

La representación de la evolución en los libros de texto mexicanos*

Érica Torrens Rojas**

Ana Barahona***

Recibido: 5 de octubre de 2014

Aprobado: 10 de diciembre de 2014

Si no lo puedo dibujar, no lo entiendo.

ALBERT EINSTEIN

No se piensa sin imágenes.

ARISTÓTELES

RESUMEN

La evolución es la base de toda la biología moderna. Uno de los aspectos más sobresalientes de los estudios actuales sobre la historia de la evolución es el interés creciente por explorar su papel y alcance en ámbitos no científicos, por ejemplo, en la educación. Algunos académicos han explorado la manera en que la teoría de la evolución fue introducida a los salones de clases; sin embargo, son pocos los estudios realizados específicamente sobre el escenario mexicano.

Desde hace ya varias décadas, historiadores, filósofos, sociólogos y psicólogos han dirigido grandes esfuerzos hacia la comprensión de la naturaleza de las imágenes visuales y su papel en la generación de conocimiento y en el entendimiento de conceptos. El campo denominado "Estudios Sociales de Imágenes y Visualización Científica" (Scientific Imaging and Visualization) trata cuestiones enfocadas con la dimensión social y las implicaciones de las imágenes científicas y el conocimiento visual. En este trabajo buscamos responder, en el caso particular de la teoría de la evolución, qué ocurre cuándo las imágenes viajan fuera del contexto académico y se difunden en otros contextos.

Palabras clave: evolución, libros de texto, México, educación, imágenes.

* Resultado de investigación de Doctorado en biología de la Universidad Nacional Autónoma de México (2014).

** Doctora en Filosofía de la Ciencia por la Universidad Nacional Autónoma de México. Profesora de tiempo completo del Departamento de Biología Evolutiva, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. Correo electrónico: torrens@ciencias.unam.mx

*** Doctora en Ciencias Biológicas también por la Universidad Nacional Autónoma de México. Profesora de tiempo completo del Departamento de Biología Evolutiva, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. Correo electrónico: ana.barahona@ciencias.unam.mx

Evolution Representation in Mexican Textbooks

ABSTRACT

Evolution is the basis of all modern biology. One of the most outstanding aspects of current studies on evolution history is the growing interest for exploring its role and scope in non-scientific environments, for example, in education. Some scholars have explored the way in which the evolution theory was introduced to classrooms; however, there are few studies on the Mexican scenario. Since several decades ago, historians, philosophers, sociologists, and psychologists have made big efforts to understand the nature of visual images

and their role in knowledge generation and in concept understanding as well. The field called "Scientific Imaging and Visualization 2" deals with subjects focused on the social dimension and implications of scientific images and visual knowledge. In this research, we are searching for giving an answer – in the specific case of evolution theory- to what happens when images travel outside an academic context and penetrate other contexts.

Key words: evolution, textbooks, Mexico, education, images

Introducción

En la introducción de un facsímile de la primera edición de *El origen de las especies*, el famoso evolucionista Ernst Mayr sostiene que la publicación del libro más famoso de Charles Darwin condujo a una nueva era en nuestro pensamiento sobre la naturaleza y el lugar que ocupamos en ella. “La revolución intelectual que causó y el impacto que tuvo en el concepto del hombre sobre sí mismo y sobre el mundo fueron aún mayores que aquellos provocados por Copérnico, Newton y los grandes físicos de tiempos más recientes” (Mayr, 1964, p. vii).

En la actualidad, la evolución es la base de toda la biología moderna. Uno de los aspectos más sobresalientes de los estudios actuales sobre la historia de la evolución es el interés creciente por explorar su papel y alcance en ámbitos no científicos, por ejemplo, en la educación, puesto que la teoría de la evolución no solo provocó una revolución sin precedentes en el estudio de los seres vivos, sino que impactó “como pocas teorías científicas lo han hecho” en la cultura.

La recepción de la teoría de la evolución ha sido un tema de investigación que ha puesto énfasis en la forma en la que causó críticas, discusiones y polémicas en diversos países, lo que se ha sido documentado en una cantidad no menor de libros y artículos científicos¹. Sin embargo, a pesar de que algunos académicos han explorado la manera en que la teoría de la evolución fue introducida a los salones de clases, momento en que comenzó la labor de incluir el tema en los libros de texto, son pocos los estudios realizados específicamente sobre el escenario mexicano. Y es aquí donde se centran nuestros objetivos. En este artículo buscamos analizar el uso de las imágenes sobre la evolución biológica en los libros de texto mexicanos que empezaron a distribuirse a finales de la década de 1950, cuando fue creada la Comisión Nacional del Libro de Texto Gratuito, y en posteriores reformas educativas en las décadas de 1990 y de 2000. Nos basamos en el campo denominado Estudios Sociales de Imágenes y Visualización Científica que, a diferencia de otros análisis filosóficos o artísticos, trata la dimensión social y las implicaciones que las imágenes tienen cuando viajan fuera del contexto académico y se difunden en otros ámbitos. Buscamos responder con este trabajo, en el caso particular de la teoría de la evolución en México, qué pasa cuando las imágenes viajan fuera del contexto académico hasta los libros de texto gratuitos de Educación Primaria. Queremos, asimismo, mostrar que el carácter universal de los libros de texto en México los convierte en elementos de análisis únicos debido a su impacto en la enseñanza de las ciencias naturales en este país. Nuestra narrativa entonces, comienza con una breve exposición de el origen de los libros de texto gratuitos y el tema de la

¹ Ver, por ejemplo, el estudio comparativo de Glick en Iberoamérica y España 1988 y más recientemente en Europa (2009). En el caso particular de México, la polémica del darwinismo en Moreno (1984); la introducción del darwinismo en México, de Ruiz (1987) y los estudios más actuales de Barahona (2009).

evolución; en la segunda parte expondremos las discusiones que en torno al uso de imágenes y diagramas se han dado recientemente, para terminar, en la tercera sección, con el análisis de las imágenes de la evolución en los libros de texto. Haremos ver así la forma en la que las imágenes, de forma involuntaria, pueden distorsionar los fundamentos más importantes de la teoría.

