó la vegetación”* (hay plantas y aves), y en el tercero: *“Y por último se originó el hombre”*.

Tampoco aquí aparece una referencia al ancestro común, tuvo en cuenta el proceso evolutivo lineal, en base al transcurso del tiempo.

Leandro:

Realizó una curiosa representación con muchas rayitas agrupadas y colocó como explicación *“Esto significa la evolución de los seres vivos a través de las distintas eras”*.



Figura 95

Al preguntarle cuando entregó su producción ¿Qué representan las rayitas?, contestó: *“Las rayitas representan a las personas que se fueron reproduciendo a lo largo de los años”*

¿Y las distintas agrupaciones que forman? *“Los distintos grupos muestran los seres vivos que fueron evolucionando en las distintas eras”*.

¿Siguen algún camino? *“Si”* (y marca con el dedo hacia arriba y hacia la derecha).

Si bien en su representación gráfica no demuestra direccionalidad ni linealidad, sí lo hace en su explicación. Es muy llamativo este dibujo, es el único que posee este estilo y Leandro en la primera instancia, en primer año había realizado un dibujo figurativo de un mono y un ser humano que luego repite en la tercer instancia, siendo sólo en segundo cuando realiza esta producción original, que no denota ninguna influencia, ni bibliográfica, ni de sus compañeros.

Julieta:

Realizó un esquema sobre ancestro común con dos flechas que se bifurcan y terminan en “una clase de animal” y “otra clase de animal”.

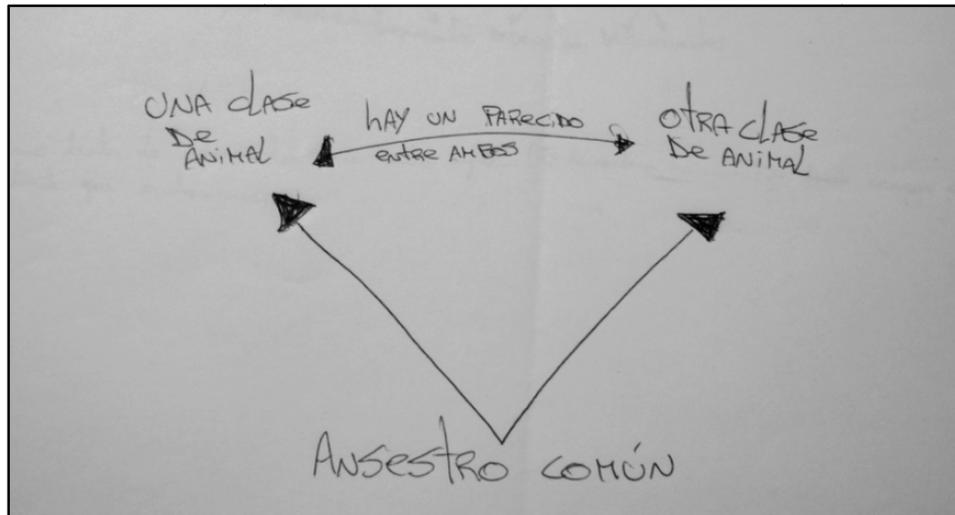


Figura 96

Si bien hay una flecha bidireccional arriba que relaciona a las dos ramas, sólo es indicadora, no sería parte del esquema, por lo tanto se considera un indicio de ramificación, aunque es una representación “muy general”.

Federica:

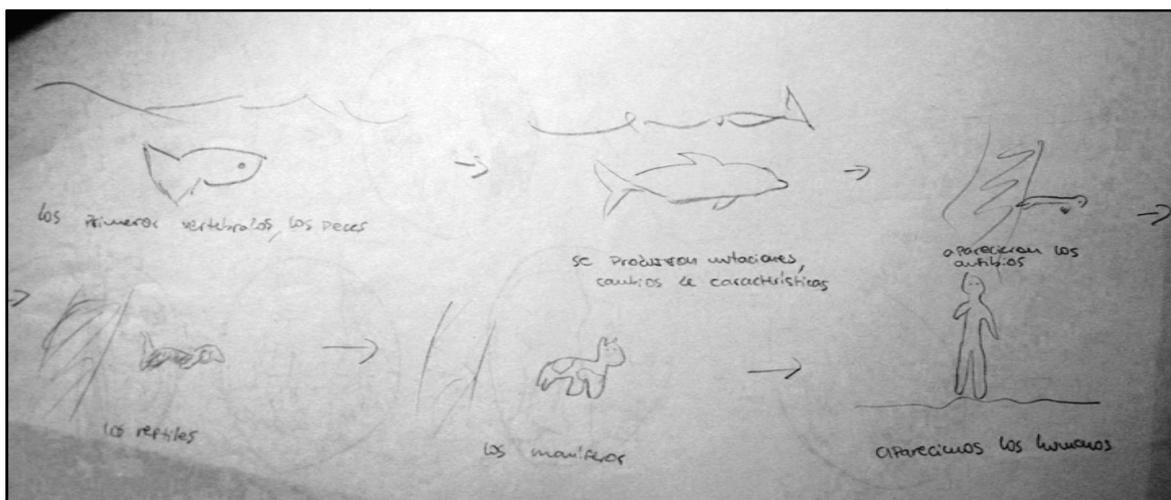


Figura 97

Realizó una serie de seis imágenes secuenciadas (tres arriba y tres debajo) unidas por unas flechas de izquierda a derecha: “Los primeros vertebrados, los peces”, “Se producen

mutaciones, cambios característicos”, aparecían los anfibios”, “los reptiles”, “los mamíferos”, “aparecimos los humanos”.

Las flechas le confieren direccionalidad y linealidad a la representación, que, como tantas otras culmina con el ser humano. Aunque se destaca que la linealidad conlleva un sentido temporal más que un progreso como se presentaba comúnmente en primer año.

Maricel:

Elaboró una representación figurativa no lineal. Hay un sol y un dibujo aparentemente de un charco donde hay puntos, los cuales están señalados con una flecha indicando “*primeras bacterias*” que colocó con “v” corta. Y de ese “charco” surgen flechas, una hacia un dinosaurio en el cual escribió “*se extinguieron por la lluvia de meteoritos*”. Hay dos flechas que no llevan a nada, y otra, “*monos – evolución del hombre- humanos*” y la de abajo señala a un pez en el cual está escrito “*nacieron por la evolución*”. Cada uno de los dibujos, según la flechas surge en forma separada partiendo del conjunto de bacterias primitivas.

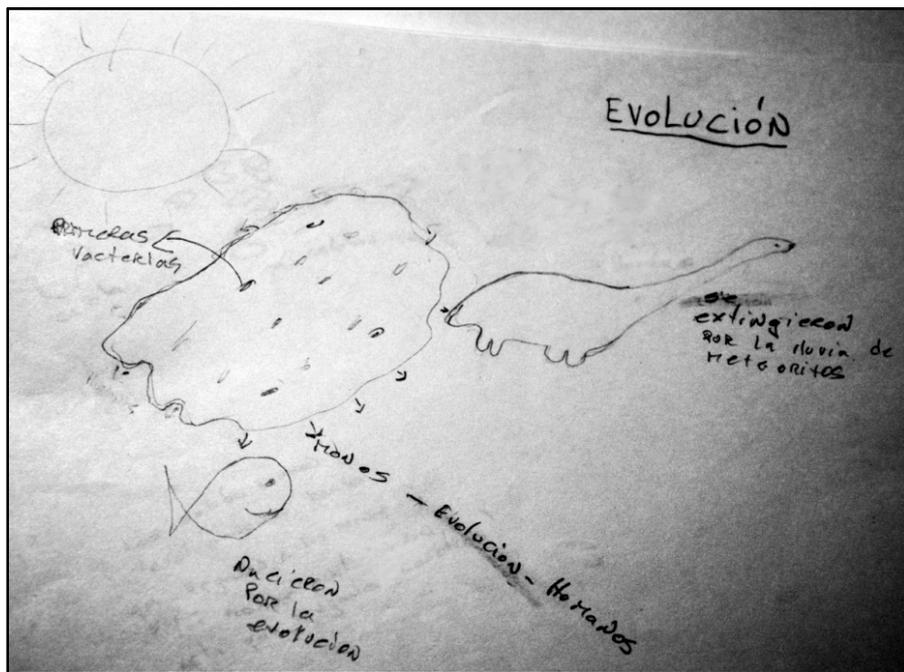


Figura 98

No es una representación lineal en su conjunto, pero si la línea que lleva hacia los seres humanos. Tendencia común que surge al incluir al ser humano en la evolución, desde su transformación a partir de “los monos”.

Pía:

Realizó una secuencia de tres dibujos partiendo la hoja en tres partes, en el primero nubes, sol y el mar, en el segundo unos pastos y en el tercero, figuras antropomorfas.

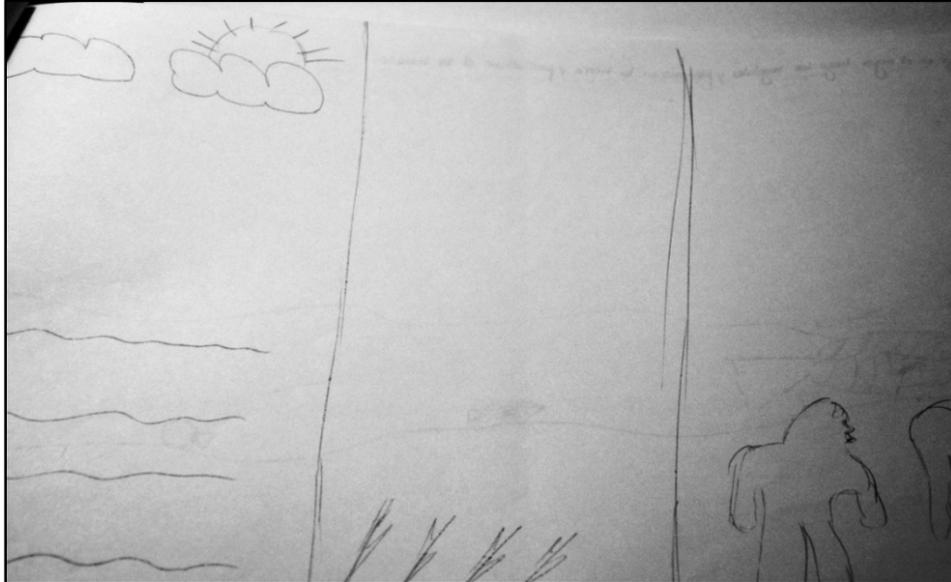


Figura 99

Este dibujo representa una sucesión del paisaje, denota linealidad, pero quizá en relación con la temporalidad, no con el progreso.

Agustín y Lautaro:

Los dos hicieron dibujos similares para explicar especiación por una barrera geográfica: “*el río separó las especies aves negras de las blancas y tienen que cruzar el río para juntarse*” y en el otro dibujo: “*Patos se separan por un mar y reproducen distintas especies entre los que están de un lado del mar y del otro*”

Estas representaciones se tomaron al inicio de la secuencia didáctica sobre Evolución mientras se desarrollaban los contenidos de cambio a través del tiempo, ancestro común. No se evidencia un cambio significativo con respecto a las representaciones del año anterior. Aún continúa la confusión entre evolución y desarrollo individual. Aparecen influencias de la bibliografía como los dibujos de especiación y sólo se esboza la ramificación en dos representaciones. Se sigue incluyendo la evolución del hombre, aunque no se haya dado como contenido, y la idea de progreso y direccionalidad. Se pueden observar tendencias compartidas, tal vez intentando “plagiar” ideas para representar, o bien adoptar dibujos y

esquemas realizados por un compañero carismático con función de líder. Es posible que esto haya ocurrido por evidenciar inseguridad a la hora de interpretar la consigna y concretizarla, o bien por comodidad o persuasión de la mayoría. Aparecen también algunas concepciones originales como la de Leandro que incluyó la noción de evolución en incremento de cantidad.



Figura 100: Dibujos de Lautaro y de Agustín

Cohorte 2 (Segundo Año 2011)

En esta cohorte se incluyó una segunda prueba, que se realizó luego de haber dado los contenidos sobre ancestro común, al finalizar la unidad didáctica sobre evolución.

Primera prueba, 10 de marzo de 2011.

Se les pidió que representaran con un dibujo o un esquema la evolución de los seres vivos y, si es posible que la explicaran. Lo realizaron antes de comenzar a desarrollar los contenidos sobre evolución.

Algunas representaciones seleccionadas:

Lázaro:

Realizó representación lineal desde una célula, muchas células, mono, hasta llegar al hombre.



Figura 101

Es una representación figurativa, bastante infantil, que denota linealidad, direccionalidad y progreso, dado por el tamaño y los detalles.

Candela:

Realizó un esquema con dibujos figurativos mezclando linealidad y ramificación. Lo más llamativo es la bifurcación desde los “*primeros animales*” por un lado los “*homínidos*” y los “*humanos*” y por el otro, “*chimpancé*” y “*más animales*”.

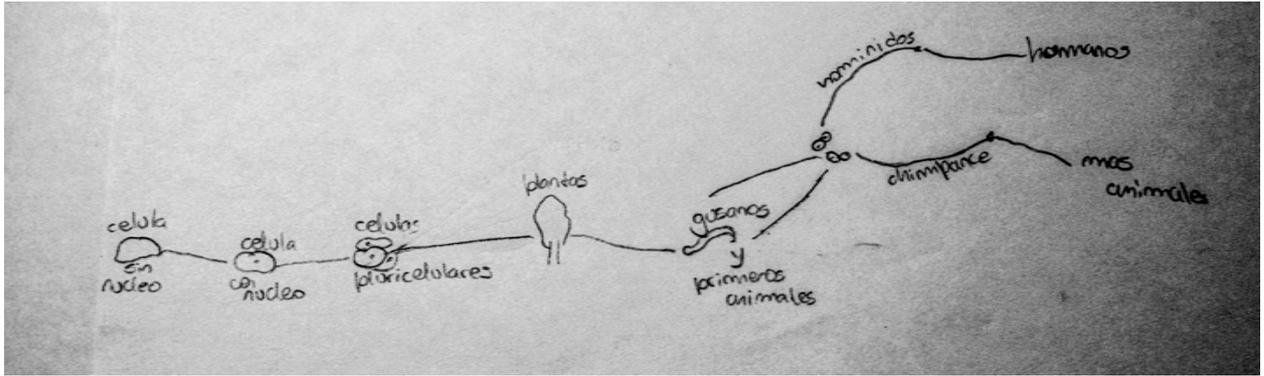


Figura 102

Si bien se podría establecer la linealidad del esquema, al finalizar existe una bifurcación, más que nada intentando separar el proceso de hominización de los “otros animales”

Guada:

Realizó un pequeño esquema lineal (en un rincón de la hoja) desde célula, dos monos, chimpancé, hombre. Utilizó flechas en una sola dirección.

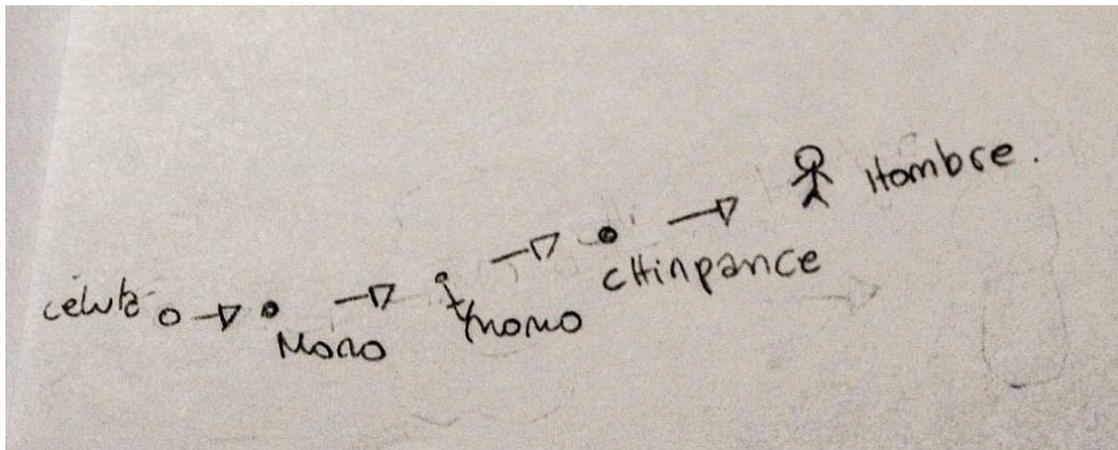


Figura 103

Esquema totalmente lineal que salta de la célula al mono y la evolución humana, arraigada desde primer año.

Rocío:

Hizo una representación figurativa, lineal, del mono al hombre.

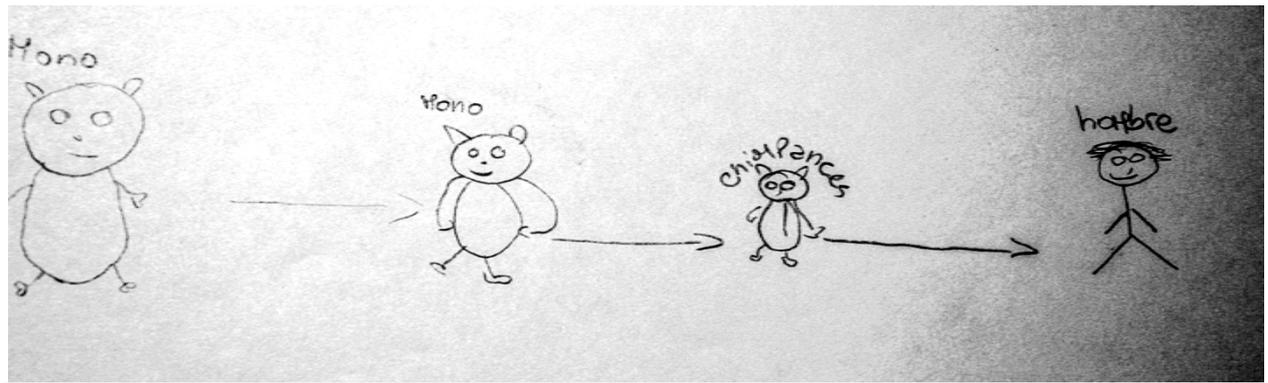


Figura 104

Katherine:

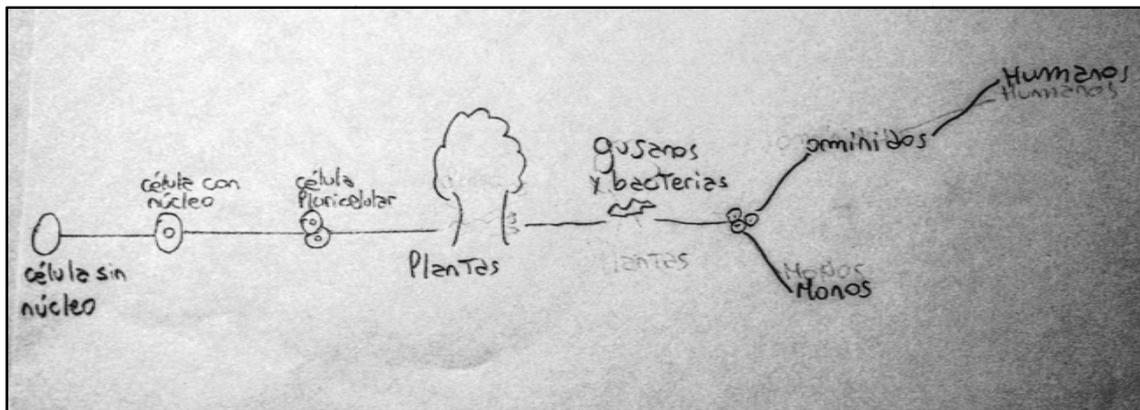


Figura 105

Representación similar a la de Candela, también separando la línea de los humanos de la de los monos.

Rebeca:

Partió de una célula sin núcleo a una célula con núcleo luego “*célula pluricelular*” que aparentemente sirve de nodo donde se ramifica de forma similar que en esquemas de otros alumnos, por un lado los homínidos y el “*ser humano*” y, por el otro, mono y chimpancé.

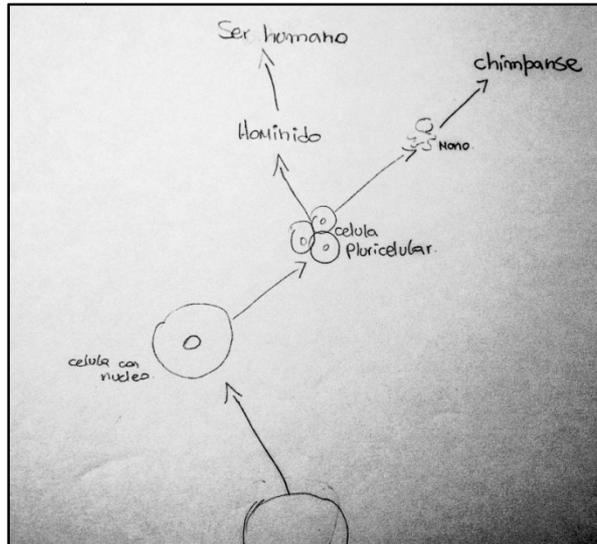


Figura 106

Mili:

También realizó una representación similar.

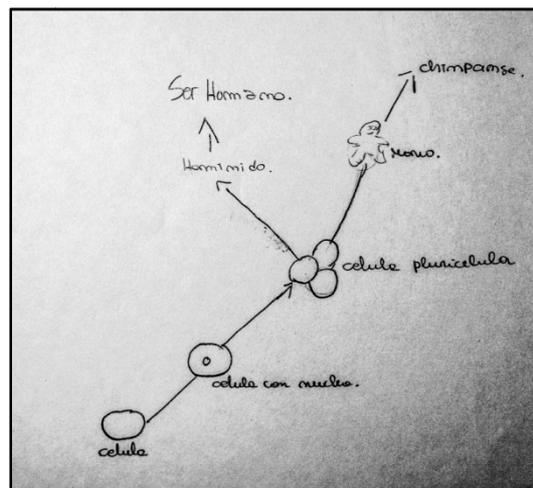


Figura 107

Es probable que la inclusión en la representación de células procariotas y eucariotas se deba a que en la unidad anterior fueron dados esos contenidos, conjuntamente con el Origen de la Vida. En la mayoría de las representaciones se intenta incluir el pasaje de la célula “sin núcleo” más simple a la célula “con núcleo” más compleja y de allí a agrupar células para formar animales y luego el ser humano.

Blas:

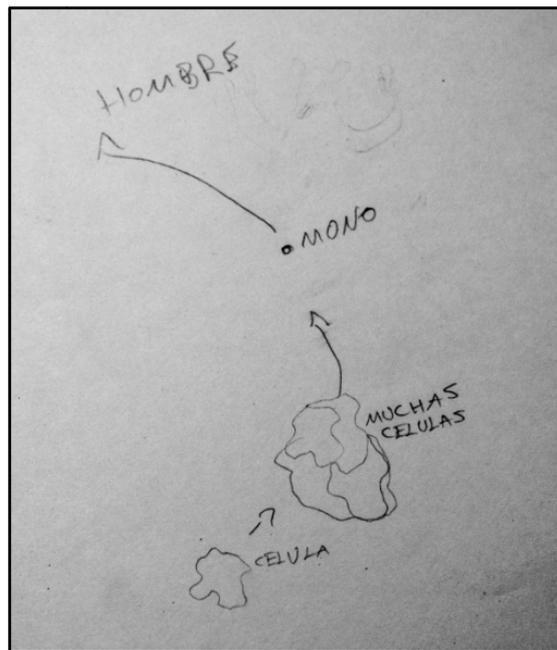


Figura 108

Hizo una representación lineal, también teniendo el punto de partida en una célula, muchas células y luego el mono y el hombre.

Mariana:

Su esquema partió de molécula a células donde se ramifica a plantas, luego animales que se ramifican lateralmente a *mamíferos, peces, reptiles*. Y hacia abajo, *monos, chimpancés homínidos y humanos*.

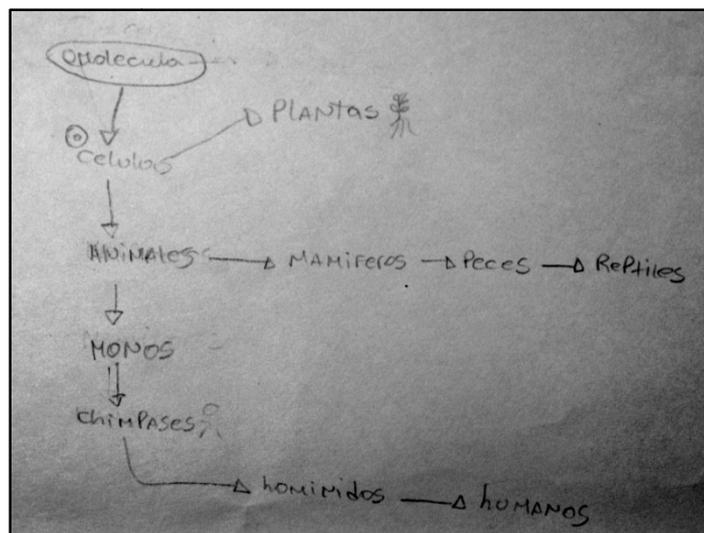


Figura 109

Nico:

Realizó un dibujo también lineal desde la célula pasando por “célula mono”, “empieza mono”, “mono siguiente”, “mono” y “mujer” (esto último es significativo) Además a los tres primeros dibujos agregó una flecha y representó el ambiente.

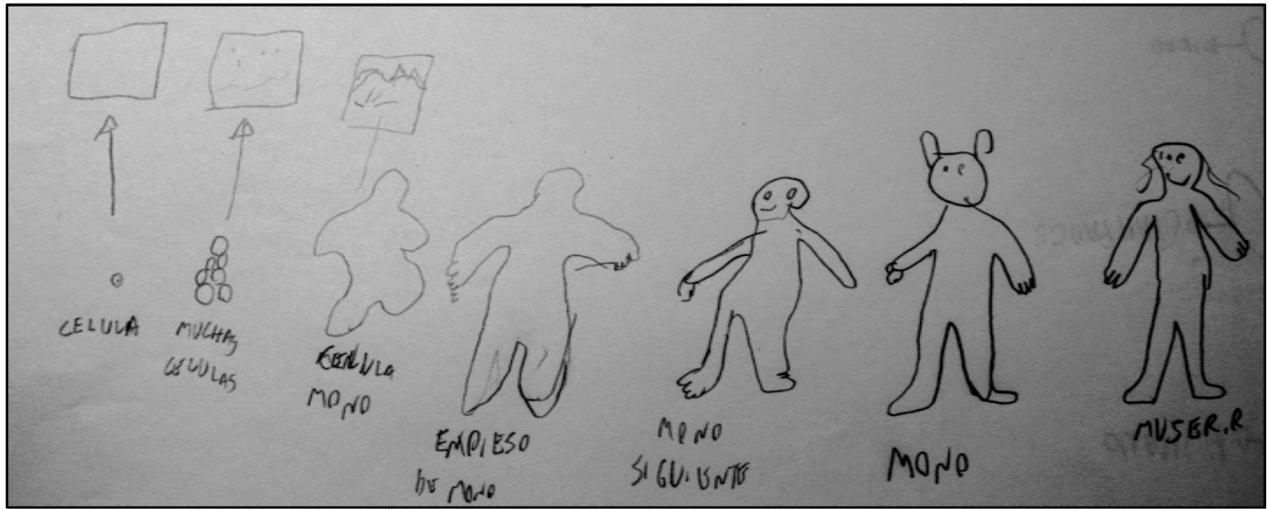


Figura 110

Juan:

Realizó una representación lineal hacia arriba, con el mismo tópico que los anteriores.

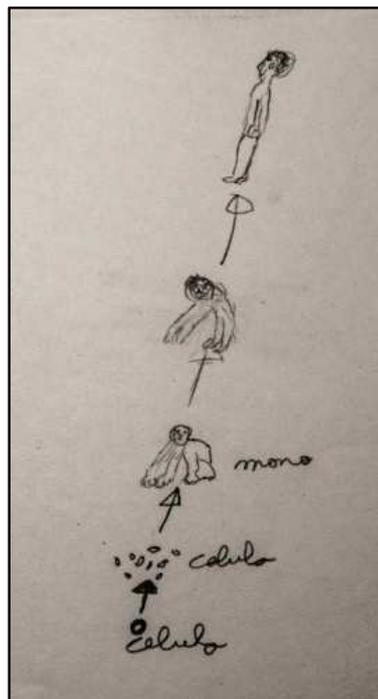


Figura 111

Andrés:

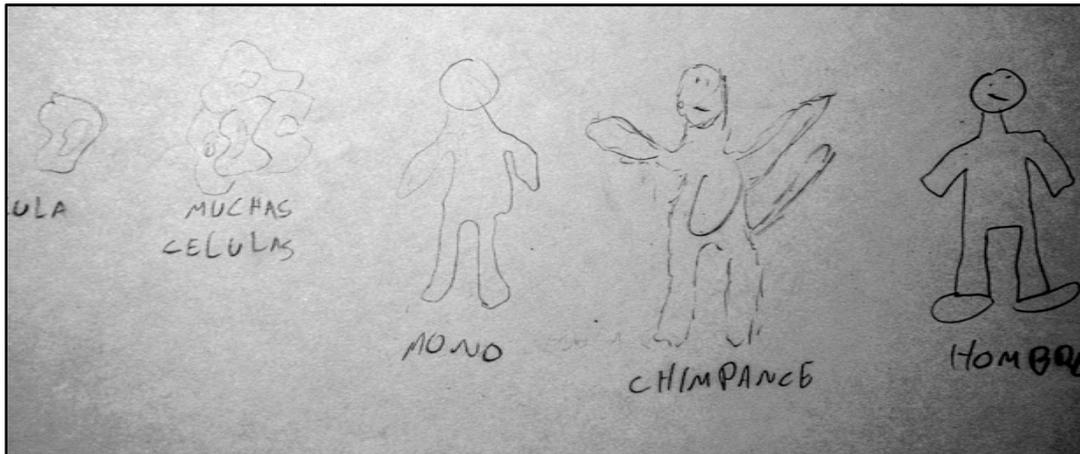


Figura 112

Realizó un dibujo figurativo, también, con los mismos contenidos.

Milagros S.:

Elaboró una representación figurativa lineal desde el mono, pasando por el chimpancé hacia el hombre con flechas hacia arriba.

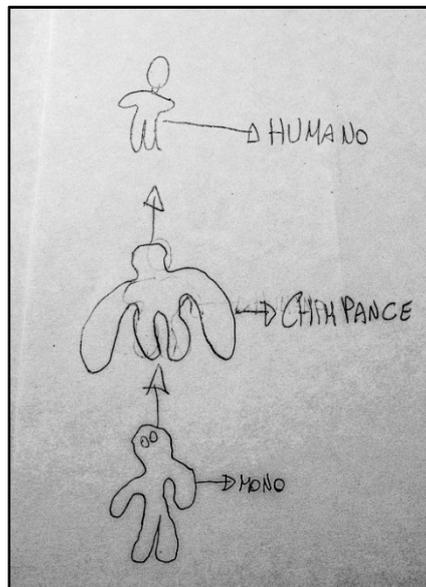


Figura 113

En esta sección de dibujos, si bien no pueden notarse diferencias individuales porque socializaron y tendieron a copiarse la idea, se evidencia marcadamente la tendencia hacia la

linealidad y el antropocentrismo, la separación del ser humano de los otros animales o el punto predominante del proceso evolutivo. Las ramificaciones que aparecen no representan el ancestro común sino diferenciación, más que nada para separar el hombre del mono. Si bien la idea de una célula a la pluricelularidad se mantuvo, le dieron cada uno su particularidad al salto de las células a la evolución humana. La misma estuvo siempre presente aunque no se haya mencionado en la consigna.

Segunda prueba, 03 de noviembre de 2011.

Representaciones de la evolución por ancestro común luego de la unidad didáctica sobre evolución.

En esta prueba se cambió la consigna: “*Representá con un esquema o un dibujo la evolución de las especies. Escribí una breve explicación*”

Habían trabajado el cuatrimestre anterior construyendo árboles filogenéticos en base a la idea del ancestro común.

Lázaro:



Figura 114

Dibujó la evolución del caballo en forma lineal y escribió la siguiente explicación: “*El primero parecía un perro jorobado y fue cambiando de manera tal que llegó el actual*”.

Se evidencia aquí la influencia del libro de texto, que, precisamente repite la representación lineal del caballo, arraigada en la historia de la biología y la paleontología, que como se mencionó en el marco teórico, se divulgó de esa manera para afianzar el gradualismo y el cambio progresivo a través del tiempo, sostenido por la evidencia del registro fósil. Linealidad dada por el criterio temporal, pero que induce a una interpretación transformista y encadenada.

Nico:

Realizó una representación lineal: “La evolución de una célula que pasó a ser un pez”

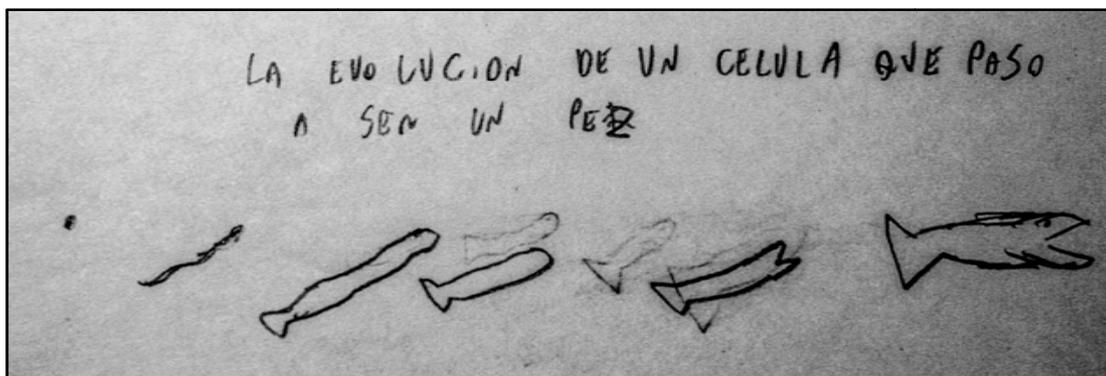


Figura 115

Este tipo de representación no denota ningún cambio con las representaciones de la instancia anterior, es lineal y hay una confusión con desarrollo del organismo.

Guada:

También realizó una representación lineal, pero desde las “partículas” al “pez”, pasando por unos seres indefinidos a los cuales no etiqueta.

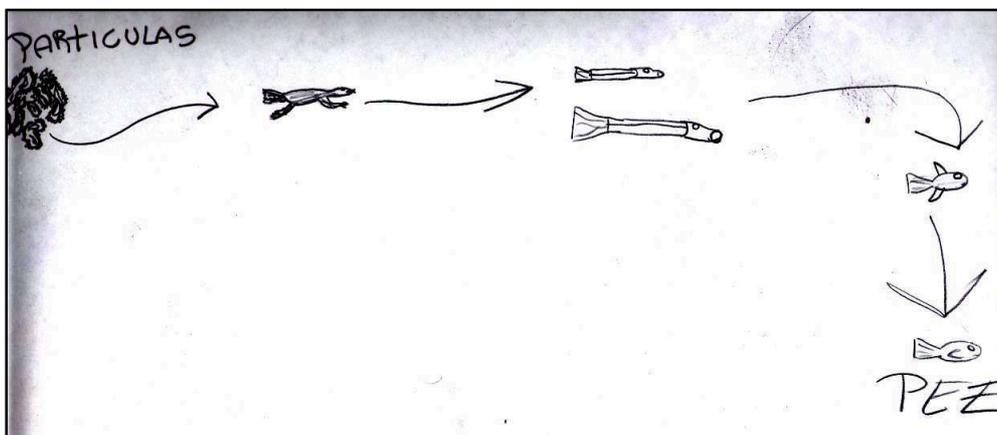


Figura 116

Agustín:

Es uno de los tantos que buscó qué representar en el libro de texto o en imágenes de internet y, como la mayoría, realizó la evolución del caballo. Lo llamativo es que todos la representaron en forma lineal. “Primero salió el eohippus, evolucionó hasta convertirse en un Equus”. Y todavía, luego de los análisis de las representaciones ramificadas sobre el ancestro común que se realizaron durante la secuencia didáctica concluida semanas anteriores, permanecía la idea de transformación lineal.

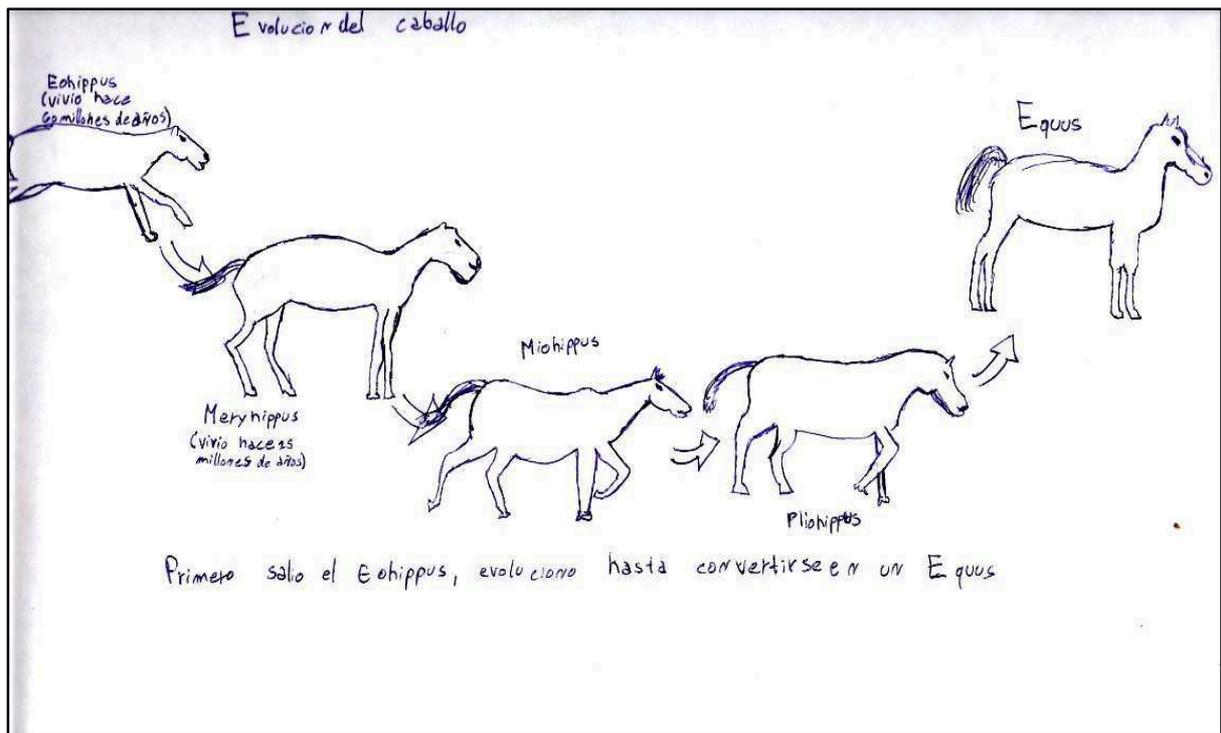


Figura 117

Milagros S.:

También hizo el esquema lineal de la evolución del caballo con los nombres copiados del libro.

“Que el caballo de antes parecía un perro y el de ahora no tiene tanta joroba”.

Juan:

También realizó la representación lineal de la evolución del caballo, pero lo significativo de su esquema es que al principio colocó A.C. (al preguntarle aclaró que es “antes de Cristo”). “Mi explicación es que al principio tenía forma de un perro y con el correr de los años fue tomando la forma del mismo que se encuentra hoy en día”.

Todas estas representaciones son muy parecidas y tienen en común la influencia del libro de texto.

Andrés:

Dibujó a la evolución del caballo y también colocó la explicación “*El primero parecía un perro jorobado y después se fue cambiando de forma hasta el caballo actual*”

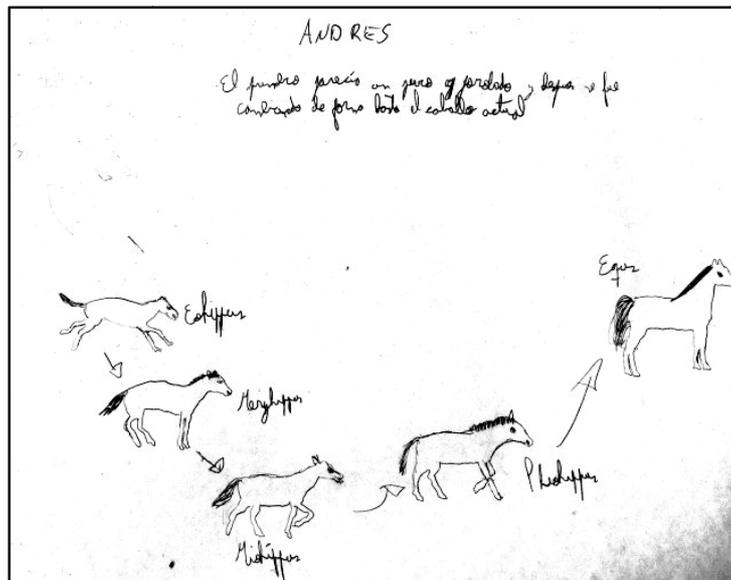


Figura 118

Rebeca:

Realizó el esquema con los nombres y también incluyó la sigla A.C. En la explicación colocó “*Era chiquito, jorobado y no tenía mucho pelo*”.

Idéntica a las anteriores.

Blas:

También dibujó la evolución del caballo “*Mi explicación es que pasa de ser un eohippus a un caballo actual*”

La evolución del caballo fue la preferida de Blas, puesto que él posee caballos y son sus animales predilectos, y él mismo lo manifestó verbalmente, pero aún así su esquema no es original, también toma la idea compartida de buscar en el libro o en internet.

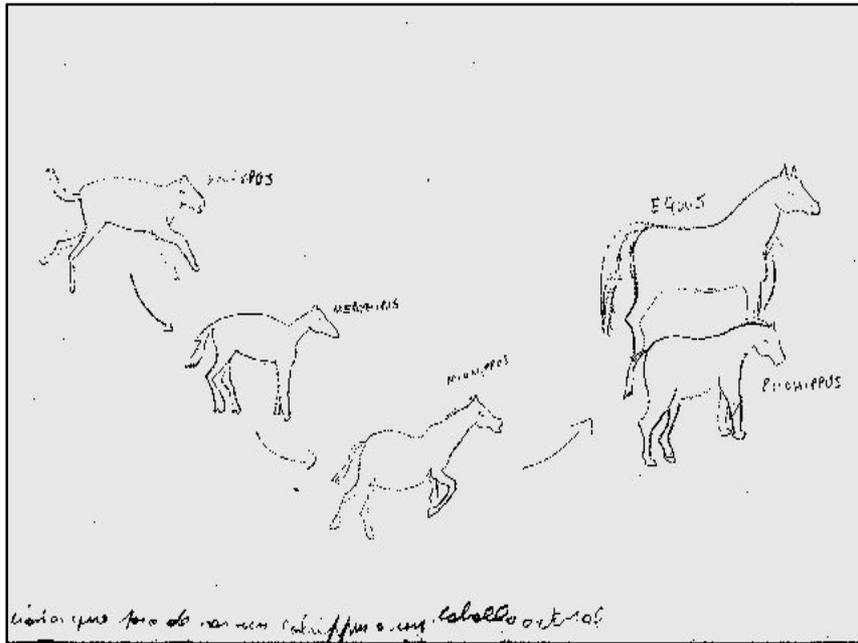


Figura 119

Candela:

Realizó un esquema ramificado copiado del libro o de internet sobre la evolución de los mamíferos. “Este esquema muestra las relaciones y evolución entre algunos mamíferos vivientes”

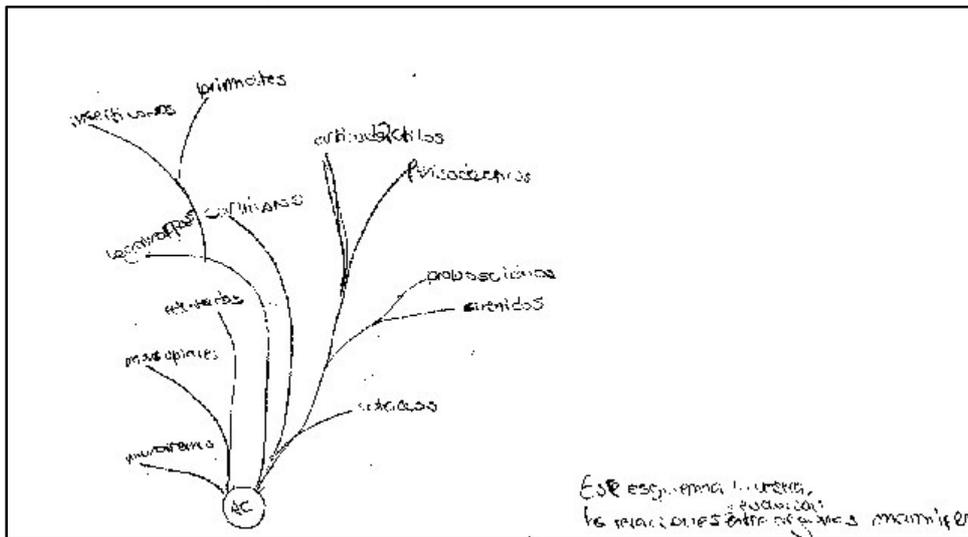


Figura 120

Katherine:

También copió el esquema de las relaciones evolutivas entre los mamíferos vivientes.

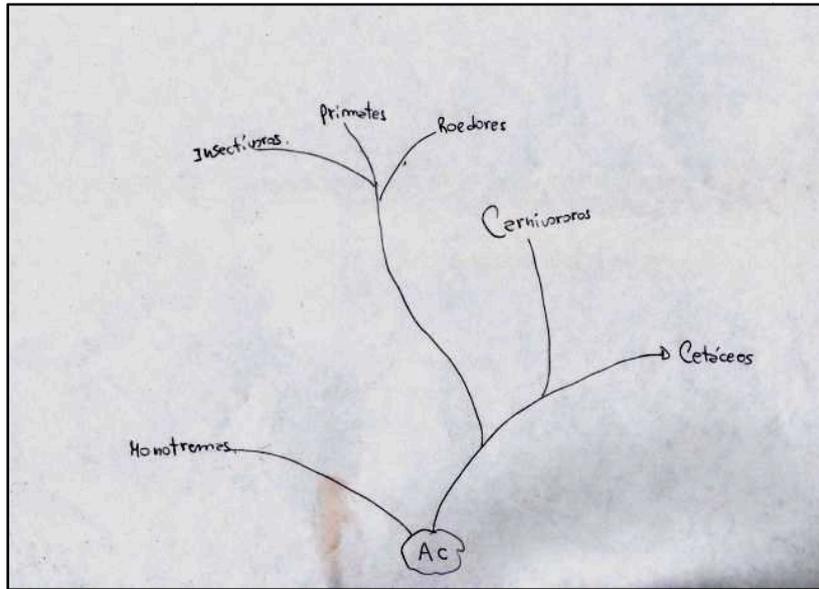


Figura 121

Mariana:

Realizó el esquema ramificado copiado de algún libro o de internet y anotó que “*este esquema representa las relaciones filogenéticas entre los mamíferos*”.

Mili:

Realizó el mismo esquema:

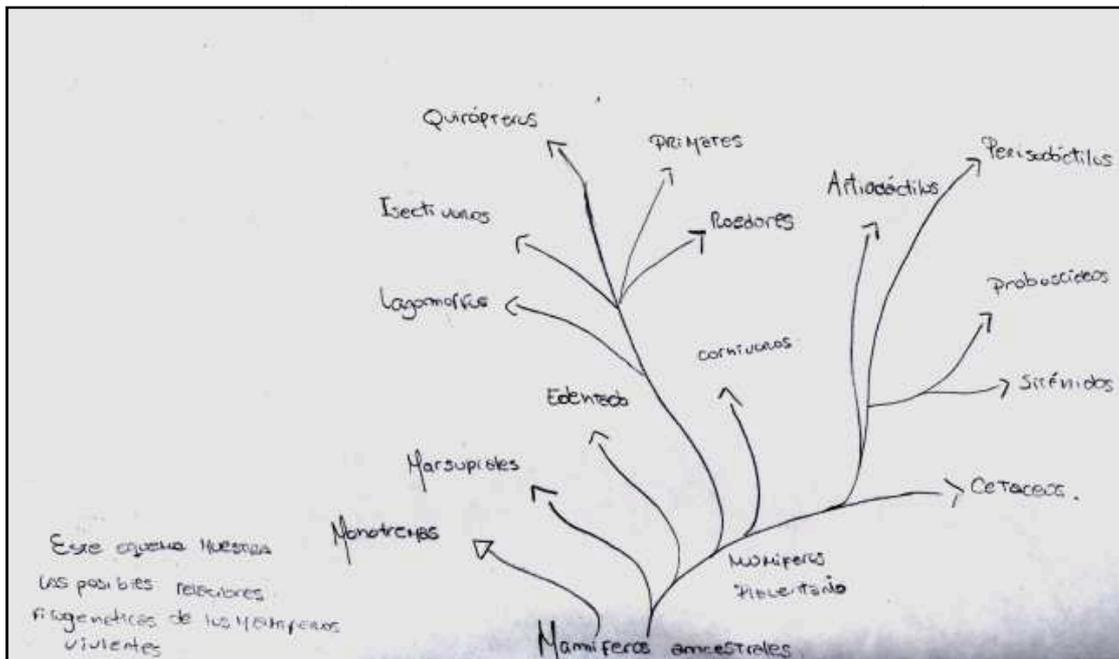


Figura 122

Rocío:

Realizó el esquema lineal de la evolución del caballo y explicó: *“Que el caballo de antes parecía un perro y el de ahora no tiene tanta joroba”*.

Análisis preliminar:

Es significativo en estas representaciones (que realizan luego de haber tenido la secuencia didáctica sobre evolución donde se trabajó ancestro común y la manera de representar las relaciones por medio de ramificaciones) se continúe teniendo la representación lineal y existan tendencias a copiar por grupos una “idea”. Son pocos las producciones individuales y espontáneas, se buscó copiar y socializar para legitimar de alguna manera su representación.

Es llamativo ver la representación lineal elegida para la evolución del caballo siendo que se trabajó la ramificación que está presente en el texto de Biología, Los procesos de cambio en los sistemas biológicos: evolución, reproducción y herencia de Nuevamente Santillana, edición 2010, página 33. Figura 123. Quizá porque la imagen no aportaba mucha información y los dibujos eran poco detallados, se eligió copiar una de mayor impacto, mostrándose encadenada, direccionada de izquierda – derecha y con los caballos con más detalles y coloridos; además con información de sus nombres completos, características y la antigüedad.

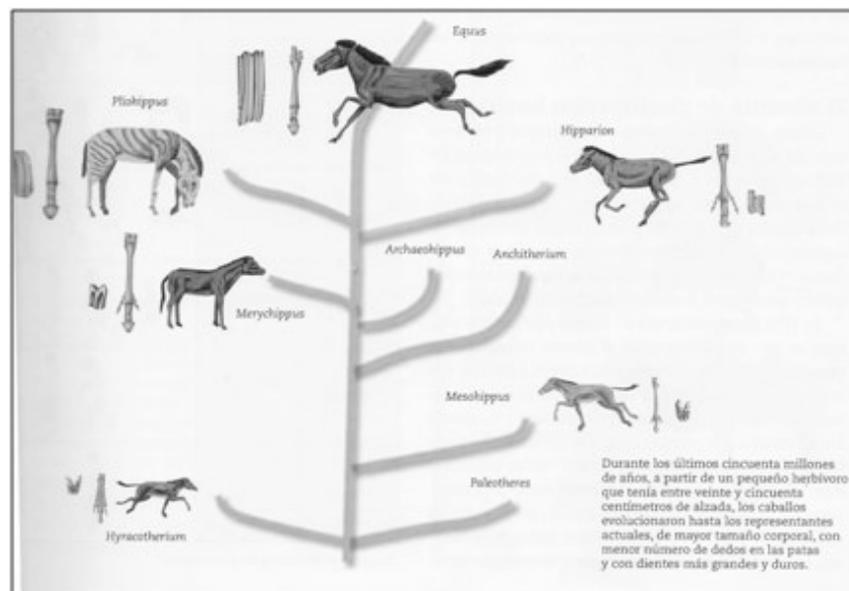


Figura 123: Imagen del árbol con tendencia progresiva, libro Nuevamente Santillana, 2010.

La o las imágenes originales que tomaron como referencia no se conocen; es probable que las hayan extraído de internet con su celular o bien del material aportado por ellos durante la secuencia didáctica, durante la cual también se trabajó con libros anteriores de tercer ciclo de EGB.