México, libros de texto y evolución

La introducción, representación y eventual apropiación de la teoría de la evolución en México es un caso peculiar. El libro quizá más famoso de Charles Darwin *El origen de las especies* introdujo la evolución por selección natural al ojo crítico del público en 1859.

El famoso político e intelectual mexicano Justo Sierra fue quien introdujo las ideas evolutivas de Charles Darwin, a la atención pública en 1875, Fueron Justo Sierra e Ignacio Manuel Altamirano quienes libraron la primera gran batalla por la defensa del libro en contra de los grupos conservadores (Barahona & Bonilla 2009). La influencia de Justo Sierra en la educación mexicana fue decisiva en las últimas décadas del siglo XIX, tiempo en el que ocurrió la reconstrucción del país que hiciera primero el presidente Benito Juárez seguido por Lerdo de Tejada y que culminó con la dictadura de Porfirio Díaz². Los tres gobernantes se preocuparon por dar grandes impulsos a la educación pública, a la ciencia y a la cultura mexicana.

Justo Sierra menciona por primera vez a Darwin en su artículo "El espiritismo y el Liceo Hidalgo" publicado en 1875:

Así, por ejemplo, existe en el mundo de la discusión científica un debate, admirablemente propio, para avivar el interés de los pensadores y aun de los simples aficionados. Nos referimos a la teoría de la transformación de Darwin y Wallace. Hasta ahora esta teoría puede contar con un número de hechos en su favor superior quizá al que presentan los que sostienen la teoría de la perpetuidad de las especies. (Sierra, 1875, p. 6)

Lo anterior quiere decir que la primera mención a Darwin en México ocurre dieciséis años después de la publicación de *El origen de las especies*. La introducción de las ideas darwinistas, por tanto, se dio de manera lenta y modesta en este país. Aunque poco después otros naturalistas mexicanos comenzaron a incluir ideas evolutivas en sus libros de texto escritos principalmente para bachilleres, profesores y universitarios³, lo cierto es que la teoría de la evolución

² Por reconstrucción nos referimos a las medidas políticas, económicas, sociales y culturales que se tomaron luego de conflictos bélicos entre conservadores y liberales y la imposición del emperador Maximiliano de Habsburgo.

³ Por ejemplo Alfredo Dugés en su "Programa de un curso de zoología" de 1878 y posteriormente en "Elementos de Zoología" de 1884, Alfonso Luis Herrera en "Nociones de Biología" de 1904 e Isaac Ochoterena "Tratado elemental de Biología" de 1926.

no formó parte del currículo contemplado para ciencias naturales de la Educación Básica mexicana sino hasta 1974.

Un aspecto interesante de la Educación Básica en México es que, aunque desde 1905 con la creación de la Secretaría de Instrucción Pública y Bellas Artes comenzaron los primeros esfuerzos por establecer un sistema nacional de escuela pública y por unificar y homogeneizar libros nacionales de carácter pedagógico (para 1919, por ejemplo, la lista aprobada de libros de texto contaba con 28 títulos, 18 de los cuales eran de origen extranjero)⁴, fue hasta la década de 1930 cuando los libros de texto se comenzaron a considerar elementos indispensables para la educación mexicana (Ávila & Muñoz, 1999).

Entre 1921 y 1924, justo después de la Revolución Mexicana, José Vasconcelos se desempeñó como rector de la Universidad Nacional Autónoma de México y primer Secretario de Educación Pública en el período presidencial de Álvaro Obregón. Vasconcelos desarrolló un audaz programa de cultura que incluyó una importante reforma educativa. Fue en esta época que se impulsó el muralismo mexicano y se apoyó a grandes escritores. Surge así la pintura mexicana contemporánea y la novela de la Revolución. Diría de él Octavio Paz:

Si la Revolución fue una brusca y mortal inmersión en nosotros mismos, en nuestra raíz y origen, nada ni nadie encarna mejor este fértil y desesperado afán que José Vasconcelos, el fundador de la educación moderna en México... Vasconcelos pensaba que la Revolución iba a descubrir el sentido de nuestra historia, buscado nuevamente por Sierra. La nueva educación se fundaría en "la sangre, la lengua y el pueblo" (Paz, 1950, p. 63).

Sin embargo, a pesar de la importancia que pareció dársele al libro y a la educación, los libros de texto siguieron recibiendo una escasa atención. Una de las razones fue que se impulsó el desarrollo de la escuela en acción que consideraba que la mejor forma de aprender era mediante la actividad grupal (Ávila & Muñoz 1999). Además, "por desgracia, la filosofía de Vasconcelos es ante todo una obra personal, al contrario de lo que acontecía con liberales y positivistas, que continuaban vastas corrientes ideológicas" (Paz, 1950, p. 63).

Fue en 1932 cuando surgió una radicalización en la educación, conocida como escuela socialista. En este tiempo, diversos grupos autodenominados "progresistas" comenzaron a defender la idea de que la educación era la única vía para combatir y remediar las injusticias sociales. Bajo estas ideas, surgió la necesidad de crear nuevos planes y programas de estudio y nuevos libros de texto que reflejaran esta ideología. Por diversos motivos complejos cuya mención sobrepasaría por mucho la intención de este artículo, la adopción de la filosofía de la escuela socialista no era ni podía ser la del Estado mexicano.

⁴ Tomado de Ávila & Muñoz 1999, p. 35.

Ante la dificultad de definir lo que sería la escuela socialista se pensó que se iría conociendo y consolidando su significado mediante reformas de programas, selección de libros y en los cambios en los sistemas de educación. No obstante, para 1941 el Secretario de Educación Pública, Octavio Véjar Vázquez, se manifestó en contra de la escuela socialista y en favor de la escuela nacional.

No fue sino hasta 1943, cuando se le asignó a Jaime Torres Bodet la Secretaría de Educación Pública, que la discusión sobre los libros de texto en México se volvió realmente importante. Torres Bodet fue discípulo de Vasconcelos y consideraba de suma importancia tanto la ideología como los contenidos plasmados en los libros, puesto que no consideraba a estos únicamente vehículos para generar conocimientos e identidad nacional, sino también fundamentales en la formación moral en un marco de democracia y justicia. Se discutió por ello la necesidad de organismos encargados de la supervisión de autores y editores, así como sobre su naturaleza.

A pesar de esto, durante lo que quedaba de la década de 1940 y la primera mitad de 1950 no se llegó a ningún consenso sobre los libros oficiales para la escuela primaria. Había algunos que seguían presentando ideologías socialistas y comunistas, otros que se consideraban anticuados y otros técnicamente malos (Ávila & Muñoz, 1999, p. 57). Se puede decir que las tres problemáticas principales relacionadas con los libros de texto eran sus características pedagógicas, su ideología y su obligatoriedad.

Adolfo López Mateos se desempeñó como el quincuagésimo octavo Presidente de México, ejerciendo como tal durante el sexenio comprendido entre 1958 y 1964. Debido al desorden que imperaba en el sector educativo, que podría describirse mejor como una crisis por el control de la educación, en 1959 se funda la Comisión Nacional de Libro de Texto Gratuito (CONALITEG).

Esta comisión tenía como funciones principales el abaratamiento y uniformización de la educación en México para evitar la deserción escolar, la inasistencia plena y el analfabetismo (que en 1953 era del 42%), así como para poner fin a las discusiones sobre obligatoriedad, contenidos e ideología de los libros. El Estado mexicano sería el encargado de decidir qué era lo que debían saber los niños, con qué valores y con qué criterios. De esta forma, a partir de 1960 surgió en México el libro de texto gratuito y universal para la Educación Primaria en todas las asignaturas: Español, Ciencias Naturales, Geografía, Matemáticas, Historia Y Civismo. Tan solo en el gobierno de López Mateos se editaron más de cien millones de ejemplares⁵.

⁵ El carácter universal de los libros de texto gratuitos los hace un elemento realmente influyente en la educación de los niños y jóvenes de México. Unos 2.7 millones de copias de cada título se publican actualmente cada año. Por ejemplo, si se considera que un libro que ha sido publicado durante los últimos 14 años, como es el caso del libro de texto de ciencias naturales de tercer año de primaria, ha sido empleado por 37.8 millones de

Imágenes en la biología

La estructura atómica, la composición del ADN, el árbol evolutivo, la estructura de las proteínas, el ciclo de Krebs, al parecer toda noción científica brillante requiere de algún tipo de imagen. Las imágenes son inextricables de las prácticas de la ciencia, la representación del conocimiento y la difusión (Valérie-Burri & Dumit, 2007). Diagramas, mapas, gráficas, tablas, dibujos, ilustraciones, fotografías, simulaciones, visualizaciones por computadora y exploraciones del cuerpo (*body scans*) son empleados en la cotidianidad de la actividad científica y de las publicaciones. No obstante, las imágenes científicas no se construyen a los dominios de la ciencia, sino que viajan fuera de ellos hasta diversos lugares. Salones de clase, libros, salas de juzgados, revistas, televisión y otros medios están repletos de cultura visual científica.

Es por esta ubicuidad que desde hace ya varias décadas, historiadores, filósofos, sociólogos y psicólogos han dirigido grandes esfuerzos hacia la comprensión de la naturaleza de las imágenes visuales y su papel en la generación de conocimiento y en el entendimiento de conceptos. En la actualidad existen numerosos estudios sobre la visualización científica desde disciplinas diversas, lo cual muestra el gran interés por este tema y la futilidad de cualquier intento por sintetizar las líneas de trabajo que lo tratan. No obstante, se puede agrupar este interés en un campo denominado "Estudios Sociales de Imágenes y Visualización Científica" o SIV por sus siglas en inglés (*scientific imaging and visualization*). A diferencia de las preocupaciones filosóficas, artísticas o lingüísticas relacionadas con la representación visual en la ciencia, las cuales se enfocan más hacia su *naturaleza*, SIV trata cuestiones enfocadas con la dimensión social y las implicaciones de las imágenes científicas y el conocimiento visual (Valérie-Burri & Dumit, 2007). SIV, por tanto, se preocupa por la producción, interpretación y empleo de las imágenes científicas. Una cuestión fundamental que trata este tipo de estudios es: ¿Qué ocurre cuándo las imágenes viajan fuera del contexto académico y se difunden en otros contextos? Cuestión que buscamos responder con este trabajo en el caso particular de la teoría de la evolución.