En todos los libros de texto observados en la biblioteca de la institución y que estuvieron al alcance de los alumnos, está la representación de la evolución del caballo. Ésta se repite desde que se incluyeron los contenidos de la teoría evolutiva en 1996. Derivada de la imagen que realizara Osborn a principios del siglo XX, que se popularizó influyendo en la consideración de la evolución progresiva y lineal, como fue analizado en el marco teórico. Esta imagen de alto impacto en los alumnos conlleva a afianzar sus obstáculos implícitos en la concepción de la evolución, impidiendo la sustitución de la representación como una deriva ramificada por medio de ancestros comunes, sin dirección predeterminedada, ni en pos de progreso, ni como transformación de especies.

Los alumnos tienen la tendencia a persistir en sus concepciones, las cuales replican de alguna manera, los obstáculos epistemológicos que se presentaron a lo largo de la historia de la ciencia y que se transforman en obstáculos de enseñanza-aprendizaje en el contexto áulico.

El imaginario colectivo, el sentido común influyen a la hora de construir una imagen figurativa o esquemática, de allí la preponderancia de la visión lineal frente a la ramificada que es la aceptada por la ciencia actual y la que fue instruida en clases anteriores.

La representación del “Ancestro común” en segundo ESB 2012

La toma de las muestras se realizó luego de que el docente explicara en una clase ancestro común con el ejemplo del ñandú, avestruz y emú, mostrándoles fotos y contando el relato de Darwin de los gliptodontes fósiles y su probable parentesco los armadillos vivientes, también con imágenes.

La clase siguiente se les pidió que representaran la evolución de las especies mediante ancestro común. Se aclaró que podía ser esquema o dibujo y también, ante las preguntas de los alumnos, se les dijo que podían incluir las “especies que quieran”.

Estas son algunas de sus representaciones:

María de los Ángeles:

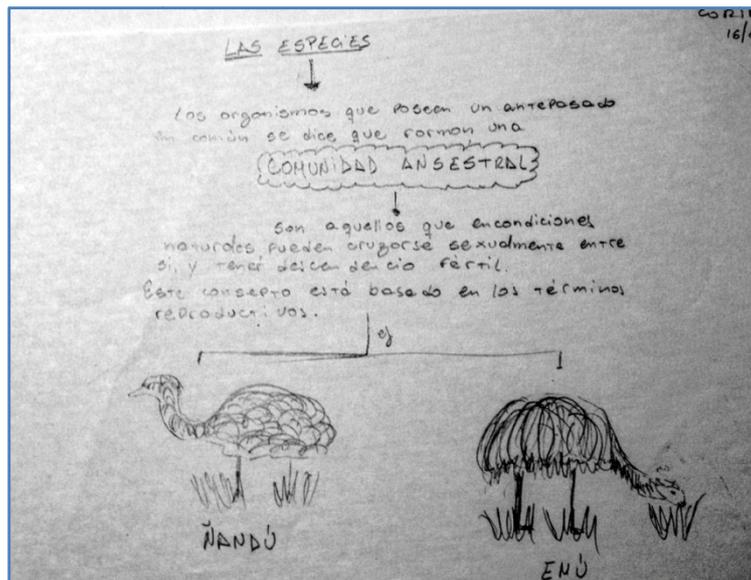


Figura 124

Camila:



Figura 125

Manuela:

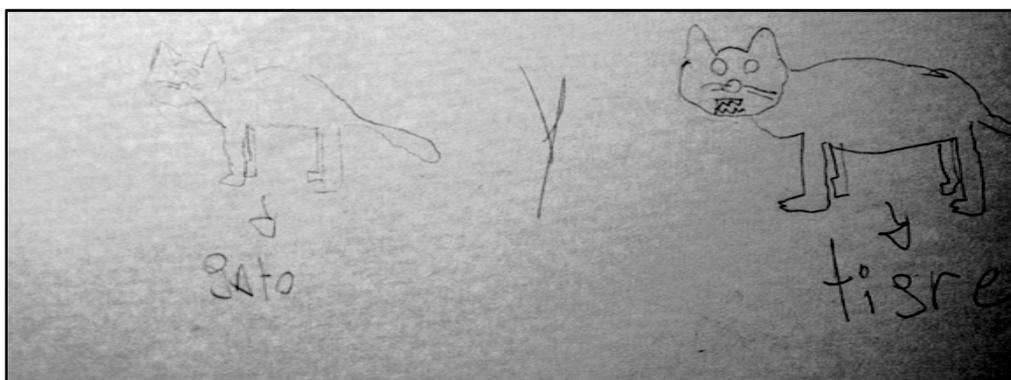


Figura 126

Rocío:

Como Manuela, las dos representaron un gato y el tigre, pero sin hacer mención al ancestro común. Probablemente la flecha en el dibujo de Rocío indique linealidad y origen del tigre en el gato.

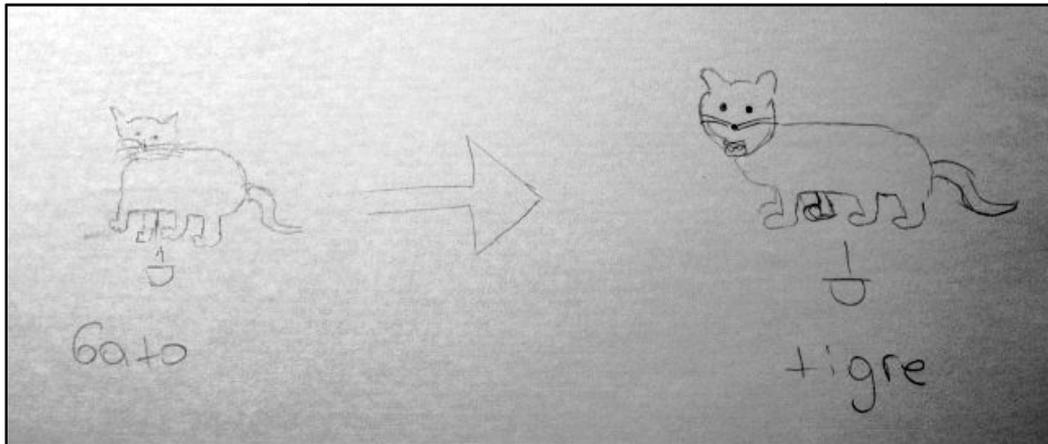


Figura 127

Es significativa la elección de especies y géneros relacionados con animales domésticos como el gato o el perro, que habían sido trabajados mostrando alternativas al árbol evolutivo, pero no identificando ancestros directos. También los dibujos realizados bajo esta línea de representación no denotan ramificación alguna.

Ramiro:

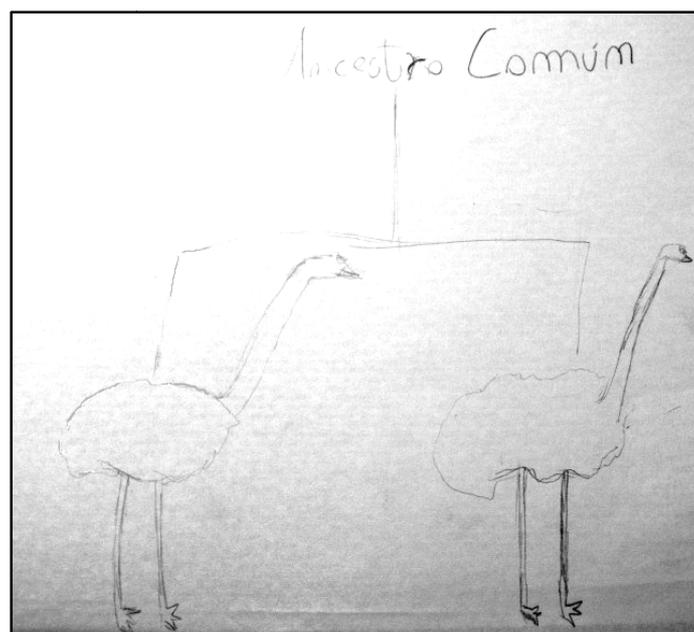


Figura 128

Gianfranco:



Figura 129

Elio:

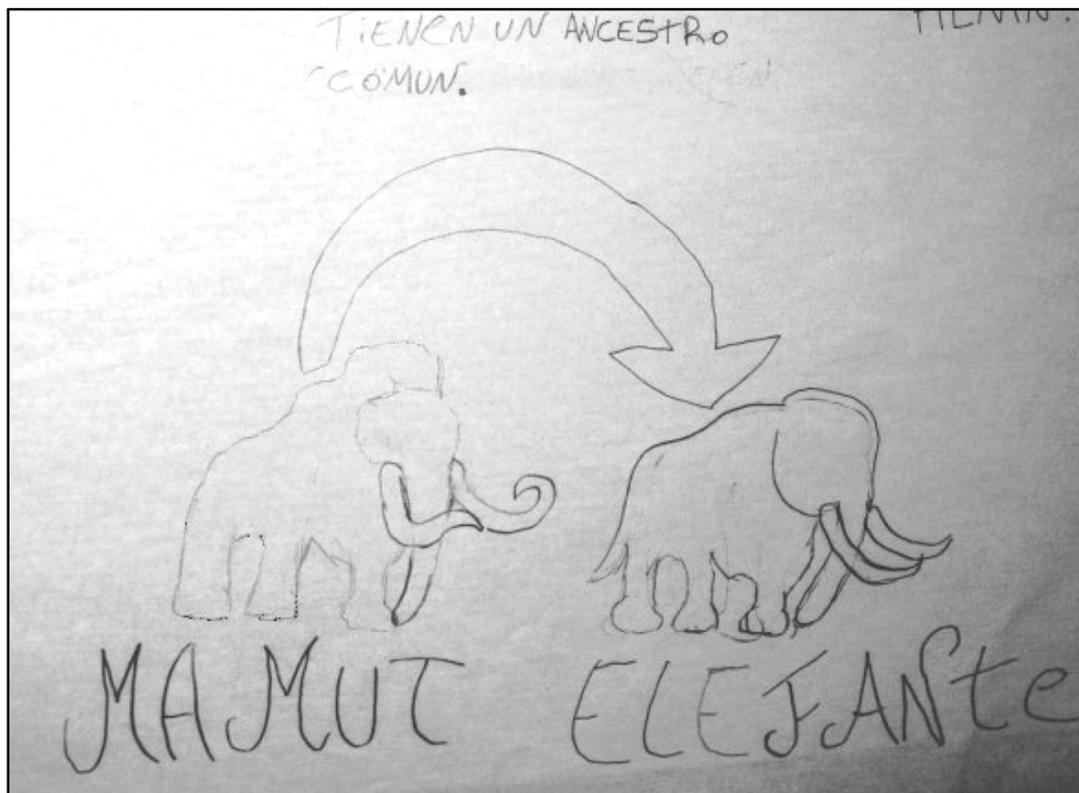


Figura 130

Thiago:

Representa la relación lineal entre el “*tigre dientes de sable*” y el “*tigre*”.

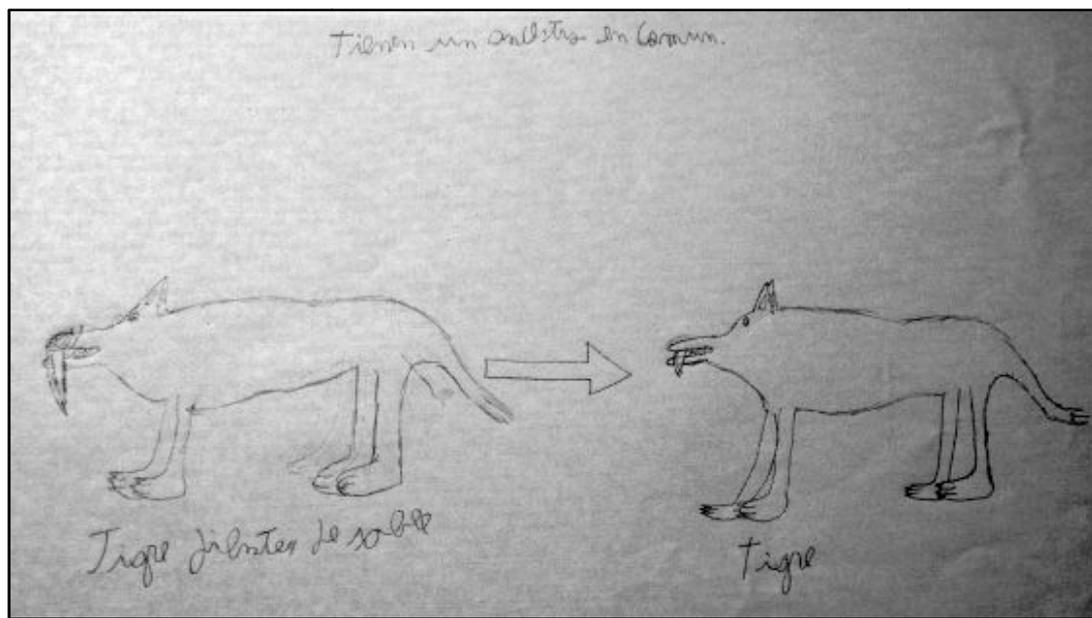


Figura 131

Agustín:



Figura 132

Aquí también persiste la idea de transformación lineal. Y se agrega la temporalidad, expresada en “*antes*” y “*después*”.

Corina:

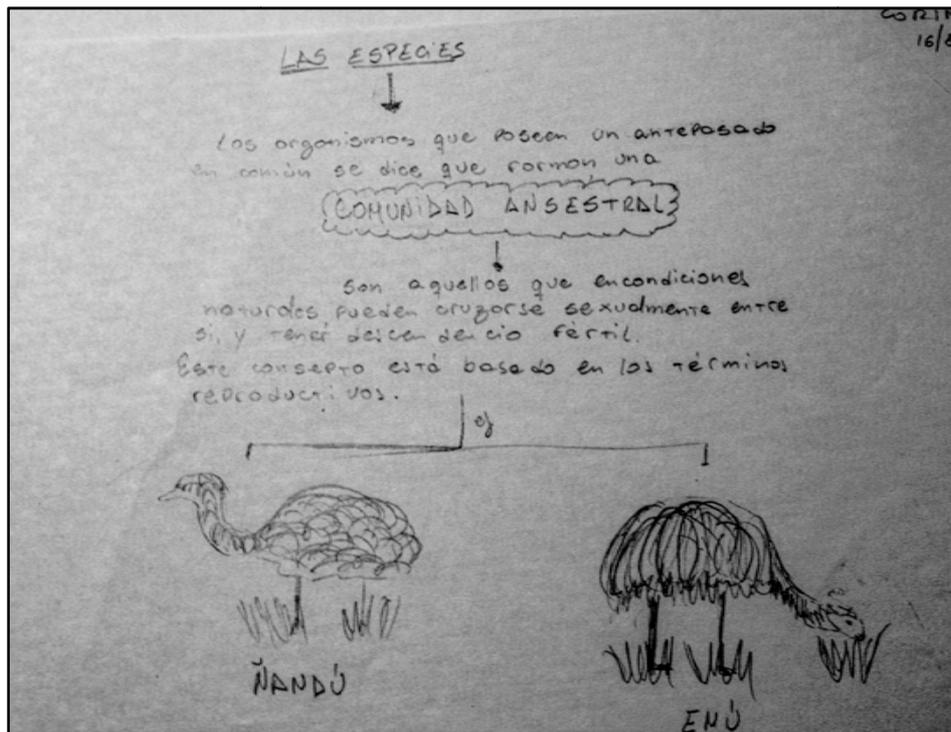


Figura 133

En esta representación se mezcla “la comunidad ancestral” con el origen de especies diferentes como el ñandú y el emú.

Si bien es un esquema ramificado, no establece la relación entre un ancestro y dos descendientes, sino que es un esquema explicativo y las dos especies son sólo ejemplificaciones.

Juane:

Dibuja al elefante y al mamut sin establecer una relación explícita de parentesco.

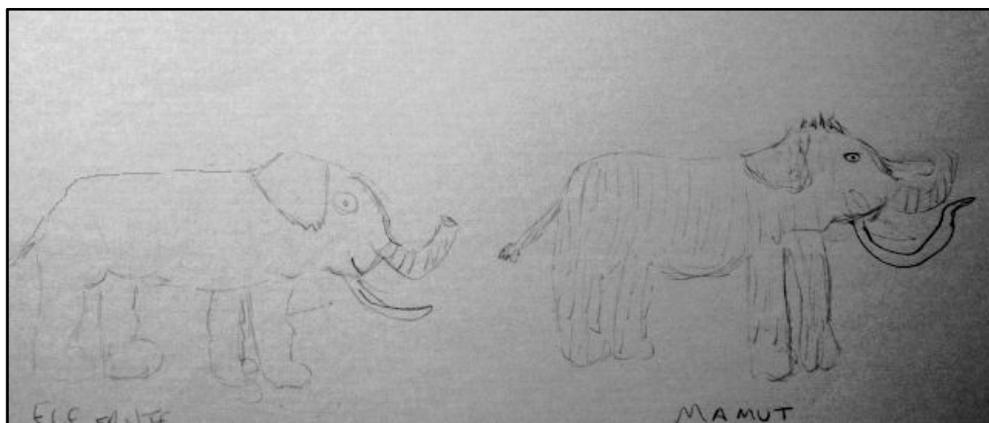


Figura 134

Matías:

Él si expresa mediante una flecha la relación lineal de parentesco entre el mamut (ancestro) y el elefante

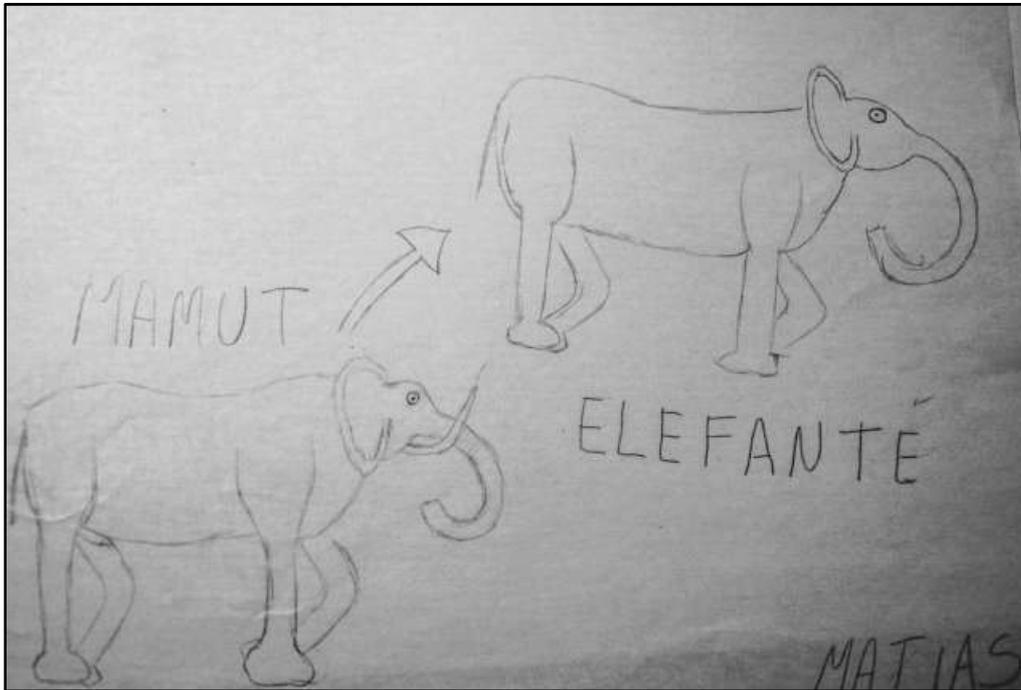


Figura 135

La mayoría de las representaciones, si bien nombran al ancestro común, conservan la linealidad y la idea de transformación de uno en otro, por ejemplo el mamut en elefante, el tigre diente de sable en el tigre actual, etc. En los ejemplos ramificados del ñandú se copió de los apuntes la definición de comunidad ancestral, aunque no es coherente con lo que se quiere representar. También se aprecia la transformación estableciendo temporalidad “antes”, una flecha que expresa continuidad y “después” señalando la forma actual.

En cada cohorte se muestran distintas tendencias compartidas y estilos de representación que son transmitidas y socializadas.

4. c- La representación gráfica de la evolución en alumnos de tercero SB

Estos alumnos tuvieron Ciencias Naturales con la profesora investigadora, pero en tercero ya no tenían contenidos relacionados con la teoría de la evolución por ancestro común. Se realiza el seguimiento para detectar si hubo influencias en la elaboración de esquemas y dibujos haber tenido los contenidos y la práctica de la construcción de árboles evolutivos o bien perdura todavía la representación lineal en escalera, el antropocentrismo y la tendencia al progreso, concepciones muy arraigadas en sus conocimientos previos

Cohorte 1, 3° año, 2011

Son los alumnos a los cuales se les realiza un seguimiento de tres años. Tuvieron su primer aporte en la prueba de 2009 cuando concurrían a primero, en segundo hicieron la segunda prueba y en tercero, la última. Solamente 9 alumnos estuvieron presentes en las tres pruebas, son los que más adelante se realizará la comparación de sus producciones individualizadas

Consigna: “Representa mediante un dibujo o un esquema lo que entendés por evolución mediante ancestro común”

Carolina:

Dibujó una oveja y escribió “*se reproduce la oveja*”

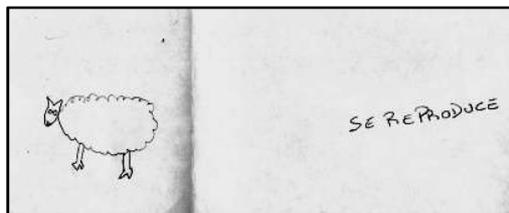


Figura 136

En ese momento estaban dando distintos tipos de reproducción y su relación con la evolución, algo que no explicitó en su dibujo ni en la referencia textual

Macarena:

En forma similar que Carolina, dibujó un caballo y colocó “*el caballo se reproduce*”.

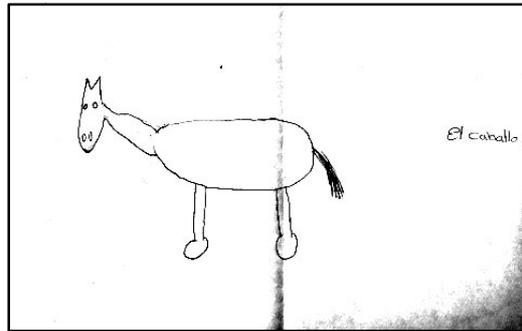


Figura 137

Braian:

Confundió evolución con desarrollo. Dibujó un huevo, un pollo y un gallo y escribió “*del huevo al pollo y del pollo al gallo*”



Figura 138

Lucas:

También representó al desarrollo, en este caso de una planta: “*De la semilla al tronco y del tronco a la planta*”

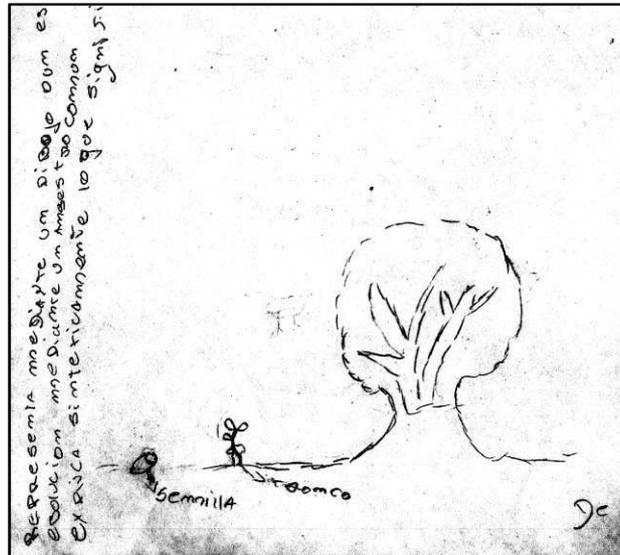


Figura 139

Denisse:

Representó el desarrollo de un delfín e intentó en la explicación relacionar reproducción con evolución: *“Lo que explico es un delfín que mediante viva, crece, se desarrolla, etc., después se reproducen y evolucionan, son mamíferos y vivíparos. Eso es lo que yo entiendo por evolución”*

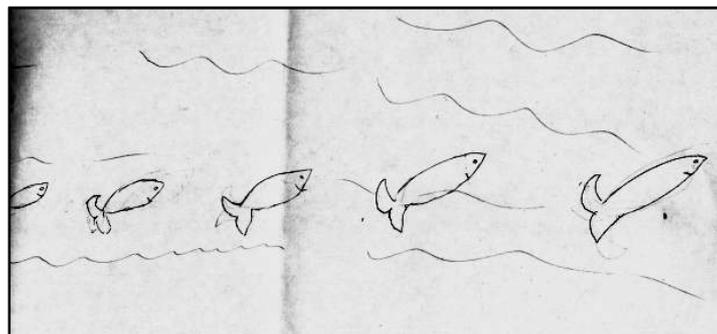


Figura 140

Lucila:

Realizó un dibujo de un árbol, luego un árbol más pequeño, uno más pequeño aún, una plantita y luego semillas. Como una especie de linealidad inversa. Y escribe: *“Este dibujo expresa lo que entendí por ancestro común tomando como referencia los árboles”*

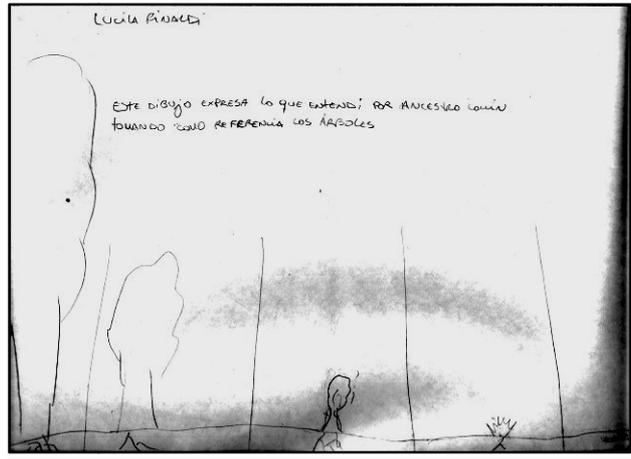


Figura 141

Laura:

Realizó una representación figurativa, lineal direccionada con flechas de izquierda a derecha desde la célula hasta los peces. Explicó: *“Una célula sin núcleo evoluciona hasta desarrollar un núcleo. De las cuales se crea un pez que se desarrolla y se reproduce”*

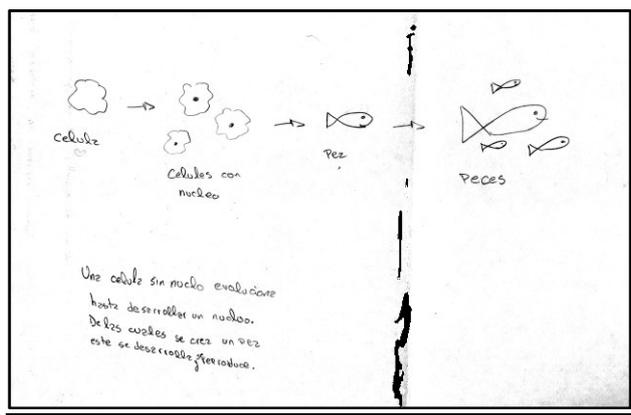


Figura 142

Belén:

Realizó un esquema con dos flechas que se bifurcan desde ancestro común que indican dos descendientes

“En mi esquema traté de explicar que una especie (ancestro común), se cruza con otra y produce otros tipos de animales que evolucionan”

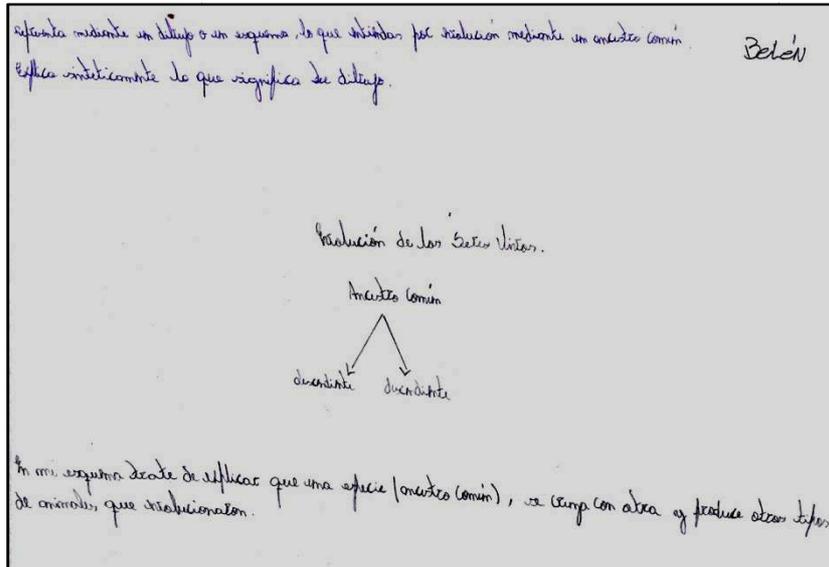


Figura 143

Lautaro:

Dibujó ovejitas aparentemente de distintas razas o variedades y explicó “la oveja fue evolucionando por el pelaje y por el frío”

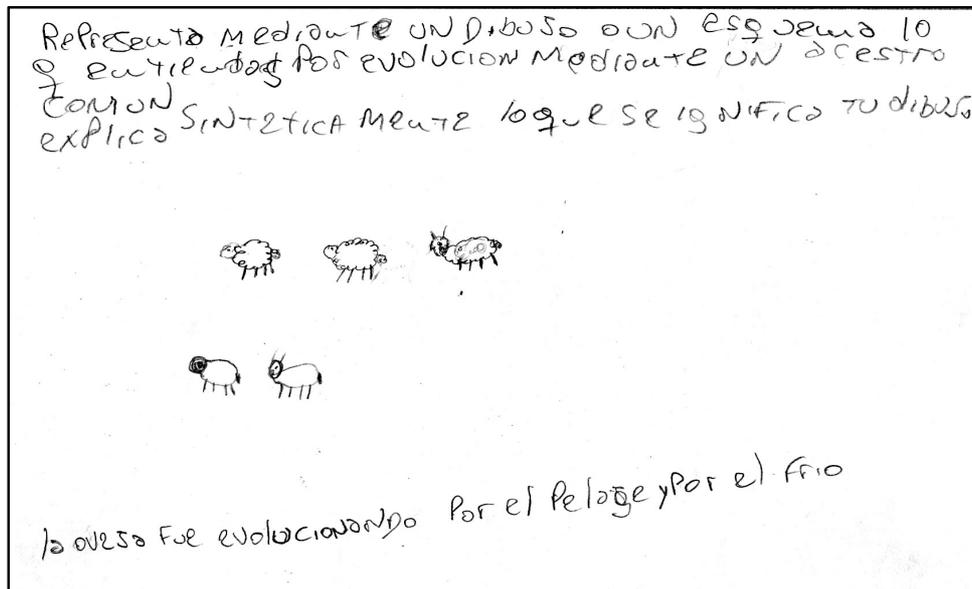


Figura 144

Agustín:

También representó el desarrollo individual de una manera lineal desde el feto hasta el adulto.

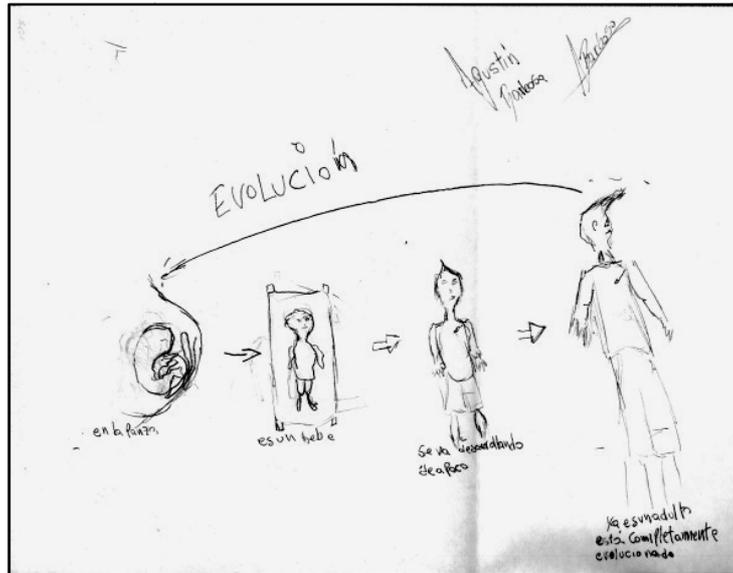


Figura 145

Federica:

Su representación retoma la linealidad aunque indique que hay un “ancestro común” y su explicación es muy significativa, denotando más influencia del sentido común que en los años anteriores, evidenciada además por la inclusión del término “raza”.

“Mi dibujo expresa lo que yo entiendo por evolución, tomando como ejemplo a la raza humana”

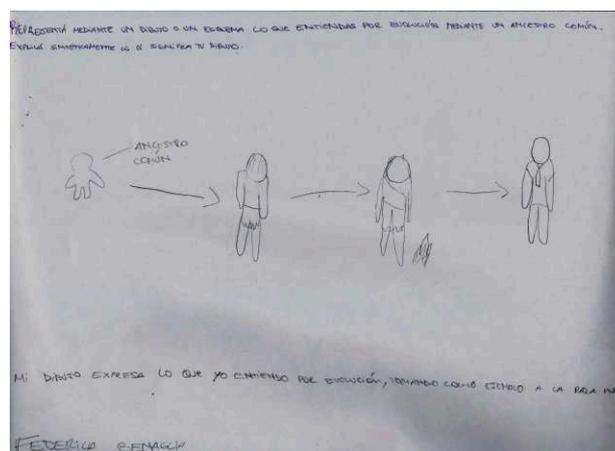


Figura 146

Pía

Representa nuevamente desarrollo individual en forma lineal, desde un pez chico que aparentemente se va transformando en otros más grandes. Quizá, también, evidencien más detalles a medida que se avanza en el crecimiento y la diferenciación.

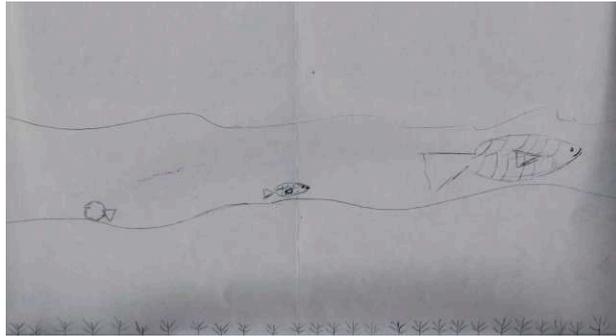


Figura 147

Julieta:

Realizó un esquema ramificado, semejante pero más completo que el realizado el año anterior.

Pero tiene el concepto de generación de nuevas especies por hibridación, coincidiendo con el pensamiento primitivo predarwiniano del origen de nuevas especies por el cruzamiento de otras preexistentes, idea que Darwin también tuvo en cuenta y descartó rápidamente, como vimos en el marco teórico precedente.

“En este esquema trato de representar que una especie (El Ancestro común” se puede cruzar con otras y así generar descendientes que evolucionan”

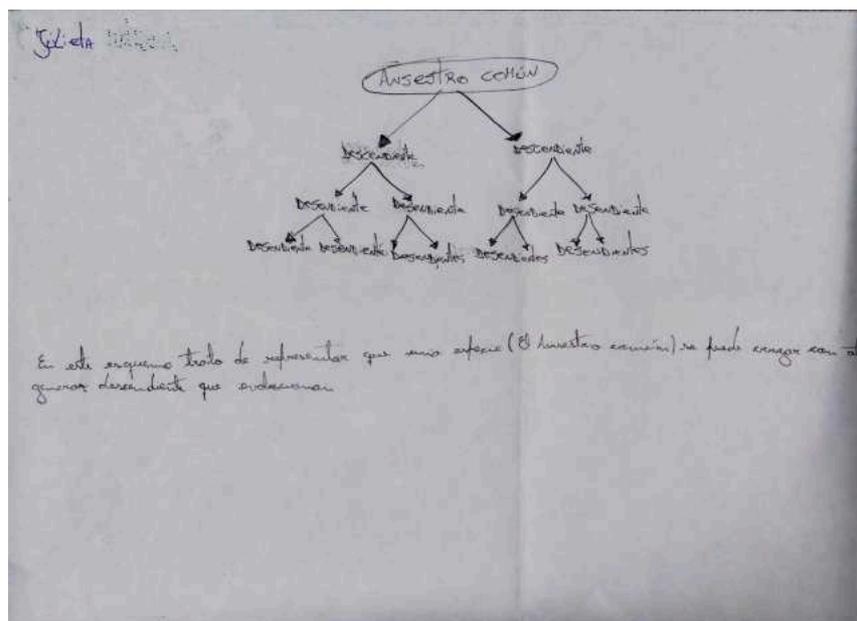


Figura 148

Leandro

Cómo él mismo la manifestara prefirió dibujar el mono y luego el hombre bípedo, regresando a la representación lineal y antropocéntrica, muy similar a su primer dibujo. Aquí agrega la adaptación como influencia de esa evolución a través del tiempo.

En su explicación textual dice: “Esto demuestra la evolución del ser humano con el paso de los años y su adaptación al ambiente.”

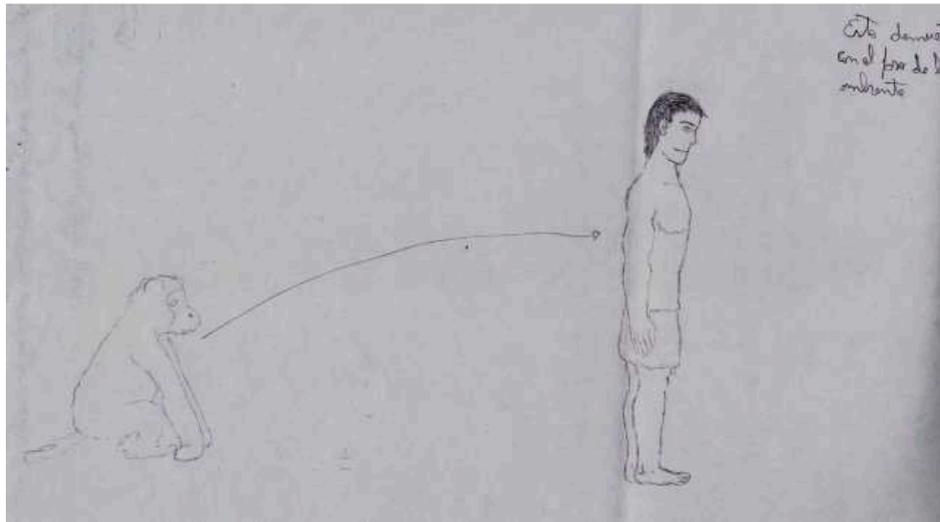


Figura 149

Maricel

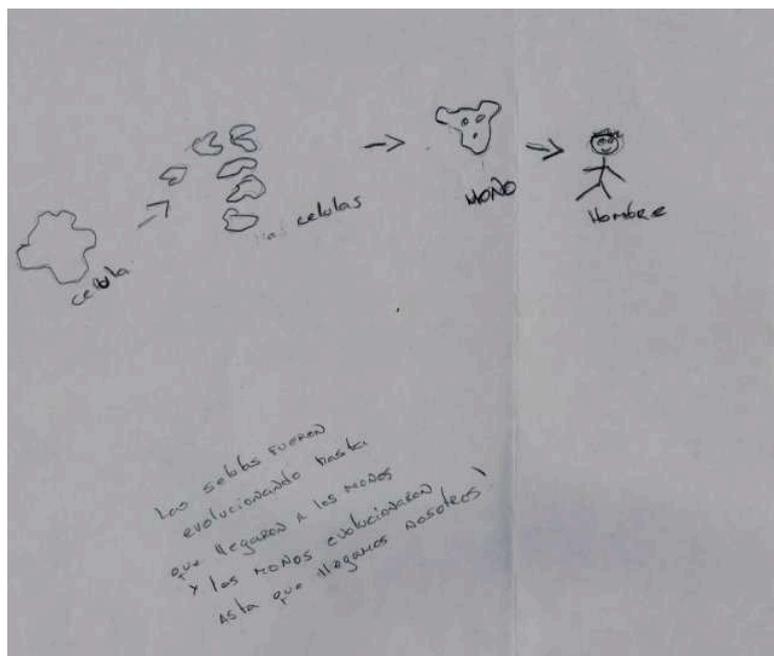


Figura 150

Esta alumna realizó su primera representación lineal en esta instancia y la explicación que puso (sin los errores ortográficos fue la siguiente: *“las células fueron evolucionando hasta que llegaron a los monos y los monos evolucionaron hasta que llegamos nosotros”*.

Reflejando una idea muy antropocéntrica, y además toma como unidad de evolución a las células, algo muy raro, siendo que no toma en cuenta los demás seres vivos.

En este tercero se aprecian variedades de representaciones, y es significativa la aparición de esquemas y dibujos referidos al desarrollo individual. También hay referencias a la adaptación y a la reproducción y los esquemas ramificados no representan árboles ni derivas filogenéticas sino más bien mapas conceptuales.

Es importante destacar la aparición de esquemas y dibujos de la evolución humana, lineal, antropocéntrica como habían sido en primer año.

En la mayoría de los esquemas y dibujos presentados en las dos cohortes analizadas en tercer año no tuvo influencia significativa el haber trabajado en segundo con los árboles filogenéticos.

4.d Comparación individualizada de alumnos que realizaron las tres pruebas:

Se opta por la cohorte 1 por ser la única que no ha incluido copias explícitas de libros de textos o de imágenes extraídas de internet, por ser la que posee más representaciones originales y espontáneas y, además, por poseer más alumnos que participaron en las tres pruebas.

De los diez alumnos de la cohorte 1 (2009-2011), elegida para realizar la comparación de las producciones individuales, sólo lograron cambiar su “estilo” sin volver a repetir el esquema o dibujo de primer año, Julieta, Laura (aunque volvió a la linealidad), y Belén.

Denisse

1ª prueba: Mono – Humano

2ª prueba: Desarrollo lineal, gallina- huevo- pollito. Figura 93.

3ª prueba: Crecimiento de los delfines, de uno pequeño al más grande... Figura 140

Federica

1ª prueba: Dibujo curioso, rocas con una flecha hacia un celular

2ª prueba: Secuencia de imágenes relacionadas con flechas desde los primeros peces, hasta el ser humano, pasando por transformaciones ocurridas por “mutaciones”, según indica en las referencias.

3ª prueba: Evolución lineal tomando como ejemplo la “raza” humana, como explica textualmente.

Comparación de sus representaciones en figura 151.

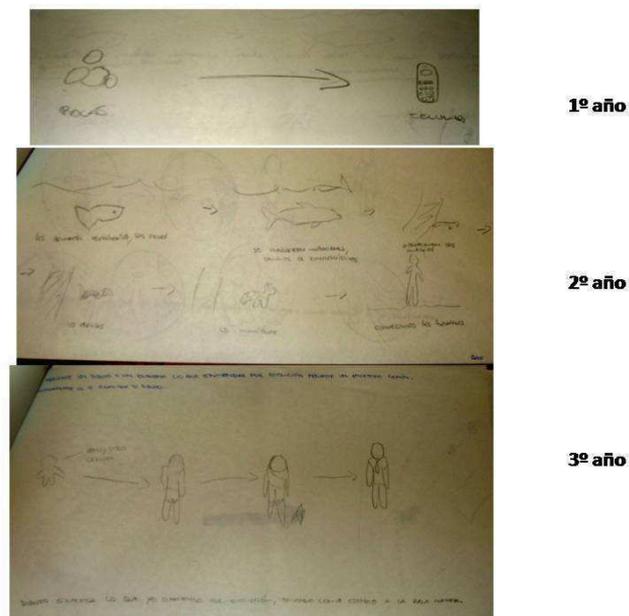


Figura 151

Las tres representaciones no tienen un perfil en común, sólo la linealidad. La segunda es la más completa y la que se relaciona más con la idea de representar la evolución de las especies. La tercera representación, aparte de ser lineal es antropocéntrica e incluye el término “raza” que denota influencias de conocimientos previos erróneos arraigados que no fueron superados.

Agustín

1ª prueba: Del mono al hombre.

2ª prueba: Representación de la especiación. Figura 100.

3ª prueba: Desarrollo humano lineal del bebé al adulto. Figura 145.

Julieta

1ª prueba: Transformación del mono al hombre

2ª prueba: Esquema del ancestro común entre dos “clases” de animales

3ª prueba: Esquema ramificado más complejo de las relaciones entre ancestro común y descendientes, pero que invoca al cruzamiento en la explicación.

Se observa un cambio en sus representaciones, no así en su construcción conceptual. Figura 152.

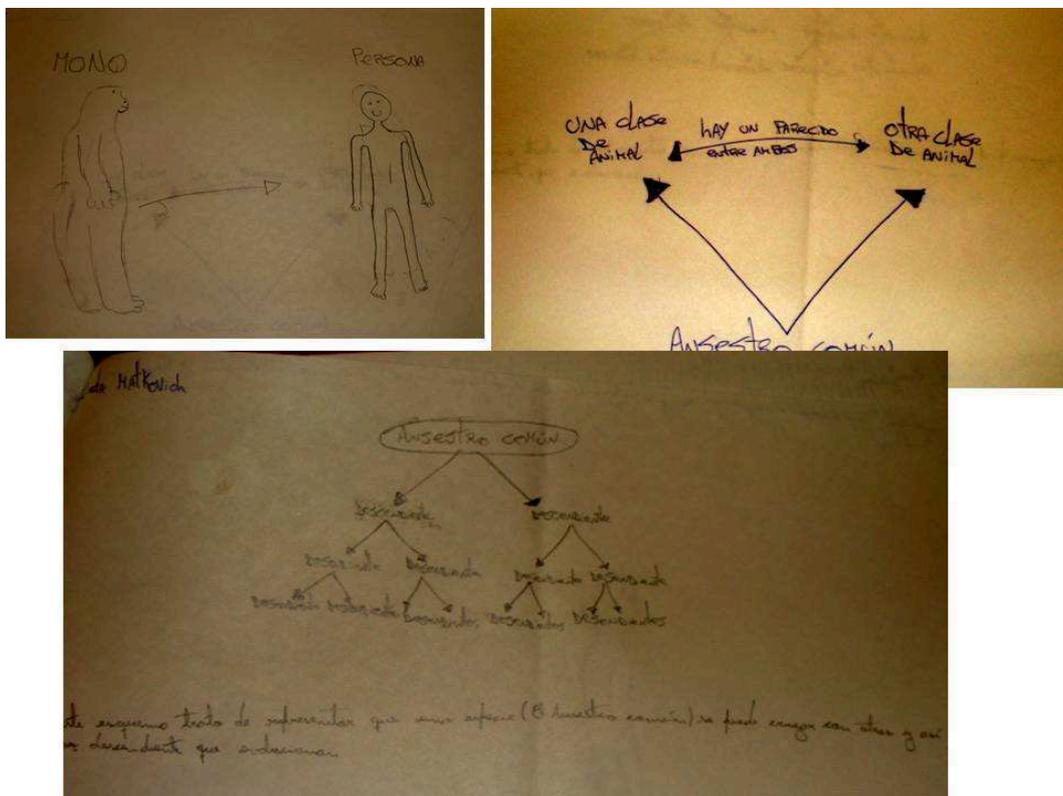


Figura 152

Pía

1ª prueba: Planta con nido con huevos, flecha hacia la derecha, planta con nido con dos pájaros.

2ª prueba: Sucesión en una secuencia de paisajes, en el último incluye imágenes de homínidos.

3ª prueba: Peces, del más pequeño al más grande.

No se evidencian cambios significativos, excepto que en las dos primeras eran secuencias de paisajes. Figura 153.

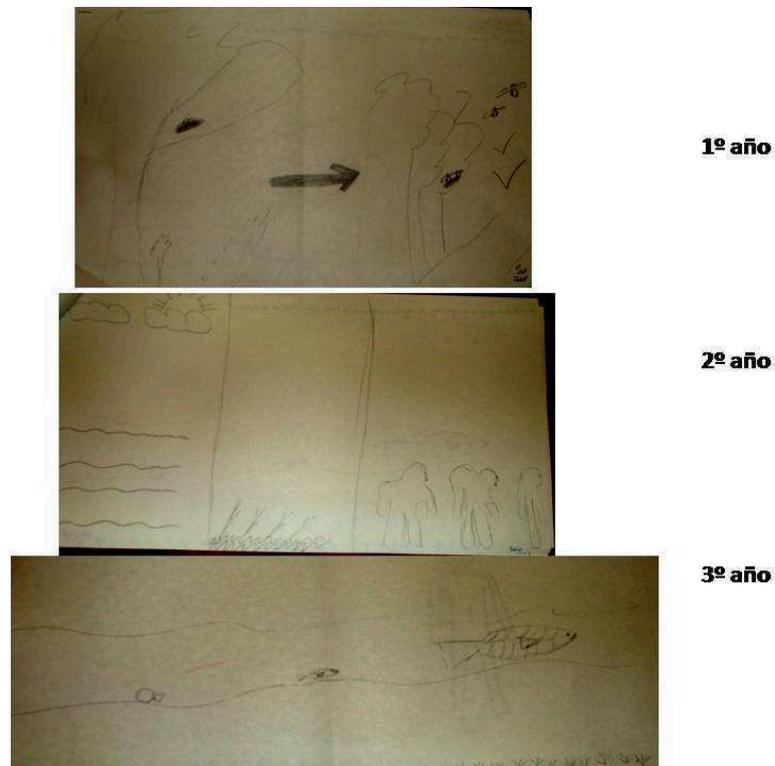


Figura 153

Lucila

1ª prueba: Desarrollo del cocodrilo. Figura 70.

2ª prueba: Secuencia de paisajes. Figura 94.

3ª prueba: Árboles, árboles pequeños, retoños, semillas... Figura 141

Todas sus representaciones son lineales, pero ninguna representa relaciones evolutivas.

Leandro

1ª prueba: Un primate erguido una flecha hacia un hombre.

2ª prueba: Esquema de la evolución de las especies con grupos de rayas verticales que llenan toda la hoja y una flecha hacia arriba con la palabra continua.

3ª prueba: Parecida a la primera representación, excepto que el primate está agachado.

Si bien la segunda imagen era distinta y original, en la tercera vuelve a retomar la linealidad y el antropocentrismo. Figura 154.

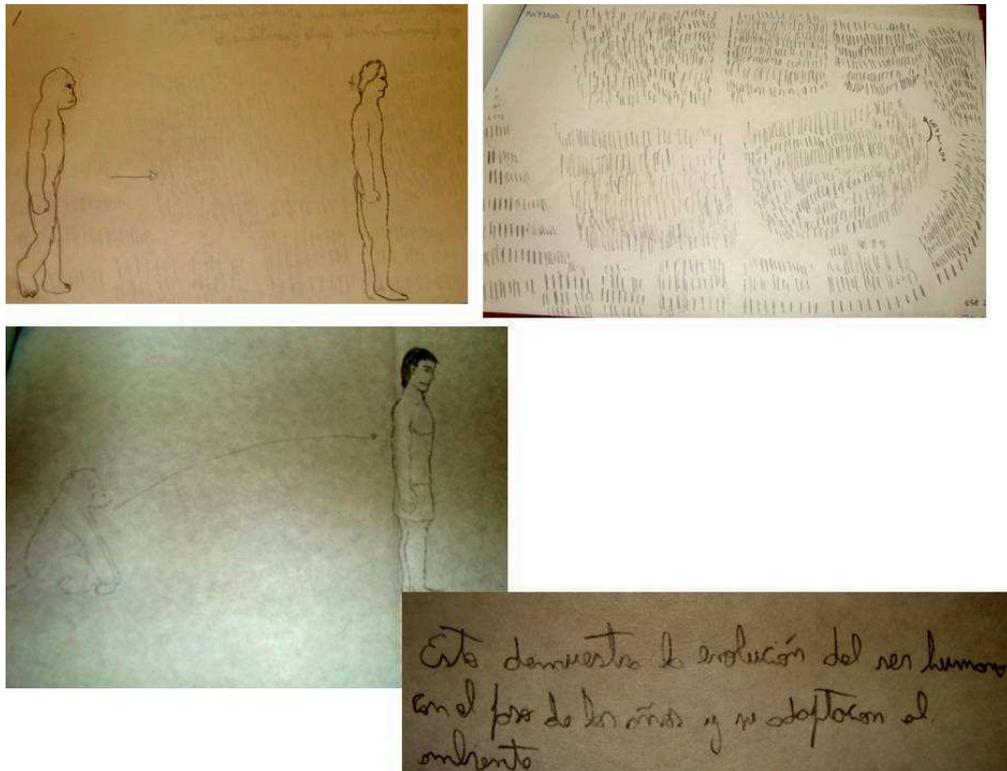


Figura 154

Belén

1ª prueba: Un árbol pequeño, una flecha hacia un árbol más grande

2ª prueba: Evolución lineal desde las bacterias, pasando por peces, dinosaurios, delfín y culminando con una mujer. Incluye la extinción de los dinosaurios por un meteorito y la secuencia es más temporal que transformista. Figura 90.

3ª prueba: Esquema de 1 ancestro común ramificado en dos, con dos descendientes. Figura 143.

Laura

1ª prueba: árboles con nidos, secuencia de nacimiento de pájaros desde huevos hasta que vuelan.