Fotografías, diagramas, dibujos y otras imágenes: su importancia y uso pedagógico

El empleo de imágenes en la ciencia es una parte integral de su quehacer y por ello es una práctica muy extendida. Sin embargo, resulta heterogénea en tiempo, lugar y disciplina (Abraham, 2003). Maienschein (1991) sugiere que en la ciencia se puede observar una cadena visual que va de la presentación a la representación de datos. En biología y las ciencias de la salud, normalmente se comienza

niños mexicanos (lo cual equivale al 35 % de la población actual), podemos tener una idea del gran impacto que las diversas decisiones subyacentes a dichos libros tienen en la educación, idiosincrasia e ideología de los mexicanos (Barahona & Bonilla, 2009).

presentando los datos 'crudos' con fotografías, pensando que estas brindan una representación objetiva y sin mediación de los datos empíricos –neuronas en el particular caso de estudio de Maienschein–. Posteriormente aparecen los dibujos y los diagramas, los cuales contienen interpretaciones y resultan más informativos que las fotografías porque muestran tanto las generalidades de los hechos observados como las explicaciones teóricas de los datos particulares. Rudwick (1976) sostiene que el desarrollo de una mayor 'abstracción y formalización' en los diagramas surge cuando se necesita de una mayor carga en el significado de la teoría.

Se puede decir entonces que las diferentes representaciones visuales varían en su naturaleza, en su contenido explicativo, en su función y en su operatividad. Lo que tienen todas en común es el empleo de propiedades o relaciones espaciales para comunicar contenidos (Perini, 2012). Las diferencias en las relaciones forma-contenido de los diferentes tipos de representaciones visuales suscriben las diferencias en su capacidad representacional.

Fotografías e imágenes detalladas

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

En esta extensa categoría de imágenes, la relación forma-contenido es muy amplia, pues casi todos los detalles visibles contienen información específica. El empleo de formas visibles ricas en detalles para transmitir información precisa es común en los cursos introductorios de ciencias naturales y biología. Los libros de texto con frecuencia incluyen fotografías de ecosistemas, planetas y objetos de tamaño mediano, como plantas y animales, fotografías realizadas con microscopios de luz y micrografías electrónicas.

¿De qué manera este tipo de imágenes contribuye al aprendizaje de la biología? Diversos estudios han mostrado ventajas y desventajas del empleo de imágenes realistas (Myers, 1988, 1990; Law & Lynch, 1988; Daston & Galison, 1992; Perini, 2012).

Respecto de las desventajas, existen dos importantes. La primera sugiere que *más no es mejor*. Debido a que el aprendizaje depende en gran medida de

notar, extraer e interiorizar secciones particulares de las imágenes, grandes cantidades de información detallada resultan muy complicadas para dicho efecto. Si aprender requiere comprender qué característica visible es importante en términos del objeto de estudio, ¿cómo se puede realizar esto en una imagen repleta de detalles?

El otro problema es el empleo de imágenes realistas de entes individuales para representar clases biológicas enteras. En este caso “el valor pedagógico de una fotografía requiere que los estudiantes hagan algo más que solamente comprender la imagen; también deben entender la relación entre la información acerca del individuo particular y la amplia categoría biológica que busca representar” (Perini, 2012, p. 242).

Ambos problemas pueden ser minimizados mediante el empleo de leyendas (conceptos expresados textualmente junto a las imágenes que guían al observador).

En cuanto a las ventajas, se sugieren tres importantes. Myers (1988) propone que el detalle no es informativo pero sí comunica la impresión de un contacto directo e inmediato con la realidad. Esta característica de las imágenes realistas se emplea en los libros de texto para despertar interés y curiosidad en los estudiantes. Se puede decir, entonces, que su valor no es tanto cognitivo sino motivacional.

Por otro lado, el valor de las imágenes realistas subyace en que estas permiten relacionar información detallada con temas conceptuales, es decir, relacionar la evidencia con la teoría. Perini (2012, pp. 243-44) lo ejemplifica con la importancia de las micrografías de organelos celulares. Estas son fundamentales 1) como evidencias de los mismos y 2) como vehículos para lograr abstraer y comprender las afirmaciones textuales sobre la estructura celular.

Finalmente, las imágenes muy detalladas juegan un papel importante en la enseñanza de la diversidad, tema fundamental en la biología. Se pueden emplear grupos de fotografías para mostrar la diversidad de sistemas biológicos o comunicar sus diferencias.

Diagramas

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

Una propiedad importante de los diagramas es que comparten algunas características sintácticas con las representaciones numéricas y con las textuales, lo que les permite ser empleados para presentar modelos científicos. De forma similar a las representaciones numéricas y textuales, los diagramas se componen de elementos articulados (Goodman, 1976). De forma que en un diagrama se pueden identificar sus componentes atómicos, los cuales al sumarse brindan el significado total, de la misma forma que la suma de las letras, de los signos de puntuación y de los espacios brinda el significado de las frases textuales (Perini, 2005). El significado de los diagramas entonces queda en función de "1) el significado de sus componentes atómicos y, 2) el arreglo de dichos componentes". De acuerdo con Perini (2012) existen dos tipos de diagramas muy comunes en los libros de texto.

El diagrama más común es el esquema, que muestra características genéricas visibles, por lo cual comunica generalidades más que propiedades específicas. Un ejemplo son los diagramas de las estructuras celulares como el retículo endoplásmico. En este caso el diagrama no busca brindar información acerca de la forma específica del organelo o del número exacto de ribosomas que lo conforman, sino de sus propiedades más genéricas como composición membranaosa, localización dentro del citoplasma, etc. Esto sugiere que los diagramas se emplean para mostrar características compartidas por muchos individuos, aunque exista variación en ellos.

Otra ventaja de los diagramas es que no presentan tanto detalle por lo que se puede enfocar la atención en características particulares. Es por ello que los diagramas son tan útiles para mostrar los componentes de los sistemas biológicos y distintos niveles de organización, temas fundamentales en cualquier curso introductorio de biología.

El siguiente tipo de diagrama más empleado es el compuesto. Este emplea un tipo más preciso de relación entre la forma y el contenido que el esquema y, aunque es difícil distinguir los dos, el diagrama compuesto presenta elementos visibles discretos como flechas, líneas u otras formas que sirven como referentes o etiquetas de los elementos del sistema. Ejemplos de este tipo de representaciones son los circuitos eléctricos y las rutas metabólicas como el ciclo de Krebs.

Lo que hace pedagógicamente muy útil a este tipo de diagramas es el empleo de las relaciones espaciales para comunicar información específica sobre los vínculos entre los componentes del sistema y sus referentes (los elementos visibles discretos). Es decir, que estos diagramas explican, por ejemplo, la forma de una macromolécula mediante sus componentes y cómo interactúan dichos componentes entre sí. Como resultado, se pueden emplear para representar contenido abstracto.

En resumen, los esquemas se emplean para representar *características* de los componentes de sistemas biológicos, mientras que los diagramas compuestos, para representar las *relaciones* entre los componentes de dichos sistemas.

El lenguaje de las imágenes no es universal

“Las imágenes y visualizaciones científicas son excepcionalmente persuasivas porque forman parte de la autoridad objetiva de la ciencia y la tecnología, y dependen de lo que se considera como la forma inmediata de aprehensión e interacción visual” (Valérie-Burri & Dumit, 2007, p. 299). Sin embargo, aunque podría pensarse que las imágenes científicas permiten dar un vistazo a objetos de trabajo, “neutrales” y “universales”, la realidad es que siempre en una imagen se privilegian ciertos puntos de vista, mientras que otros se dejan fuera. La historia de las imágenes en la ciencia como en el arte ha mostrado que la observación y el reconocimiento están histórica y culturalmente determinados. Es por ello que autores como Foucault (1973), Lynch & Woolgar, Daston & Galison (1992), Hacking (1999) y otros han mostrado la importancia de *historizar* todo aquello que podemos ver, es decir, examinar cómo se produjo una imagen, cuál es su función en la generación de conocimiento y cómo se emplea en distintos ámbitos sociales.

De acuerdo con Umberto Eco (1972) el lenguaje de las imágenes se encuentra intensamente condicionado por una serie de códigos –antropológicos, culturales y sociales– que determinan a los individuos. Al ser polisémicas y nunca auto-explicativas, las imágenes, incluso las fotografías, mantienen una tensión interpretativa.

Brown (1996) sugiere que dos aspectos fundamentales de las ilustraciones científicas son que 1) deben verse asociadas con algún texto y 2) resultan instrumentos muy poderosos para transmitir información. La relación entre ambos se aprecia más claramente cuando se clasifican las ilustraciones científicas de acuerdo con el grado en que se integran con el texto o con otro tipo de elementos simbólicos. Una imagen cruda, como sería una fotografía, puede ser interpretada por el público lego sin mayor explicación. No obstante, y de manera un poco irónica, las fotografías son las menos ilustrativas porque contienen demasiada información, lo cual resulta de poca utilidad científica y de poco interés epistemológico. Por el contrario, las representaciones visuales en forma de diagramas —como aquella de Darwin de la divergencia hipotética de caracteres y de la extinción— brindan imágenes tangibles de porciones de la naturaleza que de otro modo sería imposible registrar. En este sentido, las imágenes permiten visualizar cosas que estrictamente hablando son invisibles, lo cual se aplica igual de bien a la microscopía electrónica que a las representaciones de los epiciclos (Gombrich, 1974) o a los árboles filogenéticos.

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

A partir de la década de 1960 surgió un nuevo concepto para describir la idea anterior, denominado 'alfabetización visual', el cual sostiene que tanto los científicos como el público en general requieren de ciertas habilidades especiales para 'leer' imágenes y comprender sus mensajes visuales (Heinrich *et al.*, 2002). Esto porque las imágenes científicas en forma de diagramas no deben interpretarse literalmente, puesto que están llenas de convenciones gráficas. Aprender a utilizarlas es parte del conocimiento sobre la materia (Constable *et al.*, 1988).