2ª prueba: Esquema con dibujos ramificados desde una célula con dos flechas que se bifurcan hacia una ballena y hacia un pez. Figura 91.

3ª prueba: Representación lineal desde una célula, a células, luego pez y peces. Figura 142.

Maricel

1ª prueba: Esquema complejo con dibujos que indican cruzamientos entre monos y monas; mujeres y hombres que dan como origen a bebé. Figura 68.

2ª prueba: Dibujo que combina el origen de la vida, la extinción de los dinosaurios, desde un centro que indica “primeras bacterias”; con el surgimiento lineal de los seres humanos a partir de los monos, saliendo de ese centro. Figura 98.

3ª prueba: Dibujos relacionados linealmente con flechas desde una célula, células, mono y hombre. Figura 150.

Contrariamente a lo esperado, para cada uno de los alumnos, no se evidenció cambio significativo en sus producciones en relación con la concepción lineal y antropomórfica de la evolución; no encontrando influencias concluyentes de la aplicación de los resultados de la secuencia sobre el ancestro común y sus representaciones ramificadas realizadas cuando cursaban segundo año.

5- Análisis estadístico de todas las representaciones según curso y año

Para tener observaciones más detalladas y poder realizar comparaciones, correlaciones y agrupar datos y características se elige realizar un análisis estadístico multivariado. Para ello se utiliza el software *Infostat*⁶⁰ de la Universidad Nacional de Córdoba con el cual se construye una tabla con todos los alumnos por curso y año y se forman las columnas con las categorías seleccionadas.

Dimensiones de análisis

- Diseño de la imagen:
 - Tipo de ícono (Ilustración, diagrama, esquema mixto...)
- Grado de analogía
 - Utilización de metáforas
- Sobre la representación en general
 - Antropocentrismo
 - Representación lineal o ramificada:
 - Direccionalidad
 - linealidad,
 - progresión,
 - continuidad.
- En cuanto a la representación de las relaciones evolutivas
 - similitud (por afinidades, por analogías, por homologías),
 - genealogías,
 - simetría,
 - ramificación,
 - reticulación,
 - convergencia,
 - divergencia,
 - evolución;
 - temporalidad;
 - incremento en complejidad;
 - diferenciación;

⁶⁰ Se elige este software porque permite utilizar técnicas avanzadas de análisis multivariado en forma dinámica, sencilla y de gran impacto visual, poseyendo una estructura amigable y de fácil aprendizaje.

- transformación o ancestro común y descendencia con modificación.

Estas dimensiones de análisis fueron extraídas de investigaciones exploratorias sobre las representaciones filogenéticas a lo largo de la historia, antes y después de Darwin (Torreblanca, 2010).

Operacionalización:

Se operacionalizan las variables para ser utilizadas en un análisis multiestadístico, se toman las mismas categorías que fueron presentadas en el enfoque metodológico.

Tipo de ícono: si es figurativo: 1 o esquemático: 2. Es decir, si contiene dibujos o sólo líneas flechas, etiquetas.

Linealidad: Si la representación es lineal, encadenada o tipo escalera o sigue el patrón de la representación de la evolución “del mono al hombre” socializada en textos y medios periodísticos. Lineal: 1. No lineal: 0.

Ramificación: Es la representación en forma de árbol. No es lo contrario de linealidad, puede estar presente linealidad y ramificación. Si la representación posee bifurcaciones, polifurcaciones a partir de un punto o nodo de donde parten ramas individualizadas. Ramif.: 1. No Ramifi.: 0.

Reticulación: Si presenta unión de nodos en forma de red, ramas anastomosadas. Reticul.: 1. No Reticul: 0.

Antropocentrismo: Presencia del hombre como diferenciado de los demás seres vivos o en la cúspide de la evolución. Centralidad del ser humano en la representación. Inclusión del punto de vista humano, la civilización, la tecnología. Sí: 1. No: 0.

Continuidad: Flechas, líneas, palabras o frases que indiquen relación de continuidad o de corte. Aunque está presente juntamente con linealidad, también puede presentarse en ramificaciones, si existen frases o etiquetas o flechas direccionando que indican relación de continuidad entre especies, individuos o grupos de seres vivos. Si en cambio hay “saltos” o cortes que pueden ser temporales o espaciales se considera discontinuidad. Continuo: 1, discontinuo: 0.

Progreso: Refleja incremento en complejidad, cantidad, civilización en un sentido lineal. Si posee: 1. Si no posee esos indicadores: 0.

(Progreso y continuidad no son tan significativas, puesto que son derivadas de la representación lineal y son difíciles de identificar en algunas imágenes.

Transformación: Cambio por transformación, no por ancestro común y diferenciación. Expresada por dibujos analógicos, palabras y frases que indican se forma, se formó, etc. Es lo contrario de ancestro común, pero en una imagen pueden estar combinadas. Si existen indicadores de transformación: Sí. Si no existen: No.

Ancestro: Nodo identificado que se bifurca o polifurca en ramas. Sí: 1. No: 0.

Desarrollo: Refleja la confusión de evolución de la especie (filogenética) con desarrollo individual, ontogenético. Sí: 1. No: 0.

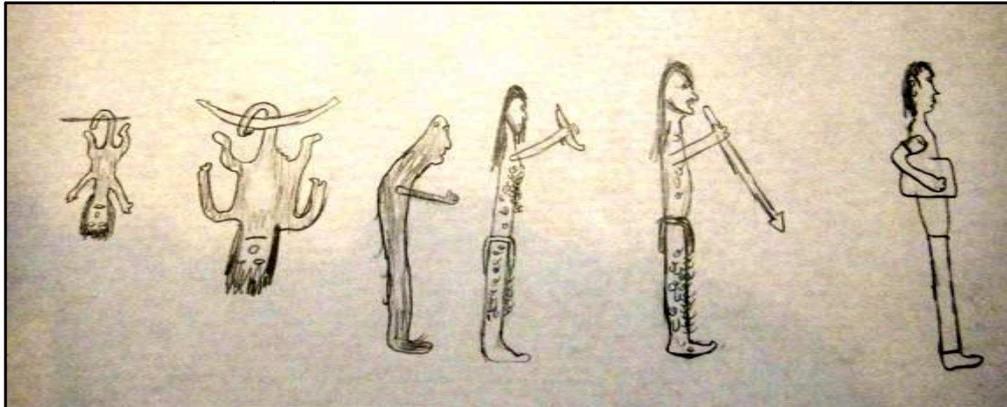
Coherencia discurso textual e imagen: Si la explicación y/o descripción textual, si la posee es coherente con la representación icónica. Sí: 1. No: 0.

Temporalización o cronología: Si incluye referencias cronológicas o evidencias del paso del tiempo o distintas Eras o periodos. Sí: 1. No: 1.

Consigna del docente: Si el docente incluye la frase “Ancestro común”. Sí: 1. No: 0.

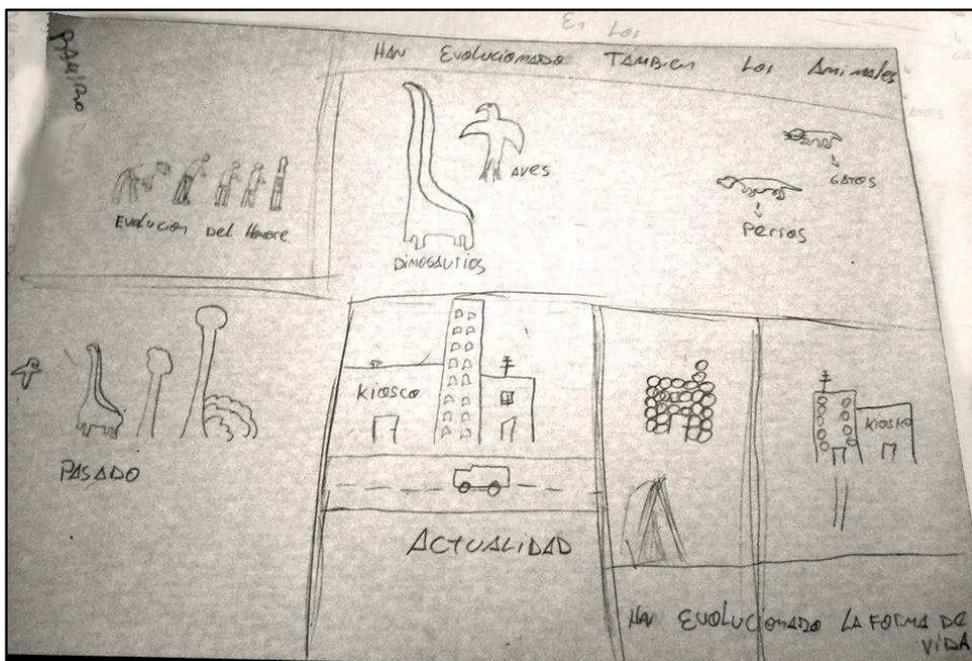
Ejemplos tomados de las representaciones analizadas:

Figura A:



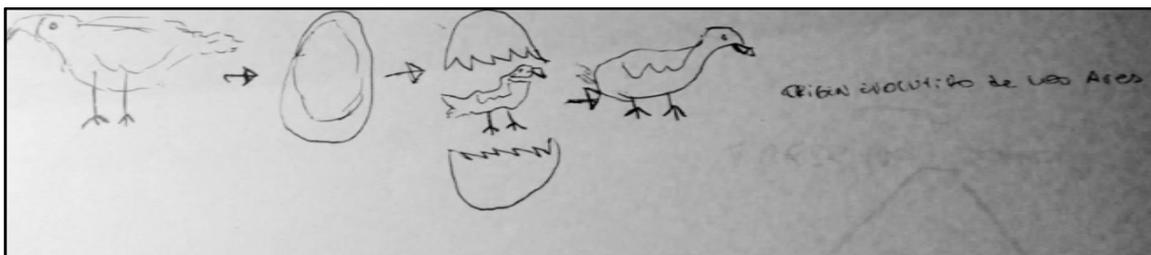
Ícono figurativo, lineal, antropocéntrico, denota progreso y transformación.

Figura B:



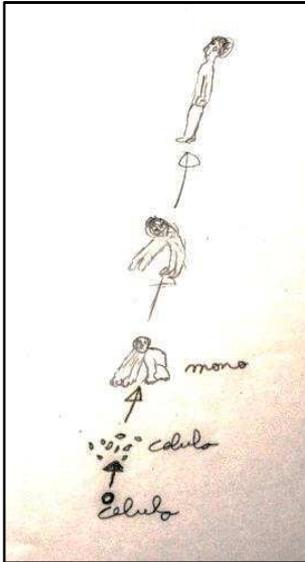
En esta representación se agrega la temporización, la comparación con la actualidad y el pasado.

Figura C:



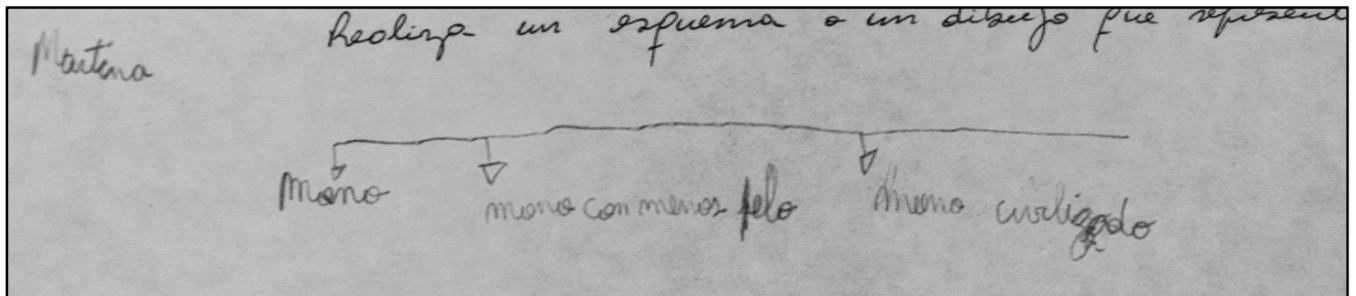
En esta representación se destaca la confusión evolución con desarrollo. Pero sigue siendo lineal y posee continuidad.

Figura D:



Típica representación lineal en escalera, antropocéntrica, con continuidad expresada en las flechas

Figura E:



Este es un esquema, también es lineal y representa continuidad expresada por una línea y antropocentrismo (mono civilizado).

Se realiza una tabla binaria. Dicha tabla posee 108 casos (Ver tabla en Anexo), 13 variables y dos criterios de clasificación: Curso y año. Los cursos pertenecen a las tres cohortes presentadas en el encuadre metodológico, cuyas producciones individuales fueron analizadas en un apartado anterior.

Al realizar el análisis de conglomerados con alumnos se forman cuatro grupos. Estos grupos reflejan cercanía entre los Primeros, pero no con los Segundos cursos, coinciden más Segundo del 2010 con Tercero 2011, que pertenecen a la misma cohorte. Los Primeros más parecidos son los de los años 2010 y 2011. Tercero 2011, se agrupa con Segundo 2010, también de la misma cohorte. La segunda toma de Segundo 2011 (Segundo_B), que se esperaba sea más parecida a Tercero, se agrupa con Segundo 2012. Gráfico 1.

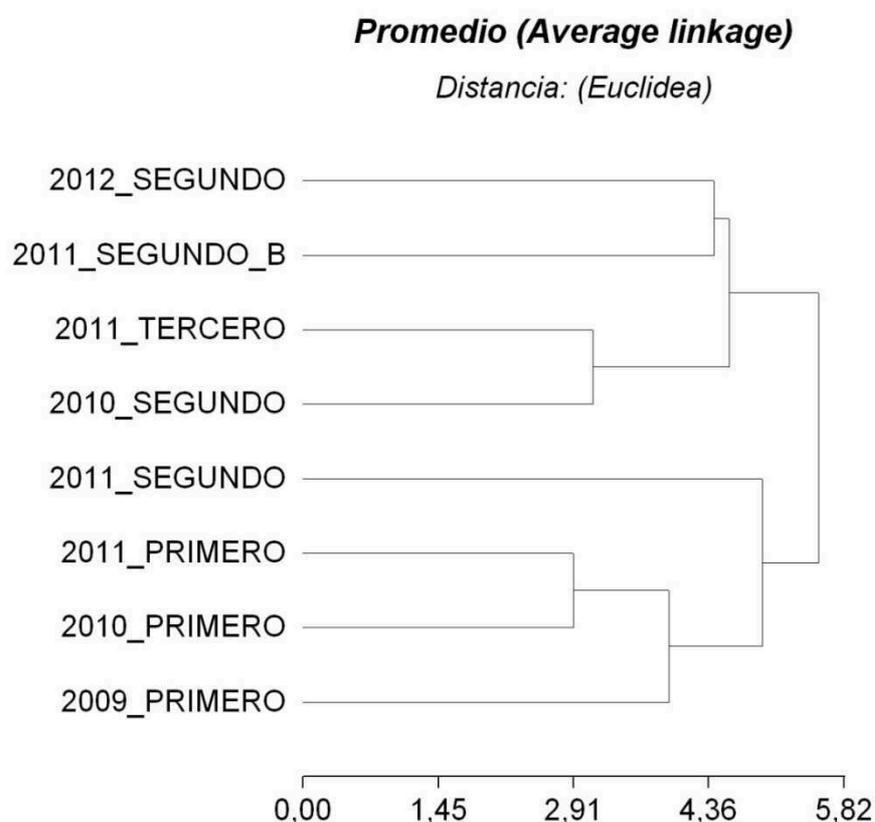


Gráfico 1: Agrupamientos

La linealidad es la variable que más se evidencia en la separación de los grupos. Ésta prevalece en los tres cursos, en todas las cohortes y en los distintos años lectivos.

Los agrupamientos detectados no denotan un perfil de cambios substanciales con respecto a la “evolución” de las representaciones de Primero a Tercero.

En la siguiente comparación entre cursos se toman las principales características que se tuvieron en cuenta en la comparación de los cursos.

Es significativa la linealidad (barras grises) frente a la ramificación (barras negras). Gráfico 2.

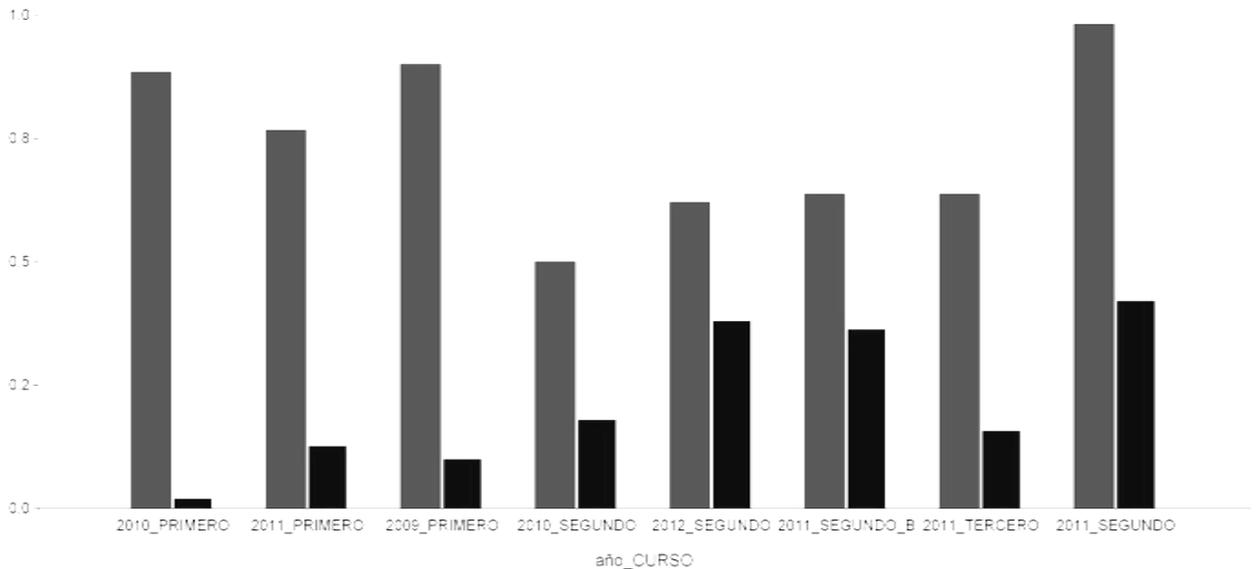


Gráfico 2: Linealidad versus ramificación

En Segundo aparecen más casos de ramificación, que es cuando se da el concepto de ancestro común y se construyen e interpretan distintos árboles en la secuencia didáctica con los contenidos evolutivos. Pero en Tercero se reducen y vuelve a aparecer la linealidad, el progreso, el desarrollo y el antropocentrismo. Ver Gráfico 3: barras grises: progreso, barras negras: desarrollo, barras blancas: antropocentrismo.

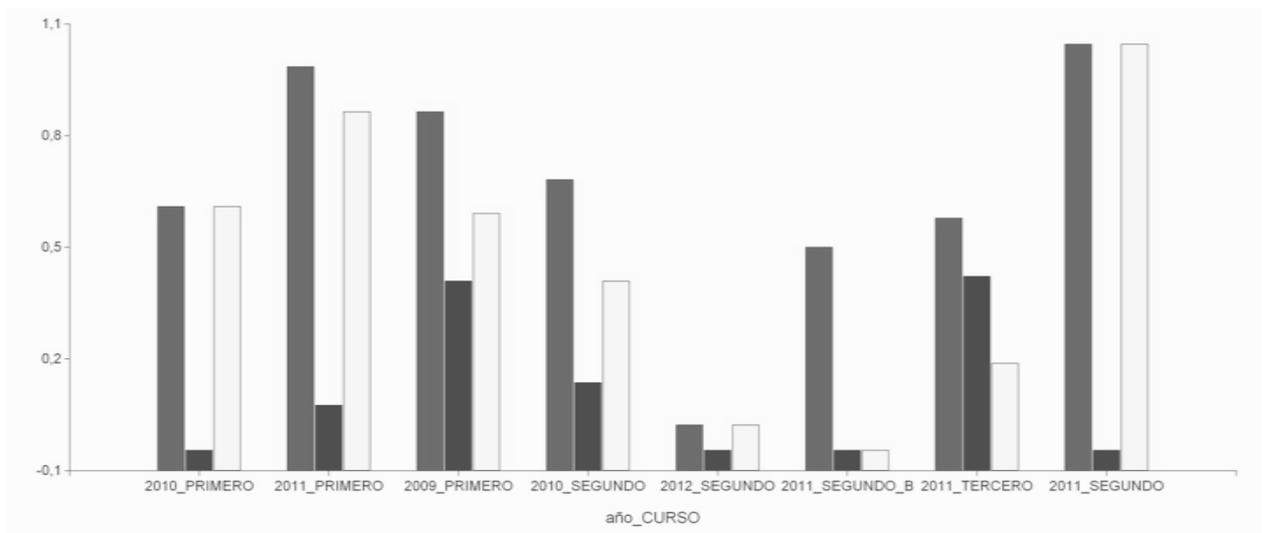


Gráfico 3: Progreso, desarrollo y antropocentrismo según pruebas por año y curso.

En el análisis de correspondencias múltiples (Gráfico 4) se obtienen las siguientes observaciones: los cursos de Primero 2011 y Primero 2010 se encuentran más cercanos. Primero 2009 es el más diferenciado y está alejado de los demás cursos. Segundo 2010 y Tercero 2011 (mismos alumnos, de la misma cohorte) se encuentran cercanos y muestran menos antropocentrismo que los primeros cursos. El curso Primero 2009 es el que muestra mayor linealidad y antropocentrismo.

En Segundo y Tercero, el docente cambia la consigna, aparece ancestro común en su discurso por eso está cercano a esos dos cursos, pero no se muestra cercanía con ancestro que es la variable que indica que se dibujó esa característica.

No hay relación entre la consigna del docente utilizando la frase ancestro común con la aparición en el esquema o el dibujo.

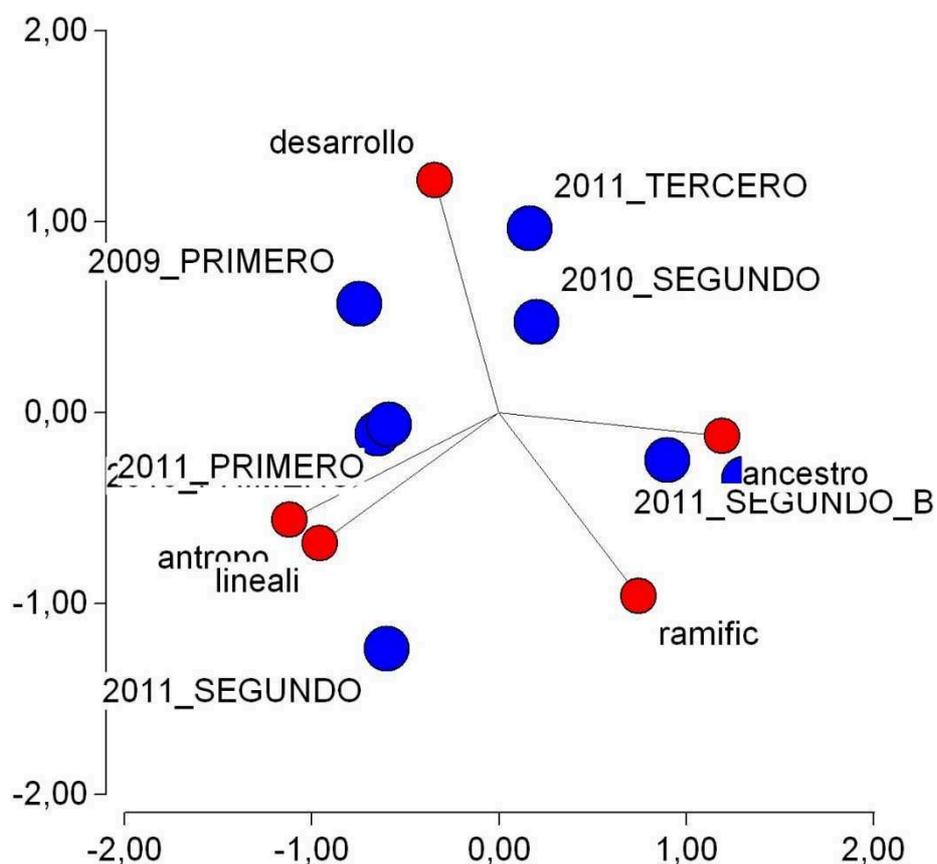


Gráfico 4: Biplot de correspondencias múltiples entre variables ancestro, desarrollo, ramificación, antropocentrismo y linealidad.

Al analizar el Gráfico 4, bitplot, que surge del análisis de correspondencias múltiples se evidencia que los grupos de Segundo 2010 y Tercero 2011 han variado con respecto a Primero 2009 y se nota un cambio en la cohorte, habiendo menos antropocentrismo y

linealidad y acercándose a representaciones ramificadas y reticuladas. También en Segundo se observa menos tendencia a representar el desarrollo. Gráfico 5.

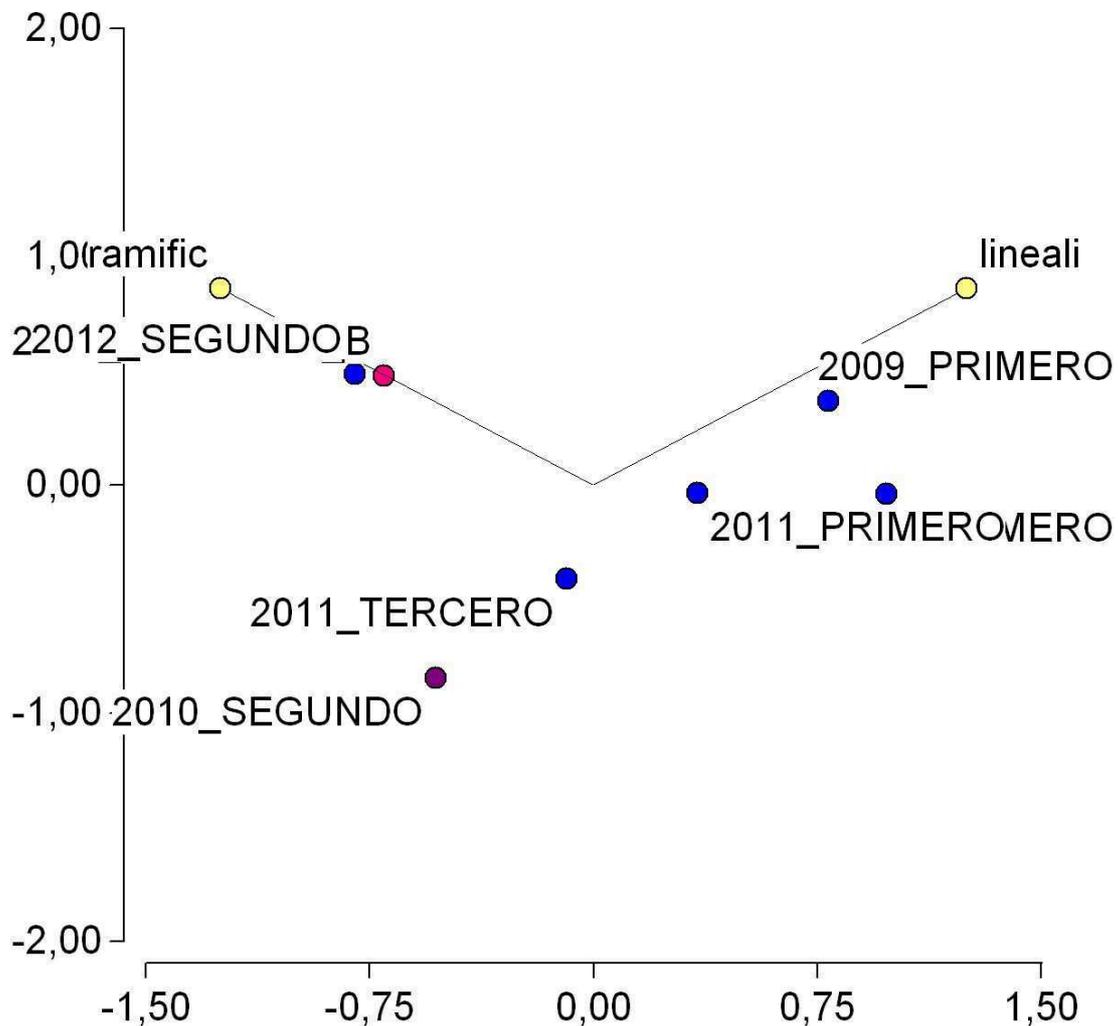


Gráfico 5: Distancias de los distintos cursos, año según linealidad y ramificación

En los análisis de correlaciones se han detectado aportes interesantes para la interpretación de los resultados:

La correlación entre las características linealidad y transformación es alta. (Ver gráficos en Anexo)

La relación de linealidad con antropocentrismo no es significativa. Si hay una tendencia a relacionar linealidad con continuidad y progreso.

La relación de ancestro con consigna del docente. Contrariamente a lo esperado, en Segundo y Tercero no es significativa.

La mayor correlación se da entre linealidad, progreso y transformación.

No hay evidencias suficientes con respecto a evolución y cambio en la representación lineal –ramificada de Primero, Segundo a Tercero por alumno. En Tercero vuelven a aparecer las representaciones lineales y el antropocentrismo, en muchos casos, y la confusión con el desarrollo individual. La cohorte 2009-2010-2011 es la que presenta mayor inclinación a confundir evolución de la especie con desarrollo individual. La proporción decae en Segundo, pero vuelve a ser grande en Tercero Gráfico 6.

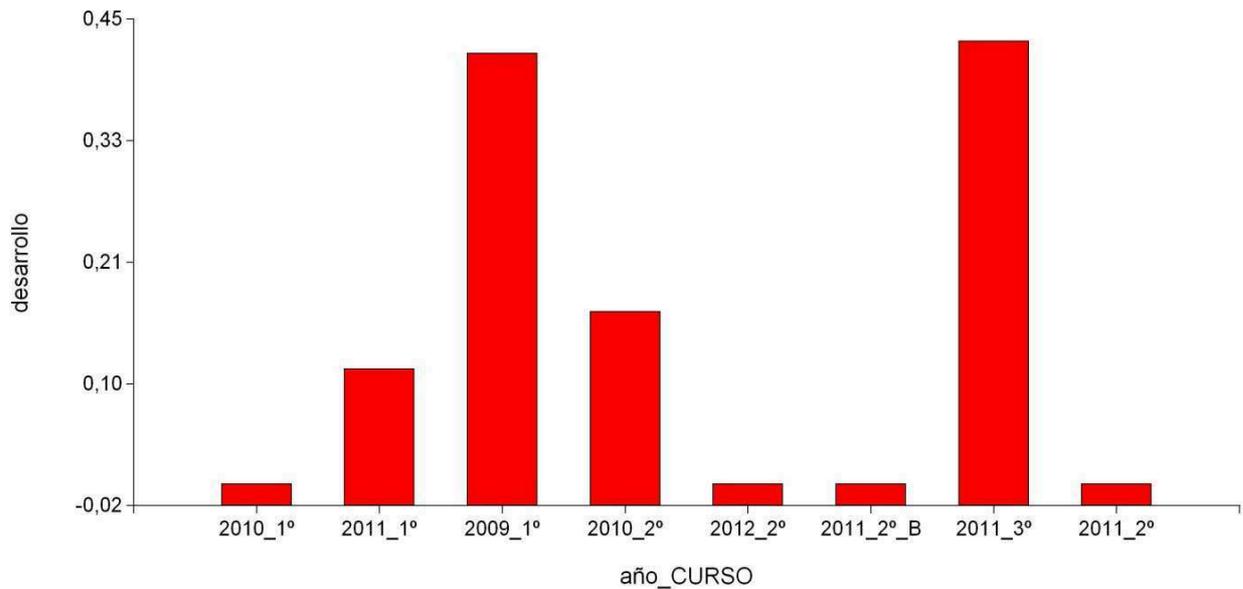


Gráfico 6: Presencia de la confusión evolución con desarrollo en cada curso/año.

En general, sino se enfoca en alumnos particulares, se evidencia una evolución en la cohorte 1, que comenzó Primero el 2009, cursó Segundo en 2010 y Tercero en 2011. Luego de haber tenido contenidos de evolución en Segundo, sus representaciones cambiaron, se incluyó la ramificación y se fue reduciendo la linealidad y el progreso. En el Gráfico 8 se aprecia linealidad, barras grises y ramificación, barras negras. En Segundo se incrementa la ramificación y baja la linealidad, pero en Tercero, la linealidad vuelve a subir, aunque no tanto como en Primero.

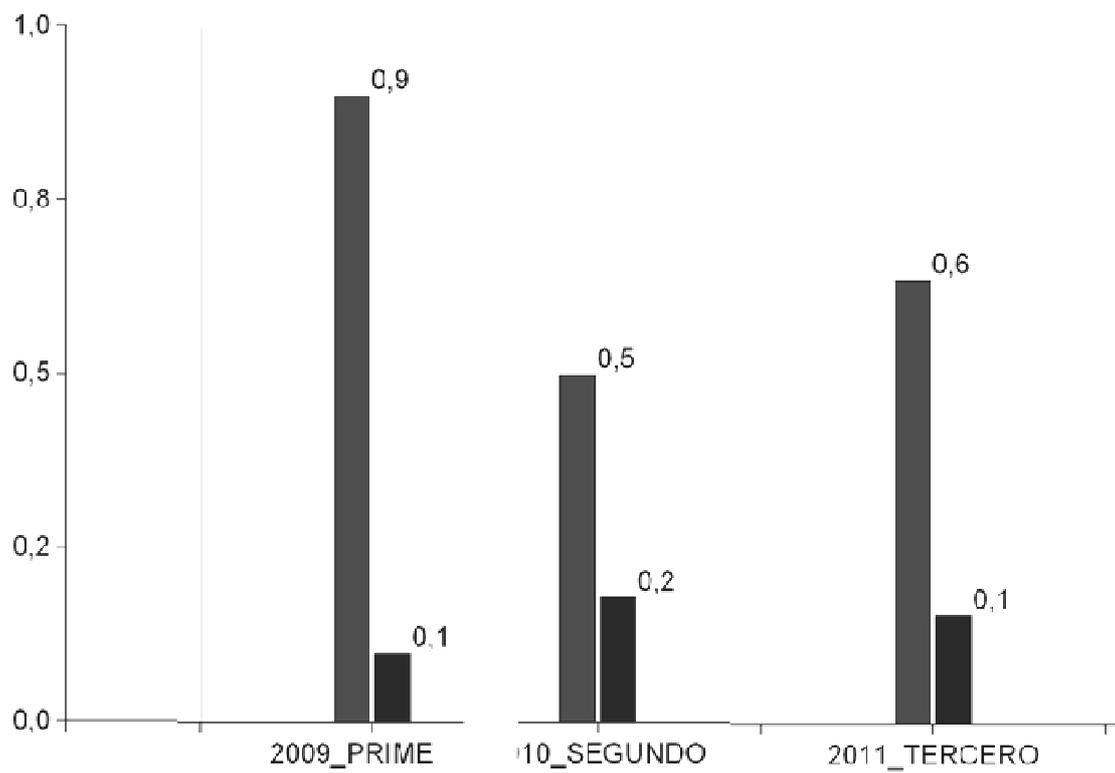


Gráfico 7: Linealidad y ramificación según curso/año.

4. e- Análisis de las representaciones realizadas en el taller de construcción de árboles filogenéticos

Al finalizar la secuencia didáctica sobre Evolución, en Segundo, se realizó el taller de construcción de árboles evolutivos.

Se analizan a continuación las producciones de los alumnos de Segundo de ESB, años 2012 y 2013.

La actividad partió de la construcción de una matriz con al menos cinco vertebrados y tres criterios (mandíbulas, glándulas mamarias y otra a elección (algunos eligieron plumas, otros alas...)).

Se sugirió que primero se construyera la matriz, pero algunos alumnos comenzaron directamente con el árbol o hicieron ambas cosas simultáneamente (Figura 155) y fueron modificando y agregando datos.

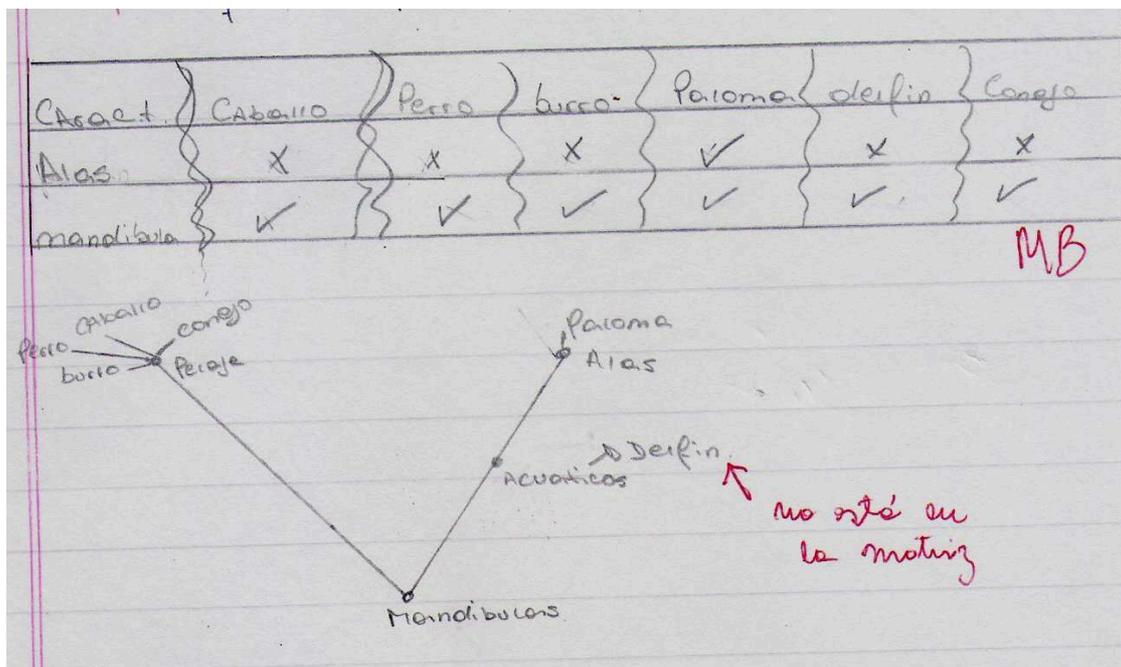


Figura 155

Los obstáculos que se evidencian en la construcción de la matriz, principalmente surgen en el momento de seleccionar los caracteres para incluir en la matriz; al identificar homólogas, generalmente no las diferencian de las análogas y, si lo hacen, no son caracteres que sirvan para caracterizar nodos que representen ancestros cercanos.

Para algunos fue más fácil partir de los organismos a clasificar agrupándolos en conjuntos y subconjuntos según características y luego identificar los caracteres homólogos, descartar los otros y armar el árbol y la matriz simultáneamente (Figura 156).

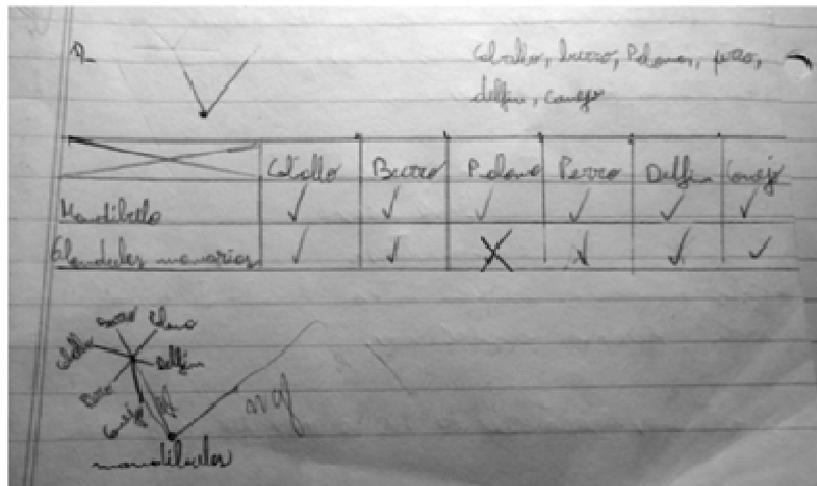


Figura 156

En algunos casos, los alumnos prueban en base a ensayo-error distintas maneras de representar, y si ven necesario, se agrega una característica para diferenciar, como en el caso del siguiente que agregó “cascos” para unir burro y caballo en un nodo. (Figura 157).

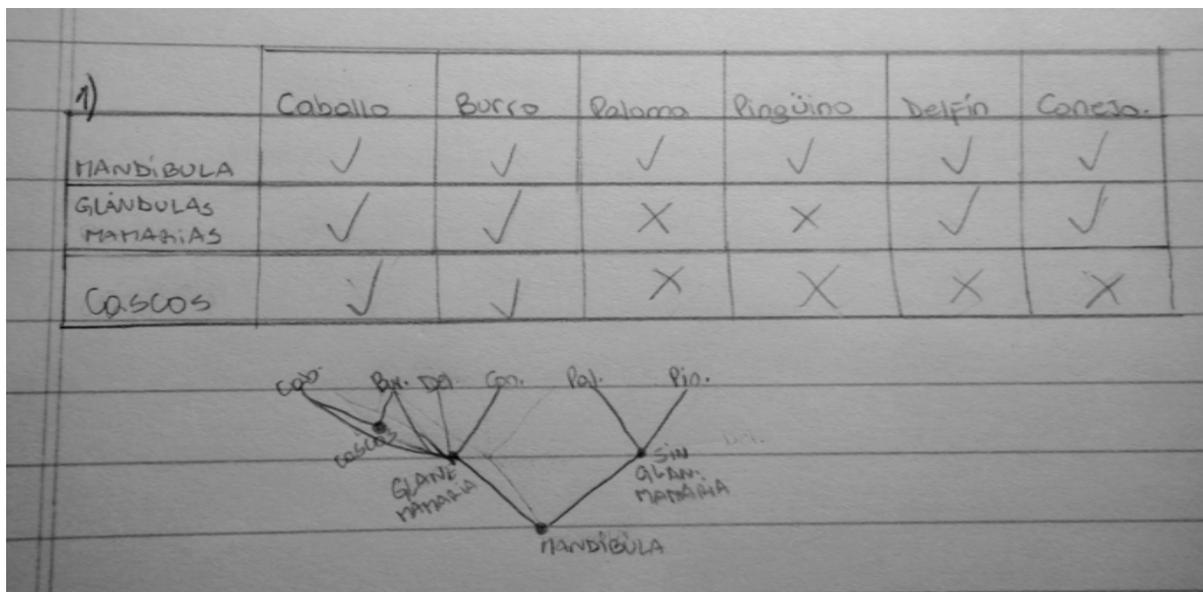


Figura 157

Otro caso fue uniendo por caracteres haciendo árboles “individualizados” y luego los unió en un solo árbol. (Figura 158).

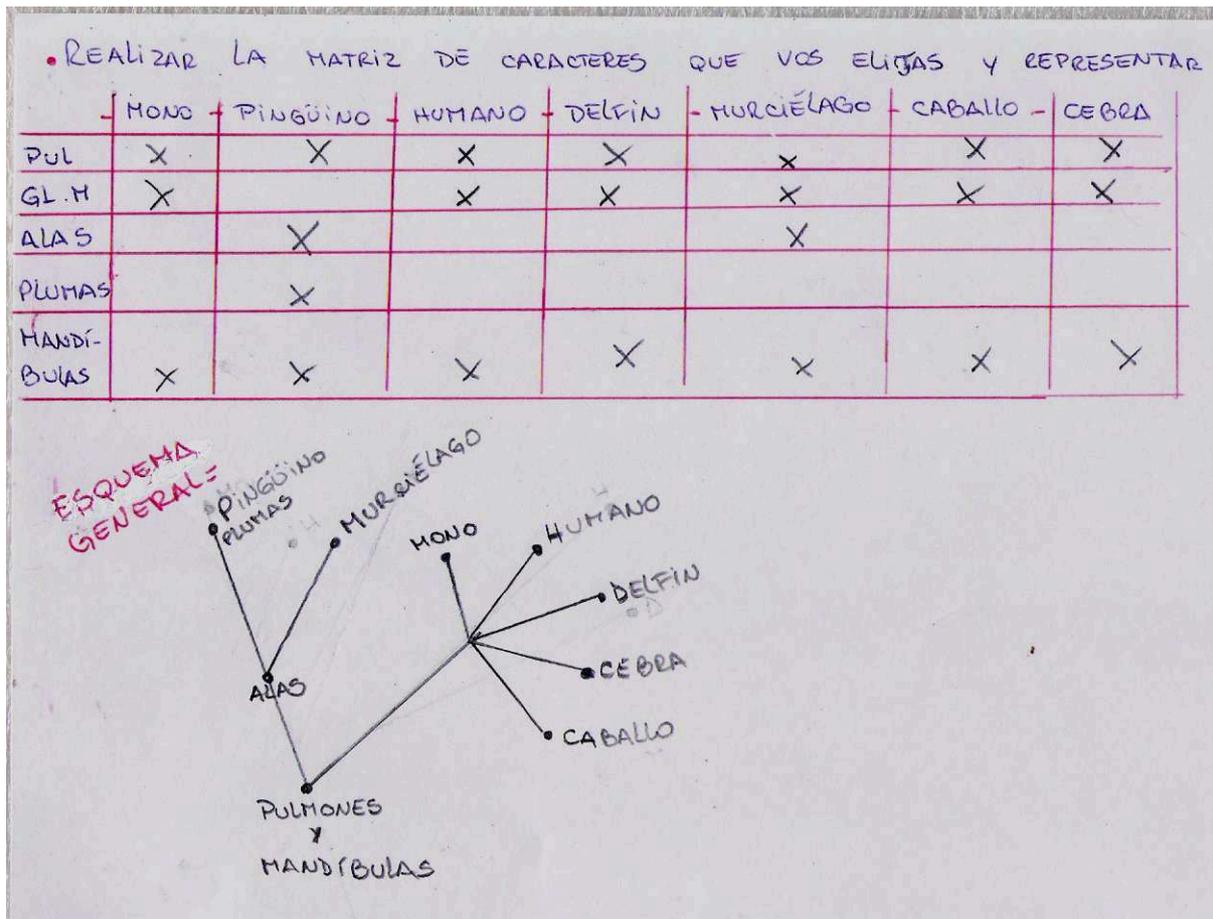


Figura 158

5.g- Continuidad de las representaciones

Se toma una prueba a alumnos de Tercero de ESB (Que tuvieron taller de construcción de árboles el año anterior), 8 de julio de 2013 con la consigna: “Representá con un esquema las relaciones evolutivas entre el caballo, la jirafa, el ñandú, el ratón, el hombre, el mono, el murciélago y el loro...”

En estas representaciones vuelve a surgir la linealidad y la idea de transformación y en algunos casos anastomosis que representan cruza e hibridismo.

Otra dificultad aparece cuando se incluye al hombre, la representación muestra tendencia al progreso y la linealidad colocando al hombre más arriba y a la derecha y generalmente siguiendo una rama lineal desde el mono.

Algunos ejemplos:

Persistencia de la linealidad:

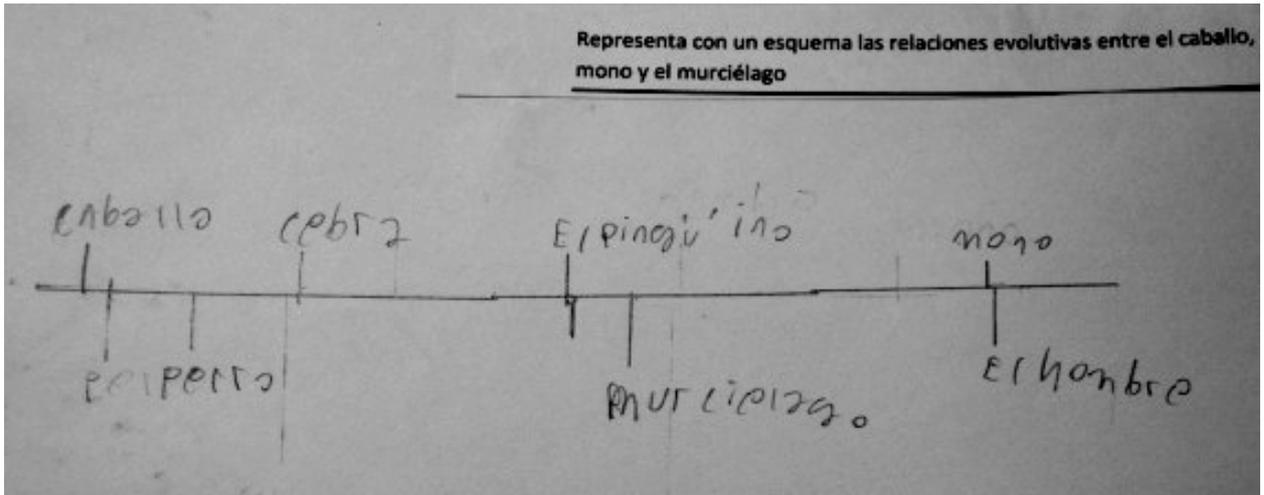


Figura 159

El delfín desubicado. “No sabía dónde ubicarlo”. En varios casos se unió al pingüino “porque los dos son acuáticos”

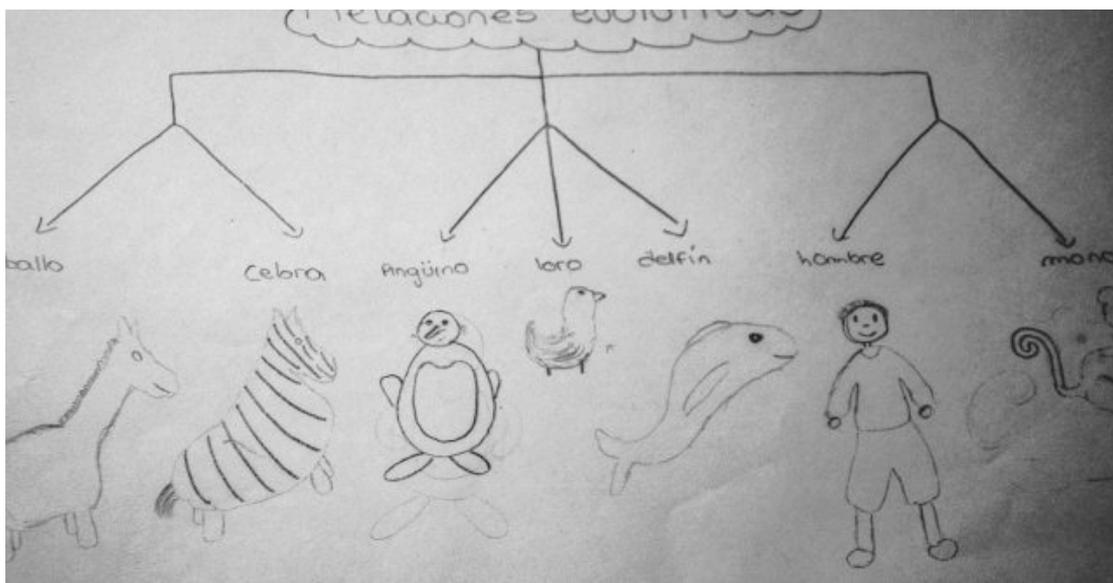


Figura 160

En ninguna de las representaciones se hizo referencia a nodos y/o ancestro común.

Se basan preferentemente en parecidos o adaptaciones similares. En ningún caso se realizó la matriz de caracteres para construir el árbol.