Lo anterior es particularmente importante en comunicación de la ciencia, porque uno de los errores más comunes que se cometen en cuanto a las imágenes es asumir que estas son autoexplicativas y que su cometido es simplificar el contenido de las descripciones verbales. La realidad es que la comprensión de las ilustraciones científicas requiere que los estudiantes desarrollen conocimientos y aptitudes especiales, que les confieran el lenguaje necesario para interpretarlas, lo cual debería considerarse como parte de la Educación Básica.

La evolución en los libros de texto de Primaria de México

Como ya se mencionó, 1960 fue el primer año que todos los niños de Primaria mexicanos recibieron libros de texto de contenido universal de forma gratuita. Catorce años después se incluyó el tema de la evolución biológica (aunque de manera somera) en los libros de ciencias naturales de sexto año de Primaria.

Desde 1974, los libros de *Ciencias Naturales* de sexto de Primaria solo cambiaron fundamentalmente tres veces, correspondientes a las tres grandes reformas educativas: La reforma de 1970, la de 1993 y la de 2009.

Es preciso destacar, sin embargo, que el estudio de la evolución de las especies se incorporó a la enseñanza en las escuelas primarias más como un contenido puntual del programa de estudios que como una forma de aproximación sistemática al conocimiento de los seres vivos (Barahona & Bonilla, 2009).

Veinte años después de la inclusión de la evolución, en 1993, la reforma al plan y programas de estudio de la Educación Primaria se propuso no solo la

enseñanza de la evolución como un tema del programa de sexto grado, cosa que ya ocurría en el plan de estudios de los 70, sino que planteó que los programas de la asignatura de Ciencias Naturales se desarrollaran, del primero al sexto grados, con una visión evolutiva, lo que resultó una transformación de fondo con respecto al currículo y a los libros de texto anteriores que abordaban el conocimiento de los seres vivos desde un punto de vista meramente descriptivo. Este cambio implicó un gran reto para el diseño y elaboración de los nuevos libros de texto nacionales, de tercero a sexto grado (Barahona & Bonilla, 2009).

Finalmente, la reforma de 2009 tenía no solo el reto de mantener (o, mejor aún, superar) los estándares de calidad alcanzados en los libros de texto vigentes sino el gran desafío de remontar los obstáculos que enfrentó la reforma anterior, especialmente en lo que se refiere a garantizar la formación docente capaz de desarrollar en los alumnos una mentalidad evolutiva, para que, a 200 años del nacimiento de Charles Darwin, sus ideas —que revolucionaron la manera de entender y explicar el mundo natural— finalmente se diseminaran y se comprendieran a cabalidad.

El caso de las imágenes evolutivas en los libros de texto de Primaria mexicanos

El siglo XX fue testigo de enormes cambios en el estudio de los seres vivos. Actualmente, la diversidad de disciplinas dedicadas a las ciencias de la vida, junto con los grandes descubrimientos científicos e invenciones tecnológicas, plantea una dificultad sin precedentes a la hora de diseñar contenidos pedagógicos y, aunque no se espera que los alumnos que cursan Educación Básica aprendan con detalle las rutas metabólicas, sí se espera que manejen conceptos básicos diversos.

Estudios recientes han mostrado que una de las herramientas a las que se puede recurrir para cubrir las demandas de los contenidos curriculares es al empleo de imágenes de alto valor pedagógico y cognitivo. Como se discutió con anterioridad, existen diversas imágenes que, a parte de su valor estético, son irrelevantes para la experiencia de enseñanza-aprendizaje al no ser vehículos epistémicos, mientras que otras pueden contribuir ampliamente con los objetivos cognitivos de un curso de biología. En el caso particular de México ¿las imágenes presentes en los libros de texto contribuyen de manera importante con los fines pedagógicos de estos?

En el caso de los libros de texto de sexto año de Primaria, la siguiente gráfica muestra una comparación entre el número de imágenes en las secciones dedicadas al tema de la evolución, y el número de páginas dedicadas al estudio de este tema en cada uno de los tres libros correspondientes a las reformas educativas de 1974, 1993 y 2010.

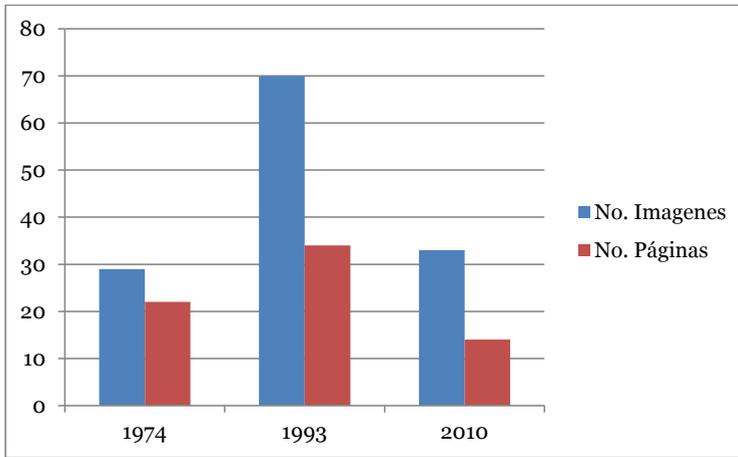


Gráfico 1. Comparación entre número de imágenes y número de páginas entre los tres libros correspondientes a las reformas educativas de 1974, 1993 y 2010.