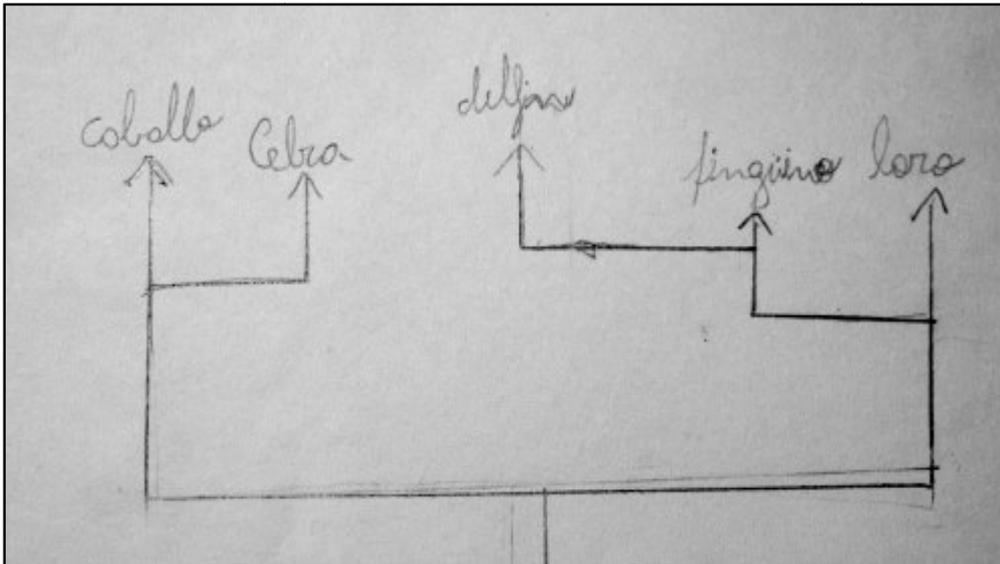


Figura 161

Se aprecian uniones y anastomosis y formas de representar raras que no habían aparecido en segundo año. Figuras siguientes:

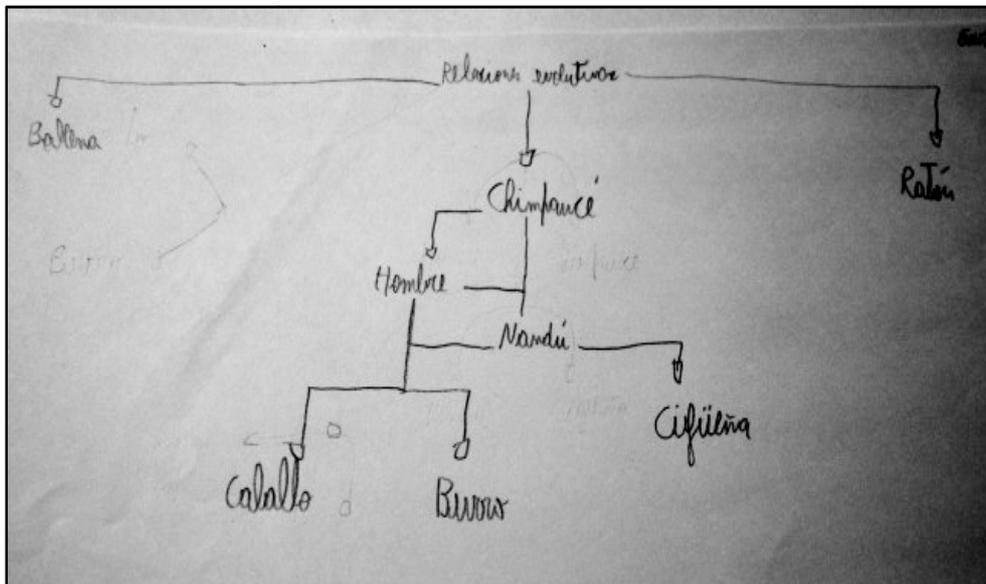


Figura 162

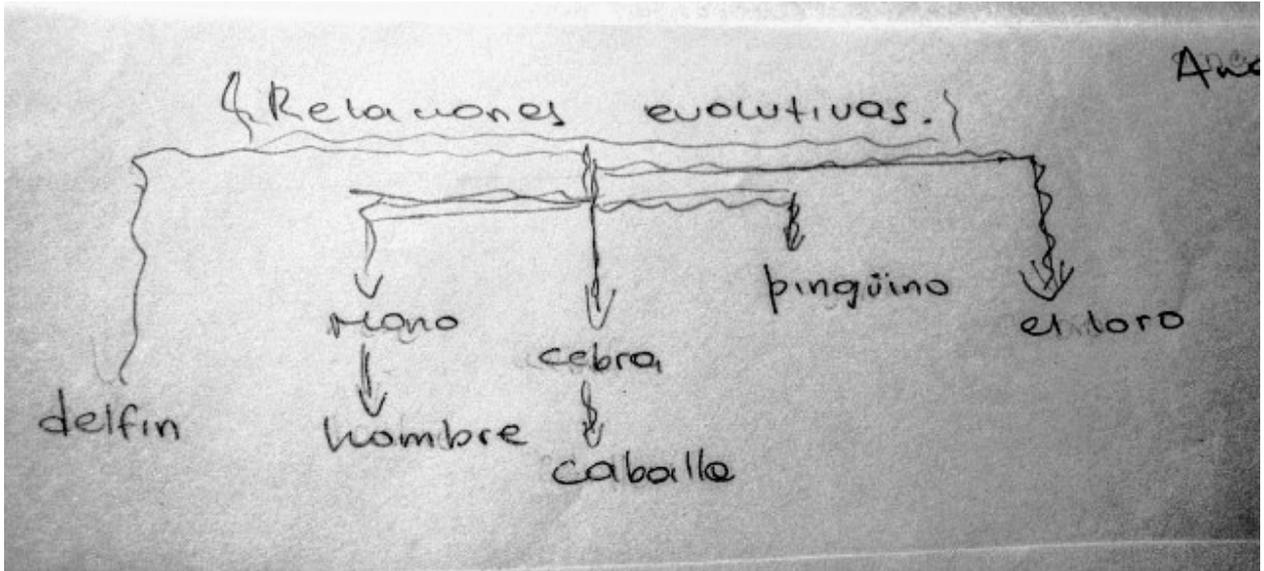


Figura 163

Muy significativo es la unión del hombre con el mono y el ñandú.

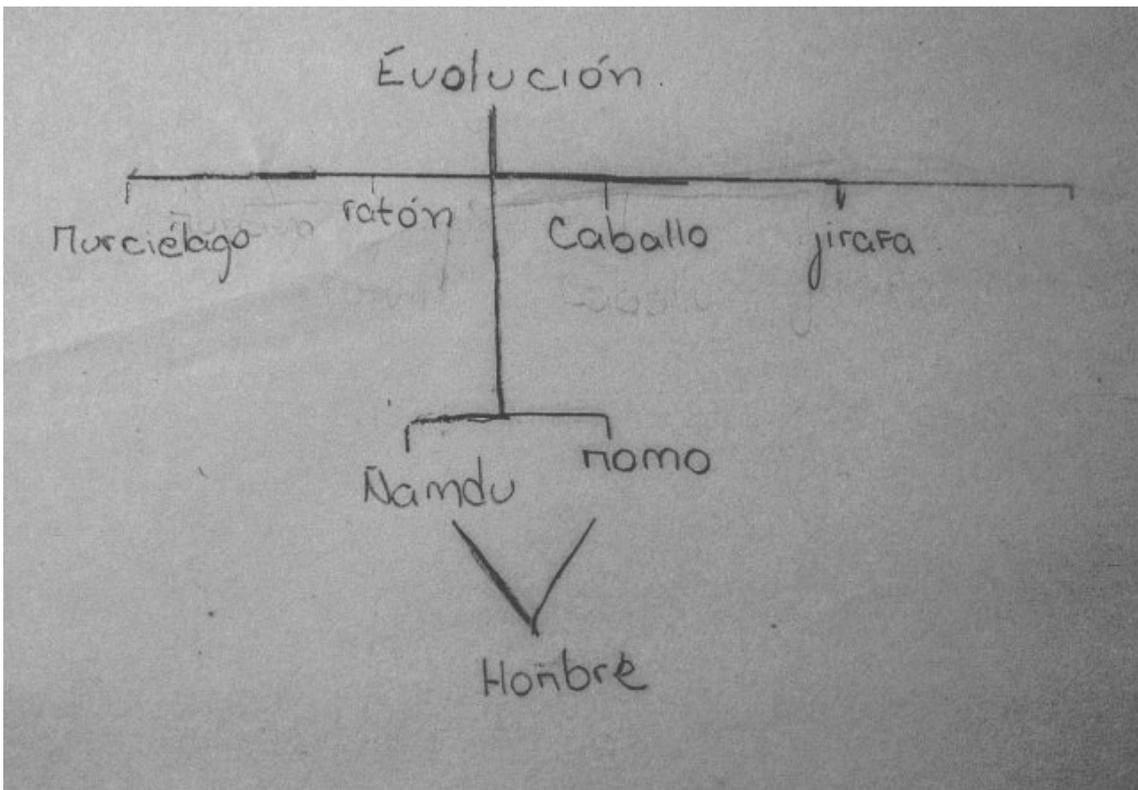


Figura 164

Al preguntarle de dónde venía la relación, respondió “*porque tienen dos patas*”. Y esta representación fue copiada porque hay tres casos más muy parecidas.

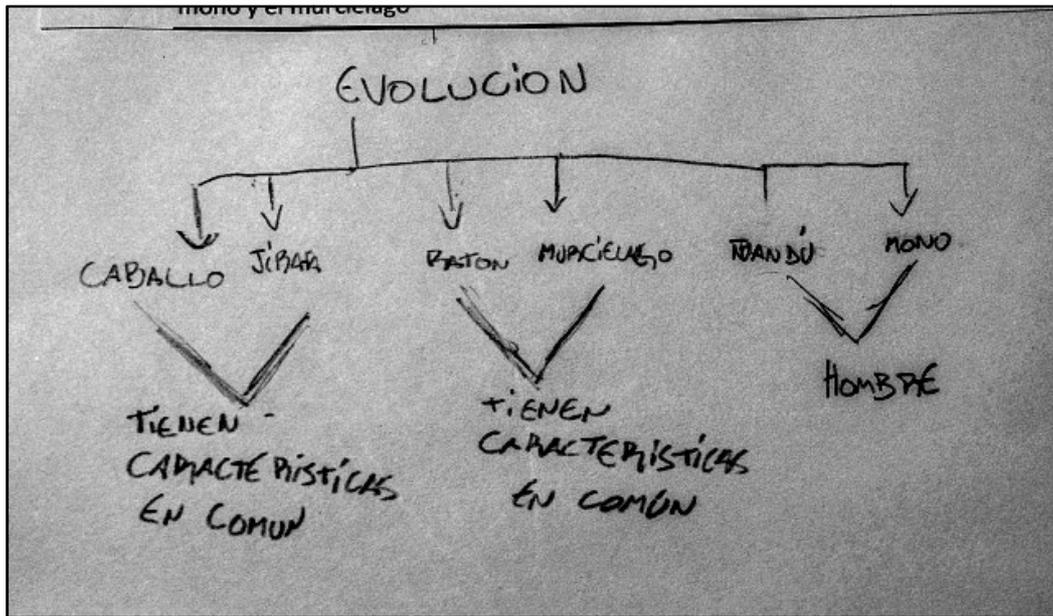


Figura 165

Algunos intentaron agrupar por parecidos pero no tuvieron en cuenta ancestros ni nodos con características.

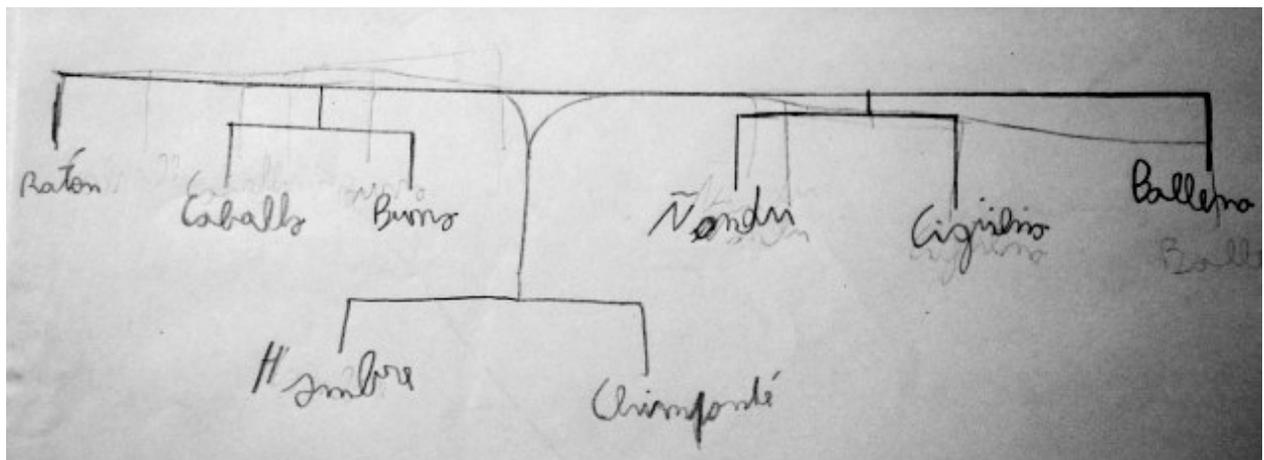


Figura 166

5. h- Comparación de las representaciones de los dos Segundos y Tercero

Se construye una tabla en InfoStat con las siguientes categorías:

- linealidad
- ramificación
- ancestro
- híbridos
- nodos
- anastomosis

- singularidades (errores llamativos como unir ñandú con el hombre o pingüino con delfín).

Análisis de la ramificación:

En Segundo 2013, al realizar dibujos o esquemas de un ser vivo o de especiación no son lineales ni ramificados no tienen en cuenta la representación del ancestro común, y si lo tienen, no está representado como un nodo, sino como transformación lineal. Gráfico 8.

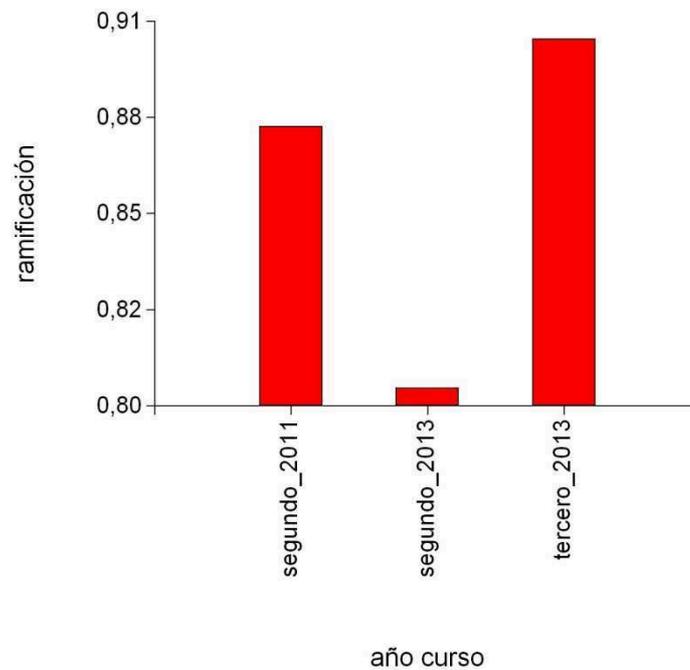


Gráfico 8: Comparación de ramificación entre los Segundos y Tercero.

Y en Tercero, como vimos en los análisis de las producciones individuales, muchas de las representaciones que tienen ramificaciones no son árboles filogenéticos sino que son mezclas entre esquemas conceptuales y flechas que indican derivación o transformación. Sólo en Segundo 2011, hay representaciones ramificadas que se pueden asociar a la deriva de un ancestro común y que relaciona seres vivos, sean éstos especies, géneros o clases.

En Tercero también se analizó la conservación de la linealidad y el transformismo. Gráfico 9. Que como se vio en apartados anteriores, la mayoría vuelve a dibujar o esquematizar formas lineales y en las explicaciones se refleja la idea de transformación, no de bifurcación o deriva ramificada mediante un ancestro común.

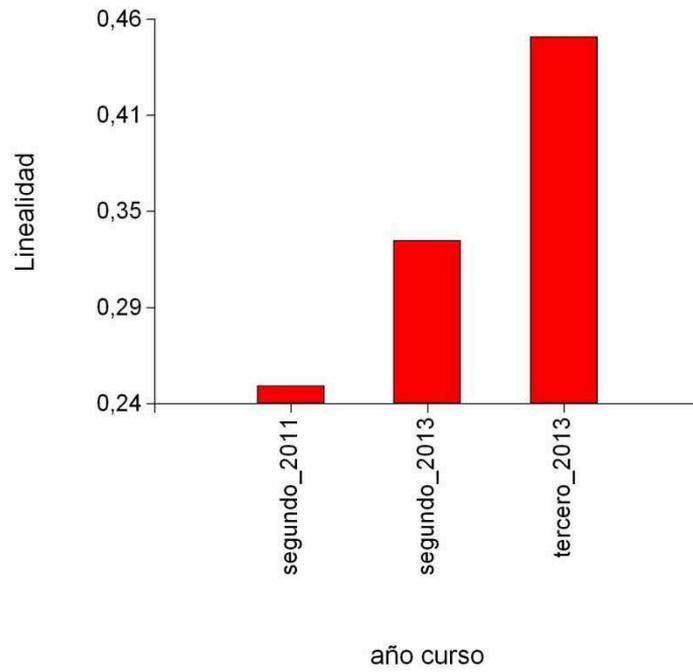


Gráfico 9: Linealidad comparada en Segundo y Tercero.

Se tuvo en cuenta la inclusión de singularidades (barras en gris) y la mención del ancestro común en etiquetas o explicaciones (barras en negro). Gráfico 10.

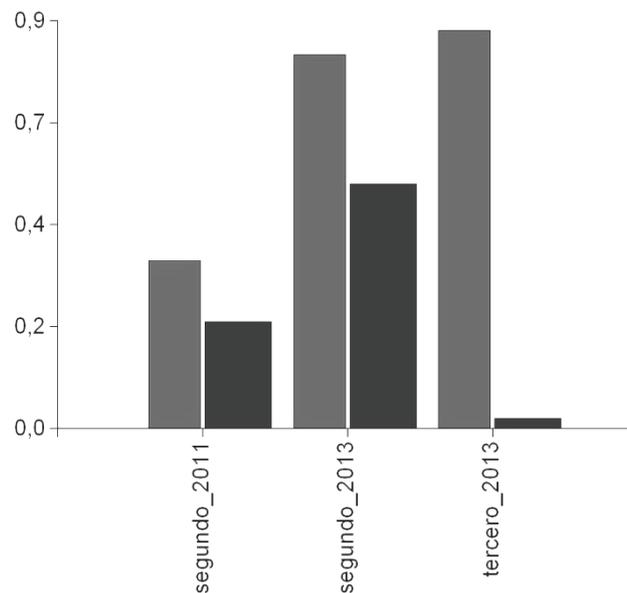


Gráfico 10: Mención del ancestro común e inclusión de singularidades no previstas.

Análisis de conglomerados teniendo en cuenta todas las categorías para agrupar los cursos:

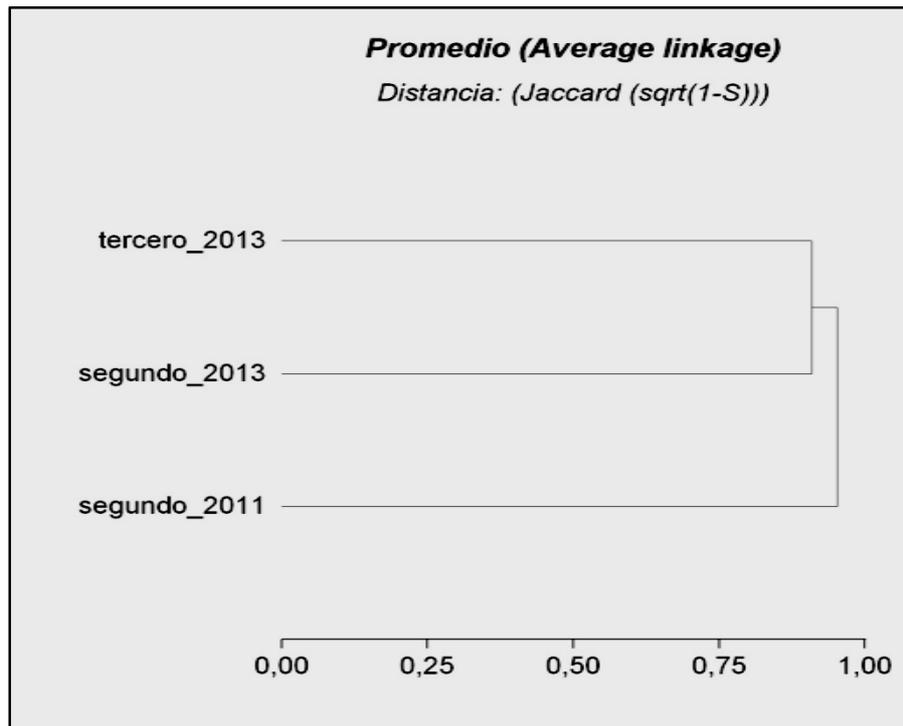


Gráfico 11: Agrupamiento de cursos según todas las variables analizadas.

Contra lo esperado los dos Segundos se diferencian mucho más entre sí, que entre Segundo 2013 y Tercero 2013, siendo que 2011 y 2013 pertenecen a la misma cohorte, son los mismos alumnos y los que mantienen mayor distancia. Gráfico 11.

No se aprecia relación alguna entre los grupos, ni una tendencia hacia la ramificación, más bien reaparece la linealidad y el progreso en Tercero.

No existió una continuidad en las representaciones. Los mismos alumnos cambiaron el tipo y la forma de representación de Segundo a Tercero.

Persistió la tendencia a la linealidad.

Solamente son significativos los resultados en relación con la ramificación en los alumnos de Segundo que tuvieron el taller de construcción de árboles filogenéticos y cladogramas.

5. i- Análisis estadístico de la evolución de las representaciones sobre evolución

Se eligieron alumnos de una cohorte que tenían realizadas las tres representaciones, de Primero, Segundo y Tercero. Se compararon sus producciones en base a las categorías:

LINEALIDAD
RAMIFICACIÓN
PROGRESO

ANTROPOCENTRISMO EVOLUCIÓN=DESARROLLO

Las cohortes analizadas fueron las siguientes, aunque varían la cantidad de muestras por año que han sido tomadas en cada una de ellas:

- Cohorte 1: 1º año (2009) – 2º año (2010) – 3º año (2011)
- Cohorte 2: 1º año (2010) – 2º año (2011) – 3º año (2012)
- Cohorte 3: 1º año (2011) – 2º año (2012) – 3º año (2013)

Se seleccionó la cohorte 1 para realizar el seguimiento de las representaciones, cuya comparación individual de producciones se realizó en un apartado anterior.

En general se puede observar una tendencia a la linealidad centrada en la evolución del hombre; pasando luego en Segundo al agregado de ramificaciones o a la representación figurativa sin la inclusión del mismo. A partir de segundo existen algunas referencias al ancestro común, pero no así su representación en relación a seres vivos determinados o bien con la idea persistente de la transformación de ancestro a descendiente. Y nuevamente en Tercero se incluye al hombre, volviendo a la linealidad y el progreso con algunas referencias al desarrollo individual como sinónimo de evolución.

Algunos ejemplos:

Julieta: en 2009 realizó una representación lineal y antropocéntrica, luego en 2010 (en Segundo) una representación ramificada con referencias al ancestro común y en Tercero volvió a hacer una representación ramificada simplificada sin referencia al ancestro o descendientes.

Federica: En los tres años realizó una representación lineal y progresiva, en Segundo y Tercero incluyó al hombre.

Pía: En los tres años realizó representaciones lineales incluyendo árboles y pájaros o peces, pero siempre en relación con el desarrollo y el progreso en número y complejidad.

Leandro: En 2009 realizó un mono y una flecha hacia el hombre, en segundo un esquema diferente con múltiples rayitas que se van sumando y siguen un destino espiralado donde coloca referencias temporales y justifica en aumento de número y complejidad de seres vivos. En 2011, Tercero, vuelve a representar el mono y el hombre.

Denisse: Realizó representaciones lineales y progresivas y, en Segundo, representa el desarrollo.

Maricel: en 2009 realizó una representación ramificada y con anastomosis que representa tanto desarrollo como evolución antropocéntrica; en Segundo realizó un dibujo donde etiqueta el origen de las células en el agua y luego una parte lineal desde los monos al hombre. En Tercero, 2010, realizó una representación lineal desde las células a los vertebrados.

En todos los casos no se evidenció una continuidad de criterios ni una superación en las concepciones que fueron representadas.

En el análisis de conglomerados realizados se formaron grupos dispares y en los gráficos *biplot* analizados, si bien se observó una tendencia hacia la ramificación y un alejamiento de la linealidad desde Primero a Tercero, ésta no fue significativa.

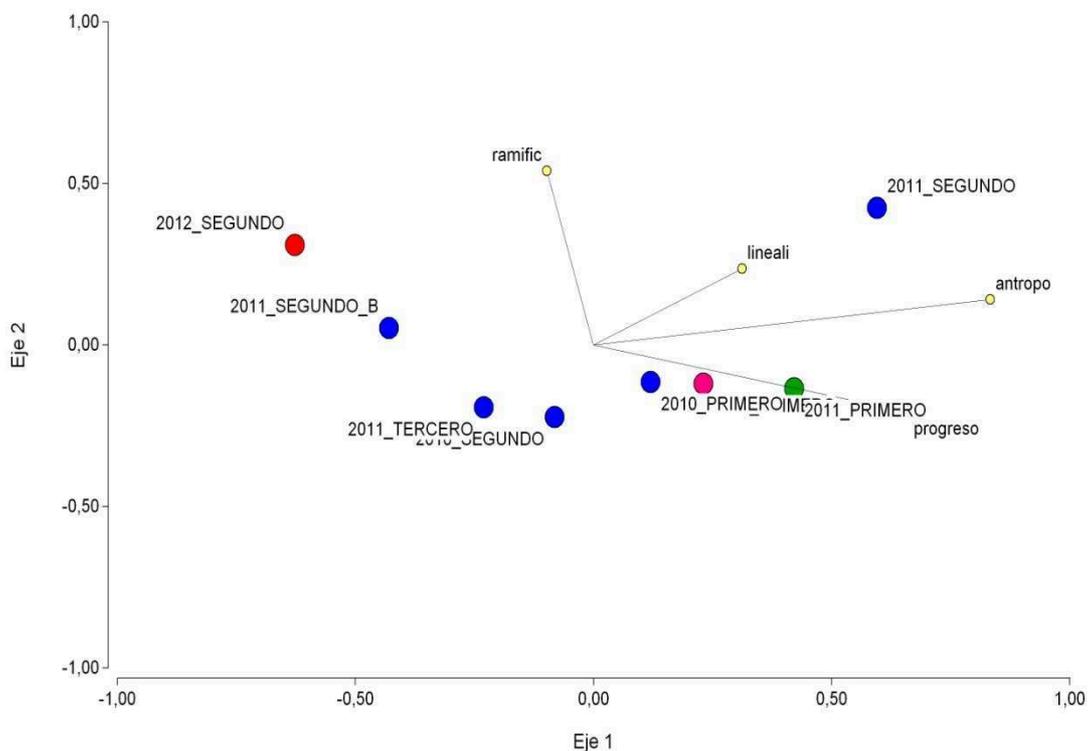


Gráfico 12: Bitplot que muestra las relaciones entre todas las variables y los cursos/años. Al analizar el Gráfico 12 se pone de manifiesto que los Primeros, (2009, 2010, 2011) están cercanos. Segundo 2012 es el que presentó mayor ramificación y Segundo 2011, en la primera toma, el que mayor tendencia presentó hacia la linealidad y el antropocentrismo. Segundo 2010 y Tercero 2011, que pertenecen a la cohorte analizada se encuentran cercanos, con una leve tendencia hacia mayor ramificación en Tercero.

Los grupos que se forman con las variables analizadas son significativos:

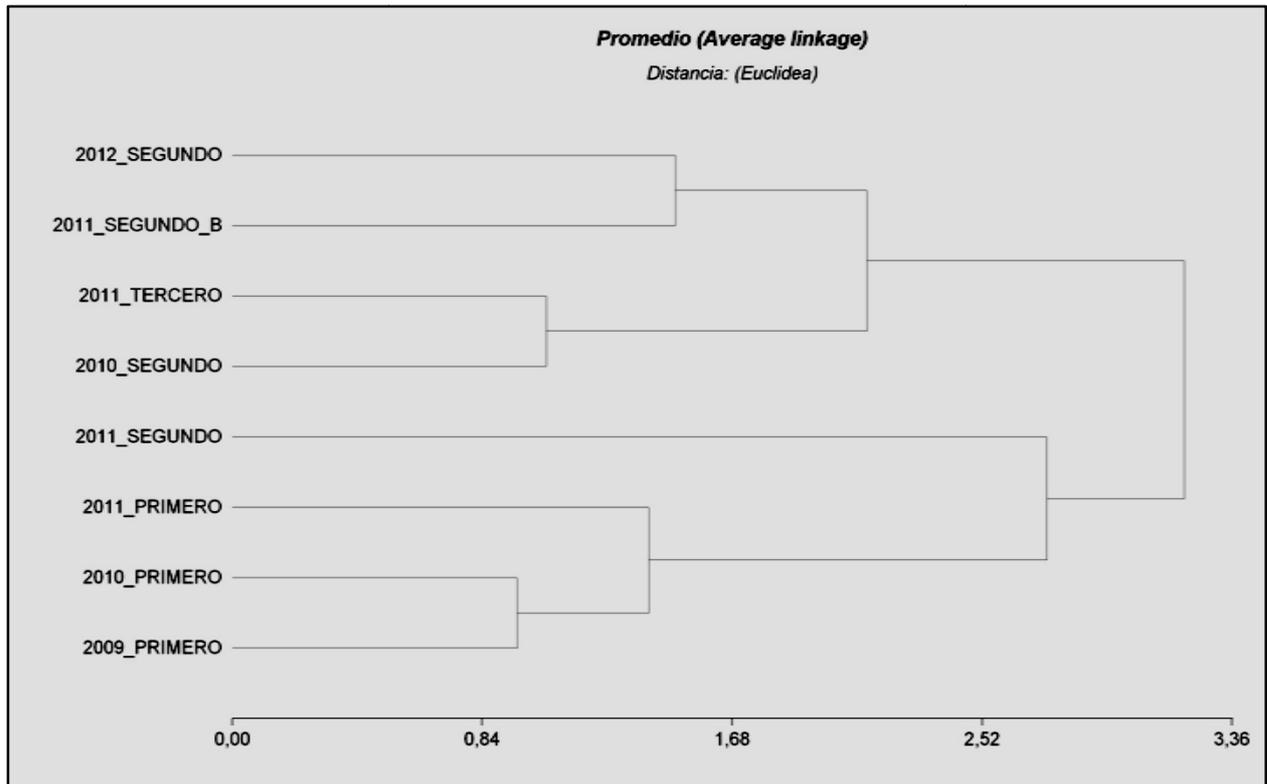


Gráfico 13: Agrupamiento según todas las variables analizadas

Los Primeros están agrupados y Segundo 2010 y Tercero 2011 (de la cohorte analizada) forman un conglomerado, siendo muy cercanos con poca distancia Gráfico 13.

Por lo tanto si bien hay un cambio de Primero a Segundo, no se manifiesta luego de Segundo a Tercero.

En cuanto a la tendencia a la linealidad y el antropocentrismo, decae en Segundo, se vuelve a presentar la linealidad en Tercero y aparece la confusión con el desarrollo individual.

A continuación se muestra en el siguiente gráfico la linealidad en barra gris y el antropocentrismo, en negro.

En esta cohorte, se evidencia que en Segundo es más cercana la relación entre antropocentrismo y linealidad, y hay menos representaciones lineales que en Primero. En Tercero se alejó de la relación porque se considera también lineal a las representaciones del desarrollo individual de peces, aves y otros. Gráfico 14.

En Tercero se incluían también las células procariotas y eucariotas y la linealidad desde ellas hasta los pluricelulares, y no aparecía tanto el hombre (como en Primero).

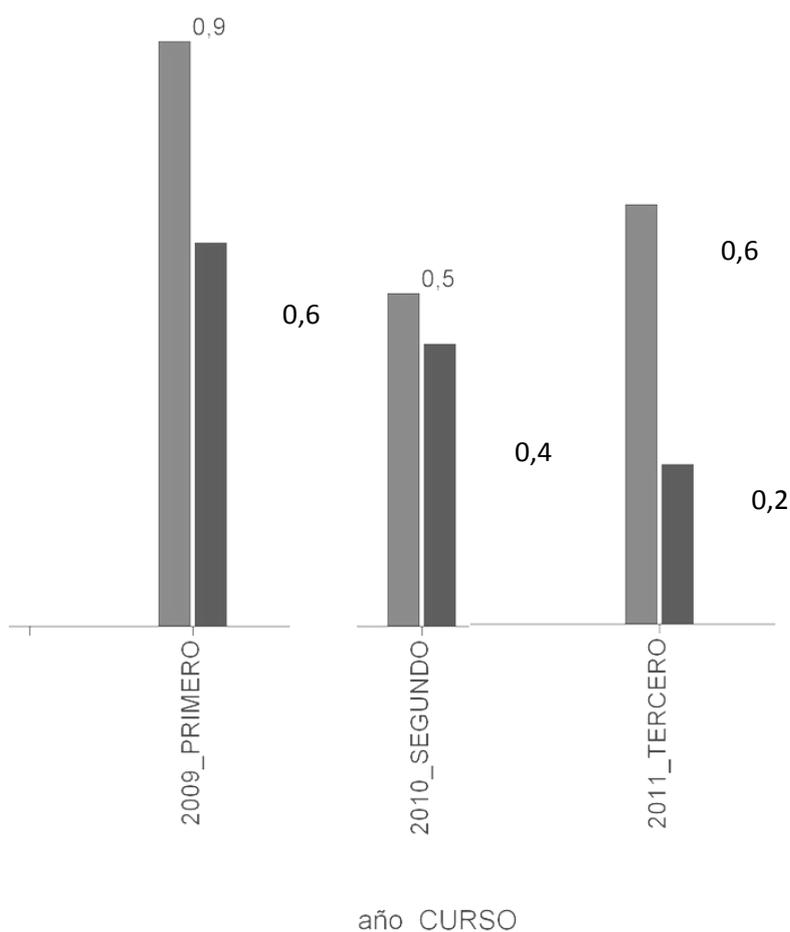


Gráfico 14: Tendencia de la linealidad y antropocentrismo en la Cohorte 1

En Segundo aparecieron ramificaciones, quizá en relación con la secuencia didáctica de evolución y la noción de ancestro común.

Algo significativo es la representación del desarrollo, desde el huevo a la gallina, por ejemplo, o de las semillas a las plantas, tomándolo como proceso evolutivo. Se dio en Primero y reapareció en Tercero, aunque también figuraba en unos pocos casos en Segundo.

En el siguiente gráfico la comparación con desarrollo (barras claras), ramificación (barras grises) y linealidad (barras oscuras) Gráfico 15.

La linealidad está presente en los tres cursos, siendo más marcada en Primero. La confusión evolución con desarrollo está presente en los tres cursos, pero es significativa tanto en Primero como en Tercero, en el cual se retoma su representación.

Los esquemas ramificados no son significativos en ningún curso, ni se muestra una tendencia creciente hacia su adquisición.

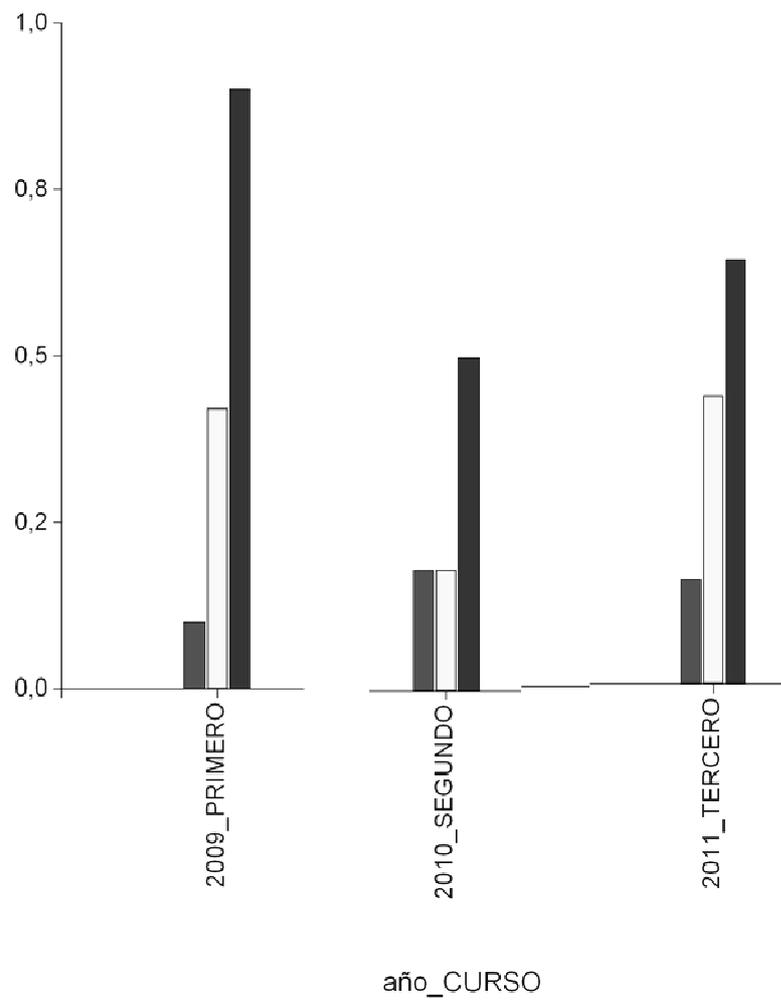


Gráfico 15: Comparación Desarrollo, linealidad y ramificación en la Cohorte 1.

5. j- Selección de imágenes representativas de la evolución y su justificación

Se planteó indagar qué imagen representativa de distintos modelos evolutivos seleccionaban alumnos de diferentes niveles educativos, Se utilizaron para ello, tres modelos que representaban la evolución de los vertebrados (Figura 158). El modelo A, escalera, inspirada en la Escala Natural de Aristóteles; el modelo B, árbol jerárquico, inspirado en el árbol de Haeckel; modelo C, el arbusto muy ramificado, inspirado en la metáfora darwiniana del Árbol de la Vida.

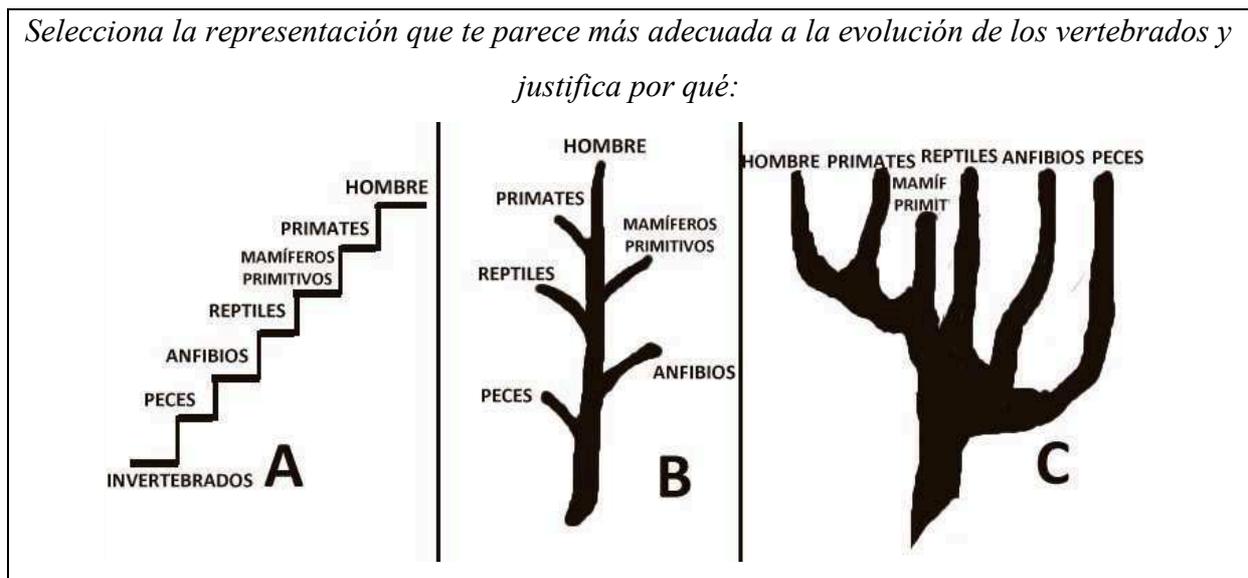


Figura 167

Esta propuesta se hizo a diferentes grupos durante 2009-2014:

- Alumnos de Segundo año secundario básico
- Alumnos de Tercer año polimodal orientación Ciencias Naturales
- Alumnos del Profesorado de Biología:
 - Ingreso
 - Cuarto año al inicio del espacio curricular “Evolución”
- Alumnos de Tercer año del profesorado de Educación Primaria
- Alumnos del Profesorado de Educación Especial, orientación intelectual
- Alumnos de Primer año de la carrera Agronomía UNNOBA, Junín

Algunos resultados obtenidos se presentan a continuación

Alumnos de 2º año ESB, Escuela Rural O'Higgins, Chacabuco, Buenos Aires. 2009

La gran mayoría seleccionó la escalera. Sólo 4 de 25 seleccionaron la opción B. Ninguno seleccionó la representación C, del arbusto.

Opción A:

Las justificaciones sobre la selección de la escalera más significativas son:

“...fue evolucionando hacia el hombre”

“porque incluye a los invertebrados”

“porque nos hace saber más sobre los animales y el hombre”

En el gráfico a continuación se aprecia la gran diferencia en cuanto a la selección de la representación a favor de la escalera:

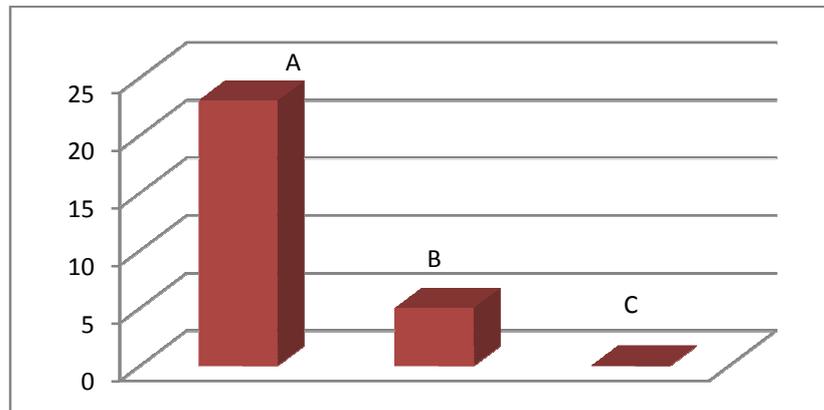


Gráfico 16: A, representación escalera; B, representación jerárquica; C, representación arbusto

La inclusión del hombre en las representaciones determina de alguna manera la selección progresiva y la diferenciación de los otros seres vivos predominando la visión antropocéntrica.

Alumnos de la carrera Ingeniería Agronómica, cátedra Introducción a la Biología, segundo cuatrimestre. UNNOBA, Junín, Buenos Aires, 2009

Se obtienen los porcentajes para comparar. Este es el gráfico que da como resultado:

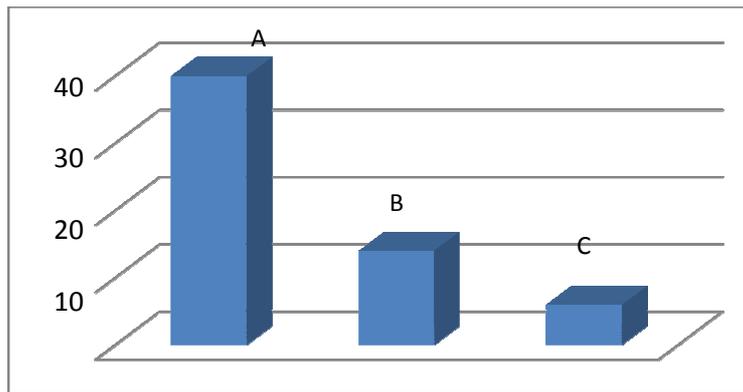


Gráfico 17: La opción A, escalera, obtiene el 66,7%; la B, el árbol jerárquico, 23,3 y la opción C, el arbusto, sólo el 10%.

De los 40 alumnos analizados, la representación Escalera obtiene el mayor porcentaje (66,7%)

En relación a las justificaciones, predominó que la escalera permite mayor entendimiento y es más fácil y simple.

A continuación se seleccionaron algunas respuestas:

Para la opción A (escalera):

“porque va del más evolucionado al menos evolucionado en forma escalonada”

“la forma más simple de representar la evolución de los organismos a través del tiempo”

“permite mejor visualización”

“es más definida”

“la secuencia más lógica”

“está más claro a simple vista”

“más fácil de interpretar”

“el que mejor muestra los avances hasta llegar al hombre”

“cada escalón representa un paso más en el proceso de evolución”

“la evolución dándose en períodos consecuentes”

“el hombre va primero”

“la forma más fácil de interpretar la evolución, aún para alguien que no está interiorizado en el tema”

Para la opción B (árbol jerárquico):

“me parece correcto ya que integra la A y C (ramificaciones y va de abajo hacia arriba)”

“porque el diagrama se ve más explicativo a simple vista”

“ordena en tiempo la evolución, están en el orden que fueron apareciendo”

“identifica mejor el desarrollo de las especies”

Para la opción C (arbusto)

“porque va tomando caminos diferentes”

Estos alumnos no tienen contenidos de evolución y la taxonomía que dan en futuras cátedras no es evolutiva, lo cual representa un grave problema para su formación.

Alumnos que cursaron el ingreso al Profesorado en Biología, ISFD N° 129, Junín, Buenos Aires, 2009.

Realizaron un taller nivelatorio con contenidos de evolución y, al finalizar, tuvieron un examen. En dicha evaluación se entregaron las representaciones para que las seleccionaran. Se registró una mayoría de C, arbusto, pero también fueron numerosas las A, escaleras, siendo poco significativa la selección del árbol jerárquico.

A continuación el gráfico comparativo con los porcentajes:

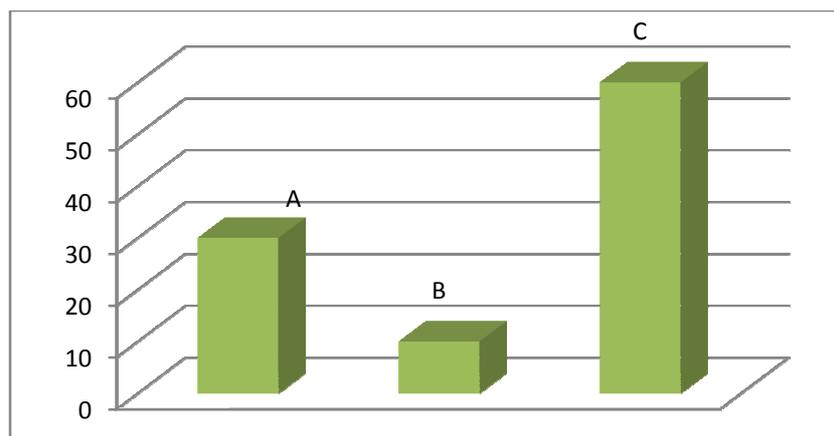


Gráfico 18: Alumnos del ingreso al Profesorado de Biología

Sobre la opción A:

“porque el hombre es el último eslabón”

“evolucionan los seres vivos, comenzando con los organismos unicelulares, luego pluricelulares, luego los tisulares, invertebrados... y así hasta llegar al hombre”

“es más fácil entenderlo”

“está claramente cómo se originó desde los invertebrados hasta llegar al hombre”

Sobre la opción C:

“la evolución no se da en forma lineal y escalonada, se va dando por selección natural. De cada especie surge más de una especie diferente. Se da en forma ramificada”

“sus ramas van a representar la evolución de cada una”

“porque el proceso fue gradual y muchas especies convivían al mismo tiempo”

“ya que la evolución se va ramificando”

Alumnas de Cuarto año del Profesorado en Biología, ISFD N° 60, Los Toldos, 2009

El profesorado es a ciclo cerrado, sólo quedan cuatro alumnas en Cuarto año, todas seleccionaron la opción C y su justificación fue por compartir un ancestro común.

Alumnas de Cuarto año del profesorado en Biología, ISFD N° 129, Junín, 2009

También son pocas alumnas, se obtienen 12 resultados, todos con la opción C, arbusto, pero fueron significativas sus justificaciones:

“porque considera a todos los organismos por igual porque todos han evolucionado hasta llegar al mismo grado de desarrollo”

“porque presenta antecesor común”

“el hombre es una animal, igual que los demás animales y todos provienen de un antecesor común”

“porque la evolución no es lineal”

“las especies evolucionan a partir de un antecesor común adaptándose a su ambiente en forma independiente”

Alumnos de Tercer año primera división, polimodal con orientación Ciencias Naturales,

Escuela Normal, Junín (B), 2009.

Se le pidió a la profesora que les presentara las representaciones durante la secuencia didáctica sobre evolución. Se obtuvieron los siguientes resultados, expresados en porcentaje:

La opción A, escalera: 57,9, la opción B, árbol jerárquico: 21 % y la opción C, arbusto: 21 %.

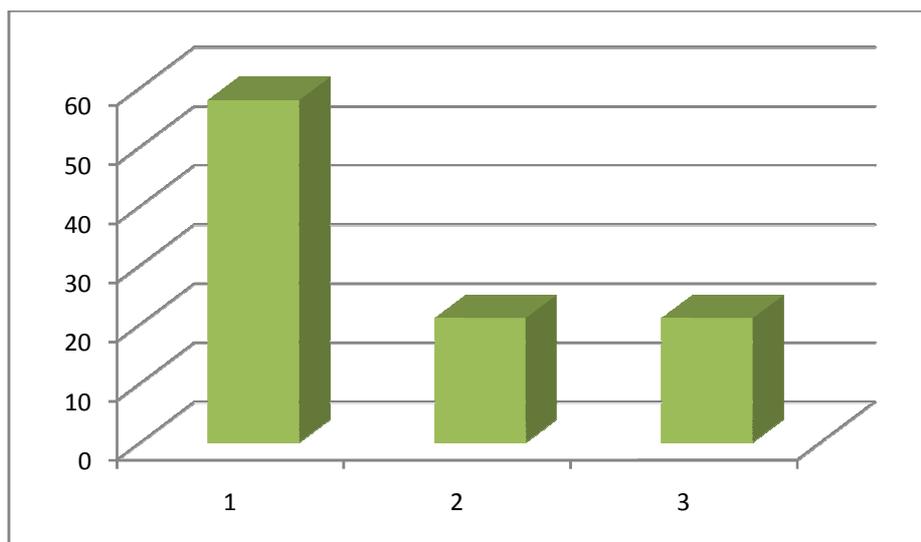


Gráfico 19: Alumnos de Tercer año, Polimodal., 2009.

Sobre la opción A:

“porque parte de los invertebrados”

“así fue la evolución de los seres vivos hasta llegar a nosotros”

“la vida comienza en el agua y fueron evolucionando”

“de un grupo de vertebrados evoluciona otro y así sucesivamente. Porque cada grupo desarrolla nuevas características (adaptaciones) que dan origen a otro grupo”

“porque la vida empieza en el agua”

Sobre la opción C:

“marca como surge la vida comenzando por los peces hasta llegar al hombre”

“se ve mejor la evolución”

“no considero que el hombre sea superior sino posterior a las demás especies”

“de un ancestro común evolucionaron todas las especies y al estar arriba todas nos muestra que estas especies están vivas”

Sobre la opción B:

“porque creo que es así”

“se ve bien”

Hubo casos que seleccionaron la opción del arbusto, pero la justificación fue lineal y progresiva. Tenían confusión entre grupos, clases y especies. Influyó el punto de vista sobre

el origen de la vida, los niveles de organización, seguramente tratados anteriormente en la misma secuencia y la idea de extinción. El antropocentrismo estuvo presente en la mayoría de los alumnos que seleccionaron la opción A.

Alumnos de Segundo año del profesorado Educación Especial, ISFD y T N° 20, Junín, 2011

La prueba se toma en la cátedra Didáctica de las ciencias naturales II, la cual tiene contenidos sobre evolución.

Los porcentajes obtenidos son los siguientes:

	B:	C:
A: 54,28	34,28	11,42

Se obtiene el siguiente gráfico

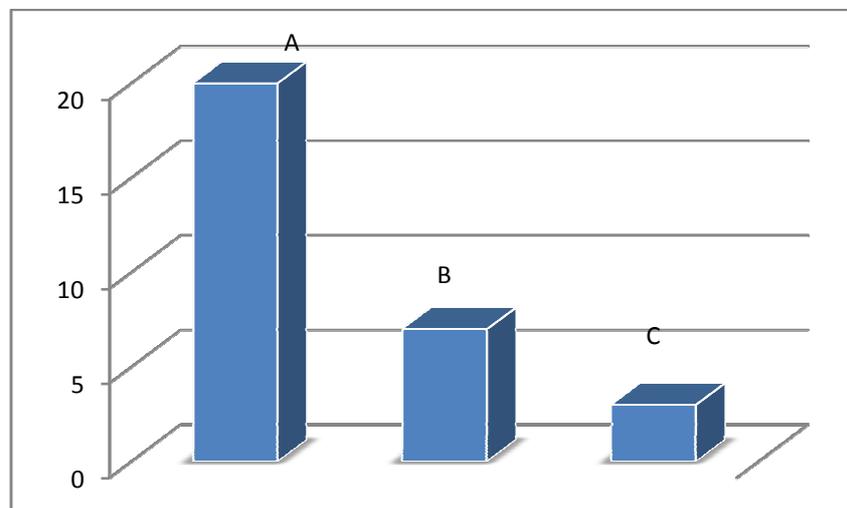


Gráfico 20: Alumnas de Segundo año del Profesorado de Educación Especial.

A continuación se transcriben algunas justificaciones

Sobre la opción A:

“es como se llegó al hombre, siempre descendiendo de uno en otro”

“porque representa cada etapa de la evolución”

“porque el hombre fue el último en aparecer”

“porque van de mayor a menor”

“se va modificando la evolución hasta por último llegar al hombre”

“porque llega al hombre”

“porque provienen del mismo lugar”

Sobre la opción B:

“Como se ha llegado al hombre hoy en día”

Sobre la opción C:

“evolucionan todos menos los mamíferos primitivos que van quedando rezagados”

Alumnos de Tercer año Profesorado de Educación Primaria, ISFD y T N° 20, Junín, año 2010

Se realizó la prueba dentro la unidad que posee contenidos de evolución, niveles de organización, clasificación de la biodiversidad.

Se obtiene un 70% de la representación escalera contra un 30% de árbol jerárquico, el arbusto no fue seleccionado.

Este es el gráfico obtenido

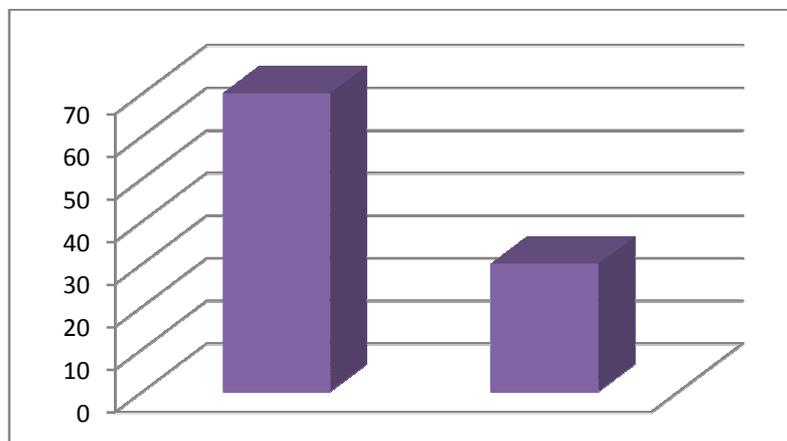


Gráfico 21: 70% Escalera, 30% arbusto, de 25 Alumnas del Profesorado de Educación Primaria, 2010.

Las justificaciones para la opción A:

Todas se refieren al progreso en complejidad y al hombre como punto culmine.

“es el que mejor representa la evolución porque el hombre es el ser más evolucionado a comparación con los invertebrados”

“representa la complejidad creciente”

Las justificaciones para la opción B:

“el mismo centro es decir a partir de un tronco común que sería “la vida””

“el hombre ha evolucionado hacia arriba y a su vez evolucionaron las otras especies”

Son muy significativas las justificaciones que tienen en cuenta el progreso y la diferenciación del hombre en un sentido haeckeliano.

Alumnos de Segundo año ESB, Escuela rural O'Higgins, Chacabuco, año 2012

Se obtienen los siguientes porcentajes

A. 86,95 B: C:
13,04 0

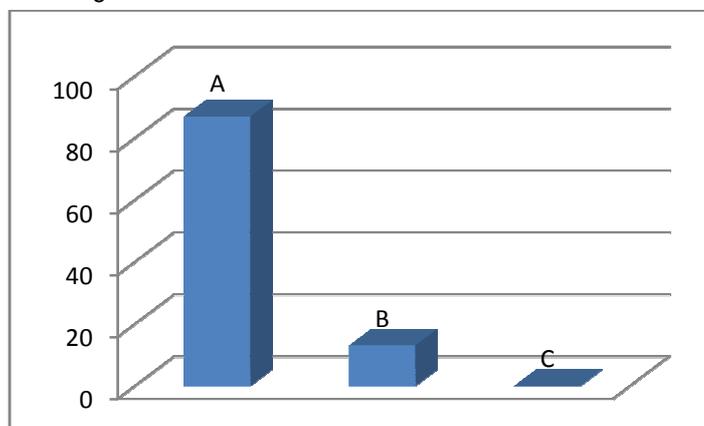


Gráfico 22: 22 Alumnos de Segundo ESB.

Sobre la opción A:

“me doy cuenta mejor como fue evolucionando el hombre”

“porque es más fácil, más claro se entiende mejor”

“como que la vida es una escalera”

“porque es más largo”

“es más claro”

“te das cuenta más rápido”

“es mejor para entender”

Sobre la opción B:

“representa el ancestro común”

“tiene formado el árbol genealógico y es más fácil de entender”

“porque es un árbol genealógico”

Alumnos de tercer año del profesorado de Educación Primaria, ISFD y T N° 20, Junín, año 2011.

De 33 alumnos se obtienen los siguientes porcentajes:

A: B: C:
47,36 15,78 36,84

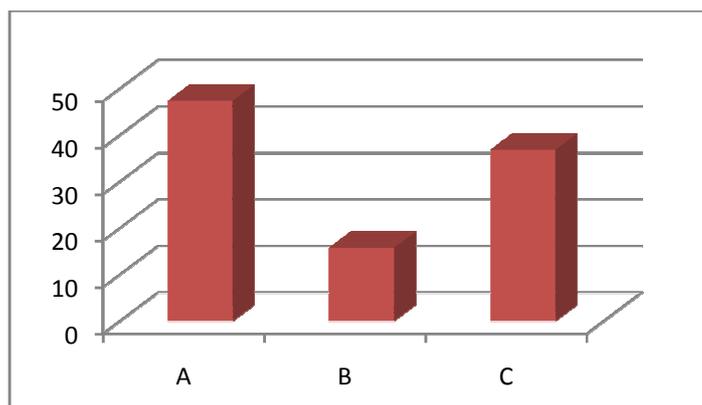


Gráfico 23: Alumnos de Tercer año del Profesorado de Educación Primaria, 2011.

Sobre la opción A:

“la evolución es un proceso que tiene como base seres más primitivos que se complejizaron al adaptarse”

“progresar en etapas”

“manera clara y progresiva”

“va mostrando las distintas evoluciones estando el hombre arriba de los demás y mostrando cómo se clasifican cada uno de ellos”

“evolutivamente aparecen de esa manera”

Sobre la opción B:

“para mí el hombre fue el último que surgió en la evolución y que se dice que somos descendientes de un animal (mono)”

“las ramas se van escalonando”

“el otro motivo es el que en el C da la sensación que todos están en el mismo nivel”

Aquí también es significativa la orientación haeckeliana que tienen al diferenciar el hombre de los demás animales y sostener la concepción de progreso y distintos niveles como resultados de la evolución.

Para observar qué seleccionaban en unos esquemas similares que no incluían al hombre se buscaron otros dibujos que representaban lo mismo, con un arbusto más despejado y fácil de entender. Se tomaron en algunos cursos, en Primero y Cuarto año del Profesorado de Biología y en dos cursos de secundario básico, en distintas cohortes. Se reemplazaron los dibujos por los esquemas del libro de Vertebrados de Kardong, Ed. 2007 presentado en el marco teórico Figura 168.

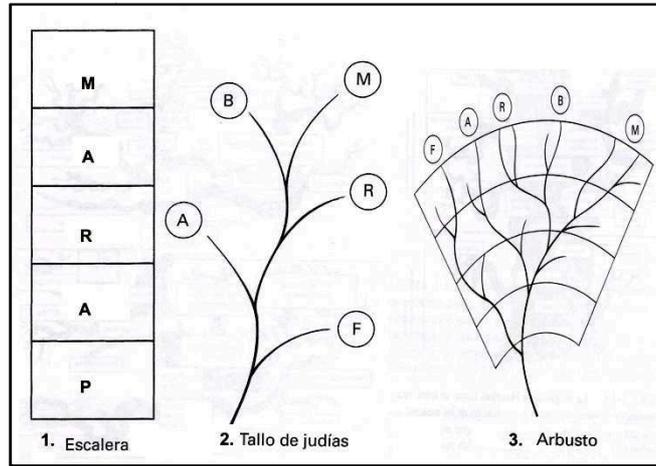


Figura 168

En estas representaciones no se incluye al hombre y aparentemente son “*más prolifas y ordenadas*” que eran unos de los argumentos que sostenían al elegir escalera o árbol jerárquico, porque el arbusto parecía más confuso o “*desprolijo*”.

Los resultados no variaron, pero la escalera se justificó cronológicamente: “*cómo fueron apareciendo en la historia de la vida*”

A continuación se presentan algunos resultados

Segundo año ESB, Escuela rural, O’Higgins, Chacabuco, Buenos Aires después de la secuencia didáctica, 2009

Se obtiene mayor porcentaje para la opción 3, arbusto, pero también escalera obtiene bastante. En las justificaciones, de quienes las hicieron, (porque la mayoría no puso nada o sólo porque sí o que le pareció mejor) no se notan decisiones apoyadas en conceptos como ancestro común o diversificación, etc.

De los 17 alumnos que participaron de la prueba se obtiene el siguiente gráfico:

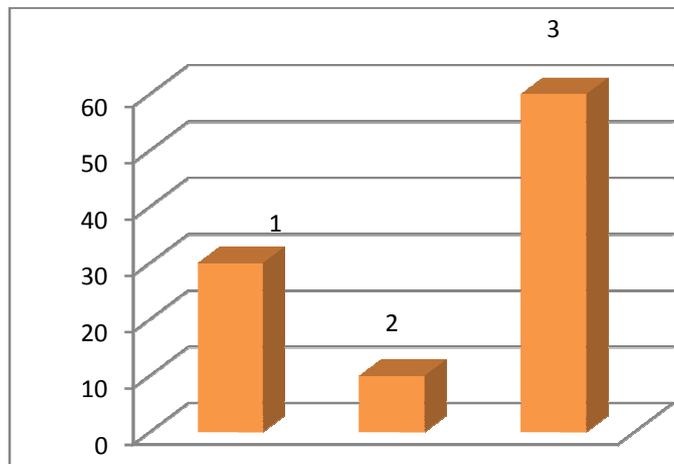


Gráfico 24: Alumnos de Segundo ESB, 2009

Las justificaciones más interesantes obtenidas fueron:

Para la opción 1:

“porque va subiendo la especie”

“representa la evolución de manera creciente y es más corta”

Para la opción 3:

“porque tiene más ramas”

Segundo año ESB, Escuela rural, O’Higgins, Chacabuco, Buenos Aires después de la secuencia didáctica, año 2010

De los 16 alumnos que participaron de la prueba se obtuvieron los siguientes porcentajes:

modelo 1	modelo 2	modelo 3
20	33,33	46,66

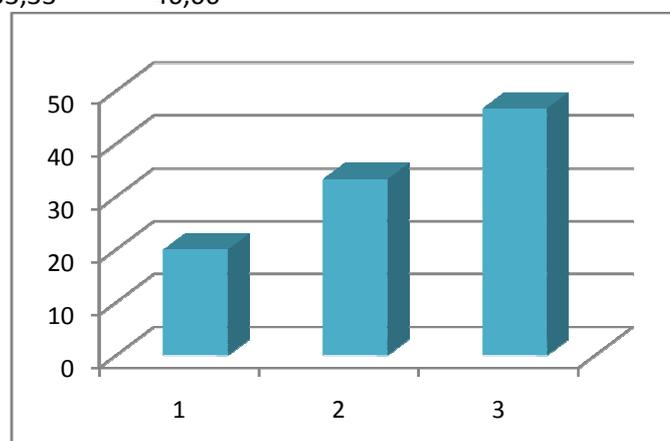


Gráfico 25: Alumnos de Segundo ESB, 2010.

No dan justificaciones sobre su elección y los que escriben algo, sobre el modelo 3, expresan que lo elijen porque *“tiene más ramas”*.

“es más representativo”

“es mejor”

Alumnos que ingresan al Profesorado en Biología, ISFD N° 129, Junín, año 2010

Estos alumnos realizaron la prueba luego del taller inicial donde vieron los principios de Darwin y el concepto de ancestro común. Se incluye dentro del examen final.

De los 47 alumnos que estuvieron presentes en la prueba se obtuvieron los siguientes porcentajes:

modelo 1	modelo 2	modelo 3
27,27	9,09	63,63

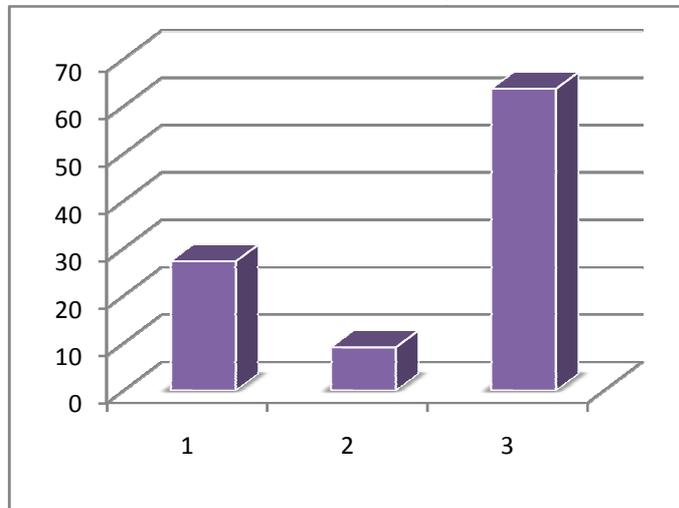


Gráfico 26: Alumnos ingresantes al Profesorado de Biología, 2010.

Justificaciones para el modelo 1:

“porque cada especie evoluciona de otra”

“siendo el mamífero el escalón más importante”

“veo una forma más clara de representar la evolución”

Justificaciones para el modelo 2:

“ muestra que en la etapa de la evolución fueron apareciendo las distintas especies, pero en diferentes lapsos de tiempo”

Justificaciones para el modelo 3:

“aunque sean de la misma especie no significa que los animales no hayan evolucionado de forma diferente”

“porque todos tienen la misma importancia en la evolución”

“porque cada especie evolucionó en forma independiente en distintos tiempos”

“...cada cual por su parte se distinguen de sus pares”

“porque ninguno nace del primero y tienen distintos descendientes”

“se ven mejores las especies”

“porque también está el tiempo en el que fueron apareciendo”

“porque parten de un ancestro común como dijo Darwin y luego se fueron diversificando y aparecieron nuevas especies”

“porque sería un árbol que le van creciendo las ramas”

Si bien tienen idea de la diversificación y ramificación, confunden especies, individuos y grupos y sólo una justificación mencionó al ancestro común.

Es significativa la selección del modelo 3, no sólo por la ramificación y que llegan todos los grupos actuales al mismo nivel sino porque brinda más información, por ejemplo la temporización. Tampoco nadie mencionó la extinción representada en las ramas cortadas. Tomaron como que cada “especie” sigue su camino y que todas tienen la misma “importancia” para la evolución. Algo que surgió mucho más frecuentemente en estos casos es que no se incluye al hombre diferenciándolo de los otros grupos, aunque aparecen los mamíferos como más importantes o evolucionados.

En otros grupos similares como en Cuarto del Profesorado en Biología del ISFD N° 60 de Los Toldos también se obtuvo mayoría en la selección del modelo 3 y las justificaciones son equivalentes a las presentadas por alumnos del Profesorado en Biología de Junín.

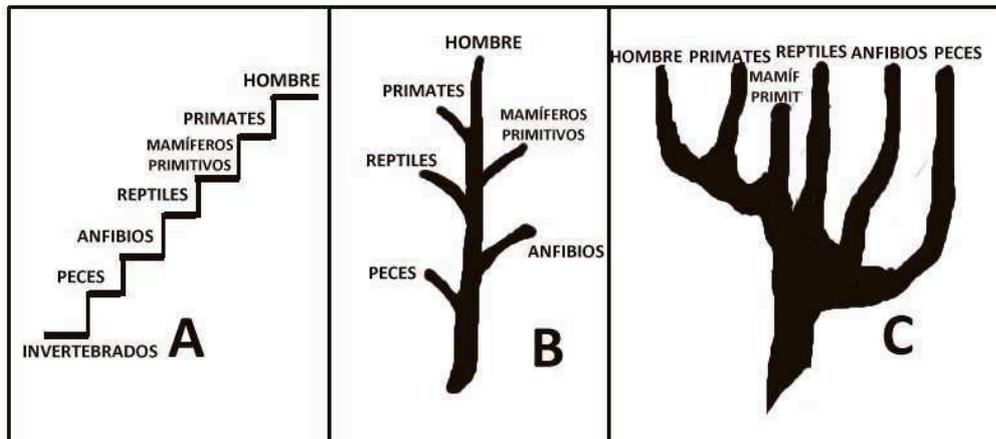
Resultados de las actividades realizadas durante la propuesta didáctica:

Se eligió Segundo año de secundario básico y Tercer año del profesorado en educación primaria que tenían planificados contenidos de evolución y la teoría del ancestro común.

Se les entregan en una guía las siguientes consignas con las representaciones. Se les pide que sea individual; de todas maneras se consultan o algunas alumnas se agrupan de a dos por bancos para resolverlos.

A continuación la guía utilizada:

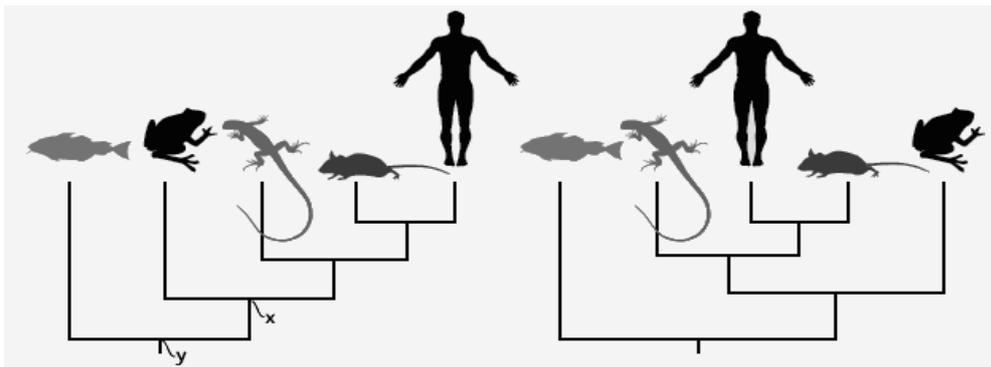
1) Elegí el esquema que mejor representa la evolución de los vertebrados:



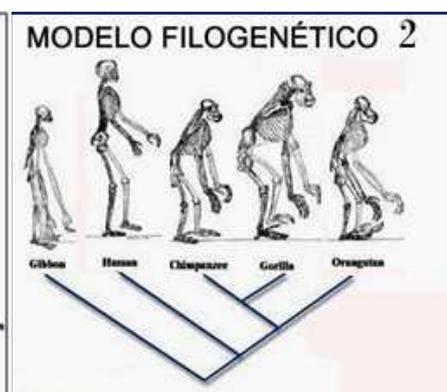
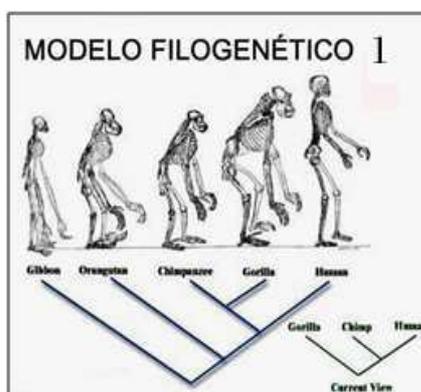
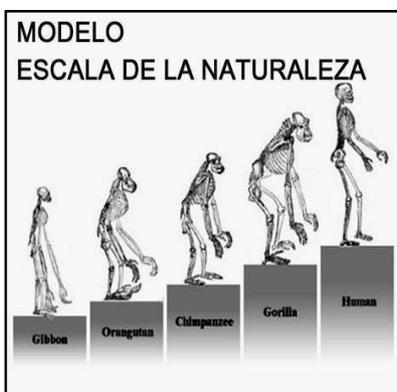
Justificar:

Elegí el esquema porque

2) Elegí el esquema que te parece más representativo y justificálo:



3) ¿Cuál de los siguientes esquemas representa mejor la evolución del hombre y su relación con los otros primates? ¿Por qué?



Segundo año ESB, Escuela rural O'Higgins, agosto 2014:

De 25 alumnos que estuvieron presentes en la prueba se consideran las selecciones y sus justificaciones.

1º actividad: Selección de la representación:

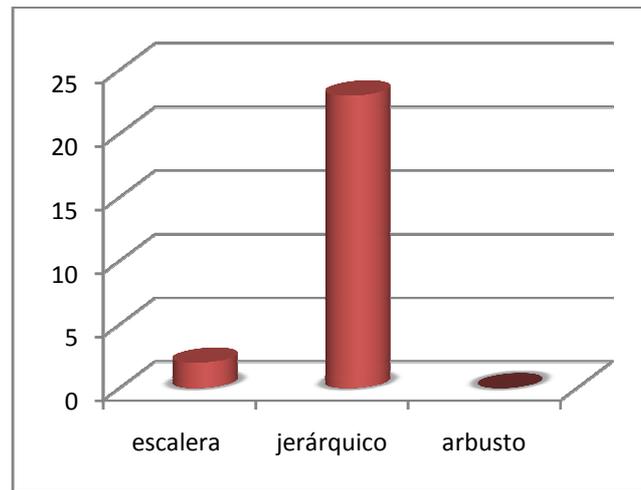


Gráfico 27: Segundo Año ESB, 2014.

La mayoría eligió el árbol jerárquico y la justificación que predomina es que están bien ordenados:

“para mí está bien explicado y organizado como sucedió”

“lo entiendo mejor”

“porque es el mejor ordenado”

“porque está completo y la evolución es así”

“porque el A es de invertebrados y el B porque es más sencillo”

“porque los diferentes tipos están más en orden”

“representa la adaptación cronológicamente” y la capacidad intelectual”

“muestra la evolución cronológica de los seres vivos”

“se especifica mejor como fueron evolucionando las especies”

“están mejor explicados y es en el orden que ocurre la evolución”

“la evolución de éste está mejor ramificada, ya que están en el orden que ocurrió”

“porque están en la misma línea”

“porque es el mejor que representa el árbol filogenético”

“porque presenta a las especies en orden ya que el hombre está último”

Entiendo mejor de ese modo”

Y para el esquema de la escalera, el A, las justificaciones son similares:

“va desde el que estaba primero y lo de después. Se entiende mejor”

“el A porque me parece más fácil y mejor explicado y te das cuenta por los escalones que después de uno va otro y es así de la forma que yo lo vi”

En la segunda actividad, el esquema filogenético está de diferente forma. Sólo cuatro alumnos se dan cuenta que es el mismo rotado. *“los dos son iguales”*

“los dos porque creo que es así con eso, con los dos se llega a lo mismo”

Seleccionan indistintamente uno u otro, pero se deciden a apostar por el esquema A, o el primero de la izquierda *“porque explica lo que estuvo primero y lo después y lo menos evolucionado hacia lo más evolucionado”*

“elegí el primer esquema porque el hombre va último”

En la tercera actividad, la comparación de la representaciones de la evolución humana mediante tres modelos, la escala de la naturaleza y modelo filogenético 1 y 2.

Se obtuvo el siguiente gráfico comparativo:

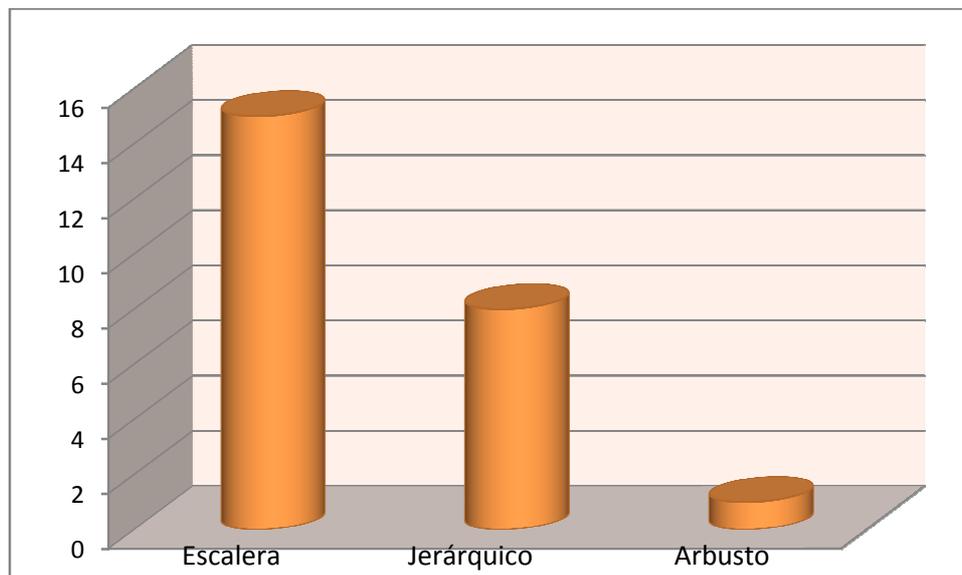


Gráfico 28: Segundo Año ESB, 2014, selección de representación.

Para la escalera sostuvieron algunas de las siguientes justificaciones:

“porque va desde el más primitivo hasta el más evolucionado”

“porque va de menor a mayor y está bien marcado desde los primeros ancestros hasta el último humano”

“va desde el mono que es el ancestro del humano”

“porque muestra de las mismas formas que evolucionaron las especies hasta llegar al hombre y en el dos están en diferentes lugares las especies por ejemplo los anfibios van en segundo lugar”

“porque se entiende mejor que el humano es la evolución del mono”

“porque se entiende desde el menos evolucionado hasta el más evolucionado”

“porque representa la evolución correcta según como cambia su esqueleto”

“porque explica lo que ocurrió desde que apareció el primer primate hasta que evolucionó, o sea el hombre”

Y para los modelos filogenéticos las justificaciones no son muy significativas:

Para el filogenético 1

”porque la imagen se entiende más”

“porque tiene un diagrama que explica la evolución”

Para el filogenético 2:

“para mí es el dos porque en los otros modelos están en distinto lugar los escalones”

“porque las flechas de abajo representan que se relacionan”

Se evidencia la persistencia de la evolución lineal y progresiva y la idea del hombre como ser más evolucionado y que “desciende del mono”.

Estos alumnos que tuvieron la secuencia didáctica de evolución, con las actividades de construcción de árboles filogenéticos, comparaciones e interpretación de árboles, aún seleccionaban las escaleras cuando se incluye al hombre.

Profesorado de Educación Primaria ISFD y T N° 20, Junín, 2015:

Se analizan las respuestas de 31 alumnas del curso de tercero de educación primaria del ISFD y T N° 20 de la ciudad de Junín, en mayo de 2015.

Resultados: El 90 % seleccionó la opción escalera (barra gris), y sólo el 10 % las otras opciones de arbusto y árbol jerárquico (barra blanca y barra gris oscura, respectivamente).

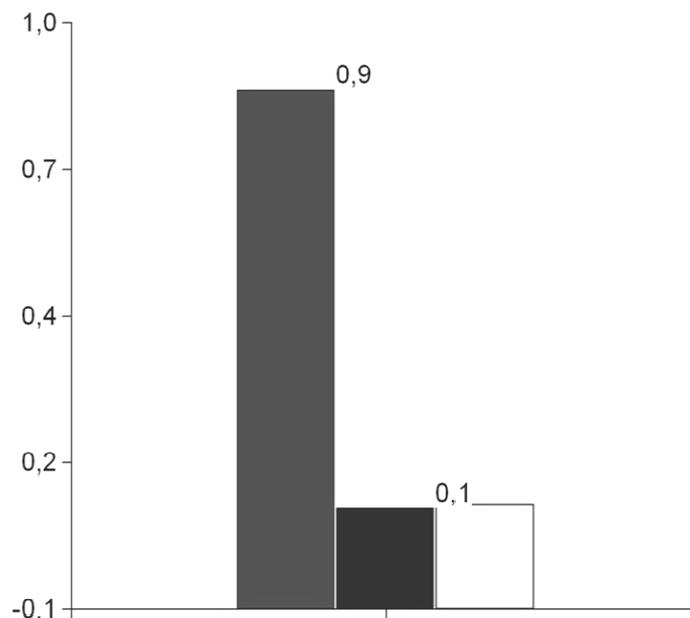


Gráfico 29: Profesorado de Educación Primaria, 2015. Selección de representaciones

Justificaciones para la Escalera:

“parece el más adecuado de los esquemas para utilizar al momento de enseñar el tema y para empezar de lo “menos” o “simple” a lo “más” o “complejo” y mostrar cómo evolucionan”

“muestra la evolución de los peces hacia el hombre, paso a paso”

“muestra cómo se fue complejizando la evolución de los vertebrados hasta llegar al hombre”

“primero surgen diferentes especies de organismos. Antes de la aparición del hombre surgen distintas especies que luego le sirven de alimento”

Justificaciones para el esquema B, árbol jerárquico:

Sólo hay una justificación:

“porque para Darwin la historia de la vida es como un árbol con numerosas ramificaciones que se originan de un tronco común hasta los extremos de los brotes más recientes que representan la diversidad de los organismos vivientes”

Justificaciones para el esquema C, arbusto:

“es un árbol filogenético. Cada rama representa una especie. Las especies no evolucionan en forma lineal y la unión de esas ramas representa el ancestro en común”

La única justificación del árbol filogenético darwiniano. Pero la misma persona seleccionó después las representaciones antropocéntricas.

En relación a los distintos modelos filogenéticos también optaron por la escalera (barra gris clara).

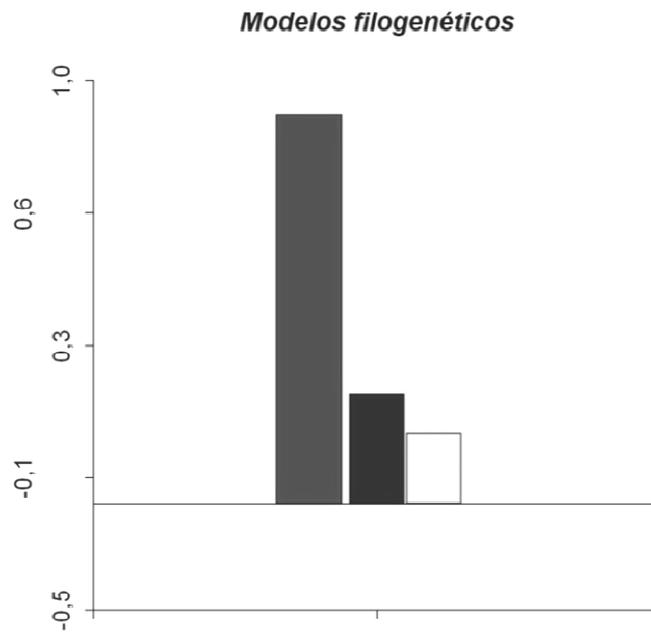


Gráfico 30: Profesorado de Educación Primaria, selección de modelo filogenético.

Gris: escalera; negro, modelo filogenético 1; blanco, modelo filogenético 2.

La mayoría lo elige porque *“es más ordenado”* y porque *“permite comprender de forma más clara la evolución, el avance de la humanidad”* proporciona mayor entendimiento porque *“está más organizado” “menos confuso”*.

En la actividad de selección número 3 sobre los esquemas que representan la evolución humana, todas seleccionaron el modelo de la “escala de la naturaleza”. También justificaron que es el *más organizado* y *“porque el proceso de evolución es más preciso que los demás”*. *“Porque la evolución del hombre se encuentra en orden”*; o *“porque está representado de mayor a menor”*. *“Representa mejor la evolución con respecto a la postura del hombre”*.

Algunas justificaciones fueron más elaboradas: *“a lo largo de la historia la evolución de los primates ha ido avanzando a través de experiencias de supervivencia, que lograron enriquecer sus formas de vida y desarrollo”*. *“Porque según la teoría de Darwin el hombre nace del mono, y de ahí que la especie se va civilizando con el paso del tiempo”*.

“Porque considero que somos la evolución de los anteriores”. *“Parece más representativo el esquema A, que estaría representando la relación y a la vez, una evolución en cuanto a la manera de “moverse””*. *“Muestra al hombre como la evolución máxima”*

Es significativa la selección del esquema que representa al hombre con un papel destacado, siendo la evolución de la postura o *“el esquema más ordenado”* las justificaciones que sostienen.

Las referencias al ancestro común son mínimas. En rojo antropocentrismo; azul, ancestro.

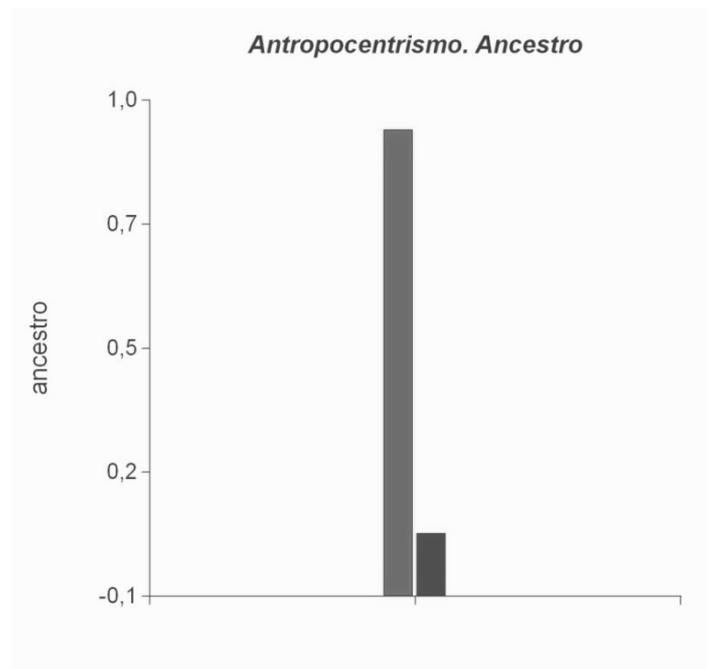


Gráfico 31: Alumnas del Profesorado de Educación Primaria, predominancia del antropocentrismo.

Los resultados de este estudio fueron similares a los obtenidos años anteriores y las concepciones antropocéntricas y la concepción de progreso no se abandonan fácilmente, ya que vuelven a aparecer en los discursos de los exámenes finales y en las prácticas áulicas.

Se tomó la prueba junto al examen de la secuencia didáctica sobre especiación dada por una practicante. Se cambió la primera actividad de selección por la del libro de Vertebrados de Kardong y otros, ed. 2007. Figura 168.

Con respecto a la selección de la representación de la evolución de los vertebrados (del libro de Kardong y otros) se obtuvieron los siguientes resultados:

11 alumnos optaron por el arbusto, 10 por el tallo de judía y sólo 1 por la escalera.

Se obtuvo el siguiente gráfico:

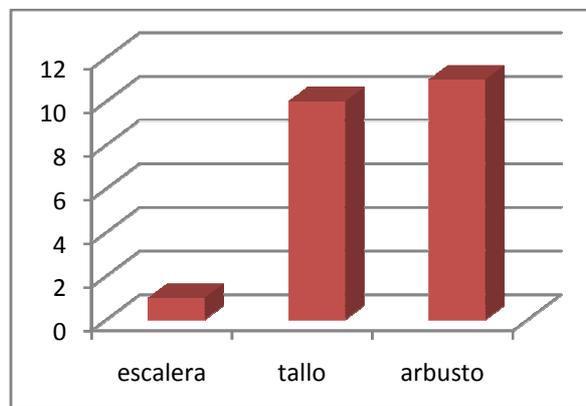


Gráfico 32: Alumnos de Quinto año secundario. Selección de esquemas

Las justificaciones más significativas fueron las siguientes:

Escalera

“porque los vertebrados están alineados”

Tallo de judías:

“Porque parece la columna vertebral de un vertebrado”

“se van agrandando los huesos y cada vez tenemos menos”

“los huesos se van agrandando”

“con el tiempo se van perdiendo, o desapareciendo huesos”

“me pareció el más adecuado”

“se ve como el tallo de judías va evolucionando y creciendo con el tiempo”

“mejor representa la evolución del vertebrado”

Arbusto:

“En los vertebrados hay muchas variedad de especies”

“porque representa muchas especies”

“porque tiene forma de arbolito”

“porque hay muchas ramas en las especies de vertebrados”

“presenta diferente ramificación”

“la relación con el árbol genealógico de los animales se nace de otro ser vivo”

“se muestra mayor cantidad de ramas es decir que evolucionó”

Para la segunda actividad del árbol filogenético, en la que aparece el hombre en distinto lugar, la mayoría optó por el modelo que tiene al hombre en el extremo derecho.

14 alumnos optaron por el esquema uno

La mayoría justificó diciendo *“porque es así como van evolucionando”*

4 alumnos seleccionaron el esquema dos

Dos justificaciones *“porque según muchos textos venimos de alguna clase de pez”*

Y 4 alumnos, ninguno

Uno estaba justificado de la siguiente manera: *“¿Qué tiene que ver la lagartija, ranas, ratas con el humano? No elegí ningún esquema porque no le encuentro sentido”*

El mismo alumno justificó que no eligió ningún modelo de la evolución humana porque *“en teoría no se asemeja a los esquemas que vemos cotidianamente: de un mono erguido a un humano”*.

La mayoría eligió el modelo de la escala de la naturaleza porque *“explica mejor como se va desarrollando el hombre”*

“Explica bien cada proceso evolutivo hasta llegar al hombre”.

“Porque la evolución se produjo en ese orden”.

“Porque se va adaptando y evolucionando hasta formarse una persona”.

Los que eligieron el modelo filogenético 2 no justificaron.

Hubo una justificación muy interesante para la única selección del modelo filogenético 3:

“Porque los primates siguen evolucionando”.

Como se expresó en el marco teórico, Huxley al representar la evolución humana se inclinó por la linealidad, colocando en secuencia ordenada los esqueletos de los simios a los humanos para demostrar la continuidad y la diferenciación progresiva. Esa representación fue popularizada y persiste en los libros de texto y materiales de divulgación. Una concepción

que fue reforzada en el siglo XX por influencias religiosas como las de Teilhard de Chardin las cuales se analizaron desde el punto de vista crítico de Stephen J. Gould.

En los libros de texto y en los materiales para la formación docente perdura la influencia de esta concepción antropocéntrica. En alumnas de carreras docentes es muy significativa la tendencia a la diferenciación del ser humano de los demás animales, como persona que posee alma, que debe ser aislado de los animales que carecen de ella.

En la selección de esquemas se observa la influencia de estas representaciones. Cuando se incluye la especie humana, se seleccionan representaciones lineales y progresivas, tendiendo a una direccionalidad, llevando a ser humano al punto cúlmine de una línea tanto temporal como de complejidad y progreso crecientes; estableciendo una diferenciación de los otros primates no humanos. Por eso también se elige el árbol que presenta un orden de izquierda a derecha, colocando al hombre al final, no como el otro modelo, que posee las mismas relaciones y las mismas ramas, pero de distinta disposición dejando al hombre “mezclado” con los demás primates.

5. k- Del discurso a la imagen

Se analizan a continuación la relación del contenido textual de la consigna del docente y las justificaciones con las producciones gráficas realizadas en todas las instancias con alumnos de diferentes niveles. Si hubo influencia en el cambio de consigna, si la inclusión de la idea del ancestro común conlleva a cambios en la representación.

Cuando se explicó la idea darwiniana del ancestro común y luego se pidió su representación, no necesariamente lo hicieron de forma ramificada. Generalmente nombraron al ancestro común diciendo que dos especies *“comparten un ancestro común porque son muy parecidos, como en el caso del gato y el tigre, el caballo y el burro”*, pero la representación seguía siendo lineal.

No hubo un cambio significativo al incluir en la consigna la explicación del ancestro común en su representación ramificada.

En las representaciones libres, cuando se incluyó en la consigna *“que represente la evolución por medio del ancestro común”*, (a partir de Segundo, que es cuando poseen los contenidos) esto no influyó en los resultados obtenidos.

En el análisis de actividades y producciones de clases en alumnos de Segundo de ESB, cuando se trabajó con ejemplos acotados (por ejemplo ñandú y avestruz, caballo y burro, gato y puma, etc.) se realizaron representaciones, teniendo el ancestro común en el centro o la sigla AC y luego dos ramas hacia arriba o hacia abajo. Pero en algunos casos se unificaron las ramas dando la idea de hibridación y, en otros, el ancestro común fue una especie concreta que dio origen a las otras dos.

Como se expresara en el marco teórico, en las explicaciones del docente pueden surgir inconvenientes semánticos que se tornan en obstáculos en la comprensión, especialmente en el caso de términos o frases polisémicas, o que refieran, en la vida cotidiana, a otros significados. El docente da por conocido y naturaliza términos que el alumno repite, pero que no está claro si el significado es compartido. Sucede esto con el uso de la expresión *“ancestro común”*, que evidentemente, no fue significativa su comprensión por parte de los alumnos ya que no influyó en el cambio de sus representaciones.

5. l- De la imagen al discurso

En las distintas pruebas que fueron tomadas en distintos niveles educativos dónde tenían que seleccionar imágenes y justificar se observó que las imágenes activaron sus conocimientos

previos y la mayoría trató de organizar una especie de “hipótesis” coherente o una explicación concreta para su elección.

La gran mayoría en las interpretaciones de esquemas e imágenes optó por una tendencia progresiva y antropocentrista.

En los esquemas confeccionados por alumnos de secundario básico, tanto como en sus interpretaciones, se evidencia la linealidad en el tiempo de la aparición y el incremento en complejidad y se manifiesta mostrando un “camino directo hacia el hombre o los mamíferos “más evolucionados” pasando por unicelulares, invertebrados, y demás vertebrados”.

En ciertos casos la imagen construida o seleccionaba, si bien mostraba cierta ramificación, en las justificaciones e interpretaciones de la misma, la concepción seguía siendo lineal y transformista.

Las interpretaciones de las imágenes y esquemas que incluyen al ser humano se tornan más *haeckelianas*, ya que toman la misma concepción de separar al hombre de los demás seres que poseía Haeckel, y colocarlo en un punto más encumbrado, como fue analizado en el marco teórico precedente. Esto se infiere no sólo de la imagen y la explicación explícita que se adjunta, sino que deriva a partir de el uso, en algunos casos, de términos tales como raza, perfección, avance, o frases tales como: más evolucionado, más civilizado, etc.

Es interesante el uso de las imágenes para posibilitar la activación de las ideas previas y hacerlas evidentes. Como se vio en los análisis anteriores surgen explicaciones variadas que denotan los obstáculos que ya fueron estudiados ampliamente.

Otra revelación obtenida al comparar las imágenes seleccionadas y su justificación con las representaciones históricas que fueron analizadas en la segunda parte del marco teórico, fue descubrir la similitud existente entre las mismas. De hecho, los alumnos y docentes que no habían tenido instrucción previa sobre la teoría evolutiva y sus representaciones seleccionaban la escalera o la representación lineal, luego al final de una propuesta didáctica que incluía la interpretación de árboles, o durante la misma, se inclinaban por seleccionar al árbol jerárquico, equivalente a la famosa representación de Haeckel, que aún persiste en los libros de texto y que tiende al arraigo del antropocentrismo y la idea de progreso. Solamente los alumnos avanzados del Profesorado de Biología y los profesores de dicha disciplina optaron y justificaron de manera coherente la representación arbustiva o el cladograma.

5. m- Persistencia de la progresión lineal y el “sentido común”

En la mayoría de las imágenes y diagramas analizados, las producciones individuales, las selecciones y justificaciones, se evidencia una tendencia hacia la interpretación de la evolución como tendiente a un sentido de perfeccionamiento y progreso, así como también una transformación lineal con una finalidad preestablecida. Se destaca en los comentarios y justificaciones la influencia cultural y del sentido común. La inclusión del ser humano en la evolución conlleva a la interpretación lineal y progresiva, colocando a éste como punto cúlmine de la escala evolutiva.

En el análisis del comportamiento grupal de los alumnos de los distintos cursos (también universitarios y superiores) se observaron muchos intentos de socializar sus decisiones, comparar con otros, corregir sus selecciones en base a lo que la mayoría realizaba, borrar e intentar varias veces...

La influencia del “sentido común” y la importancia de la decisión de sus pares jugó un papel importante, destacándose:

- Socialización de imágenes e interpretaciones.
- Legitimación del “líder” grupal (lo que hace él es copiado por sus “seguidores”)
- Corrección y arreglo de sus diagramas, imágenes y selecciones en base a lo decidido por la mayoría.
- Tendencias a dibujar un tipo de ser vivo o cierto estilo de representar en cada cohorte y año que se analizó.

Las concepciones, como fue expresado en el marco teórico, no se cambian sólo por convicción o demostración. Si los modelos representacionales siguen siendo funcionales y responden a una tendencia global contextualizada avalada por el sentido común perduran y son difíciles de sustituir. Y si lo hacen, su sustitución puede ser incompleta o sólo en apariencia, como un maquillaje que a la hora de argumentar o justificar, resurgen las antiguas concepciones

EXPERIENCIAS DIDÁCTICAS

6. CONSTRUCCIÓN E INTERPRETACIÓN DE ÁRBOLES

6. a- Del árbol genealógico al árbol evolutivo

En 2011 y 2012 en segundo año ESB, escuela rural de O'Higgins, se comenzó la secuencia de construcción de árboles filogenéticos y la introducción del concepto “Ancestro común” con la construcción de un árbol genealógico familiar individual de cada alumno y luego su comparación con la estructura de distintos árboles filogenéticos

Durante la secuencia didáctica realizada en segundo ESB, año 2013 se introdujo la idea del árbol filogenético comparándolo con el árbol genealógico, siguiendo un enfoque histórico desde las producciones de Darwin y Haeckel.

Cada alumno realizó su árbol genealógico y luego se comparó con los demás. Como los alumnos provienen de una pequeña localidad se encontraron muchos familiares en común, abuelos, bisabuelos, etc. y se trató de unificar árboles y armar uno solo con los que tenían “antecesores comunes”.

La secuencia se continuó con la búsqueda en libros de texto y en internet de distintos árboles filogenéticos. Se seleccionaron algunos, se analizaron y luego se compararon con los árboles genealógicos.

A continuación se presenta la actividad realizada por una alumna Figura 169.

Estas actividades se presentaron para facilitar la asimilación de los esquemas ramificados y darles significados a las representaciones, los nodos, las bifurcaciones y comparar estos significados en las distintas representaciones observadas y construidas.

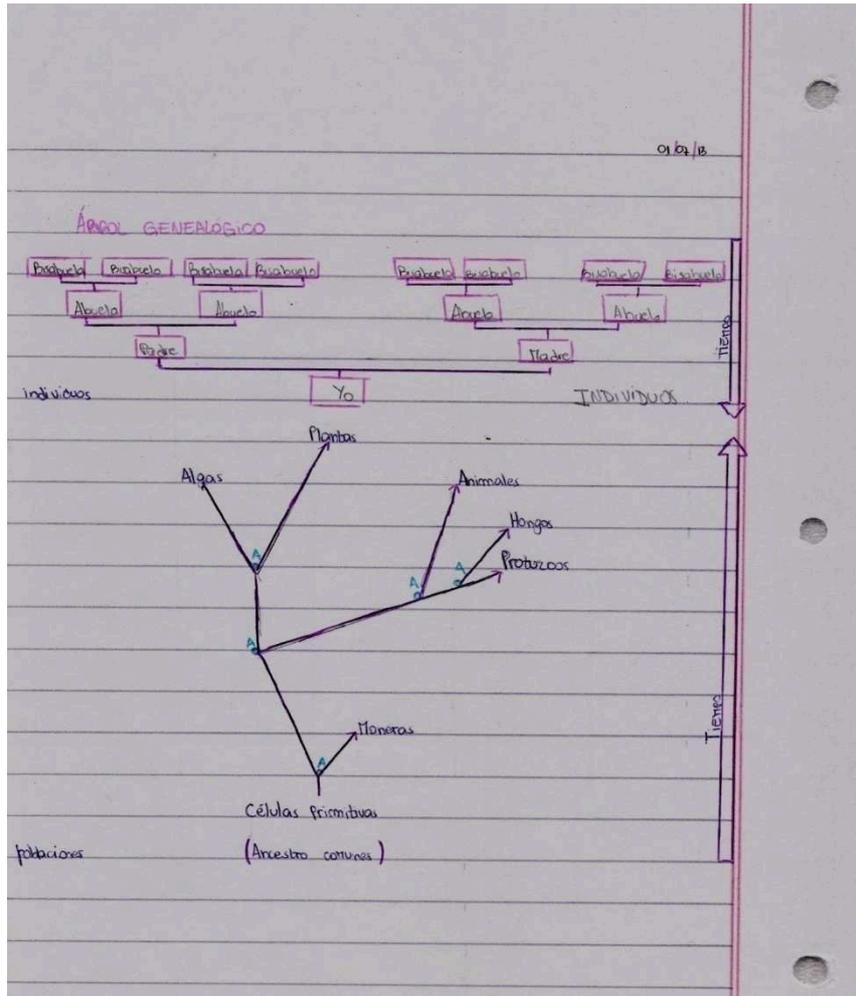


Figura 169

Y de la comparación surgen datos interesantes:

Que en el árbol genealógico van de dos en dos los ancestros, (desde el padre y la madre), que los puntos son individuos; en cambio, en el filogenético son especies o grupos, que el tiempo se lee “al revés” (como que el árbol queda “patas para arriba”). Y algo que no tuvieron en cuenta y que se les hizo notar fue que los ancestros en los árboles filogenéticos no aparecen, porque son hipotéticos. Figura 170.

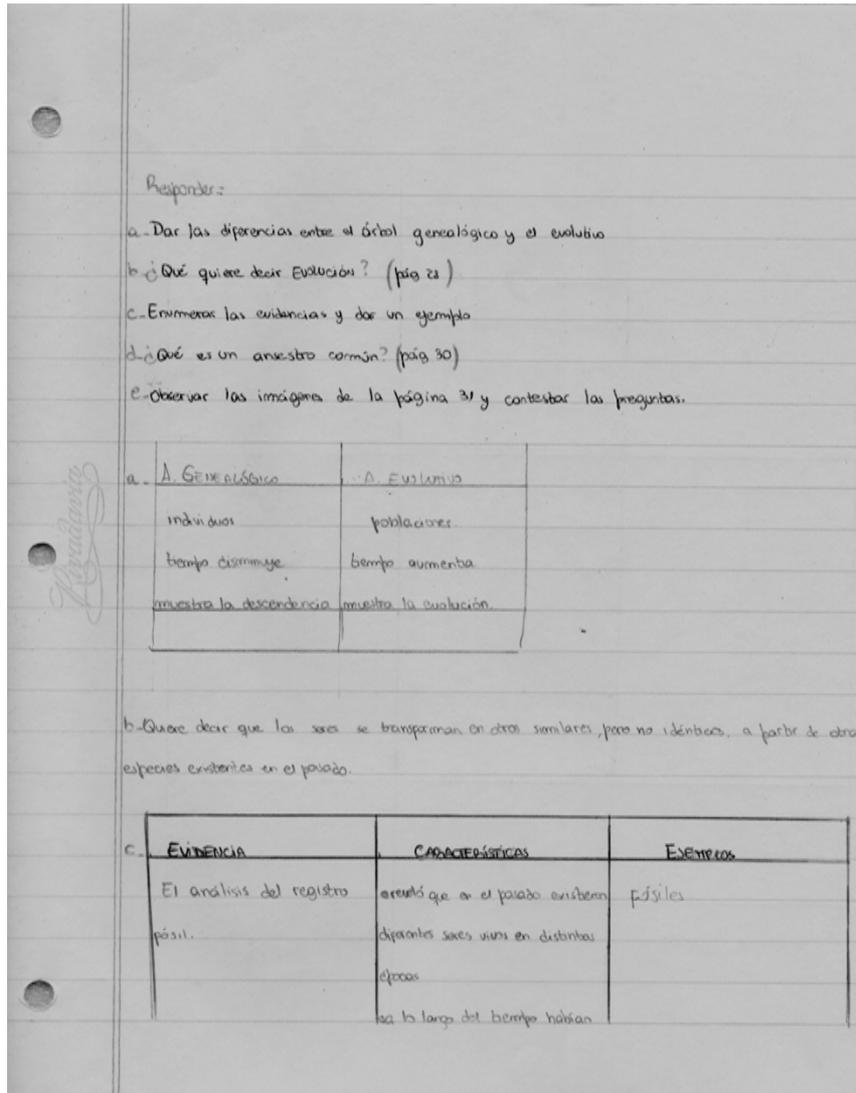


Figura 170

Para esta alumna, la principal diferencia es el tiempo y la forma, y luego también se dio cuenta que en el árbol genealógico los ancestros van de dos en dos y lo pudo relacionar con la reproducción sexual. También que son individuos y en el árbol filogenéticos son grupos, especies o taxones. Pero no todos los alumnos fueron capaces de llegar a las mismas conclusiones, algunos se limitaron a copiar el cuadro de otros sin esforzarse en comprender; otros, sólo se quedaron con la forma y la idea de parentesco que era común a ambos árboles.

6. b- Desde el ancestro ramificamos

Durante la secuencia didáctica de Segundo ESB, año 2011 se realizó la construcción de árboles siguiendo a Darwin y a la idea del ancestro común.

En esta actividad se propuso armar un árbol darwiniano, siguiendo las ideas que llevaron a Darwin a crear las primeras ramificaciones, partiendo de la clasificación tradicional agrupando por posibles parentescos.

Se les pidió que trajeran figuritas de seres vivos y en clase, luego de repasar los conceptos de ancestro común, la clasificación de Linneo y la historia de la construcción del árbol de Darwin, se inició la construcción de diferentes árboles en afiches, Figura 171, que luego socializaron y confrontaron grupalmente.