Como se puede apreciar, el libro correspondiente a la reforma de 1993 –que fue empleado hasta 2009– es el que tiene mayor número de imágenes (70 contra 29 de los libros de 1974 y 34 de 2010). Lo anterior sin considerar las ilustraciones de la línea del tiempo plasmada en la parte inferior de todo el libro. Si consideramos estas, el número de imágenes de estos libros asciende a 105. Asimismo, el número dedicado a la exposición de este tema es más amplio en el libro de 1993 con 34 páginas, seguido del de 1974 con 22 páginas. El de 2010 aborda la materia en únicamente 14 páginas.

La siguiente figura (gráfico 2) muestra, del total de imágenes presentes en cada capítulo de evolución de los tres libros de texto estudiados, cuántas corresponden a imágenes realistas como fotografías, micrografías y dibujos naturalistas, y cuántas corresponden a diagramas como esquemas, tablas y modelos. Esto resulta importante, porque como se vio anteriormente, la ganancia cognitiva y el valor epistémico no son los mismos en los diferentes tipos de representaciones visuales.

Las fotografías son elementos importantes de los libros de texto porque su naturaleza pictórica ofrece una forma concisa de transmitir información acerca de propiedades complejas. Este tipo de imágenes tiene la ventaja de representar con mucho detalle las formas biológicas. No obstante, las fotografías resultan las imágenes menos ilustrativas de todas porque –precisamente– contienen demasiada información, de forma que su valor epistemológico y cognitivo es poco. Por el contrario, los diagramas definidos como figuras simplificadas son vehículos epistémicos porque presuponen la habilidad de realizar inferencias a partir de ellos (Hall, 1996).

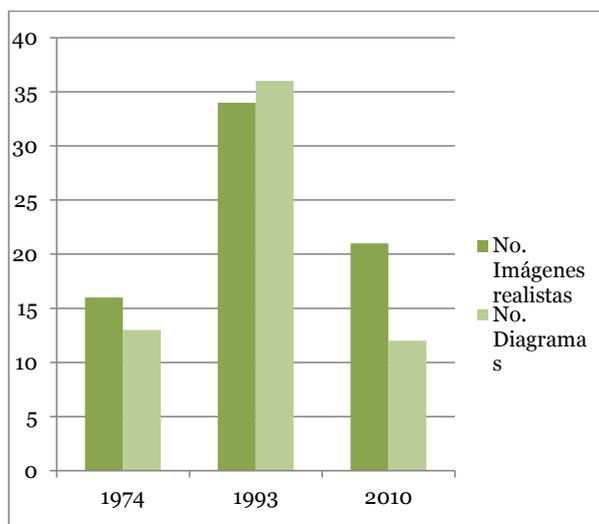


Gráfico 2. Comparación entre número de imágenes realistas (fotografías, micrografías, dibujos) y número de diagramas (esquemas, tablas, gráficas) entre los tres libros correspondientes a las reformas educativas de 1974, 1993 y 2010.

Por lo general, los libros de texto están llenos de imágenes muchas de las cuales son fotografías

Una característica muy importante de las imágenes con uso pedagógico es que estas deben acompañarse de una explicación textual para establecer su significado y ayudar en su comprensión. La siguiente tabla muestra la relación entre número de imágenes y referencias textuales (leyendas o referencias dentro del cuerpo textual) en cada uno de los libros estudiados.

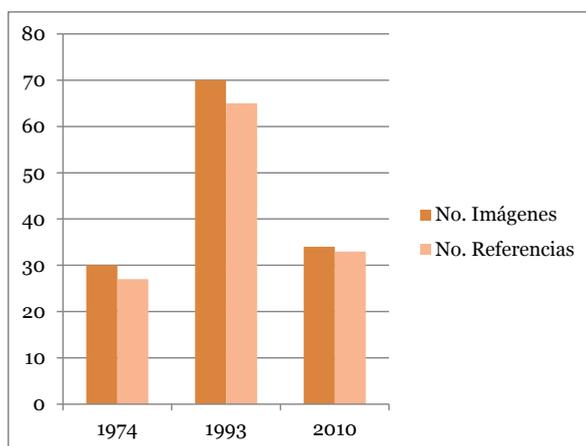


Gráfico 3. Comparación entre número de imágenes y número de referencias entre los tres libros correspondientes a las reformas educativas de 1974, 1993 y 2010.

Conclusiones

De los tres libros, el correspondiente a la Reforma de 1993 es el que hace un mejor empleo de las imágenes. No solo tiene más representaciones visuales, sino que a diferencia de los otros dos libros, la mayoría son diagramas los cuales, de acuerdo con Laura Perini (2012), son herramientas pedagógicas muy efectivas para mostrar las relaciones entre diferentes niveles de organización, así como diferentes componentes de cualquier sistema (figura 1).



Figura 1. Ejemplo del tipo de diagramas que se encuentran en el libro de Ciencias Naturales de 1993. Este caso particular muestra el proceso de sedimentación y fosilización, así como los diferentes estratos de la Tierra: a) organismos vivos; b) organismos muertos; c) sedimentación y d) formación de fósiles (p. 36).

En cuanto a las imágenes individuales, para hacer un análisis minucioso de su objetivo, así como de su función real es necesario explorar tanto la historia de cada una como sus posibilidades o limitaciones como vehículos epistémicos y pedagógicos.