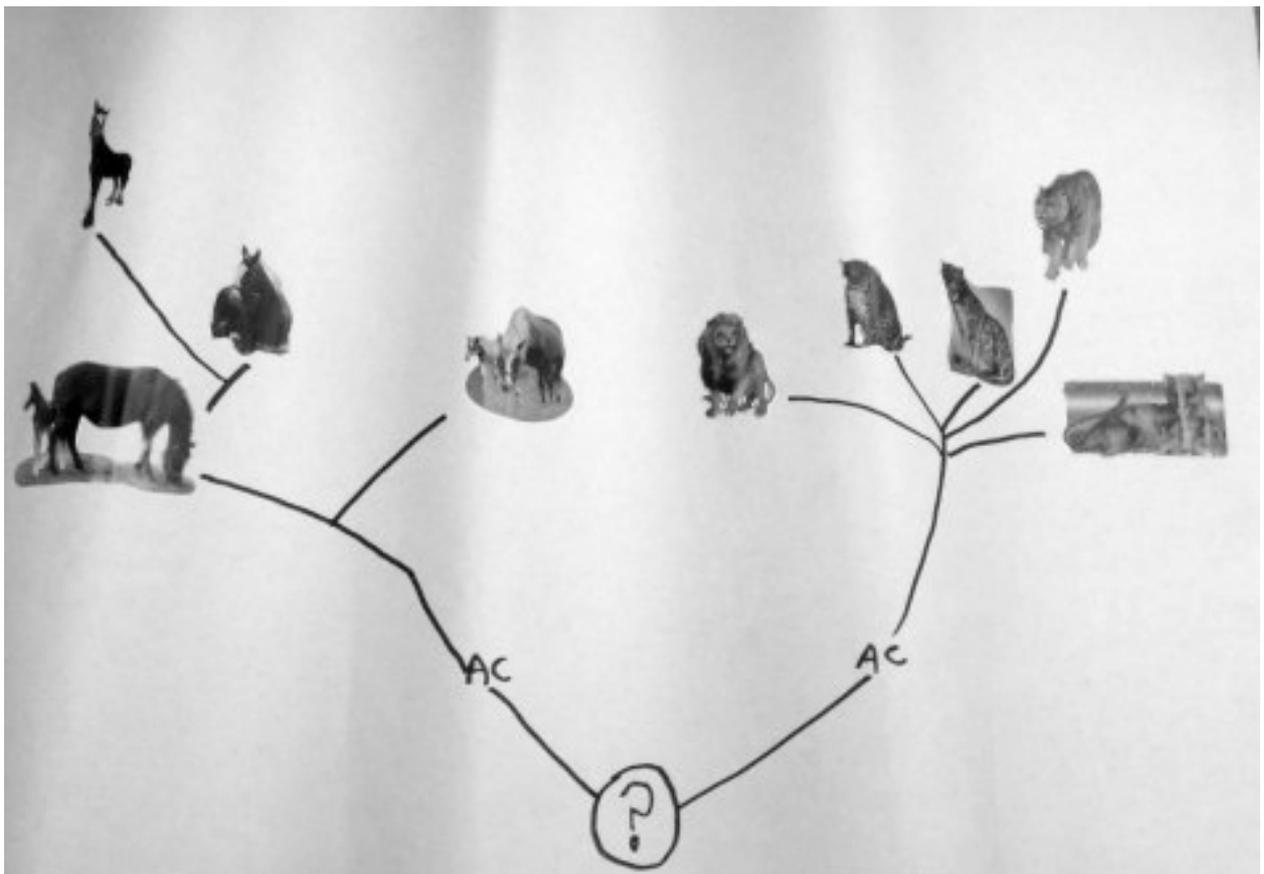


Figura 171

Las mayores dificultades presentadas fueron:

- Cómo establecer un ancestro común.
- Que el ancestro común tenía que ser una relación posible, no un ser vivo existente en la actualidad.
- Que ese ancestro fuera hipotético no concreto

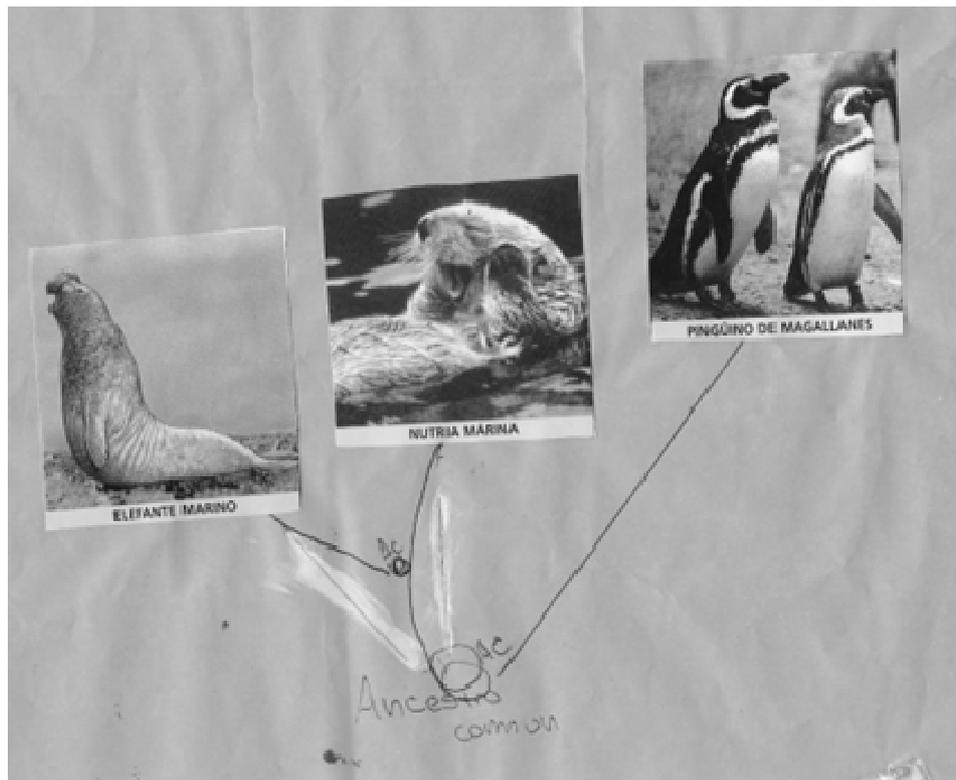


Figura 172

Otras de las dificultades que aparecían eran las asociaciones por el hábitat, analogías como dos patas o alas o formas parecidas, dietas alimenticias y otras similitudes que nada tienen que ver con el parentesco. Figura 172.

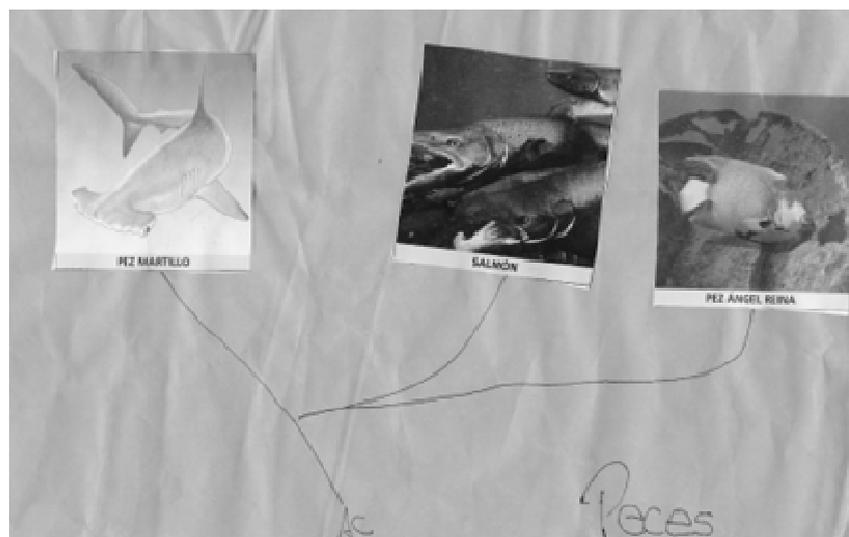


Figura 173

Algunos agrupaban y hacían varios árboles cada uno con su grupo, como en el caso anterior representando a los “acuáticos”. O como en el ejemplo, “los peces” Figura 173.

El siguiente árbol fue realizado por un alumno que nunca participaba, pero que en este tema se interesó. Colocó ancestros hipotéticos y reales y también hubo transformación lineal, pero agrupó por parentescos en un esquema similar a los que aparecían en los libros de textos de la década de 1980. Figura 174)



Figura 174

6. c- De la matriz al árbol

Se presentan a continuación la interpretación de las producciones realizadas en distintos talleres que se realizaron para alumnos y docentes durante los años 2012, 2013 y 2014.

El taller para docentes de biología se desarrolló presentando, en primer lugar, cómo se construyen clasificaciones taxonómicas y árboles filogenéticos basados en la sistemática evolutiva, y el cladismo. Luego se propusieron actividades prácticas de clasificación y construcción de matrices y cladogramas con distintos elementos, tornillos, botones, seres vivos reales e imaginarios y se analizaron árboles contruidos con distintas herramientas. Para ello se hizo un recorrido histórico de la construcción de árboles y se mostraron las herramientas informáticas modernas.

Entre los materiales utilizados se destaca un libro pequeño del British Museum (Natural History) sobre clasificación de la editorial Akal, cuya edición en español es de 1994. En dicho libro se desarrolla la metodología cladista utilizando matrices con ejemplos simples.

A continuación se muestra un ejemplo que fue trabajado tanto en secundario básico como con los docentes en los talleres Figura 174.

Aquí, por ejemplo el pelirrojo y el carbonero común forman un grupo que está definido por características (como las plumas) que poseen ambos, pero que no posee el ratón.

petirrojo
carbonero común
ratón

La distribución por grupos (llamados clades) se representa generalmente en forma de diagrama ramificado llamado cladograma.

Las características que definen un clade se conocen como **homólogas**.

plumas

Método

1 Identificación y registro de las características
El primer paso consiste en describir los organismos estudiados de acuerdo con las características que poseen.

Un ejemplo simplificado. Algunas de las características más obvias de estos cuatro animales pueden ser registradas como en la tabla siguiente:

	ratón	murciéago	petirrojo	carpa
pulmones	✓	✓	✓	✗
cuatro extremidades con huesos	✓	✓	✓	✗
glándulas mamarias	✓	✓	✗	✗
pelo	✓	✓	✗	✗
alas	✗	✓	✓	✗
plumas	✗	✗	✓	✗
mandíbulas	✓	✓	✓	✓

Figura 175, ejemplos utilizados en la secuencia didáctica.

Los resultados obtenidos en el taller de construcción de árboles partiendo de una matriz en Segundo año fueron presentados en una sección anterior.

Los resultados obtenidos en las producciones desarrolladas por docentes y estudiantes de profesorado fueron similares a los obtenidos con alumnos de secundaria.

Los docentes de biología tuvieron menos dificultades para realizar la matriz y después trasponer los datos en la representación esquemática del árbol.

A continuación se muestra un ejemplo socializado por un grupo de docentes de un árbol y una matriz realizado clasificando figuras de seres ficticios Figura 176.

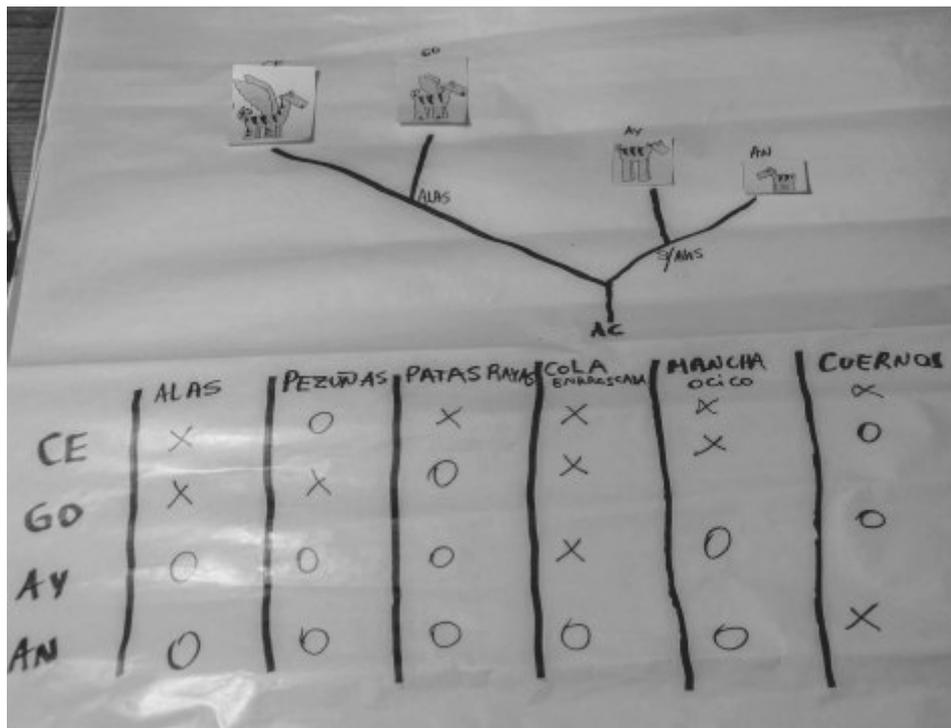


Figura 176

Algunos casos de docentes que son profesionales de agronomía o bioquímicos y que están haciendo capacitación docente y dando clases en secundario, tuvieron dificultades en la identificación de ancestros. Buscaban colocar un ancestro concreto en un nodo.

En los casos de docentes de educación primaria o inicial que no tuvieron contenidos específicos sobre evolución se notó la tendencia a la representación lineal y la transformación.

En los ejemplos presentados, justificaron diciendo que al animal “*le fue creciendo el cuello y las patas y le salieron cuernos*”

A continuación se muestra una producción de este tipo, donde confluye un ancestro común con dos ramas, una lleva una transformación lineal direccional. Este esquema lo realizaron sin hacer la matriz previamente. Figura 177.

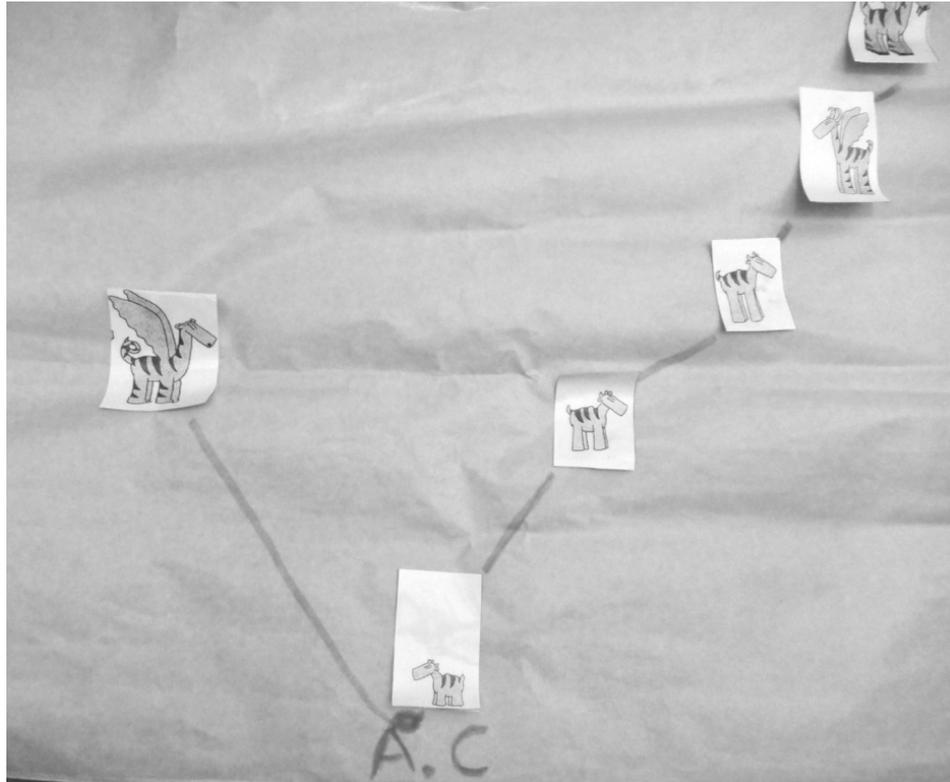


Figura 177

6. d- Obstáculos⁶¹ epistemológicos e interpretaciones erróneas más comunes

Los resultados de los análisis de las producciones de la secuencia didáctica y los talleres muestran que los mayores obstáculos y dificultades que se presentan son:

- La concepción lineal y progresiva de la evolución.
- La separación del hombre de los animales o su diferenciación como punto culmine de la evolución. Antropocentrismo.
- La incomprensión y desconocimiento de las homologías y su diferenciación de analogías.
- La identificación del ancestro común como un eslabón existente actual o extinto.
- La Confusión del desarrollo individual con evolución de la especie.
- El manejo de multivariables y parámetros aplicados a todos los elementos de una clasificación.
- La falta de relación con conocimientos previos o conocimientos previos erróneos y persistentes.

⁶¹La noción de obstáculos epistemológicos es tomada de Bachelard, (1985) que fue desarrollada en una Tesis anterior (Torreblanca, 2010)

- La prevalencia del sentido común y falta de acceso a fuentes científicas o de divulgación confiables (en el caso de los docentes).

Los obstáculos epistemológicos se pueden equiparar con la historia de las representaciones y las dificultades en la clasificación de los seres vivos presentadas a lo largo de la historia de la ciencia.

En el análisis de las producciones de los distintos talleres, de los esquemas e imágenes seleccionadas o construidas se trató de establecer relaciones entre los obstáculos que más se evidenciaban y se partió de una serie de cuestiones:

- ¿Si hay antropocentrismo, éste necesariamente conlleva a una representación lineal?

Generalmente se observó que la tendencia a la linealidad, el progreso y la representación con tendencias teleológicas se da siempre que se incluye el ser humano, pero también aparece, en menos medida cuando se representan peces, por ejemplo. La asociación antropocentrismo, linealidad, progreso y teleología es evidente. En cambio al representar otros grupos de vertebrados o “especies” vegetales o animales la asociación con el desarrollo individual es la que prevalece o el incremento en complejidad y/ o cantidad.

- ¿La idea del ancestro común conlleva a una representación ramificada?

La representación del esquema ramificado o la analogía del árbol no fue espontánea. La comenzaron a realizar cuando se les enseñó a hacerlo. Igualmente no necesariamente se asocia luego con el ancestro común y también aparecían representaciones lineales y encadenadas con referencias al ancestro común. Es decir, la ramificación no sólo se asocia a la idea del ancestro común y la idea de éste; también puede conllevar a una representación lineal como una especie de eslabón. La idea del “eslabón perdido” está muy arraigada, y se busca ubicar un ancestro concreto, real, imaginario, extinto o actual para completar el esquema.

- ¿La inclusión de la frase ancestro común en la consigna afectó las producciones?

Si bien al analizar las consignas del docente y su interacción con la producción de dibujos o esquemas se observó cierta relación en cuanto a aclaraciones y respuestas sobre “qué dibujar”, la inclusión de algunas etiquetas y descripciones, no así apareció una correlación positiva entre la consigna con el agregado de “ancestro común” y su representación gráfica o explicitación. Es decir, que el docente haya agregado la frase “ancestro común” en la

consigna, no tuvo ningún efecto significativo explícito en la producción de esquemas ni en su justificación. Tampoco el haber tenido la teoría del ancestro común y conocer el significado de los términos implicados conlleva a que se evidencien cambios en las representaciones gráficas.

- ¿Qué otras influencias del “sentido común” pueden afectar las producciones o selecciones de esquemas e imágenes?

La búsqueda de consenso grupal, la búsqueda de legitimación en libros de texto, material de divulgación o internet, la elección de algunos líderes del grupo tuvo impacto en la decisión de qué y cómo dibujar. Se vieron tendencias en cada curso. Se observó la existencia de partidarios de una idea o esquema representativo que se destacaron por ser considerados “buenos alumnos” o “buenos dibujantes” y pequeños grupos que copiaron su diseño. En los primeros años se evidenció mayor espontaneidad y menos copia.

7- LAS REPRESENTACIONES FILOGENÉTICAS EN LA ENSEÑANZA DE LA EVOLUCIÓN

7. a- La utilización del modelo del árbol filogenético como herramienta de enseñanza-aprendizaje

Para tomar los obstáculos como objetivos, en un principio se comenzaría por detectar los principales obstáculos y concepciones implícitas en la construcción de árboles evolutivos y cladogramas que surgieron a lo largo de la historia de las representaciones evolutivas. Es importante, al comenzar la secuencia, indagar qué imagen icónica sobre la evolución seleccionan los alumnos y relacionar con su justificación-interpretación de la misma. Es posible también pedirles que dibujen de manera espontánea cómo representarían ellos la evolución de las especies y lo justifiquen oralmente o por escrito. Entonces, se trataría de identificar obstáculos epistemológicos en la interpretación de imágenes y diagramas evolutivos en la selección y construcción de los mismos y comparar las representaciones históricas de la evolución con los obstáculos epistemológicos presentes en los estudiantes. A partir de allí armar actividades para diseñar e interpretar árboles filogenéticos desde los modelos haeckelianos hasta los cladogramas actuales con sus matrices de datos (Guimarães, 2004), teniendo un marco de aprendizaje significativo y utilizando estrategias de indagación y confrontación de modelos, tendiendo a la comprensión, la justificación y la argumentación (Torreblanca, 2013).

7. b- El enfoque histórico en la utilización de las representaciones como recurso didáctico.

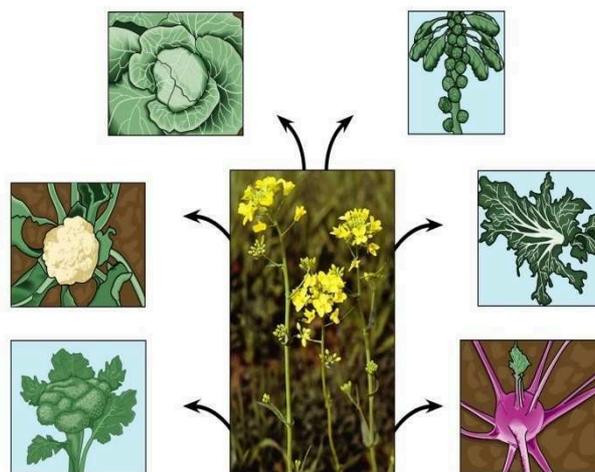
La historia de la ciencia, en este caso de la biología evolutiva, brinda herramientas para transformar los obstáculos epistemológicos en objetivos didácticos y armar estrategias y actividades teniendo en cuenta la secuencia histórica y la superación de los obstáculos que se presentaron en la representación de la evolución con el modelo del árbol (Torreblanca, 2010). Desde sus inicios como analogía con el árbol genealógico hasta la actualidad con los cladogramas, atravesando las influencias de las concepciones de diferentes épocas, como la linealidad, el progreso, la jerarquía, el racismo, entre otras. Estas representaciones a lo largo de la historia reflejaron concepciones que se fueron superando, pero que aún en materiales de divulgación y en libros de textos continúan apareciendo. Concepciones, algunas tan arraigadas en el sentido común y el imaginario colectivo que se tornan obstáculos recurrentes en la enseñanza – aprendizaje de las concepciones evolutivas actuales y sus modelos icónicos de

representación. Obstáculos que se hacen necesarios explicitar y transformar en objetivos para ser interpretados, contextualizados y superados dentro del marco de la ciencia escolar.

8-PROPUESTA DIDÁCTICA

8. a- Propuesta didáctica: Imágenes como mediadoras de la interpretación de los obstáculos

Partiendo de la sistematización y secuenciación de los obstáculos más recurrentes según el nivel educativo respectivo, se trata de planificar, (tomando a cada obstáculo como un objetivo particular) estableciendo indicadores de avance y actividades específicas basadas en representaciones para cada uno de los objetivos-obstáculos propuestos. La secuenciación de los obstáculos sigue un orden lógico que se corresponde con la superación de los mismos en la historia del desarrollo de la biología evolutiva. Por lo tanto, la propuesta didáctica se basa en un enfoque histórico sobre las representaciones de la evolución, comenzando a indagar sobre el trabajo de Darwin y las distintas representaciones y metáforas que utilizó, cómo realizó sus diagramas y de qué manera los interpretó. Para ello se utilizarán como recursos los bosquejos de ramificaciones de sus borradores de 1838, las representaciones sobre selección artificial de las palomas, los diagramas de la formación de nuevas especies en el capítulo de selección natural de su libro *El Origen de las Especies* y la metáfora del árbol de la vida de sus borradores y del libro ya citado. La secuencia continúa comparando esas representaciones con otras actuales que aparecen en libros de texto. Ejemplos:



Copyright © 2005 Pearson Education, Inc. Publishing as Pearson Benjamin Cummings. All rights reserved.

Figura 178: Selección artificial. (Biología, Campbell-Reece, Ed. Médica Panamericana, 2008, pág. 445).

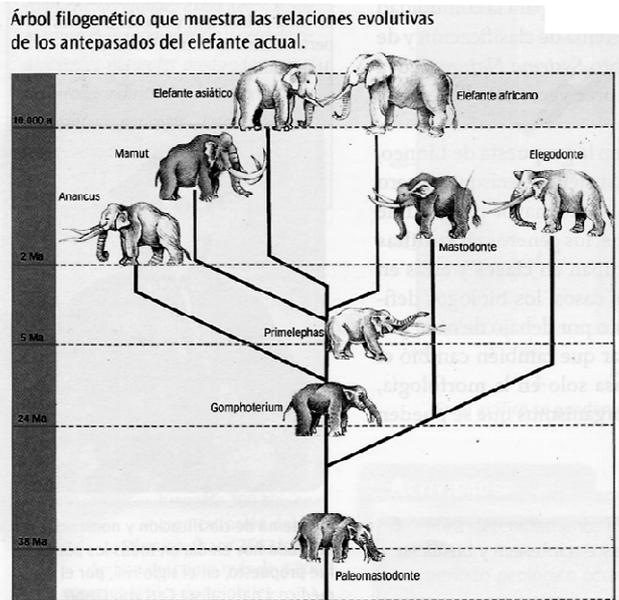


Figura 179: Evolución de los elefantes. (Biología 2 Saberes Clave Santillana, 2013, pág. 16).

Se puede incluir aquí la construcción de diagramas ramificados siguiendo los criterios darwinianos, proponiendo ejemplos de seres vivos que evidencien semejanzas morfológicas o que se conozca su parentesco cercano, como caballo, cebra, burro y otros ejemplos que pertenezcan a un grupo externo, pero con parentesco lejano, como perro, vaca... Establecer la comparación entre clasificación linneana y filogenética.

Se introducen luego, las representaciones heackelianas, puesto que aún en algunos libros de texto aparecen y cómo evidencian una marcada jerarquía, permiten el análisis crítico y la explicitación de los obstáculos más comunes en la interpretación de la deriva evolutiva de los seres vivos.

Los alumnos, luego, estarán en condiciones de evaluar críticamente distintas representaciones que pueden ser aportadas por ellos, buscando en internet, revistas, otros libros antiguos y actuales, etc. La mayoría de las propuestas editoriales para secundario básico y superior poseen un apartado o un capítulo para filogenia, donde incluyen cladogramas y otras formas de representación de árboles y esquemas ramificados.

Esta propuesta de actividades introductorias puede ser adaptada a distintos niveles educativos. En secundaria superior se ampliaría con la interpretación y confrontación de representaciones filogenéticas actuales y la introducción del método cladístico para interpretar y construir cladogramas y matrices sencillas. Aquí los obstáculos que van a emerger se presentarán principalmente en la caracterización de los caracteres y la comprensión de homologías y su diferenciación de analogías.

Las representaciones icónicas de la evolución se pueden transformar en un recurso muy efectivo para detectar los obstáculos que se presentan en la comprensión de las relaciones evolutivas de los seres vivos. Y estos mismos obstáculos se transforman en objetivos didácticos utilizando las imágenes como mediadoras en la interpretación y la construcción de conceptos y argumentaciones. La observación y el análisis de distintas representaciones hacen explícitas las ideas previas de los alumnos y, mediante el intercambio con el docente, se logran acuerdos y legitimaciones a la hora de interpretar y evaluar críticamente distintas imágenes. También es muy rica la confrontación y construcción de árboles filogenéticos y cladogramas teniendo en cuenta el enfoque histórico de los mismos, las teorías, los puntos de vista y convenciones que subyacen. Se trata de aprovechar la disponibilidad y el fácil acceso a distintas representaciones que poseen los alumnos, en sus libros de texto, en materiales de divulgación, Internet, etc.

La innovación de la propuesta radica en el uso y construcción por parte de los alumnos de imágenes y representaciones icónicas como mediadoras de la adquisición de conceptos complejos y relaciones lógicas que, por su nivel de abstracción, generan obstáculos difíciles de superar si no se utilizan recursos que acerquen, contextualicen y concreten facilitando su manipulación y apropiación. (Torreblanca 2013).

Se propone darle a las representaciones, diagramas e íconos un papel protagónico más que accesorio o ilustrativo como el que se les ha atribuido hasta ahora en la enseñanza de la biología evolutiva.

8. b- Secuencia didáctica

Se presenta la propuesta de secuencia didáctica realizada en Segundo año ESB (en todas las cohortes) de la escuela 3012 de la localidad de O'Higgins, Chacabuco, Buenos Aires. La última propuesta áulica que se realizó, dentro del marco de esta tesis, fue en 2013, la que fue optimizada en base a los resultados obtenidos en años anteriores (Ver anexo).

Se enfocó en el aprendizaje, en base a la detección de obstáculos y su explicitación mediante la utilización de imágenes y esquemas. La evaluación en proceso como eje motor y tratando de establecer un equilibrio entre los contenidos conceptuales y los modos de conocer. Explicitando términos, consensuando definiciones y estructuras formales (símbolos, signos, íconos estandarizados). La propuesta se modificó y se amplió a partir de los resultados

obtenidos durante la realización de la investigación correspondiente a esta tesis, si bien el orden de las actividades no se alteró.

La misma se desarrolló en el siguiente orden de contenidos y actividades:

1. **Representaciones espontáneas de la evolución de los seres vivos:** Los alumnos realizan representaciones esquemáticas o figurativas bajo la consigna “Representa con un dibujo o esquema la evolución de los seres vivos”
2. **Árboles genealógicos.** Se les pide que cada uno traiga el árbol genealógico de su familia, si es posible hasta bisabuelos. Se comparan los árboles para encontrar parentescos entre las familias.
3. **Teoría del ancestro común** Se trabaja con indagación bibliográfica y ejemplificaciones representando las relaciones con árboles esquemáticos. Ejemplos: ñandú, avestruz, emú; caballo burro, cebra; etc.
4. **Comparación de árboles evolutivos y árboles genealógicos.** Se les pide que armen su propio árbol genealógico y luego se buscan árboles filogenéticos y se comparan. Se arma un cuadro comparativo con las similitudes y las diferencias. Se comparan árboles de Haeckel con representaciones Darwinianas y árboles actuales con otros árboles genealógicos obtenidos en la web.
5. **Selección e interpretación de distintos modelos de representaciones:** Se les presentan distintas representaciones: tipo escalera, árbol jerárquico en forma de ciprés, árbol ramificado, en forma de arbusto, esquematizados y figurativos, de los cuales deben seleccionar el que les parece más representativo y justificar socializando.
6. **Representaciones ramificadas según criterios propios:** Se les reparten figuras de seres vivos y se les pide que realicen una representación que relacione por parentescos según los criterios que elijan. Se les propone que armen un árbol como el de Haeckel; otro, como lo haría Darwin y otro, teniendo en cuenta las representaciones actuales.
7. **Clasificaciones y representaciones de los libros de texto:** Se trabajan las actividades propuestas en el libro de texto Nuevamente Santillana, edición 2010.
8. **Homologías y analogías:** Lectura y ejemplificación. Búsqueda de información en internet. Presentación de imágenes, comparación.
9. **Cladismo:** Se inicia el acercamiento al método de clasificación actual. Explicación e indagación en internet. Presentación de ejemplos simples por parte del docente
10. **Interpretación de cladogramas:** Los alumnos seleccionan cladogramas y realizan una presentación explicándolos.

11. **Construcción de cladogramas utilizando un carácter de similitud análogo y /o homólogo. Comparación. Detección de errores:** Se les da tres seres vivos y tres caracteres y deben armar cladogramas con cada uno de los caracteres y decidir cuál es el correcto y por qué.
12. **Construcción de matrices de caracteres en base a especies y caracteres dados.** Primero usando sólo tres caracteres y no más de seis “especies”.
13. **Construcción de cladogramas simples partiendo de las matrices realizadas.** Buscar caracteres comunes para unir. Con la guía del docente construir nodos y ramificaciones.
14. **Construcción de matrices seleccionando caracteres, construcción de cladogramas propios.** Entrega de distintos seres vivos a grupos y los alumnos deben seleccionar caracteres, armar la matriz y el cladograma correspondiente.
15. **Comparación, análisis, evaluación.** Socialización de lo realizado en grupo, mostrando sus cladogramas en afiches o presentación en power point y contando cómo los hicieron y las dificultades que se presentaron. Evaluación escrita individual con la entrega de otros seres vivos con los cuales deben proceder como lo hicieron grupalmente, pero ahora en forma individual. Corrección por parte del docente, devolución y autocorrección.
16. **Presentación y socialización de producciones.** Al finalizar la secuencia, los alumnos pueden seleccionar algunas de sus producciones y presentarlos en cartelera y compartirlos con la comunidad educativa. (Esta actividad es interesante porque en los recreos alumnos o docentes de otros cursos pueden preguntar de qué se trata y ellos les darían sus explicaciones sobre qué entendieron y cómo lo hicieron).

CONCLUSIONES

Una de las intenciones principales que acompañaron la investigación y la escritura de esta tesis de doctorado, como la anterior de maestría, fue y sigue siendo tratar de mejorar la enseñanza de la evolución, eje de la biología actual, y brindar herramientas didácticas para facilitar la mediación del docente y el tratamiento epistemológico de los contenidos implicados.

En esta tesis las representaciones icónicas, imágenes y diagramas fueron los objetos principales de estudio.

En el marco teórico se realizó un recorrido de los fundamentos psicológicos, semióticos y epistemológicos del uso de las imágenes como facilitadoras y mediadoras y un recorrido histórico de la utilización de íconos, diagramas y diferentes imágenes para representar la historia de la vida, la clasificación de los seres vivos y la evolución de las especies.

Las investigaciones se realizaron para ensayar en el campo de la práctica didáctica las funciones de dichas imágenes y diagramas en la enseñanza de la evolución

Para realizar las investigaciones se obtuvieron datos de alumnos de secundaria básica de Primero, Segundo y Tercero desde 2009 a 2013 de una escuela rural ubicada en el partido de Chacabuco, provincia de Buenos Aires. Allí se siguieron a tres cohortes las cuales realizaron representaciones espontáneas y selección de representaciones con su justificación. También se analizaron esquemas y producciones dentro de secuencias didácticas durante el Segundo curso.

Se agregaron datos obtenidos en otros grupos y niveles donde se pidió que seleccionaran una representación y la justificaran; también se analizaron producciones de talleres para alumnos y docentes. Los niveles que aportaron datos fueron: Quinto año del secundario, Tercero polimodal (año 2009), ambos con orientación Ciencias Naturales; Primer año de la carrera de Ingeniería Agronómica, Primeros años del profesorado en Biología, Cuartos años del profesorado en Biología, Tercer año del profesorado en Educación Primaria, Segundo año del profesorado en Educación Especial, y grupos de docentes que participaron de los talleres, de Junín, Chacabuco y Los Toldos, provincia de Buenos Aires.

Al analizar e interpretar las producciones particulares de los alumnos de secundario básico se pudo apreciar que las representaciones gráficas explicitaron concepciones alternativas sobre

la evolución de los seres vivos que se corresponden con obstáculos epistemológicos detectados a lo largo del análisis histórico.

Los principales obstáculos que se manifestaron al interpretar las imágenes fueron:

- El antropocentrismo
- La concepción lineal y progresiva
- Confusión desarrollo individual con evolución de la especie
- Permanencia de concepciones del sentido común con relación al ancestro común.

Esos obstáculos fueron recurrentes y no se superaron confrontándolos con estrategias basadas en un enfoque de cambio conceptual ni confrontación de modelos. Están arraigados en el sentido común y resurgen en nuevas situaciones.

También se detectó en análisis dificultades semánticas en cuanto al significado de frases y términos que se reflejaron en las justificaciones textuales y en la correlación de las producciones con la consigna dada por el docente.

En la cohorte que se realizó el seguimiento de sus producciones a lo largo de tres años consecutivos no se evidenciaron cambios significativos en sus representaciones en relación con la enseñanza impartida en Segundo. Parte de los alumnos repitieron, en Tercero, el tipo de representación realizado en Primer año; indicando la persistencia tanto de sus concepciones como el modo de expresarlas.

La sustitución de una representación por otra no se realiza sólo por la instrucción o la propuesta del docente, sólo algunos alumnos fueron capaces de consolidar el cambio, la mayoría persistió durante los tres años o retornó en Tercero a las representaciones sustentadas por concepciones alternativas.

Sujetos de distintos niveles educativos que no han tenido instrucción previa sobre representaciones filogenéticas seleccionaron preferentemente diagramas jerárquicos, escaleras o árboles haeckelianos; sólo los estudiantes de profesorado de Biología se inclinaron por las representaciones ramificadas darwinianas.

Estas representaciones seleccionadas se relacionan con las concepciones arraigadas en sus estructuras de pensamiento que se correlacionan con los obstáculos epistemológicos.

Estos obstáculos explicitados en las representaciones son comunes a estudiantes de todos los niveles.

Los sujetos que tuvieron instrucción sobre árboles filogenéticos realizaron o seleccionaron diagramas ramificados, aún prevaleciendo la opción intermedia, del árbol jerárquico o, destacando la inclusión del ser humano en una postura diferenciada.

Esta tendencia también se correlaciona con la historia de las representaciones y la influencia mediática de la histórica “Gran Cadena del Ser”, el encadenamiento jerárquico de los seres que conduce a la aparición del hombre como punto cúlmine.

La representación lineal y progresiva tiene mucha influencia, siendo parte del sentido común y el imaginario colectivo. Por eso, se propone transformar los obstáculos epistemológicos en objetivos didácticos y armar estrategias y actividades teniendo en cuenta la secuencia histórica y la superación de los obstáculos que se presentaron en la construcción del modelo del árbol filogenético.

Las imágenes, tanto su producción como su interpretación y/o justificación contribuyeron a explicitar y a hacer evidentes esos obstáculos.

Los iconos por sus cualidades representativas externas, tienen una función simbólica importante porque son capaces de significar por medio de una interrelación mediadora entre la dimensión visible de la imagen y su dimensión inteligible que puede ser expresada por el lenguaje. Como sostiene el dicho popular “una imagen vale más que mil palabras” y puede tener más de un significado. Como las imágenes comparten los atributos de los modelos, pero no poseen capacidad explicativa, deben ser interpretadas. En la interpretación y la justificación de diagramas evolutivos se manifiestan obstáculos epistemológicos. También son evidentes dichos obstáculos en la construcción de diagramas e imágenes, utilizando símbolos y signos que denotan direccionalidad, progreso, transformación: además de imágenes socializadas sostenidas por el sentido común (los “íconos canónicos” de la evolución que aún permanecen en los libros de texto y en materiales de divulgación).

Durante el desarrollo de estas investigaciones se han evidenciado diferentes funciones didácticas de las imágenes:

- Las imágenes como activadoras de “ideas previas”

Los alumnos pudieron plasmar sus ideas y concepciones a través de las imágenes utilizando símbolos y signos convencionales e interpretando y justificando según su visión. Al

interpretar construyeron sus explicaciones y relacionaron hechos y conceptos en base a sus concepciones previas y el conocimiento extraído de los medios a los cuales habían tenido acceso. Con la construcción de imágenes y diagramas se facilitó también la socialización y confrontación de las ideas previas.

- Las imágenes como mediadoras del discurso

La imagen funciona como mediadora y complemento del discurso verbal o escrito. Sirve de modelo facilitador para la interpretación de conceptos complejos en los cuales no alcanza sólo el lenguaje proposicional con las múltiples relaciones y significados que pueden establecerse.

- Las imágenes como instrumentos didácticos de construcción de aprendizajes

La utilización de diagramas evolutivos puede transformarse en una potente herramienta que facilite la comprensión del proceso evolutivo fundado en el concepto de ancestros comunes.

- Las imágenes y diagramas como indicadores de los obstáculos epistemológicos

Como principal propuesta de esta tesis se sugiere la utilización de la iconografía, las imágenes y diagramas como instrumentos dentro de una secuencia didáctica que se encuadre histórica y epistemológicamente en lo referente a las representaciones de la evolución de las especies y sus interpretaciones.

BIBLIOGRAFÍA

Trabajos publicados:

Archibald J. D. (2009). *Edward Hitchcock's pre-Darwin (1840) "Tree of life."* Journal of the History of Biology. 42 pp.561-592. USA.

Astolfi J. (1999), *El tratamiento didáctico de los obstáculos epistemológicos.* Revista Educación y Pedagogía Vol. XI No. 25. España.

Barberá M.; Sanchis Borrás, Sendra Mocholi. (2011). *La Evolución biológica en los libros de texto españoles de educación secundaria y bachillerato. Situación actual.* Revista Educación en Biología Volumen 14, N^o 1. Mayo 2011. Argentina.

Baum D.; Offner S. (2008) *Phylogenies and Tree-thinking.* The American Biology Teacher 70 (4), pp. 212-232 USA.

Dayrat B. (2003). *The Roots of Phylogeny: How Did Haeckel Build His Trees?* Syst. Biol. 52(4) pp. 515–527, Society of Systematic Biologists. USA.

Gómez López S. (2005), *Modelos y representaciones visuales en la ciencia,* Rev. Escritura e imagen, núm. 1. pp. 83-116. España.

Giordan A. (1995) *Los nuevos modelos de aprendizaje: ¿más allá del constructivismo?* Perspectivas, vol. XXV, (1). España.

Greca I.; Moreira M., (1996). *Un Estudio Piloto sobre Representaciones Mentales, Imágenes, Proposiciones Y Modelos Mentales Respecto al Concepto de Campo Electromagnético en Alumnos de Física General, Estudiantes de Postgrado y Físicos Profesionales.* Investigações em Ensino de Ciências V1(1), pp. 95-108. Brasil.

Guimarães M. A. (2004). *Uma proposta de ensino de zoologia baseada na sistemática filogenética.* In: *encontro nacional de didática e prática de ensino – ENDIPE*, 12. Curitiba. Brasil.

Jiménez J. de D.; Hoces Prieto R; Perales F. J. (1997). *Análisis de los modelos y los grafismos utilizados en los libros de texto.* Revista Alambique N^o1(1). España.

Jiménez Valladares, J.D. (1996): *"Los medios de representación gráfica en la modelización en ciencias físicas. El caso del vector fuerza"* en Alambique N^o. 8, pp.. 107-114. España.

Johnson-Laird, P.N. (1980). *Mental models in cognitive science.* Cognitive science, 4, pp. 71-115. USA.

- Larkin, J.H.; Simon, H.A. (1987). *Why a diagram is (sometimes) worth ten thousand words*. *Cognitive Science*, 11, pp. 65-99. USA.
- Laurin M. (2005). The advantages of phylogenetic nomenclature over Linnean nomenclature. Pages 67–97 in A. Minelli, G. Ortalli, and G. Sanga (eds): *Animal Names*. Instituto Veneto di Scienze, Lettere ed Arti; Venice. Italia.
- Martin N.; Craig N. (2005) Beware of Nuts & Bolts. Putting Evolution into the teaching of biological Classification. *The American Biology Teacher*, 67 (5), 283. USA.
- Morrone J. (2000). *Los árboles filogenéticos: de Darwin (1859) a Hennig (1950)*. *Rev. Museo Vol. 3 N° 14*, pp. 27-33. La Plata. Argentina.
- Morrone J.; Cigliano M.; Crisci J. (1992). "Cladismo y diversidad biológica", *Revista Ciencia Hoy*, 21: 26-34. Bs. As. Argentina.
- O'Hara R. J: (1991) *Representations of the Natural System in the Nineteenth Century*. *Biol. Philos* 6 pp. 255-274. USA.
- Otero R. (1999). *Psicología Cognitiva, Representaciones Mentales e Investigación en Enseñanza de las Ciencias* Investigações em Ensino de Ciências – V4(2), pp. 93-119. Brasil.
- Perales Palacios, F. J. (2006). *Uso (Y Abuso) de la Imagen en la Enseñanza de Las Ciencias*. *Enseñanza de las Ciencias*, 24(1). España.
- Perales F. J.; Jiménez J. (2002a). *Las Ilustraciones en la Enseñanza-Aprendizaje de las Ciencias. Análisis de Libros de Texto*. *Enseñanza de las Ciencias*, 20 (3). España.
- Perez de Eulate L.; Llorente Cámara E. (1998), *Las Imágenes en la enseñanza Aprendizaje de la Biología* *Alambique* 16 (Versión electrónica). España.
- Pozo, J. I. (1999). *Más allá del cambio conceptual: El aprendizaje de la ciencia como cambio representacional*. *Enseñanza de las Ciencias*, 17, 3, pp. 513-520. España.
- Quse L.; De Longhi A L. (2010) *Interferencias en la elaboración del patrón temático en la clase de genética humana*. *Revista Educación en Biología* 13 (1) pp. 8 -14. Argentina.
- Roa Acosta R.; Araujo Llamas R. (2011). *Enseñanza De La Evolución Biológica. Una Mirada al Estado del Conocimiento*. *Biografía: escritos sobre la Biología y su enseñanza*, ISSN 2027-1034, Vol. 4, N°. 7, pp. 15-35. España.
- Shepard, R.N. (1978). *The Mental Image*. *American Psychologist* (33) pp.125-137. USA.

Salomon G. (1992). *Las diversas influencias de la tecnología en el desarrollo de la mente*. Infancia y aprendizaje, 58, pp. 143-159. Universidad de Arizona, USA.

Torreblanca M.; Longhi A.; Merino G. (2009) *Las jirafas no son como antes. ¿Un mito de los libros de texto?* Alambique. Didáctica de las ciencias Experimentales. Editorial Grao. Nº 62. pp. 51-56. España.

Torreblanca M. (2010) *El enfoque histórico contextualizado como facilitador de la enseñanza de los mecanismos evolutivos. La utilidad de un enfoque histórico integrado a un encuadre CTS en la enseñanza de los mecanismos micro y macroevolutivos* Tesis de Maestría. Universidad Nacional del Litoral. Resolución C.D.: 686/10 Fecha: 15-09-10. Argentina.

Trabajos Aceptados para su publicación:

Jiménez, J.D. (1998). «*Los medios de representación gráfica en la enseñanza de la física y la química*». Tesis doctoral. Universidad de Granada. España.

Presentaciones en reuniones científicas:

Brunner A.; Palmucci, D. (2010) *Un Análisis de Las Imágenes Empleadas en la Enseñanza: El caso del libro Biología, de Helena Curtis*. IX Jornadas Nacionales y IV Congreso Internacional de Enseñanza de la Biología. Tucumán. Argentina.

Mendez Granados D. (2012). *Representaciones diagramáticas de la síntesis moderna en materiales de divulgación científica*. Mesa Redonda. X Jornadas Nacionales y V Congreso Internacional de Enseñanza de la Biología. Villa Giardino, Córdoba, 11, 12, 13 de octubre 2012.

Torreblanca M. (2013) “*Armando arbolitos*” *la construcción de árboles filogenéticos como herramienta de enseñanza de la evolución*. Simposio de Enseñanza de la Biología Facultad de Humanidades y Ciencias de la Educación. Universidad Nacional de La Plata. Ponencia La Plata. Argentina.

Libros y capítulos de libros:

- Apesteeguía S.; Ares R. (2010) *Vida en Evolución*. Vazquez Manzzini Editores. Argentina.
- Archibald J. D. (2014) *Aristotle's Ladder, Darwin's Tree*. Columbia University Press. New York. USA.
- Assmuth J.; Hull E. R. (1915) *Ernest R. Haeckel's Frauds and Forgeries*. London: Examiner Press. UK.
- Aumont J. (1993) *La Imagen*. Editorial Paidós. España.
- Bachelard G. (1985) *La formación del espíritu científico: contribución a un psicoanálisis del conocimiento objetivo*, Ed. Planeta.
- Benton M. (1995) *Paleontología y Evolución. Vertebrados*. Editorial Perfiles. España.
- Bonnet C. (1745) *Traité d'insectologie ou Observations sur quelques espèces de vers d'eau douce, qui coupés par morceaux, deviennent autant d'animaux complets*. A Paris, chez Durand, libraire. Francia.
- Boyd R.; Silk J. (2001) *Cómo Evolucionaron los Humanos*. Editorial Ariel. España.
- Bruner J. S.; Goodnow J..J.; Austin G..A. (1956). *A study of thinking*. Editorial Wiley, New York. USA.
- Buffon (1767) *Histoire naturelle, générale et particulière, avec la description du Cabinet du Roy* (par Buffon et Daubenton). — Paris, Imprimerie Royale, 1749-1767, 15 vol. in-4° (<http://www.buffon.cnrs.fr/>). Francia.
- Capanna P. A. (2006) *Historia de los Extraterrestres*. Ed. Capital Intelectual. Argentina.
- Cuvier G.; Valenciennes A. (1949) *Histoire Naturelle des Poissons*, Tome Premier. Paris, F.G. Levrault; 1828-1849. Francia.
- Fodor J. A. (1982) *La modularidad de la Mente*. Ed. Morata. España.
- Freeman S.; Herron J. (2002) *Análisis Evolutivo*. Ed. Prentice Hall. España.
- Giere R (1999) *Using Models to Represent Reality*. In *Model-Based Reasoning in Scientific Discovery*. Magnani, Nersessian and Thagard (Eds). USA.
- Giere R.N., (1999) *Science without laws*, Chicago University Press. USA.
- Godoy E.; Iglesias M. C.; Muzzanti S.; Rodriguez Vida M. I. (2010) *Biología. Los procesos de cambio en los sistemas biológicos: evolución, reproducción y herencia*. Ed. Santillana. Argentina.
- Gould S, J. (1986) *El Pulgar del Panda*. Ed. Hyspamérica. España.
- Gould S, J. (1992) *La Vida Maravillosa*. Editorial Crítica. Barcelona. España.

- Gould S. J. (2002) *Ontogenia y Filogenia. La ley fundamental biogenética*. Ed. Crítica. España
- Gould, S. J. (1995), *Escalas y Conos: La evolución limitada por el uso de íconos canónicos*. En *Historias de la ciencia y del olvido*. Edición de Robert B. Silvers. Ediciones Siruela, S. A., España.
- Haeckel E. (1896) *The Evolution of man. A popular Exposition of Human Ontogeny and Phylogeny*. 2 volumes. Kegan., Trench, Trubner and company. New York. USA.
- Haeckel E. (1920) *Historia de la Creación de los Seres organizados según Leyes Naturales*. F. Sempere y Cia. España.
- Hennig W., (1968), *Elementos de una sistemática filogenética*, Eudeba, Argentina.
- Johnson-Laird, P. N. (1983) *Mental Models: Toward a Cognitive Science of Language, Inference and Consciousness*. Harvard University Press. USA.
- Jones S; Gray A. (1994) *Clasificación*. British Museum Natural History. Ed. Akal. España.
- Kardong K. (2007) *Vertebrados. Anatomía Comparada*. McGraw Hill-Interamericana. España.
- Kosslyn S. M. (1986) *Image and Mind*. Harvard University Press. USA.
- Kosslyn S. M. (1996) *Image and Brain: The Resolution of the Imagery Debate*. MIT Press. USA.
- Lamarck J. B. (1809). *Filosofía Zoológica*. F. Sempere y Compañía Editores (F. Sempere y V. Blasco Ibáñez). Col. Biblioteca filosófica y social. 262 pp. Valencia, España.
- Martine J. (2012) *Introducción al Análisis de la Imagen*. La Marca Editora, 2º edición, 1º reimpresión. Argentina.
- Maturana H.; Varela G. (1990). *El árbol del conocimiento*. Ed. Universitaria. Chile.
- Mayr E. (2006) *Por qué es única la Biología*. Katz ediciones. Argentina.
- Mayr E. (1995) *Así es la Biología*. Ed. Debate. España.
- Morrone J. (2013) *Sistemática, fundamentos, métodos, aplicaciones*. Ed. UNAM. México.
- Palma H. (2008) *Metáforas y modelos científicos*. Libros del Zorzal. Argentina.
- Piaget J. (1980). *Biología y conocimiento*, vol. b. México: Ediciones Siglo XXI. España.
- Pozo J. I. (2003). *Adquisición de Conocimiento*. Madrid: Ediciones Morata. España.

- Ratray Taylor G. (1964) *Historia Gráfica de la Biología*. Ed. Labor, España.
- Redolar D. (2013) *Neurociencia Cognitiva*. Editorial médica Panamericana. Argentina.
- Riviere A. (1987) *El sujeto de la Psicología Cognitiva*. Editorial Alianza. España..
- Sokal; Sneath: (1963) *Principles of Numerical Taxonomy*, San Francisco, W.H. Freeman, USA.
- Torreblanca M. (2012) *Tan difícil pensar como Darwin*. Ed. EAE. España.
- Toulmin S. (1977) *La Comprensión Humana. I. El Uso colectivo de los conceptos*, Alianza Editorial. España.
- Vieselov E. (1959). *El Darwinismo*. Ediciones pueblos unidos Montevideo. Uruguay.

Materiales obtenidos a través de Internet:

- Jiménez, J. D.; Perales, F.J. (2002b). *La evidencia experimental a través de la imagen en libros de texto de física y química*. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 1(2). <http://www.saum.uvigo.es/reec>.
- Ragan M. (2009) *Trees and networks before and after Darwin*. *Biology Direct* 2009, 4:43 doi:10.1186/1745-6150-4-43 Publicación Electrónica: <http://www.biology-direct.com/content/4/1/43>
- Darwin C. (1870, 1867: 2010) The complete Works: <http://darwin-online.org.uk/>
- Haeckel E. (1866) *Generelle morphologie der organismen. Allgemeine grundzüge der organischen formen-wissenschaft, mechanisch begründet durch die von Charles Darwin reformirte descendenztheorie* Online: <https://archive.org/details/generellemorphol02haec>

ÍNDICE DE FIGURAS Y GRÁFICOS

Marco Teórico

Figura 1	Libro Anatomía y Fisiología para Escuelas Normales, 1913	35
Figura 2	Libro Ciencias Físico Naturales, 1948	35
Figura 3	Revista Biológica 6	36
Figura 4	Libro zoología Ecológica, 1977	37
Figura 5	Cuadernillo Kapelusz, 1995	37
Figura 6	Libro Biología 2	38
Figura 7	Libro Ciencias Experimentales	39
Figura 8	Libro Aula Taller	39
Figura 9	Observa y Responde	40
Figura 10	Libro Biología 3, 2010	40
Figura 11	Libro Ciencias Naturales, 2009	41
Figura 12	Libro Biología 2, 2013	42
Figura 13	Libro Biología 2, 2011	43
Figura 14	Libro Biología para pensar, 2010	43
Figura 15	Libro Biología 2, 2006	44
Figura 16	Libro Biología Perspectivas, 2006	44
Figura 17	Orden Lineal de la Naturaleza	46
Figura 18	Escalera, Ramon Lllul, 1304	47
Figura 19	Cadena de los Seres, Bonnet, 1745	49
Figura 20	Claves dicotómicas de categorías, 1592	50
Figura 21	Árbol de la vida animal, 1829	51
Figura 22	Árbol de Augier, 1801	52
Figura 23	Diagrama Vestigios, Chambers, 1844	53
Figura 24	“Paleontological Chart”	54
Figura 25	Diagrama de Agassiz, 1844	55
Figura 26	Árbol de Bronn, 1858	56
Figura 27	Esquema de Lamarck, 1809	58
Figura 28	Esquema de Lamarck, 1815	59
Figura 29	Red de Afinidades botánicas, 1774	60
Figura 30	Red sobre genealogía de razas de perros, Buffon, 1753	62
Figura 31	Sistema Quinario, 1821	64
Figura 32	Sistema Quinario híbrido, 1838	65
Figura 33	Árbol de Dominios	69
Figura 34	Esquemas ramificados, Darwin	72
Figura 35	Cuaderno borrador B, Darwin	72
Figura 36	Árbol de Darwin, 1838	73
Figura 37	Esquema del Origen de las Especies	77
Figura 38	“Pedigrí del Hombre”, Haeckel, 1866	80
Figura 39	La Ontogenia y la filogenia según los Simpsons	81
Figura 40	Árbol Genealógico de los Seres Vivos, Haeckel	83
Figura 41	Árbol de los Vertebrados, Haeckel	84
Figura 42	Representaciones: gradualismo, equilibrio puntuado	88
Figura 43	Diagrama Evolutivo de las aves, 1991	89

Figura 44	Filograma	90
Figura 45	Esquemas, escalera, tallo de judías, arbusto	91
Figura 46	Árbol de Gould	92
Figura 47	Modelo del “coral”	92
Figura 48	Modelos extraídos de Internet	94
Figura 49	Fenogramas	96
Figura 50	Cladismo	101
Figura 51	Arboles según caracteres	102
Figura 52	Ejemplos para clasificar	109
Figura 53	Matriz de caracteres	109
Figura 54	Árbol realizado por herramientas informáticas	110
Figura 55	Tipos de árboles según forma	111
Figura 56	Clasificación tradicional	113
Figura 57	Clasificación cladista	114
Figura 58	Mano que representa Reinos	116
Figura 59	Dominios, árboles y redes	117
Figura 60	Árbol red	117
Figura 61	Árbol con anastomosis	118
Figura 62	Representación circular del súper Árbol de la Vida	120
Figura 63	Esquema Ramificado de Darwin, 1868	125

Dibujos y Esquemas de los Alumnos

Figura 64	Leandro (Primer Año)	128
Figura 65	Pía (Primer Año)	129
Figura 66	Julieta (Primer Año)	129
Figura 67	Federica (Primer Año)	130
Figura 68	Maricel (Primer Año)	131
Figura 69	Lautaro (Primer Año)	132
Figura 70	Lucila (Primer Año)	132
Figura 71	Joaquín (Primer Año)	134
Figura 72	Juanse (Primer Año)	135
Figura 73	Facundo (Primer Año)	135
Figura 74	José (Primer Año)	136
Figura 75	Francisco (Primer Año)	137
Figura 76	Trini (Primer Año)	137
Figura 77	Macarena (Primer Año)	138
Figura 78	Martina (Primer Año)	138
Figura 79	Jhasmín (Primer Año)	139
Figura 80	Keila (Primer Año)	140
Figura 81	Tomás (Primer Año)	140
Figura 82	Elio (Primer Año)	141
Figura 83	Facundo L. (Primer Año)	142
Figura 84	Matías (Primer Año)	143
Figura 85	Ramiro (Primer Año)	143
Figura 86	Thiago (Primer Año)	144
Figura 87	Camila (Primer Año)	145

Figura 88	M. de los Ángeles (Primer Año)	146
Figura 89	María (Primer Año)	147
Figura 90	Belén - Segundo año	148
Figura 91	Laura - Segundo año	149
Figura 92	Carolina - Segundo año	150
Figura 93	Denisse - Segundo año	150
Figura 94	Lucila - Segundo año	151
Figura 95	Leandro - Segundo año	152
Figura 96	Julieta - Segundo año	152
Figura 97	Federica - Segundo año	153
Figura 98	Maricel - Segundo año	154
Figura 99	Pía - Segundo año	155
Figura 100	Lautaro y Agustín	156
Figura 101	Lázaro - Segundo año	157
Figura 102	Candela - Segundo año	157
Figura 103	Guada - Segundo año	158
Figura 104	Rocío - Segundo año	158
Figura 105	Katherine - Segundo año	159
Figura 106	Rebeca - Segundo año	159
Figura 107	Mili - Segundo año	160
Figura 108	Blas - Segundo año	160
Figura 109	Mariana - Segundo año	161
Figura 110	Nico - Segundo año	161
Figura 111	Juan - Segundo año	161
Figura 112	Andrés - Segundo año	162
Figura 113	Milagros S. - Segundo año	162
Figura 114	Lázaro - Segundo año segunda prueba	163
Figura 115	Nico - Segundo año segunda prueba	164
Figura 116	Guada - Segundo año segunda prueba	164
Figura 117	Agustín - Segundo año segunda prueba	165
Figura 118	Andrés - Segundo año segunda prueba	166
Figura 119	Blas - Segundo año segunda prueba	167
Figura 120	Candela - Segundo año segunda prueba	167
Figura 121	Katherine - Segundo año segunda prueba	168
Figura 122	Mili - Segundo año segunda prueba	168
Figura 123	Árbol libro Nuevamente Santillana	169
Figura 124	M. de los Ángeles Segundo año segunda prueba	171
Figura 125	Camila Segundo año segunda prueba	171
Figura 126	Manuela Segundo año segunda prueba	171
Figura 127	Rocío Segundo año segunda prueba	172
Figura 128	Ramiro Segundo año segunda prueba	172
Figura 129	Gianfranco Segundo año segunda prueba	173
Figura 130	Elio Segundo año segunda prueba	173
Figura 131	Thiago Segundo año segunda prueba	174
Figura 132	Agustín Segundo año segunda prueba	174
Figura 133	Corina Segundo año segunda prueba	175

Figura 134	Juanse Segundo año segunda prueba	175
Figura 135	Matías Segundo año segunda prueba	176
Figura 136	Carolina Tercer año	177
Figura 137	Macarena Tercer año	178
Figura 138	Brian Tercer año	178
Figura 139	Lucas Tercer año	179
Figura 140	Denisse Tercer año	179
Figura 141	Lucila Tercer año	180
Figura 142	Laura Tercer año	180
Figura 143	Belén Tercer año	181
Figura 144	Lautaro Tercer año	181
Figura 145	Agustín Tercer año	182
Figura 146	Federica Tercer año	182
Figura 147	Pía Tercer año	183
Figura 148	Julieta Tercer año	183
Figura 149	Leandro Tercer año	184
Figura 150	Maricel Tercer año	184
Comparación Cohorte 1		
Figura 151	Federica	186
Figura 152	Julieta	187
Figura 153	Pía	188
Figura 154	Leandro	189
Construcción de árboles		
Figura 155	Árbol filogenético y matriz alumno 1	202
Figura 156	Árbol filogenético y matriz alumno 2	203
Figura 157	Árbol filogenético y matriz alumno 3	203
Figura 158	Actividad completa	204
Continuidad de las representaciones		
Figura 159	Persistencia linealidad	205
Figura 160	Confusión caracteres análogos	205
Figura 161	Árbol confuso 1	206
Figura 162	Árbol confuso 2	206
Figura 163	Ramificación y linealidad	207
Figura 164	Unión ñandú-hombre	207
Figura 165	Linealidad y unión	208
Figura 166	Esquema sin nodos	208
Selección de representaciones		
Figura 167	Prueba selección de modelos	217
Figura 168	Esquemas libro de Kardong	227
Producciones áulicas		
Figura 169	Árbol genealógico/ árbol evolutivo	246
Figura 170	Actividad completa comparación árbol genealógico-evolutivo	247
Figura 171	Afiche ancestro común	248
Figura 172	Dificultades representación ancestros comunes	249
Figura 173	Dificultades con ancestro comunes	249
Figura 174	Dificultades en la representación de nodos	250

Figura 175	Actividades del libro Clasificación, ed. Akal	251
Figura 176	Afiche árbol, matriz	252
Figura 177	Dificultades en la construcción del árbol filogenético	253
Figura 178	Evolución de las coles y repollos, libro de texto, Santillana	257
Figura 179	Evolución de los elefantes, libro de texto, Santillana.	259

Gráficos

Gráfico 1	Agrupamientos según promedio	196
Gráfico 2	Linealidad vs. Ramificación	197
Gráfico 3	Progreso, desarrollo, antropocentrismo	197
Gráfico 4	Bitplot correspondencias múltiples	198
Gráfico 5	Distancias según linealidad y ramificación	199
Gráfico 6	Confusión con desarrollo (Barras)	200
Gráfico 7	Linealidad y ramificación (Barras)	201
Gráfico 8	Ramificación. Segundo y Tercero	209
Gráfico 9	Linealidad. Segundo y Tercero	209
Gráfico 10	Mención ancestro común	210
Gráfico 11	Conglomerados	211
Gráfico 12	Bitplot distancias	213
Gráfico 13	Agrupamientos	214
Gráfico 14	Tendencia a la linealidad y antropocentrismo (barras)	215
Gráfico 15	Desarrollo, linealidad y ramificación (Barras)	216
Gráfico 16	Selección de representación Segundo SB, 2009	218
Gráfico 17	Selección de representación alumnos Agronomía UNNOBA, 2009	219
Gráfico 18	Selección de representación ingresantes Profesorado Biología	220
Gráfico 19	Selección de representación Tercer año polimodal	222
Gráfico 20	Selección de representación Segundo año Profesorado Ed. Especial	223
Gráfico 21	Selección de representación Tercer año Profesorado Ed. Primaria 2010	224
Gráfico 22	Selección de representación Segundo SB	225
Gráfico 23	Selección de representación. Tercer año Profesorado Ed. Primaria, 2011	226
Gráfico 24	Selección de representación Segundo SB 2009	227
Gráfico 25	Selección de representación Segundo SB 2010	228
Gráfico 26	Selección de representación Ingresantes Profesorado Biología	229
Gráfico 27	Selección de representación Segundo SB 2014	232
Gráfico 28	Selección de modelos Segundo SB 2014	233
Gráfico 29	Selección de modelos Profesorado Ed. Primaria 2015	235
Gráfico 30	Selección de modelos filogenéticos Profesorado Ed. Primaria 2015	236
Gráfico 31	Profesorado Ed. Primaria, antropocentrismo	237
Gráfico 32	Selección de modelos Quinto año Secundaria	238

ANEXO

PROPUESTA DIDÁCTICA

Escuela N° 3012

O'Higgins, Chacabuco, Buenos Aires

Curso 2° ESB

Unidad 1. Evolución: origen y diversidad de las estructuras biológicas

Propuesta áulica Teoría del ancestro común- El Árbol filogenético

Agosto-setiembre 2013

Contenidos del Diseño Curricular:

Teoría del ancestro común. Observaciones que la teoría explica: existencia y distribución estratigráfica de fósiles, homologías y semejanzas embriológicas entre organismos, distribución geográfica de especies vivas y extintas, clasificación linneana. Predicciones de la teoría: formas de transición en el registro fósil, semejanzas genéticas entre organismos emparentados. El árbol filogenético de la vida.⁶²

Expectativas de Logro

Al finalizar esta unidad se espera que los estudiantes sean capaces de:

- dar argumentos para sostener la teoría del ancestro común basados tanto en las observaciones que la teoría explica como en sus predicciones;
- explicar fenómenos observables o predecir otros apelando a la teoría del ancestro común;
- interpretar árboles filogenéticos teniendo en cuenta la teoría del ancestro común y la idea de que unos organismos derivan de otros;

Propósitos

- Brindar herramientas y recursos estimulantes para que los alumnos puedan construir sus conocimientos en base a la indagación y la confrontación de modelos.
- Propiciar la reflexión y el debate
- Generar un clima de colaboración y entusiasmo para propiciar la construcción de representaciones, la interpretación y análisis de las mismas
- Proponer situaciones de desafío que den lugar al compromiso y la participación activa

Orientaciones didácticas de la propuesta curricular

⁶² Gobierno de la provincia de Buenos Aires. Dirección de Cultura y Educación. (2006) Diseño curricular para la Educación Secundaria 2° Año (SB). Buenos Aires, Argentina.

Los temas de esta unidad han sido divididos en dos partes: una dedicada a la idea de ancestro común y otra a la de selección natural. Si bien por mucho tiempo estos dos ejes han sido enseñados y estudiados a la vez -el mismo Darwin no hacía esta división-, las dos partes son lo suficientemente diferentes como para constituir teorías individuales. La unidad se inicia con la teoría del ancestro común, más sencilla de comprender para la mayoría de los alumnos/as que la de selección natural. Algo paralelo sucede en la historia de la ciencia: mientras que la teoría del ancestro común fue aceptada inicialmente por la comunidad científica, la de la selección natural fue resistida por largo tiempo.

Indagación inicial

Se les pide a los alumnos que realicen representaciones esquemáticas o figurativas bajo la consigna “Representa con un dibujo o esquema la evolución de los seres vivos mediante ancestro común” y expliquen si es necesario y justifiquen su producción

Al finalizar se inicia una puesta en común explicando sus producciones.

Presentación del tema

El docente da el título de la secuencia: “La teoría de la evolución del ancestro común”

Y se pregunta si saben qué quiere decir ANCESTRO

Se tratará de llegar a un consenso y se registra la definición para luego relacionarla con la frase completa “ANCESTRO COMÚN”

Ejemplificación y observación de imágenes

Exploración y registro

Cómo llegó Darwin a la Teoría del Ancestro Común

Relato de su viaje a la Patagonia, imágenes de gliptodonte y armadillo

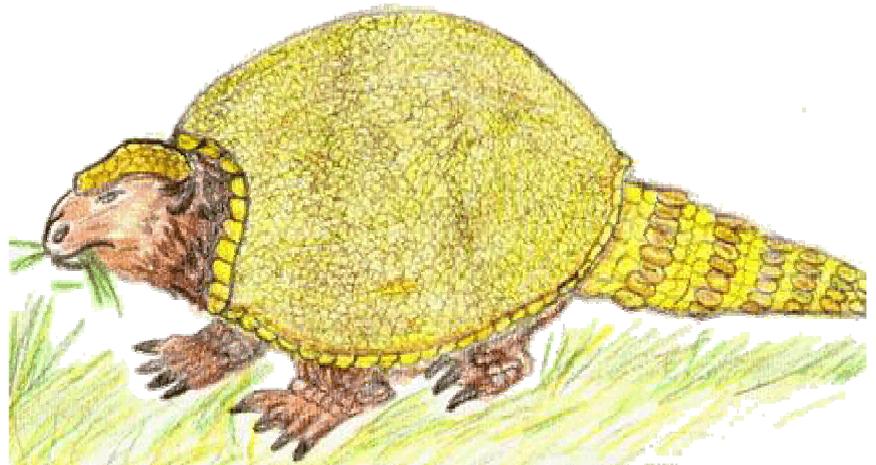
El grupo de los Gliptodontes vivió en nuestro territorio hace miles de años, junto con otros mamíferos de gran tamaño, fueron estudiados en nuestro país por Charles Darwin (1809-1882), Florentino Ameghino (1854-1911) y otros naturalistas, quienes describieron especies que llegaron a medir desde 1,5 hasta 4 metros de largo.

Estos organismos fósiles presentan características similares a los armadillos, pero con algunas diferencias, como, por ejemplo, el caparazón está formado por placas fijas en lugar de bandas móviles como el de los armadillos. Los gliptodontes están representados sólo por restos fósiles, ya que se extinguieron hace 8.000 años, en cambio los armadillos habitan actualmente en el pastizal pampeano.

Ver en el sitio WEB: MEGAFUNA

LOS FÓSILES DE GLIPTODONTE HALLADOS EN EL RÍO SALADO

<http://megafauna.com.ar/gly.htm>



Si fueses Darwin y te encontraras con los armadillos vivos y el esqueleto fósil completo de un Gliptodonte ¿Qué pensarías?

- Observa y propone hipótesis o explicaciones acerca de sus hábitos y reconstruye cómo sería un día en la vida de estos animales.
- Elabora un cuadro comparativo de similitudes y diferencias entre ambos;
- ¿Cómo explicarías las similitudes entre los gliptodontes y los armadillos?
- Busca en los fragmentos del *Diario de un Naturalista* y en las traducciones de sus notas, que se adjuntan en la bibliografía, las observaciones de Darwin y sus especulaciones.

La historia del Ñandú “petiso”

Darwin identificó otra especie de ñandú en la Patagonia que creyó emparentada con el ñandú que ya había sido registrado por otros naturalistas.

Busca la historia en la bibliografía en los fragmentos del *Diario de un Naturalista en el Plata*
¿Qué idea tuvo Darwin con respecto al origen de estas dos especies? (Ver Notas de sus borradores en la bibliografía aportada.

El ñandú es un ave propia de América, pero algunos lo confunden con el avestruz. ¿Por qué puede suceder?

Observá las fotos del ñandú, el emú y el avestruz ¿Qué te parecen?

Averiguá cual es el continente de origen de cada una de esas aves

¿Recordás la teoría de la deriva continental? ¿Podrías relacionar esa teoría con este caso?

Representá gráficamente cómo sería el antecesor de estas aves que habría vivido hace 130 millones de años cuando aún existía Gondwana

Desarrollo y profundización

Se trabaja con indagación bibliográfica y ejemplificaciones representando las relaciones con árboles esquemáticos. Ejemplos: ñandú, avestruz, emú; caballo burro, cebrá; etc.

Construcción de representaciones

Interpretación de esquemas ramificados: árbol genealógico

Comparación de árboles evolutivos y árboles genealógicos: Se les pide que armen su propio árbol genealógico y luego se buscan árboles filogenéticos y se comparan.

Se arma un cuadro comparativo con las similitudes y las diferencias.

Al comparar árboles genealógicos con árboles filogenéticos se relaciona con la historia de las representaciones y se relata la historia de la construcción de Árboles evolutivos mediante una presentación multimedia y luego se da una guía de lectura para analizar el borrador B de Darwin que se encuentra en Internet.

Observación y análisis crítico de los Árboles de Haeckel

Se inicia esta parte de la secuencia con la lectura del siguiente texto

Los Árboles Genealógicos de Haeckel y la Filogenética (Texto extraído del marco teórico de la tesis).

Se buscan los significados de los términos y se comparan, se llega a un consenso, se registran y se socializan.

Se complementa la actividad con la lectura y observación de imágenes del capítulo de la Vida Maravillosa de Stephen Jay Gould, aportado en la bibliografía.

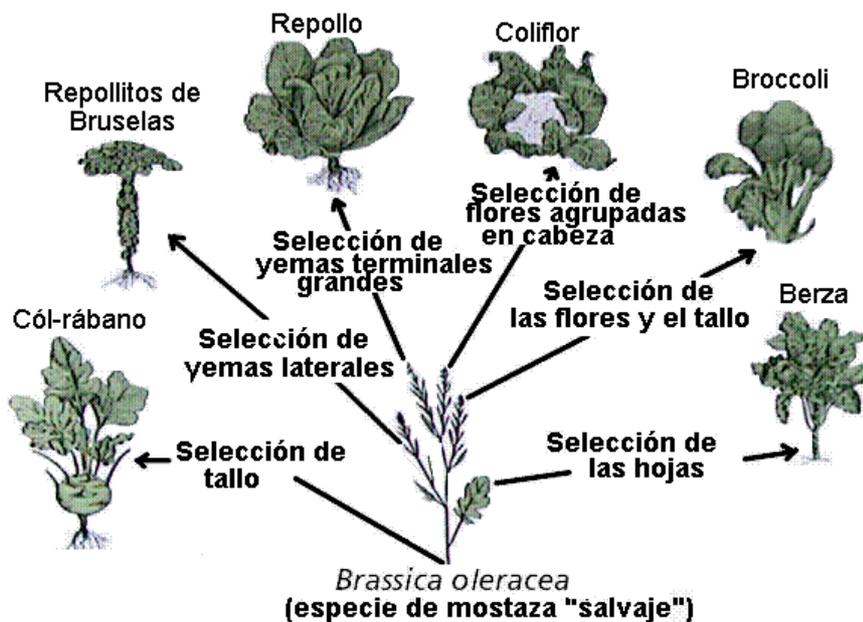
Se comparan árboles de Haeckel con representaciones Darwinianas y árboles actuales con otros árboles genealógicos obtenidos en la web.

La metáfora del Árbol de Darwin se asemeja más a un coral o arbusto, la representación de Haeckel a un ciprés. ¿Cuáles son las diferencias más notables?

Selección e interpretación de distintos modelos de representaciones: Se les presentan distintas representaciones: tipo escalera, árbol jerárquico en forma de ciprés, árbol ramificado, en forma de arbusto, esquematizados y figurativos, de los cuales deben seleccionar el que les parece más representativo y justificar socializando.

¿Qué representación se relaciona mejor con la Teoría del Ancestro Común de Darwin?

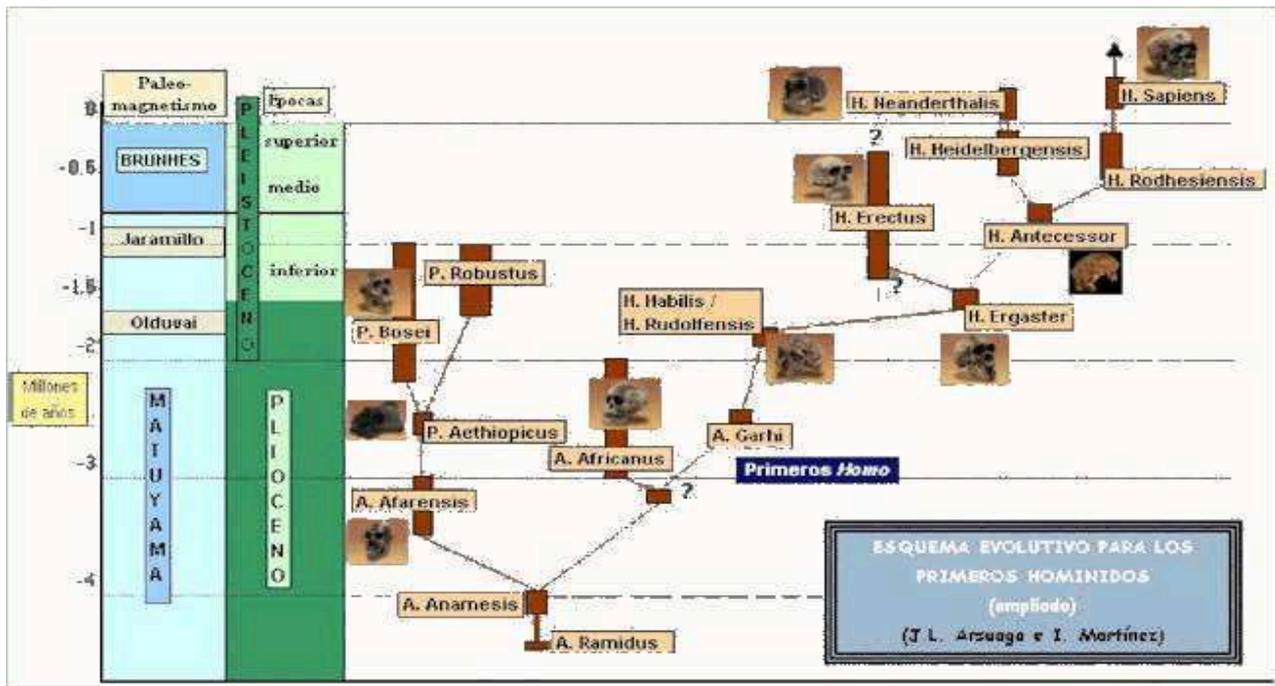
Observa este esquema.



El hombre por selección artificial ha obtenido todas estas variedades de repollo, coles, brócoli, entre otros, partiendo de la especie *Brassica oleracea* que ahora la consideramos una maleza en nuestros campos.

¿Podríamos considerar *Brassica oleracea* como antecesora común del brócoli y de los repollitos de Bruselas? ¿Por qué?

Observa el cuadro que representa la evolución de los homínidos. Identificá ancestros comunes



Representación de la evolución en forma de árbol.

Buscá en Internet árboles evolutivos de los animales y compáralos

Construcción de representaciones ramificadas según criterios propios: Se les reparten figuras de seres vivos y se les pide que realicen una representación que relacione por parentescos según los criterios que elijan. Se les propone que armen un árbol como el de Haeckel, otro como lo haría Darwin y otro teniendo en cuenta las representaciones actuales.

Relaciones de parentesco y ancestros comunes

Se les reparten individualmente una lista de seres vivos y tienen que ubicar el parentesco entre ellos justificando.

Luego se les pide que armen un esquema

Representa con un esquema las relaciones evolutivas entre el caballo, la cebra, el pingüino, el perro, el hombre, el mono y el murciélago

Se socializa y se realiza una evaluación grupal

Para iniciarlos en la interpretación de cladogramas se trabajan las actividades propuestas en el libro de texto Nuevamente Santillana, edición 2010.

Leé el siguiente texto; luego, teniendo en cuenta las indicaciones para interpretar un árbol filogenético que viste en la página 33, analizá el cladograma y respondé a las preguntas.

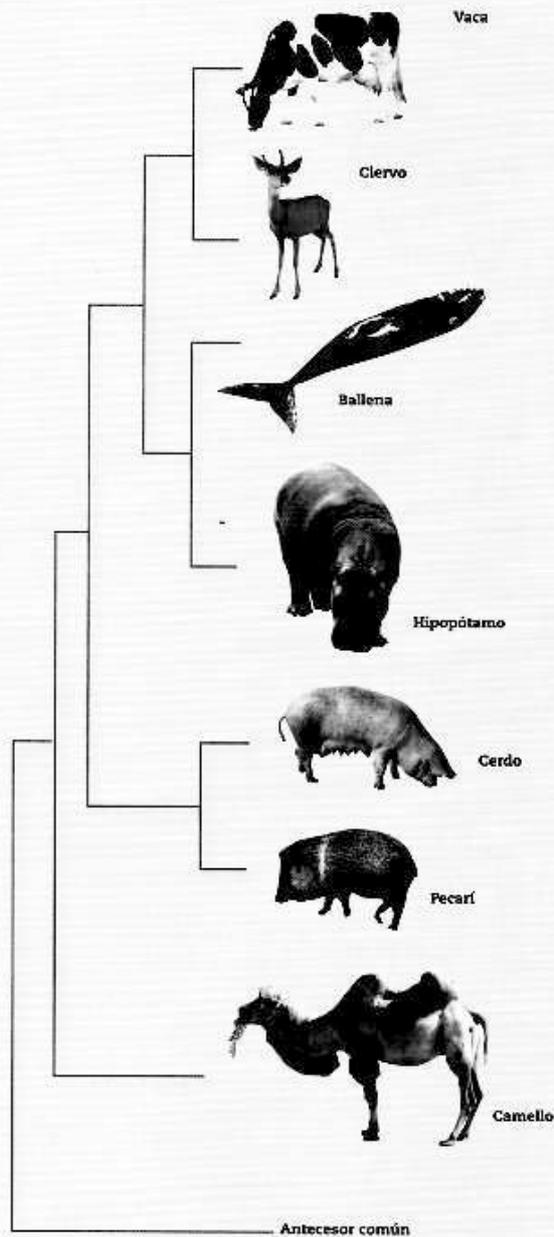
Al construir un árbol filogenético pueden utilizarse diferentes criterios. Cuando se aplican criterios de homología se definen grupos cercanos o **clados**, que se representan como un árbol dicotómico (cada rama se divide en dos) en forma sucesiva. Cada clado incluye a un grupo de especies que comparten características exclusivas y además derivan de un ancestro común. Así se construyen los **cladogramas**.

Un ejemplo interesante para analizar son las relaciones filogenéticas entre los cetáceos y los otros mamíferos.

Las ballenas, los delfines y las marsopas pertenecen al grupo de los cetáceos y comparten una serie de características poco comunes entre los mamíferos: la ausencia de las extremidades posteriores. Las relaciones filogenéticas entre estos grupos de organismos son difíciles de establecer, ya que las ballenas están altamente adaptadas a la vida marina y no se parecen mucho a los mamíferos terrestres. ¿Cuál habrá sido el antecesor del cual divergieron hace millones de años? Los fósiles de ballena más antiguos que se conocen tienen alrededor de 55 millones de años. Estas ballenas antiguas tenían algunos caracteres típicos de los animales terrestres, como extremidades traseras.

A partir del estudio del ADN de distintos mamíferos, los científicos han construido un cladograma como el que ves a la derecha.

Fuente: Scott Freeman y Jon C. Herron. *Análisis evolutivo*. Pearson Educación. Madrid, 2002, 2.ª edición.



- ¿Cuáles son las especies de mamíferos más cercanamente emparentadas? ¿Por qué?
- ¿Cuál es la especie más cercana a las ballenas actuales?
- En tu opinión, ¿se encontraron más similitudes entre el ADN de camellos y el de ciervos o entre el de ciervos y el de vacas? ¿Por qué?
- ¿Podría haberse incluido en este cladograma a los crustáceos, como el cangrejo? ¿Por qué?
- Para los antiguos griegos, los hipopótamos estaban relacionados con los caballos o con los cerdos. ¿Sabés qué significa "hipopótamo" en griego? "Caballo de río". Después de analizar este cladograma, ¿qué les dirías a los griegos sobre el hipopótamo y sobre sus relaciones de parentesco?

Integración

Se retoma el contenido homologías y analogías dado en clases anteriores en la propuesta áulica sobre pruebas de la evolución

Lectura y ejemplificación. Búsqueda de información en internet. Presentación de imágenes, comparación.

Se relacionan ejemplos de homologías con parentescos y derivas de ancestros cercanos.

Se realizan árboles con tres seres vivos (paloma, ornitorrinco, ser humano) teniendo en cuenta un carácter homólogo (glándulas mamarias) y otro análogo (bipedismo) y se comparan.

Se les pide que elijan y justifiquen: un carácter homólogo compartido por dos de los seres vivos presentados y un carácter compartido por los tres para representar las relaciones de parentesco derivados de un ancestro común con un diagrama ramificado partiendo tres vertebrados de diferentes clases (por ejemplo, pejerrey, tortuga, paloma).

Se retoman los árboles construídos en clases anteriores y se evalúan teniendo en cuenta caracteres homólogos compartidos.

Introducción al Cladismo: Se inicia el acercamiento al método de clasificación actual.

Explicación e indagación en internet. Presentación de ejemplos simples por parte del docente

Interpretación de cladogramas: Los alumnos seleccionan cladogramas de diferentes fuentes y realizan una presentación explicándolos.

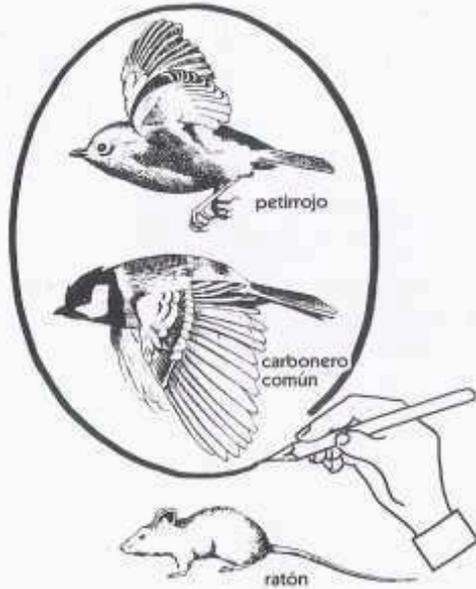
Se les enseña a construir matrices de caracteres en base a especies y caracteres dados.

Primero usando sólo tres caracteres y no más de seis “especies”.

Se les guía en la construcción cladogramas simples partiendo de las matrices realizadas. Buscar caracteres comunes para unir. Identificando nodos y ramificaciones.

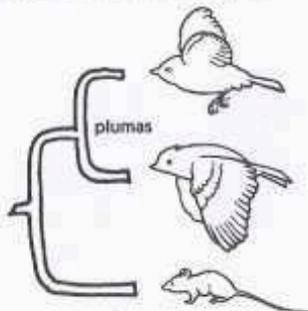
Actividades propuestas en el libro “Clasificación” del British Museum (Natural History) Editorial Akal, 1994.

Aquí, por ejemplo el petirrojo y el carbonero común forman un grupo que está definido por características (como las plumas) que poseen ambos... pero que no posee el ratón.



La distribución por grupos (llamados **clades**) se representa generalmente en forma de diagrama ramificado llamado cladograma.

Las características que definen un clade se conocen como **homólogas**.



Método

1 Identificación y registro de las características

El primer paso consiste en describir los organismos estudiados de acuerdo con las características que poseen.

Un ejemplo simplificado. Algunas de las características más obvias de estos cuatro animales, pueden ser registradas como en la tabla siguiente:

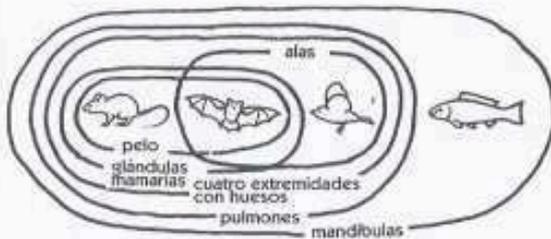
	ratón	murciélago	petirrojo	carpa
pulmones	✓	✓	✓	✗
cuatro extremidades con huesos	✓	✓	✓	✗
glándulas mamarias	✓	✓	✗	✗
pelo	✓	✓	✗	✗
alas	✗	✓	✓	✗
plumas	✗	✗	✓	✗
mandíbulas	✓	✓	✓	✓

2 Clasificación en grupos

A continuación se identifican las características compartidas que se usan para clasificar los organismos en grupos.

Las características más útiles son aquellas compartidas por 2 o más organismos (pero no por todos ellos). Las características compartidas por **todos** los organismos no son útiles porque sólo pueden ser usadas para definir el grupo como conjunto. Y las características que tienen **sólo uno** de los organismos, son obviamente características no compartidas y por tanto no utilizables.

En la tabla de la izquierda puede observarse que las características escogidas relacionan a los animales de la forma siguiente:



(Sólo uno de los animales tiene plumas, por tanto "plumas" no es una característica compartida).

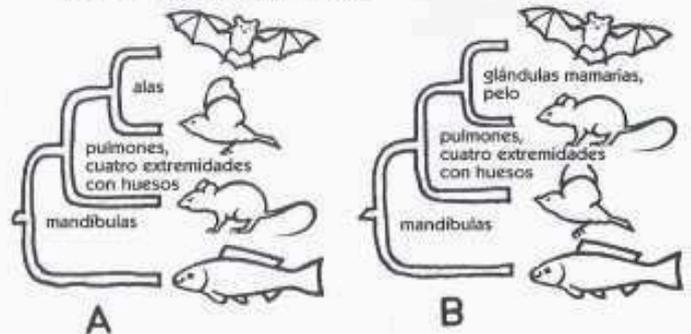
3 Elección de un cladograma

Una vez que los organismos se han agrupado de acuerdo con las características compartidas, podemos construir un cladograma.

Cuanto más organismos haya, de más formas pueden ser teóricamente dispuestos en un diagrama ramificado. De hecho con solamente 4 organismos hay hasta 15 diagramas posibles. El problema es elegir uno.

En la clasificación cladística es usual escoger el diagrama que utiliza el mayor número de características compartidas. Algunas personas prefieren elegir el diagrama en función de la historia evolutiva de los organismos a clasificar. En este caso se dá gran importancia a las características que parecen indicar un antecesor común y, al desarrollar el cladograma se tienen en cuenta otras circunstancias adicionales, tales como distribución geográfica, historia de su vida y el registro fósil.

En nuestro ejemplo, los que mejor tienen en cuenta las características elegidas de los 15 cladogramas posibles, son los 2 representados a continuación. ¿Cuál de los dos elegiríamos?



Elegiríamos el cladograma B, que cuenta con 5 características compartidas. El cladograma A sólo considera 4 características.

Se propone la construcción de matrices seleccionando caracteres para la elaboración de cladogramas propios.

Mediante la distribución al azar de distintos seres vivos (8 vertebrados de distintas clases) a grupos de alumnos se inicia la construcción de un cladograma que los relaciones a todos. Ellos deben seleccionar caracteres, armar la matriz y el cladograma correspondiente.

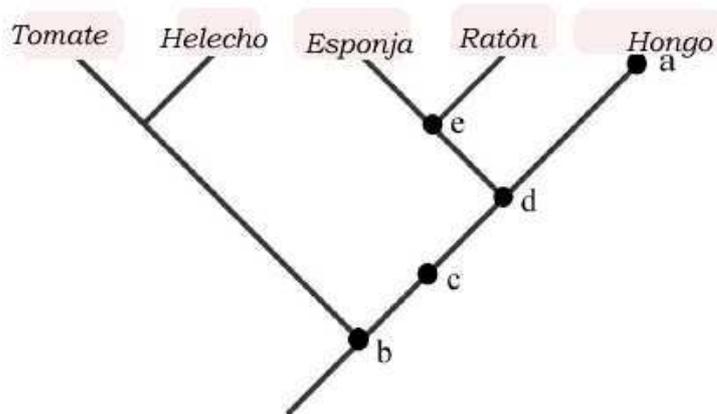
Al finalizar se realiza la socialización, comparación, análisis, evaluación, mostrando, cada grupo, sus cladogramas en afiches o presentaciones en power point y contando cómo los hicieron y las dificultades que se presentaron.

Al finalizar se realiza una evaluación escrita individual con la entrega de otros seres vivos con los cuales deben proceder como lo hicieron grupalmente, pero ahora en forma individual. Corrección en conjunto por parte de alumnos y del docente, devolución y autocorrección.

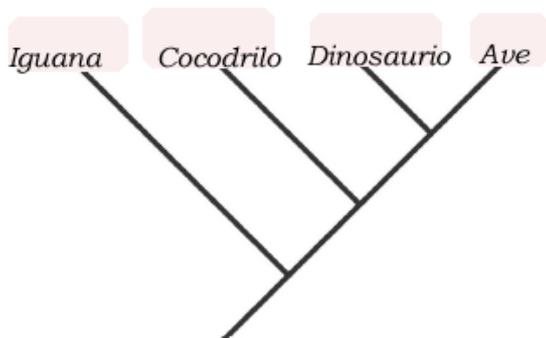
Presentación y socialización de producciones. Al finalizar la secuencia, los alumnos pueden seleccionar algunas de sus producciones y presentarlos en cartelera y compartirlos con la comunidad educativa. (Esta actividad es interesante porque en los recreos alumnos o docentes de otros cursos pueden preguntar de qué se trata y ellos justificarán y les darán sus explicaciones sobre qué entendieron y cómo lo hicieron.)

Actividades de evaluación individual

¿Cuál de los 5 puntos con letras representa el ancestro común más cercano entre la esponja y el hongo?

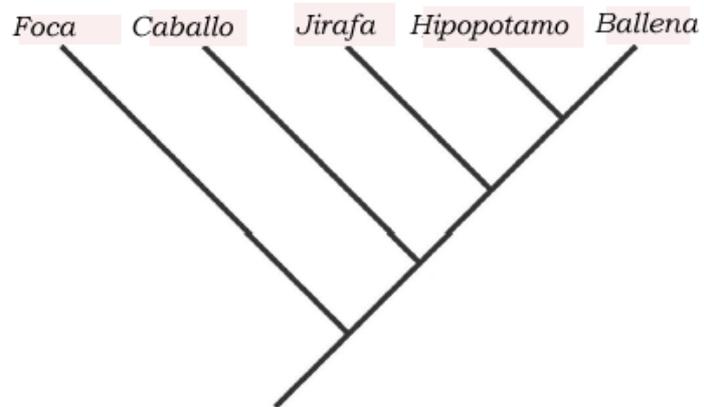


5) Observa el diagrama y marca lo correcto, justifica:



- a- El cocodrilo evolutivamente está más cerca de la iguana que del ave
- b- El cocodrilo tiene la misma relación evolutiva con la iguana y el ave
- c- El cocodrilo está más relacionado con las iguanas que con las aves
- d- El cocodrilo está más relacionado con las aves que con las iguanas

Observa el siguiente diagrama y señala la correcta:



- a- El caballo está más cercano evolutivamente a la foca que a la ballena
- b- La foca está más cercana a la ballena que al caballo
- c- La foca está igualmente relacionada evolutivamente con el caballo y con la ballena
- d- La foca se relaciona evolutivamente solamente con la ballena, no con el caballo

Taller Construyendo árboles filogenéticos

Destinatarios: Profesores y estudiantes de profesorado y postgrados

Pre-requisitos: conocimientos mínimos de informática y biología evolutiva

Material a ser suministrado a los participantes: Guías, información, software, presentaciones, ejemplos e imágenes en cd o pen drive

Resumen

El taller presenta cómo se construyen clasificaciones taxonómicas y árboles filogenéticos basados en la sistemática evolutiva, y el cladismo. Se realizan actividades prácticas de clasificación y construcción de matrices y cladogramas con distintos elementos, tornillos, botones, seres vivos reales e imaginarios y se analizan árboles construidos con distintas herramientas. Para ello se hace un recorrido histórico de la construcción de árboles y se muestran las herramientas informáticas modernas.

Se dan orientaciones didácticas para transponer dichas actividades a distintos niveles educativos

Actividades

Actividad A

- 1- Clasificación de elementos (tornillos, botones)
- 2- Armado de matrices categóricas basadas en caracteres morfológicos
- 3- Construcción de árboles en afiches y cartulinas con los elementos seleccionados
- 4- Uso del software Mesquite para armar matrices y construir árboles simulados
- 5- Análisis e interpretación de los distintos árboles construidos en los grupos

6- Comparación y selección de árboles

Actividad B

1- Interpretación de distintos árboles y matrices

2- Selección de un grupo de seres vivos, identificación de caracteres morfológicos homólogos y análogos

3- inferencia de ancestros comunes

4- Construcción de matrices y árboles con los caracteres seleccionados

5- comparación de los árboles resultantes.

Actividad C

Elaboración grupal de conclusiones y justificaciones teniendo en cuenta el proceso y los resultados de las actividades de construcción de matrices y arboles filogenéticos.

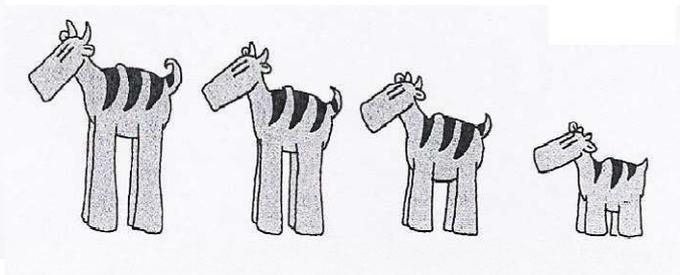
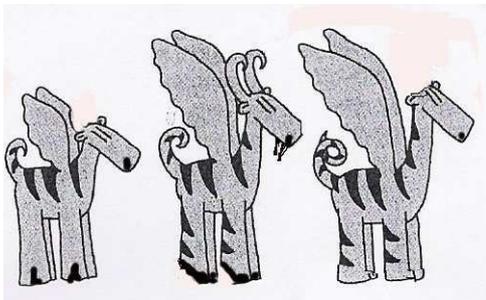
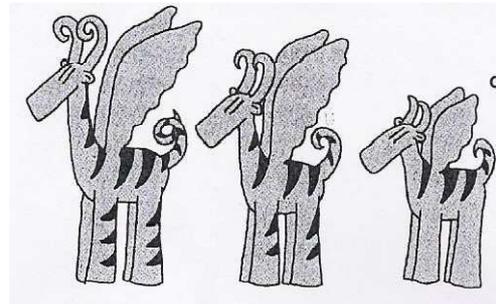
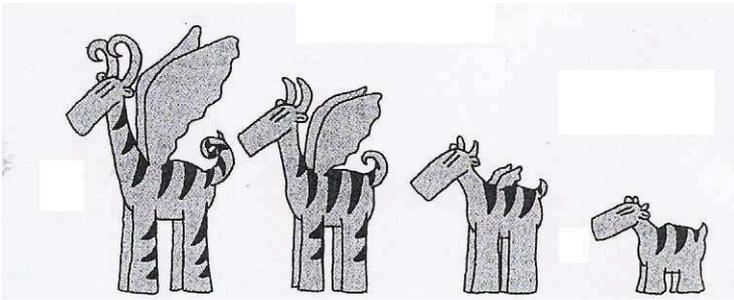
Bibliografía

- Apesteguía S.; Ares R. (2010) *Vida en Evolución*. Vazquez Manzzini Editores. Argentina
- Freeman Scott, Herron Jon. *Análisis evolutivo*. Editorial Prentice Hall 2º edición. 2002.
- Gallardo Milton H. *Evolución. El curso de la Vida*. Ed. Médica Panamericana. 2011.
- Morrone Juan J. *Los árboles filogenéticos de Dawin (1859) a Hennig (1950)* Revista Museo Vol. 3 N° 14. La Plata, julio 2000.
- Spivak Eduardo. *El Árbol de la vida: Una representación de la evolución y la evolución de una representación*. Revista Ciencia Hoy. Volumen 16. N° 91. Febrero-marzo 2006.

- Torreblanca M. *Armando el Arbolito. Sobre las representaciones filogenéticas*. Libro en proceso de edición. 2012.

Imágenes

Animales ficticios para clasificar



TABLAS

O

Maricel 2 SE 1 lc 0 Li_ 0 ret 0 ret 1 ant 0 cont 0 pro 1 tra 0 anc 0 des 0 co 0 te 1 do 2010_SEGU
0 G _ No _n _n ro_ i_no g_ ns es_ a_n he m c_ NDO
1 U Si o o si no _si no o _n p_ si
0 N
D
O

Carolina 2 SE 1 lc 1 Li_ 0 ret 0 ret 0 ant 1 cont 1 pro 1 tra 0 anc 1 des 0 co 0 te 0 do 2010_SEGU
0 G _ Si _n _n ro_ i_si g_s ns es_ a_s he m c- NDO
1 U Si o o no i _si no i _n p_ no
0 N
D
O

Julieta 2 SE 0 lc 0 Li_ 1 ret 0 ret 0 ant 0 cont 0 pro 0 tra 1 anc 0 des 0 co 0 te 1 do 2010_SEGU
0 G _ No _si _n ro_ i_no g_ ns es_s a_n he m c_ NDO
1 U N O o o no no i o _n p_ si
0 N
D
O

Leandro 2 SE 1 lc 0 Li_ 0 ret 0 ret 0 ant 1 cont 1 pro 0 tra 0 anc 0 des 1 co 1 te 1 do 2010_SEGU
0 G _ No _n _n ro_ i_si g_s ns es_ a_n he m c_ NDO
1 U Si o o no i _n no o _si p_ si
0 N
D
O

Belén 2 SE 1 lc 1 Li_ 0 ret 0 ret 1 ant 1 cont 1 pro 0 tra 0 anc 0 des 1 co 1 te 1 do 2010_SEGU
0 G _ Si _n _n ro_ i_si g_s ns es_ a_n he m c_ NDO
1 U Si o o si i _n no o _si p_ si
0 N
D

O

Lautaro 2 SE 1 lc 0 Li_ 0 ret 0 ret 0 ant 0 cont 0 pro 0 tra 0 anc 0 des 1 co 0 te 1 do 2010_SEGU
0 G _ No _n _n ro_ i_no g_ ns es_ a_n he m c_ NDO
1 U Si o o no no _n no o _si p_ si
0 N
D
O

Denisse 2 SE 1 lc 1 Li_ 0 ret 0 ret 1 ant 0 cont 1 pro 1 tra 0 anc 0 des 0 co 0 te 1 do 2010_SEGU
0 G _ Si _n _n ro_ i_no g_s ns es_ a_n he m c_ NDO
1 U Si o o si i _si no o _n p_ si
0 N
D
O

Pía 2 SE 1 lc 1 Li_ 0 ret 0 ret 1 ant 0 cont 1 pro 0 tra 0 anc 0 des 1 co 1 te 1 do 2010_SEGU
0 G _ Si _n _n ro_ i_no g_s ns es_ a_n he m c_ NDO
1 U Si o o si i _n no o _si p_ si
0 N
D
O

Agustín 2 SE 1 lc 0 Li_ 0 ret 0 ret 0 ant 0 cont 0 pro 0 tra 0 anc 0 des 1 co 0 te 1 do 2010_SEGU
0 G _ No _n _n ro_ i_no g_ ns es_ a_n he m c_ NDO
1 U Si o o no no _n no o _si p_ si
0 N
D
O

Federica 2 SE 1 lc 1 Li_ 0 ret 0 ret 0 ant 1 cont 1 pro 1 tra 0 anc 0 des 1 co 0 te 1 do 2010_SEGU
0 G _ Si _n _n ro_ i_si g_s ns es_ a_n he m c_ NDO
1 U Si o o no i _si no o _si p_ si
0 N
D

O

Macarena	2 0 1 1	TE R C E R O	1 	lc _ Si	0 	Li_ No	0 	ret _n o	0 	ret _n o	0 	ant ro_ no	0 	cont i_no	0 	pro g_ no	0 	tra ns _n o	0 	anc es_ no	0 	des a_n o	0 	co he _n o	0 	te m p_ no	1 	do c_ si	2011_TERCE RO
Lautaro	2 0 1 1	TE R C E R O	1 	lc _ Si	0 	Li_ No	0 	ret _n o	0 	ret _n o	0 	ant ro_ no	0 	cont i_no	0 	pro g_ no	1 	tra ns _si	0 	anc es_ no	0 	des a_n o	1 	co he _si	0 	te m p_ no	1 	do c_ si	2011_TERCE RO
Denisse	2 0 1 1	TE R C E R O	1 	lc _ Si	1 	Li_ Si	0 	ret _n o	0 	ret _n o	0 	ant ro_ no	1 	cont i_si	1 	pro g_s i	1 	tra ns _si	0 	anc es_ no	1 	des a_s i	0 	co he _n o	0 	te m p_ no	1 	do c_ si	2011_TERCE RO
Maricel	2 0 1 1	TE R C E R O	1 	lc _ Si	1 	Li_ Si	0 	ret _n o	0 	ret _n o	1 	ant ro_ si	1 	cont i_si	1 	pro g_s i	1 	tra ns _si	0 	anc es_ no	0 	des a_n o	0 	co he _n o	0 	te m p_ no	1 	do c_ si	2011_TERCE RO
Julieta	2 0 1 1	TE R C E R O	0 	lc _ N O	0 	Li_ No	1 	ret _si	0 	ret _n o	0 	ant ro_ no	1 	cont i_si	0 	pro g_ no	0 	tra ns _n o	1 	anc es_s i	0 	des a_n o	0 	co he _n o	0 	te m p_ no	1 	do c_ si	2011_TERCE RO

O

Pia	2 0 1 1	TE R C E	1	lc _ Si	1	Li_ Si	0	ret _n o	0	ret _n o	0	ant ro_ no	1	cont i_si	1	pro g_s i	1	tra ns _si	0	anc es_ no	1	des a_s i	1	co he _si	0	te m p_ no	1	do c_ si	2011_TERCE RO
Lucila	2 0 1 1	TE R C E	1	lc _ Si	1	Li_ Si	0	ret _n o	0	ret _n o	0	ant ro_ no	0	cont i_no	0	pro g_ no	1	tra ns _si	0	anc es_ no	1	des a_s i	0	co he _n o	0	te m p_ no	1	do c_ si	2011_TERCE RO
Laura	2 0 1 1	TE R C E	1	lc _ Si	1	Li_ Si	0	ret _n o	0	ret _n o	0	ant ro_ no	1	cont i_si	1	pro g_s i	1	tra ns _si	0	anc es_ no	0	des a_n o	1	co he _si	0	te m p_ no	1	do c_ si	2011_TERCE RO
Carolina	2 0 1 1	TE R C E	1	lc _ Si	0	Li_ No	0	ret _n o	0	ret _n o	0	ant ro_ no	0	cont i_no	0	pro g_ no	0	tra ns _n o	0	anc es_ no	0	des a_n o	0	co he _n o	0	te m p_ no	1	do c_ si	2011_TERCE RO
Lucas	2 0 1 1	TE R C E	1	lc _ Si	1	Li_ Si	0	ret _n o	0	ret _n o	0	ant ro_ no	1	cont i_si	1	pro g_s i	1	tra ns _si	0	anc es_ no	1	des a_s i	1	co he _si	0	te m p_ no	1	do c_ si	2011_TERCE RO

			O																			
María	2 P 0 RI 1 M 1 E R O	1 lc _ Si	1 Li_ Si	0 ret _n o	0 ret _n o	1 ant ro_ si	1 cont i_si	1 pro g_s i	1 tra ns _si	0 anc es_ no	0 des a_n o	0 co he _n o	0 te m p_ no	0 do c- no	2011_PRIME RO							
Facundo	2 P 0 RI 1 M 1 E R O	1 lc _ Si	1 Li_ Si	0 ret _n o	0 ret _n o	1 ant ro_ si	1 cont i_si	1 pro g_s i	1 tra ns _si	0 anc es_ no	0 des a_n o	0 co he _n o	0 te m p_ no	0 do c- no	2011_PRIME RO							
Malena	2 P 0 RI 1 M 1 E R O	0 lc _ N O	0 Li_ No	0	1 ret _si	0 ant ro_ no	1 cont i_si	1 pro g_s i	1 tra ns _si	0 anc es_ no	1 des a_s i	0 co he _n o	1 te m p_ si	0 do c- no	2011_PRIME RO							
Agustín	2 TE 0 R 1 C 1 E R O	1 lc _ Si	1 Li_ Si	0 ret _n o	0 ret _n o	1 ant ro_ si	1 cont i_si	1 pro g_s i	1 tra ns _si	0 anc es_ no	1 des a_s i	1 co he _si	0 te m p_ no	1 do c_ si	2011_TERCE RO							
Federica	2 TE 0 R 1 C 1 E R	1 lc _ Si	1 Li_ Si	0 ret _n o	0 ret _n o	1 ant ro_ si	1 cont i_si	1 pro g_s i	1 tra ns _si	1 anc es_s i	0 des a_n o	0 co he _n o	0 te m p_ no	1 do c_ si	2011_TERCE RO							

			O																			
Thiago	2 P 0 RI 1 M 1 E R O	1 lc _ Si	1 Li_ Si	0 ret _n o	0 ret _n o	1 ant ro_ si	1 cont i_si	1 pro g_s i	1 tra ns _si	0 anc es_ no	0 des a_n o	0 co he _n o	0 te m p_ no	0 do c- no	2011_PRIME RO							
Gianfranco	2 P 0 RI 1 M 1 E R O	1 lc _ Si	0 Li_ No	0 ret _n o	0 ret _n o	0 ant ro_ no	0 cont i_si	0 pro g_ no	0 tra ns _n o	0 anc es_ no	0 des a_n o	0 co he _n o	0 te m p_ no	0 do c- no	2011_PRIME RO							
Elio	2 P 0 RI 1 M 1 E R O	0 lc _ N O	1 Li_ Si	0	0	0	1	1 pro g_s i	1 tra ns _si	0 anc es_ no	1 des a_s i	0										
Emily	2 P 0 RI 1 M 2 E R O	1 lc _ Si	1 Li_ Si	0 ret _n o	0 ret _n o	0 ant ro_ no	1 cont i_si	0 pro g_ no	0 tra ns _n o	0 anc es_ no	0 des a_n o	0 co he _n o	1 te m p_ si	0 do c- no	2010_PRIME RO							
José	2 P 0 RI 1 M 2 E R	1 lc _ Si	1 Li_ Si	0 ret _n o	0 ret _n o	1 ant ro_ si	1 cont i_si	1 pro g_s i	1 tra ns _si	0 anc es_ no	0 des a_n o	0 co he _n o	0 te m p_ no	0 do c- no	2010_PRIME RO							

			O																			
Tomás	2 P 0 RI 1 M 2 E R O	1 lc _ Si	1 Li_ Si	0 ret _n o	0 ret _n o	1 ant ro_ si	0 cont i_no	1 pro g_s i	1 tra ns _si	0 anc es_ no	0 des a_n o	0 co he _n o	0 te m p_ no	0 do c- no	2010_PRIME RO							
Jhasmín	2 P 0 RI 1 M 2 E R O	1 lc _ Si	1 Li_ Si	0 ret _n o	0 ret _n o	0 ant ro_ no	1 cont i_si	0 pro g_ no	0 tra ns _n o	0 anc es_ no	0 des a_n o	0 co he _n o	1 te m p_ si	0 do c- no	2010_PRIME RO							
Francisco	2 P 0 RI 1 M 2 E R O	1 lc _ Si	1 Li_ Si	0 ret _n o	0 ret _n o	1 ant ro_ si	1 cont i_si	1 pro g_s i	1 tra ns _si	0 anc es_ no	0 des a_n o	0 co he _n o	0 te m p_ no	0 do c- no	2010_PRIME RO							
Keila	2 P 0 RI 1 M 2 E R O	1 lc _ Si	1 Li_ Si	0 ret _n o	0 ret _n o	1 ant ro_ si	0 cont i_no	1 pro g_s i	1 tra ns _si	0 anc es_ no	0 des a_n o	0 co he _n o	0 te m p_ no	0 do c- no	2010_PRIME RO							
Trini	2 P 0 RI 1 M 2 E R	0 lc _ N O	0 Li_ No	0 ret _n o	1 ret _si	0 ant ro_ no	0 cont i_no	0 pro g_ no	0 tra ns _n o	0 anc es_ no	0 des a_n o	0 co he _n o	0 te m p_ no	0 do c- no	2010_PRIME RO							

			O																										
Martina	2	P	0	lc	1	Li_	0	ret	0	ret	1	ant	0	cont	1	pro	1	tra	0	anc	0	des	0	co	0	te	0	do	2010_PRIME
	0	RI		_	Si		_n	_n		ro_		i_no		g_s		ns		es_		a_n		he		m		c-	RO		
	1	M		N			o	o		si				i		_si		no		o		_n		p_		no			
	2	E		O																		o		no					
		R																											
		O																											
Macarena	2	P	1	lc	1	Li_	0	ret	0	ret	1	ant	1	cont	1	pro	1	tra	0	anc	0	des	0	co	1	te	0	do	2010_PRIME
	0	RI		_	Si		_n	_n		ro_		i_si		g_s		ns		es_		a_n		he		m		c-	RO		
	1	M		Si			o	o		si				i		_si		no		o		_n		p_		no			
	2	E																				o		si					
		R																											
		O																											
Facundo	2	P	1	lc	1	Li_	0	ret	0	ret	0	ant	1	cont	0	pro	0	tra	0	anc	0	des	0	co	1	te	0	do	2010_PRIME
	0	RI		_	Si		_n	_n		ro_		i_si		g_		ns		es_		a_n		he		m		c-	RO		
	1	M		Si			o	o		no				no		_n		no		o		_n		p_		no			
	2	E																				o		si					
		R																											
		O																											

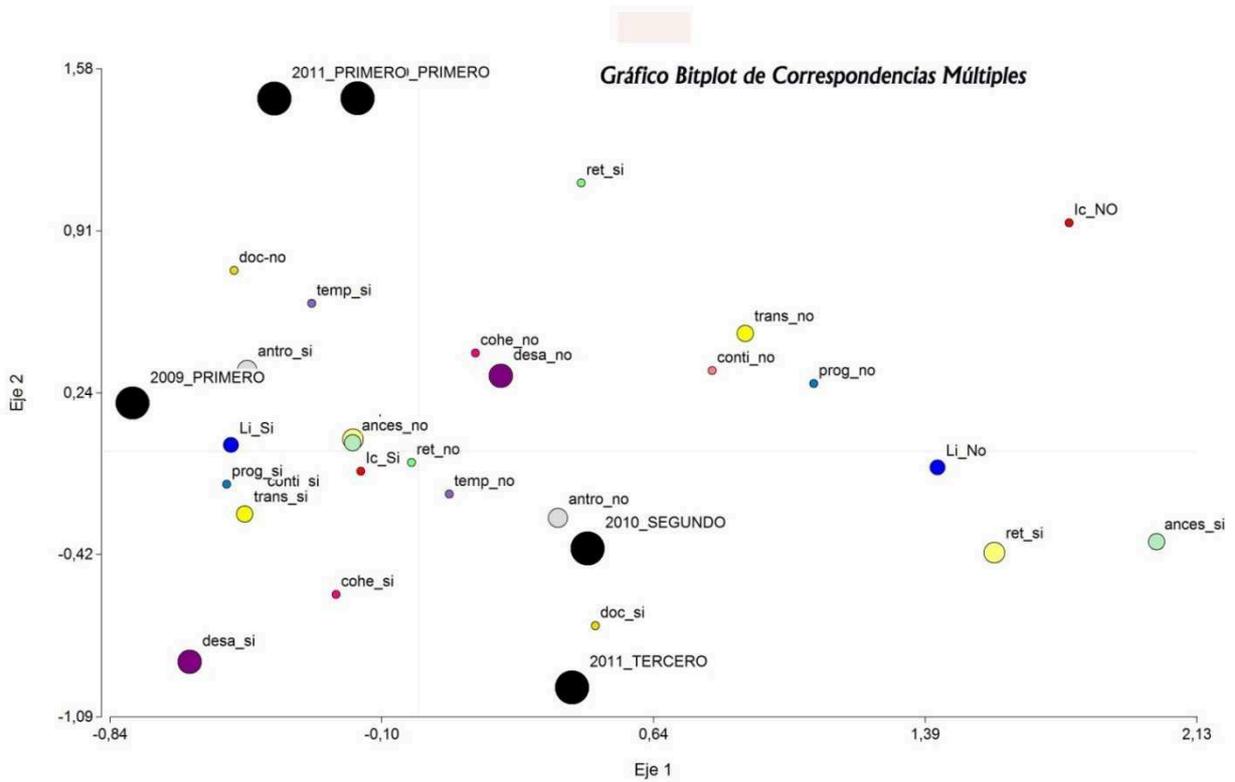
Parte de las tablas realizadas con I⁶³nfoStat

⁶³ nfoStat es un software estadístico desarrollado en Argentina por el Grupo InfoStat, un equipo de investigadores en Estadística Aplicada. Los miembros del Grupo InfoStat enseñan Estadística en el nivel Universitario de grado y posgrado. Son profesores de la Maestría en Estadística Aplicada de la Universidad Nacional de Córdoba. Tienen a su cargo las asignaturas Estadística-Biometría y Diseño de Experimentos de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Nacional de Córdoba y amplia experiencia en consultoría estadística relacionada a trabajos científicos y tecnológicos de diversas disciplinas

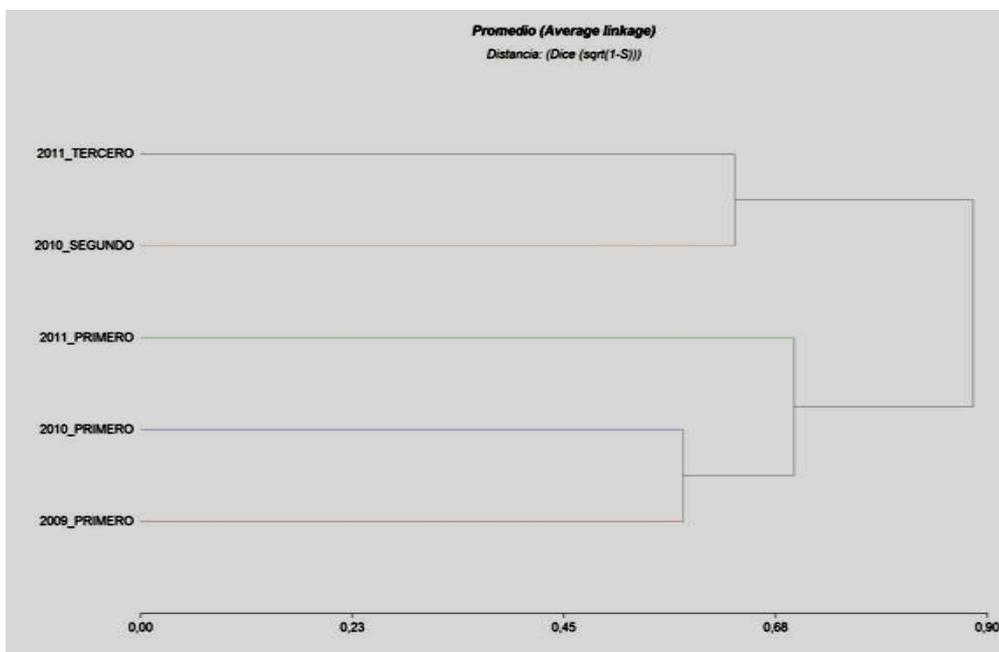
GRÁFICOS

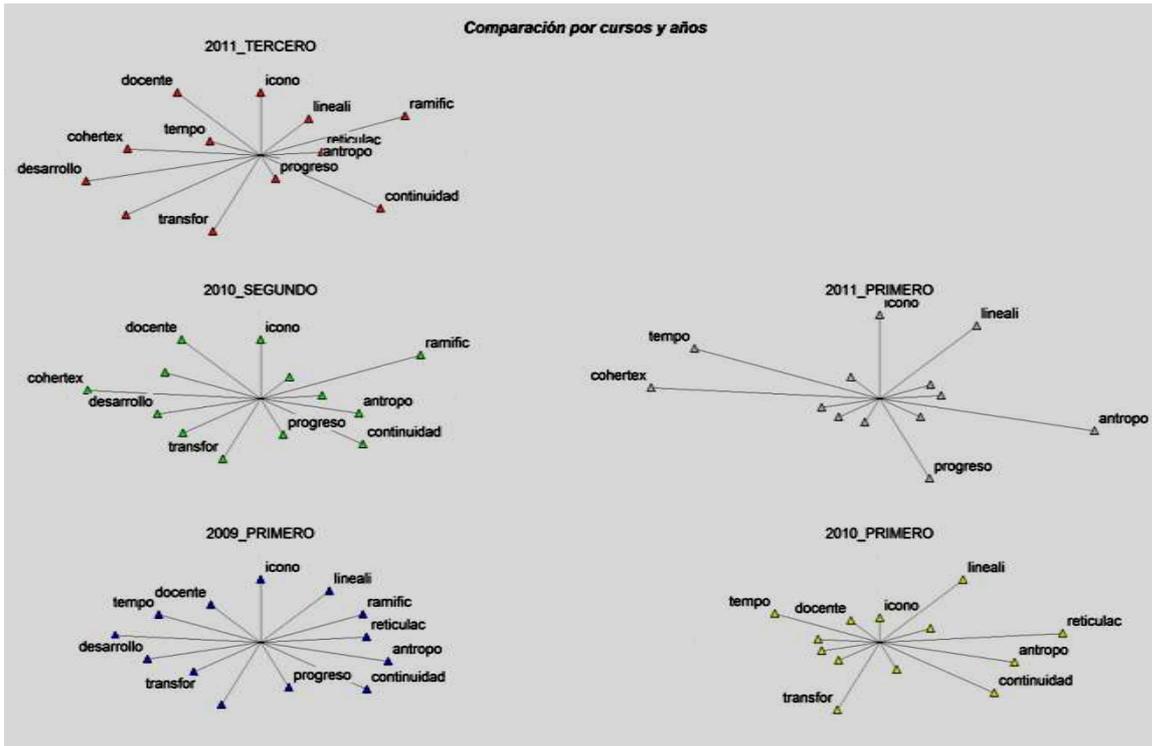
Análisis Multivariado

Resultados de análisis de correspondencias múltiples

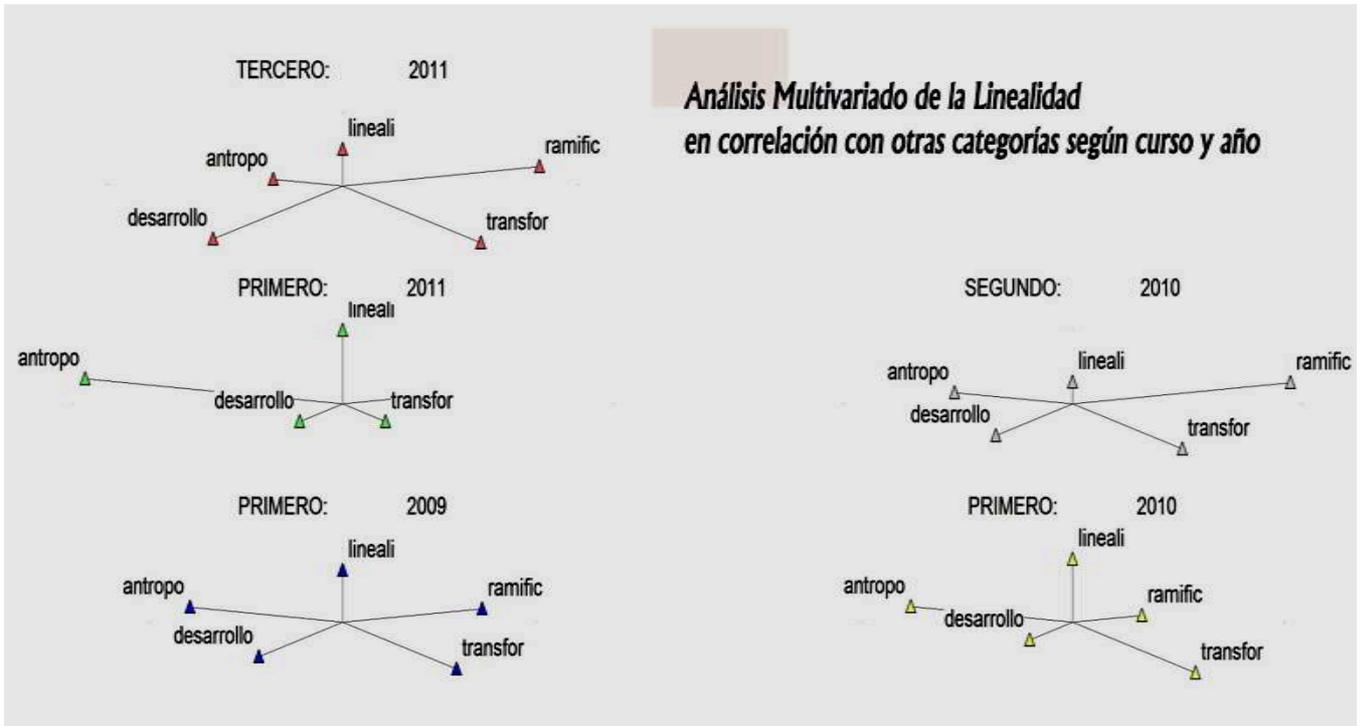


Análisis de conglomerados



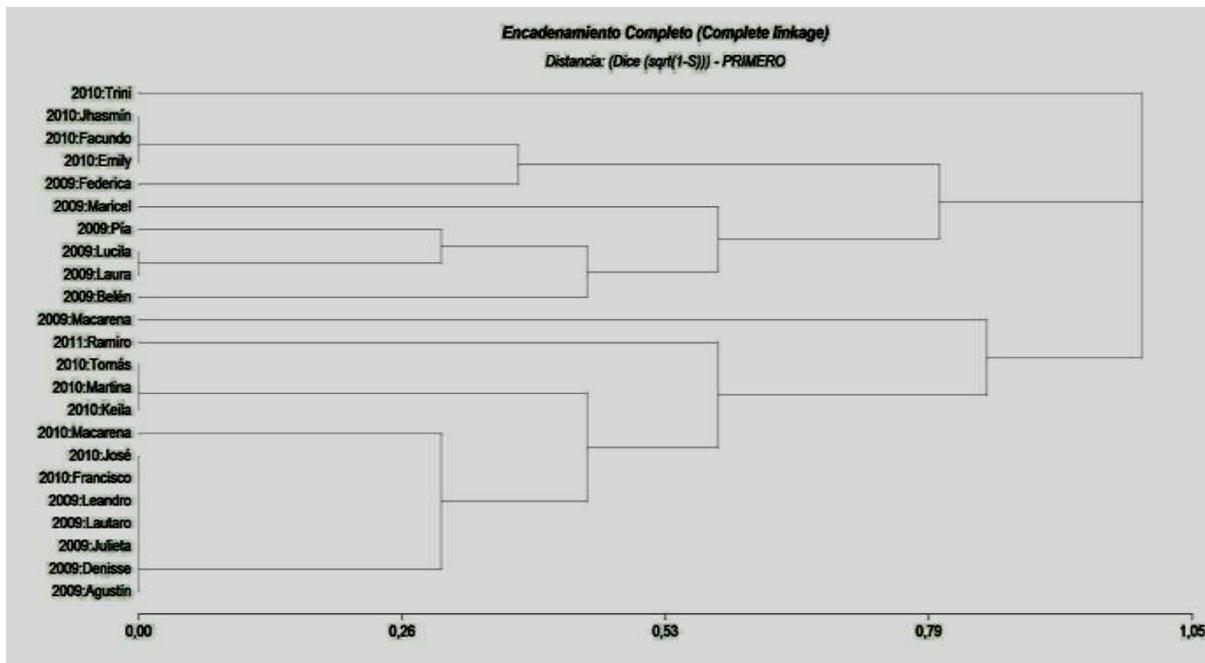


Correlaciones

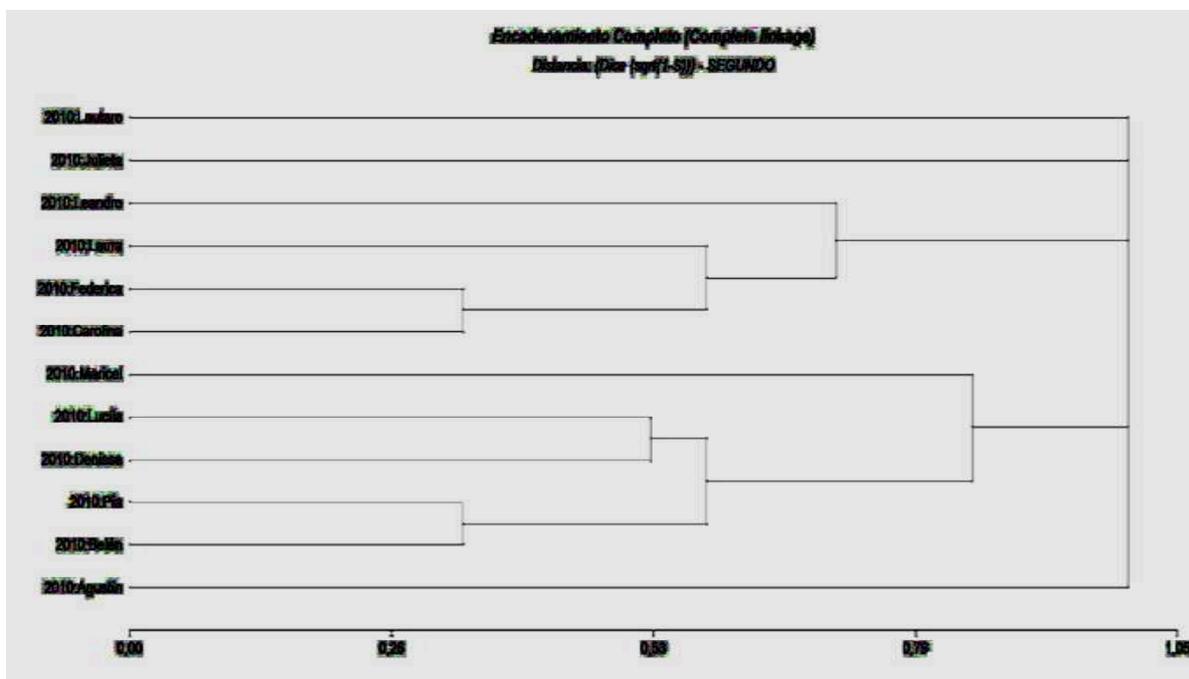


Encadenamiento por curso y año

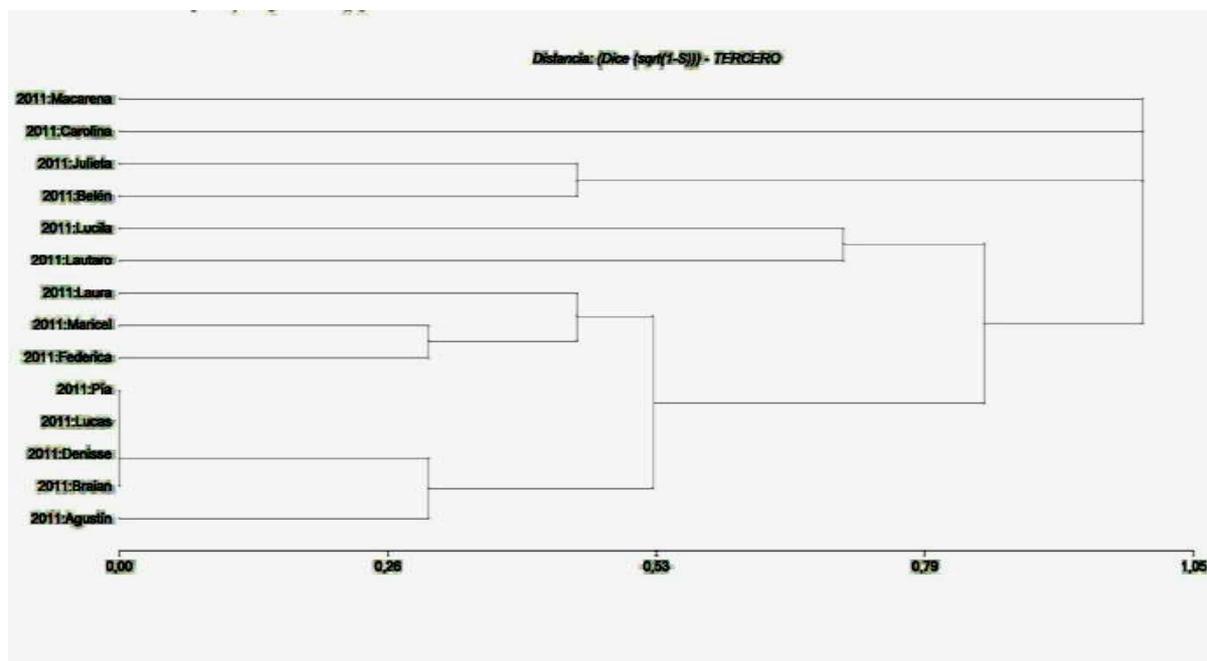
Primero:



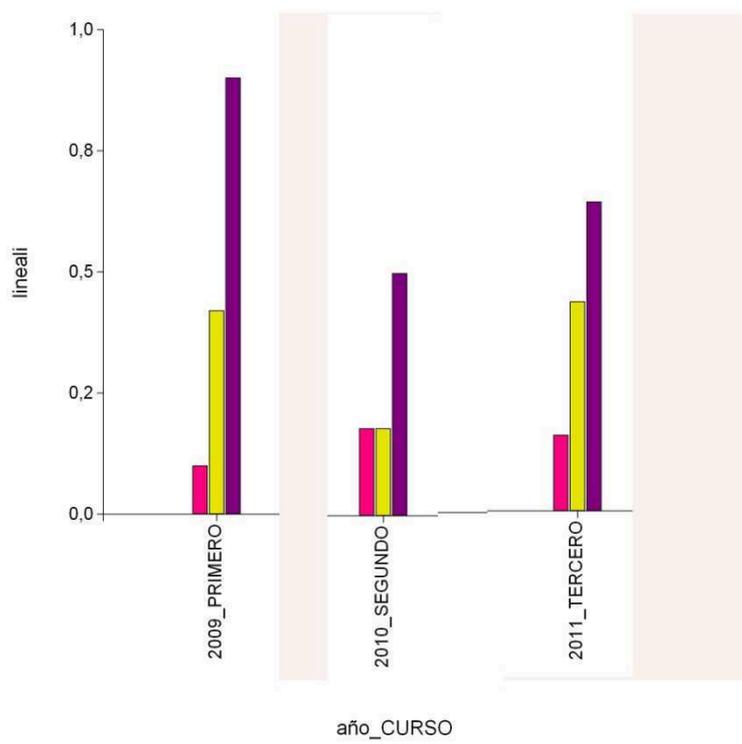
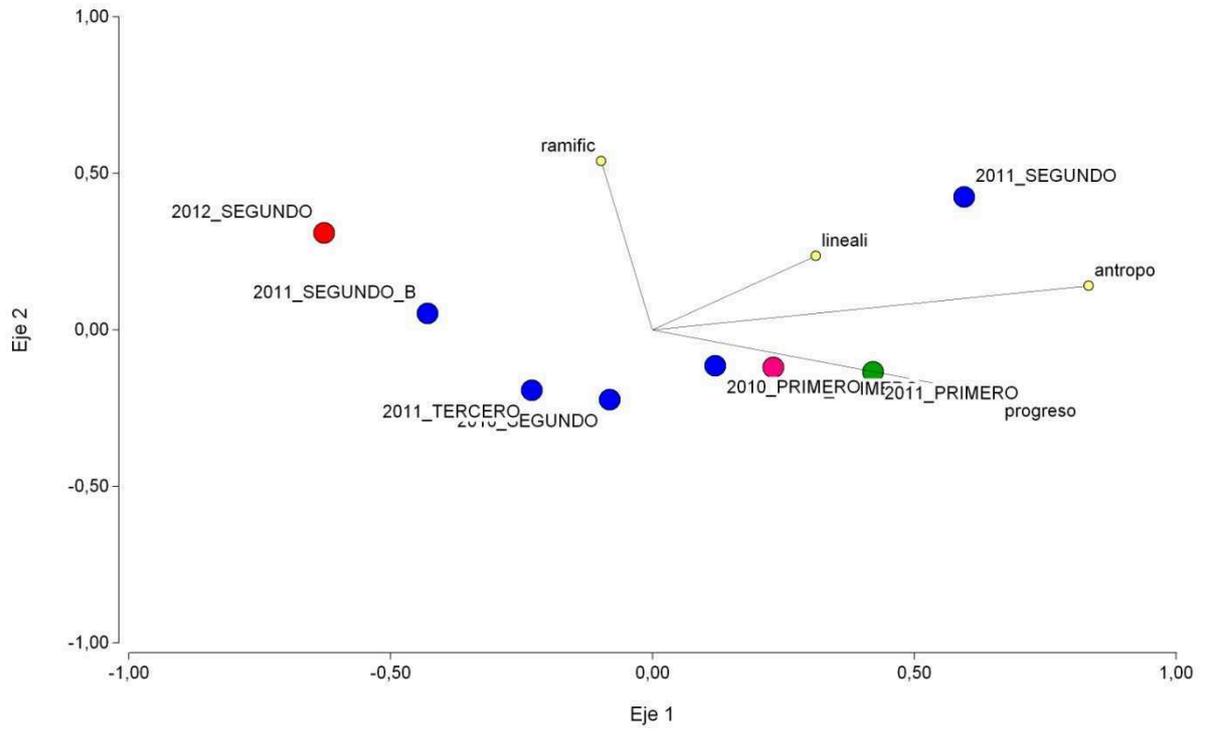
Segundo:



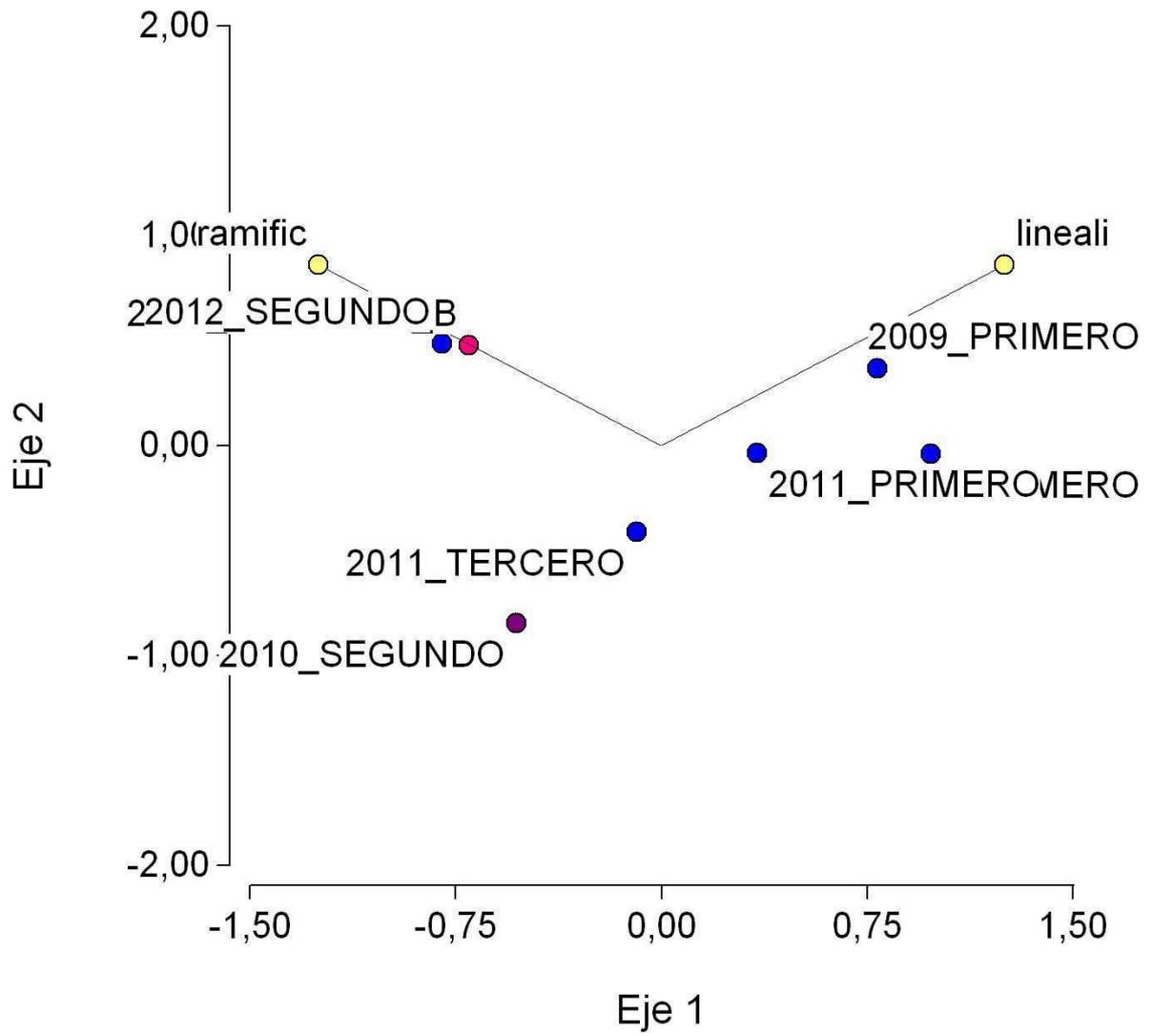
Tercero:



Bitplot



Linealidad



RESÚMENES DE TRABAJOS PRESENTADOS

Escaleras, árboles, redes...

Las Representaciones Gráficas de las Relaciones entre los Seres Vivos

Presentado en las XXIV Jornadas de epistemología e Historia de las Ciencias. La Falda, Córdoba octubre 2013.

Desde que se estudia la naturaleza, se intentó vislumbrar un orden en ella, buscando organizar a los seres vivos y no vivos, jerarquizándolos, clasificándolos y agrupándolos según diferentes criterios.

A esas clasificaciones se asociaron representaciones gráficas: Escalas, escaleras, cadenas, figuras simétricas, árboles y redes. Íconos que intentaron e intentan reflejar el “orden natural de los seres vivos”.

Los dendrogramas son las representaciones más utilizadas en biología evolutiva. Pero no siempre reflejaron relaciones genealógicas. El árbol evolutivo surgió con Darwin, su representación se difundió y se adaptó posteriormente para consolidarse como herramienta fundamental de una disciplina: la filogenética. Las redes son tan antiguas como los árboles y en la actualidad confluyen ambas para representar la biodiversidad microbológica.

La interpretación de la evolución mediante representaciones icónicas.

I Congreso Internacional de enseñanza de las ciencias y la matemática.

Presentado en el II Encuentro nacional de Enseñanza de Matemática. Tandil, noviembre 2011.

La evolución de las especies por medio de un ancestro común se representa mediante la metáfora del árbol. Pero en diversos medios y en el sentido común aún persiste la representación lineal en escalera, de la transformación de las especies de una en otra... ¿Cómo influyen estas representaciones icónicas en la enseñanza de la evolución? ¿Qué imagen eligen la mayoría de los estudiantes cuando se les pide que seleccionen la más representativa? ¿Qué dibujan los alumnos de secundaria básica cuando se les pide que representen la evolución de las especies? ¿Qué modelo predomina, árbol o escalera? ¿Son coherentes sus producciones y selecciones de dibujos o esquemas con sus justificaciones?

Palabras clave: evolución, representación, modelo, árbol, ícono.

Interpretar imágenes, Sortear obstáculos

La interpretación de íconos como mediadores en la enseñanza de la Evolución

Presentado en las XI Jornadas Nacionales y VI Congreso internacional de Enseñanza de la Biología. Gral. Roca, octubre 2014.

<http://congresosadbia.com/ocs/index.php/roca2014/roca2014/paper/view/817>

¬La enseñanza de la evolución se enfrenta con variados obstáculos. Uno de los más comunes es su concepción lineal, progresiva asociada generalmente a la tendencia hacia la perfección. Las imágenes y las representaciones filogenéticas se han incluido en libros de texto y materiales de divulgación. En la interpretación de dichas imágenes se hacen explícitos muchos de estos obstáculos que pueden ser utilizados como objetivos para construir una secuencia didáctica partiendo de ellos. Estos obstáculos que presentan los alumnos son similares a los que se presentaron en la historia epistemológica de las representaciones y concepciones evolutivas; las que se pueden utilizar para confrontar y construir argumentaciones y evaluaciones críticas para facilitar el aprendizaje de conceptos de alto nivel de abstracción, utilizando dichas imágenes y diagramas como mediadores.

Palabras clave: *representación, evolución, filogenética, obstáculos, imágenes.*

“Armando Arbolitos” La interpretación de la evolución biológica mediante representaciones icónicas y diagramas filogenéticos.

Diálogo entre la Maestría didáctica de las ciencias Experimentales (UNL, Argentina) y la Maestría Educación Científica y Formación de profesores (UESB- Brasil) Santa Fe, octubre 2013.

Se presenta un resumen de los avances de esta tesis.

La evolución de las especies por medio de un ancestro común se representa mediante la metáfora del árbol. Desde que Darwin formulara esa teoría y realizara sus primeros esbozos de ramificaciones, los dendrogramas y el árbol de la vida también fueron evolucionando, del mismo modo sus significados e interpretaciones. Se desarrollaron disciplinas específicas para la producción y el estudio de esas representaciones, como la filogenética, y con ella, distintas escuelas y enfoques para la construcción de árboles evolutivos, como el cladismo, la fenética, la sistemática evolutiva, etc. Pero en diversos medios de divulgación, libros escolares y en el sentido común aún persiste la representación lineal en escalera, de la transformación de las

especies de una en otra en forma encadenada. Ese ícono persiste en el imaginario colectivo y se transforma en una imagen tan arraigada que puede considerarse un verdadero obstáculo epistemológico en la enseñanza aprendizaje de la evolución en alumnos de niveles secundario y terciario.

La historia y la epistemología de la Ciencia pueden brindar la base para analizar e interpretar las producciones y selecciones de representaciones icónicas en la enseñanza aprendizaje de la evolución y su aplicación didáctica.

“Armando Arbolitos” La construcción de árboles filogenéticos como herramienta de enseñanza de la Evolución.

Presentado en el II Simposio de Enseñanza de la Biología. Noviembre 2013. Universidad Nacional de La Plata.

La evolución de las especies por medio de un ancestro común se representa mediante la metáfora del árbol. Desde que Darwin formulara esa teoría y realizara sus primeros esbozos de ramificaciones, los dendrogramas y el árbol de la vida también fueron evolucionando, del mismo modo sus significados e interpretaciones. Se desarrollaron disciplinas específicas para la producción y el estudio de esas representaciones, como la filogenética, y con ella, distintas escuelas y enfoques para la construcción de árboles evolutivos, como el cladismo, la fenética, la sistemática evolutiva, etc. Pero en diversos medios de divulgación, libros escolares y en el sentido común aún persiste la representación lineal en escalera, de la transformación de las especies de una en otra en forma encadenada. Ese ícono persiste en el imaginario colectivo y se transforma en una imagen tan arraigada que puede considerarse un verdadero obstáculo epistemológico en la enseñanza aprendizaje de la evolución en alumnos de niveles secundario y terciario.

Ramón y Cajal, El buen dibujante. La función de la Imagen en el origen de la Teoría Neuronal.

Presentado en las XXV Jornadas de Epistemología e Historia de las Ciencias. IX Encuentro de filosofía e Historia de las Ciencias del Cono Sur. Los Cocos, Córdoba. Setiembre 2014.

Santiago Ramón y Cajal era aficionado a la pintura y a la fotografía, desde niño su mayor preocupación era captar con mayor realismo posible lo que percibía de la naturaleza. Su idea de realismo con respecto a la imagen se evidencia en su obsesión por conseguir el mayor nivel analógico posible en sus producciones, la imagen espejo, lo captado por los sentidos como tal, plasmado en la tela o el papel con la más fiel similitud. Su desilusión, como menciona en sus memorias, era provocada por la falta de concordancia con esa realidad, los colores que lograba forjar no eran los mismos, las sombras, los mínimos detalles, la naturaleza siempre superaba a su representación. Intentaba esforzarse para lograr cada vez mayor semejanza. Así trasladó su afán a la fotografía y mejorando las técnicas de sus revelados trató de llevar al extremo la exactitud que para él debía tener la imagen en correspondencia con la realidad que percibía. Al respecto afirmó:

"El buen dibujo, como la buena preparación microscópica, son pedazos de la realidad, documentos científicos que conservan indefinidamente su valor y cuya revisión será siempre provechosa, cualesquiera que sean las interpretaciones a que hayan dado origen." (Cajal, 1899)

El Árbol de Ameghino.

Presentado en las Jornadas en homenaje a Florentino Ameghino en el año del centenario de su fallecimiento. Museo Municipal de Ciencias Naturales "Carlos Ameghino", Mercedes, octubre 2011.

Capítulo de libro:

[https://www.academia.edu/9985783/Florentino Ameghino en Mercedes. Homenaje en el centenario de su fallecimiento](https://www.academia.edu/9985783/Florentino_Ameghino_en_Mercedes._Homenaje_en_el_centenario_de_su_fallecimiento)

Se analiza principalmente la obra Filogenia en correlación con el contexto histórico en el que fue escrita. Se extraen evidencias de las posturas evolutivas transformistas de Florentino Ameghino, su visión de la teoría darwiniana, sus criterios de clasificación y la representación filogenética que construye. La estructura de su pensamiento, el camino de sus inferencias, las argumentaciones, como así también, sus objetivos, la operatividad de su sistema, nivel de coherencia, etc. que se reflejan en la obra mencionada; y la fundamentación que sostiene en relación con las concepciones y el encuadre del pensamiento científico de fines del siglo XIX.

Una imagen vale más que mil palabras. La historia de la ciencia en la Enseñanza de la Evolución. El ícono del Árbol.

Presentado en: The 3rd. Latin American Regional IHPST – Conference 2014. Santiago de Chile. Noviembre 2014.

La historia y la epistemología de la Ciencia pueden brindar la base para analizar e interpretar la aplicación didáctica de las representaciones icónicas en la enseñanza de la evolución. Las imágenes comparten los atributos de los modelos, pero, siendo sólo una representación "visual" del modelo, no poseen capacidad explicativa, deben ser interpretadas. En la representación e interpretación de diagramas evolutivos se manifiestan obstáculos epistemológicos.

El diagrama ramificado es el modelo que actualmente se utiliza para representar las relaciones evolutivas entre los seres vivos. Darwin fue quien introdujo la metáfora del “Árbol de la Vida” en sus borradores escritos en 1837. Pero aún en la actualidad, la representación lineal y progresiva tiene mucha influencia, siendo parte del sentido común y el imaginario colectivo. Por eso, se propone transformar los obstáculos epistemológicos en objetivos didácticos y armar estrategias y actividades teniendo en cuenta la secuencia histórica y la superación de los obstáculos que se presentaron en la representación de la evolución con el modelo del árbol. Desde sus inicios como analogía con el árbol genealógico hasta la actualidad con los cladogramas, atravesando las influencias de las concepciones de diferentes épocas.

Palabras clave: imágenes, representación, enseñanza, obstáculos, evolución, historia de la ciencia.

La Enseñanza de la Evolución y la Formación Integral del Ciudadano

Presentado en el 2º Congreso Internacional de Didácticas Específicas: Poder, disciplinamiento y evaluación de saberes. CEDE. Escuela de Humanidades. UNSAM. 30 de setiembre, 1,2 de octubre, 2010. San Martín. Bs. As. Argentina.

La importancia de la inclusión de los contenidos sobre origen y evolución de los seres vivos, según los modelos aceptados por la comunidad científica actual en la educación básica, conlleva al planteo de ciertas preguntas fundamentales a la hora de seleccionar, organizar, secuenciar y evaluar el aprendizaje de dichos contenidos. Por ejemplo: ¿para qué enseño?, es decir cuál es la finalidad, ¿son parte de una alfabetización científica? ¿Por qué lo debo enseñar?, qué o quienes legitiman los contenidos. ¿Qué quiero que aprendan? , las intenciones educativas, los objetivos que me propongo. ¿Qué voy a enseñar para que aprendan eso? (hechos, modelos, procesos, actitudes...). ¿Cómo lo voy a enseñar?, en qué orden o secuencia, con qué estrategias, con qué enfoque, en qué contexto... Y por último: ¿Cómo me doy cuenta que lo aprendieron?, ¿qué indicadores “me dicen” de alguna manera que “están aprendiendo”, ¿cómo y para qué evalúo?

Para responder estas preguntas me posiciono desde un enfoque CTS considerando a la ciencia como una construcción histórico-social problematizadora; y desde allí tomo como punto de partida los obstáculos que aparecen en la construcción de los conceptos y procesos implicados en los contenidos propuestos. Los mismos servirán para organizar los objetivos y la secuencia didáctica, considerando que estos obstáculos, que se presentan en el proceso de aprendizaje, son equivalentes o similares a los que se presentaron a lo largo de la historia en la construcción de los modelos científicos sobre el origen y evolución de la vida.

Utilización de Bases de Datos y Herramientas Bioinformáticas en la enseñanza de los Mecanismos Evolutivos

Presentado en IX Jornadas Nacionales IV Congreso Internacional de Enseñanza de la Biología, Tucumán, octubre 2010. Argentina.

<http://congresosadbia.com/ocs/index.php/tucuman2010/tucu2010/paper/view/482>

La bioinformática es la aplicación de tecnología de la informática a la gestión y análisis de datos biológicos. Los términos bioinformática, biología computacional y, en algunas oportunidades, biocomputación, son utilizados en muchas situaciones como sinónimos. Estos términos hacen referencia a campos de estudios interdisciplinarios muy vinculados que requieren el uso o el desarrollo de diferentes técnicas que incluyen informática, matemática aplicada, estadística, ciencias de la computación, inteligencia artificial, química y bioquímica

para solucionar problemas, analizar datos o simular sistemas o mecanismos, de índole biológica y, usualmente en el nivel molecular, aunque no de manera exclusiva (EMBL-EBI, 2010). Actualmente, existen en la red extensas bases de datos de secuencias nucleotídicas y proteínicas y múltiples herramientas de acceso libre para operar con dichas bases de datos. Considero que es necesario que el alumno, desde cursos avanzados de enseñanza secundaria con orientación biológica, comience a familiarizarse con el manejo de esta tecnología y pueda buscar, identificar, operar e interpretar los datos y la información que obtenga en los distintos sitios con los programas y algoritmos adecuados

AGRADECIMIENTOS

A todos los alumnos y docentes que colaboraron en las investigaciones.

Al personal de la Escuela ESB 3012 de O'Higgins, partido de Chacabuco, Buenos Aires.

A los alumnos, algunos ya colegas, del ISFD N° 129, Escuela Normal de Junín, Buenos Aires, del espacio curricular Evolución que cursaron entre 2009 y 2015.

A los docentes de la zona, de Junín, Chacabuco y Los Toldos que participaron en los Talleres.



Uno de los grupos de Segundo ESB que participaron del estudio y realizaron la secuencia didáctica.
O'Higgins, octubre 2013.

A los colegas que aportaron ideas y sugerencias en las distintas presentaciones realizadas.

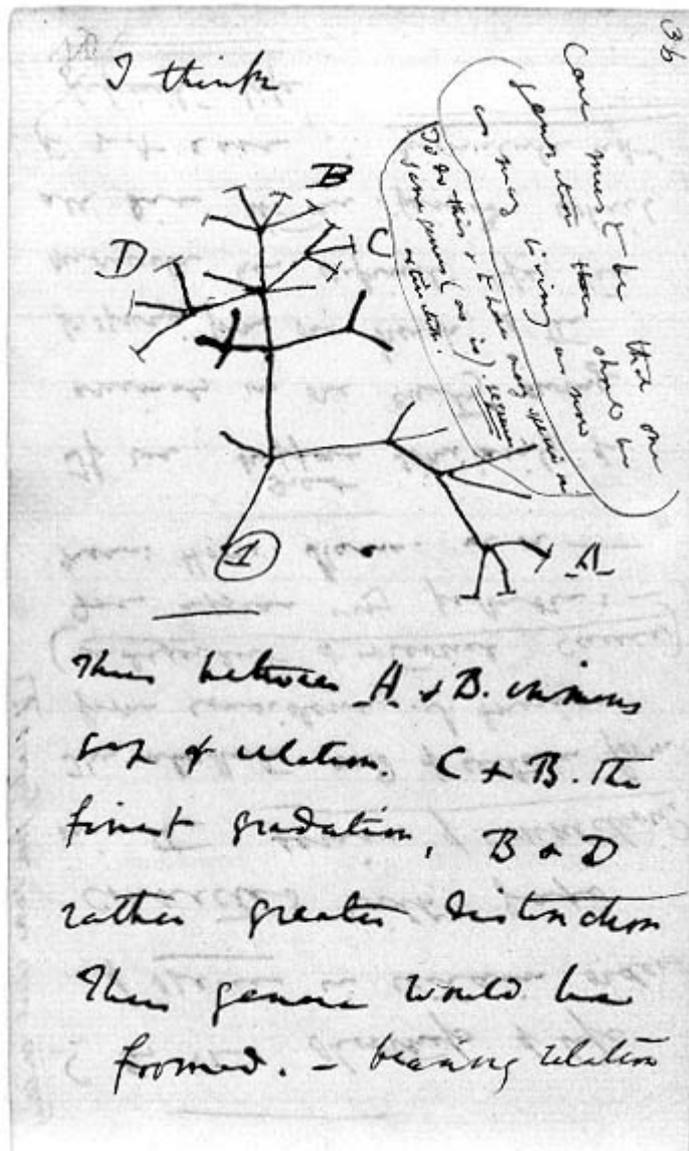
A la profesora Fernanda Pescialo por compartir talleres y congresos.

Al profesor Andrés Russo, alumno y colega, por su lectura crítica.

A mi director y codirector por creer en mi proyecto y todo el apoyo recibido.

Al Dr. Héctor Odetti, director del Doctorado en Educación en Ciencias Experimentales de la UNL, por brindarme las oportunidades para perfeccionarme e intercambiar experiencias y teorías con colegas Brasileños, y la posibilidad de realizar cursos complementarios que aportaron las metodologías necesarias para el tratamiento de los datos de las investigaciones realizadas.

¡Muchas gracias!



Así empezó todo...