Por tanto, a continuación se analizarán las iconografías más empleadas y conocidas de la evolución biológica, a saber, el árbol evolutivo, la “marcha del progreso”, la imagen de jirafas y la representación de los primeros seres humanos.

El árbol evolutivo y la marcha del progreso

El libro correspondiente a la Reforma de 1993 es el único que emplea imágenes ramificadas sobre la evolución (5), no solo de organismos en general sino también del ser humano (figuras 2 y 3).

Sin duda, la imagen del árbol evolutivo es una de las más importantes y poderosas de la biología. La razón descansa en que algunas metáforas son constituyentes de teorías y, por lo tanto, partes integrales de la estructura de estas. La divergencia de caracteres es uno de los dos argumentos principales de la teoría de la evolución; el otro es la selección natural, y como dicha divergencia se representa de manera icónica mediante diagramas ramificados, y debido a que la evolución es la piedra angular de la biología, entonces los árboles evolutivos o filogenias son un elemento esencial de la biología contemporánea.



Figuras 2 y 3. Ejemplo de los árboles evolutivos. La figura de arriba es un esquema que representa la evolución de los animales (p. 43). La figura de abajo es un esquema evolutivo del ser humano y de algunos primates actuales (p. 61).

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

La importancia de esta representación icónica de la evolución consiste tanto en su potencial didáctico para ayudar a comprender la teoría, como en su papel en la guía de investigaciones posteriores sobre ella. Mediante el árbol evolutivo se puede comprender el avance de los conocimientos acerca de la diversidad de la vida y los eventos que la generaron. También sirve como guía de los conocimientos científicos actuales, al brindar un riguroso marco de trabajo para dirigir cada una de las subdisciplinas de la biología en la búsqueda por clasificar e identificar a los organismos y por entender sus relaciones. Gracias a esto último, el árbol evolutivo ha resultado ser un modelo ideal del conocimiento biológico, por lo que resulta fundamental su presencia en cualquier material educativo sobre el tema de la evolución.

Es importante mencionar que, a pesar de la importancia de los árboles evolutivos como los sistemas principales para evaluar la evidencia de la evolución, el ‘pensamiento arbóreo’, es decir, la comprensión de la evolución como parentesco entre organismos, permanece practicado –ampliamente– solo por biólogos evolucionistas (Baum & Offner, 2005). Esto es causa de preocupación, porque los árboles evolutivos no sirven solo como herramientas para investigadores de diversas disciplinas, sino como vehículos para comunicar a audiencias diversas los conceptos principales de la teoría como son la “ancestría común”, la divergencia de caracteres, la extinción, las relaciones de parentesco, etcétera.

Además, la lectura del árbol de la vida es fundamental para lograr una sociedad que no sea indiferente ante las grandes interrogantes de la genealogía y ante la maravillosa diversidad de vida que existe en este planeta. Y aunque los árboles de la vida contienen gran cantidad de información en sus ramas, tanto aquella evidente acerca del origen y diversidad de especies, como aquella más escondida representada por apasionados debates científicos, el 'pensamiento arbóreo' no implica necesariamente conocer cómo se infieren las filogenias. No se requiere tener amplia experiencia con la sistemática para comprenderlas. Esto es muy importante si nos enfocamos en el árbol de la vida como metáfora en la comunicación y en la educación de la ciencia, porque afortunadamente, cualquiera puede interpretarlos y usarlos para organizar el conocimiento sobre la diversidad, sin saber los detalles de la inferencia filogenética⁶. Lo contrario no es posible. Uno no puede entender de sistemática si no se tiene bien claro lo que es un árbol evolutivo.

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

De forma que la ausencia de árboles evolutivos en los libros actuales de Ciencias Naturales de sexto grado de primaria –así como la ausencia total del tema de evolución humana– debería ser motivo de alarma y preocupación. Pero no solo eso: la segunda imagen de este mismo libro que encuentran los estudiantes cuando comienzan el bloque II (¿Cómo somos los seres vivos?) es una iconografía tradicional evolutiva que en diversos estudios se ha mostrado nociva y obsoleta (Gould, 1989, Baum & Offner, 2005, Gregory, 2008). Se trata de la evolución del caballo como un proceso lineal y progresivo (figura 4).

También se encuentra en el libro correspondiente a la Reforma de 1974, y no hay que olvidar que tuvo una vida activa hasta 1993 (figura 5).

Este tipo de representaciones lineales, principalmente del ser humano, pero también de caballos, elefantes y otros animales poco diversos, en numerosos medios se les conoce como "La marcha del progreso".

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

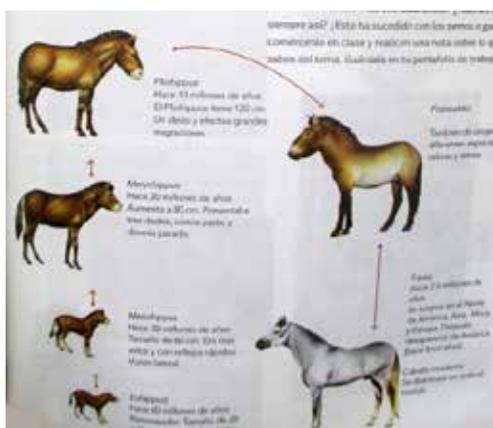


Figura 4. Representación lineal de la evolución del caballo, página 53 del libro de Ciencias Naturales de 2010.

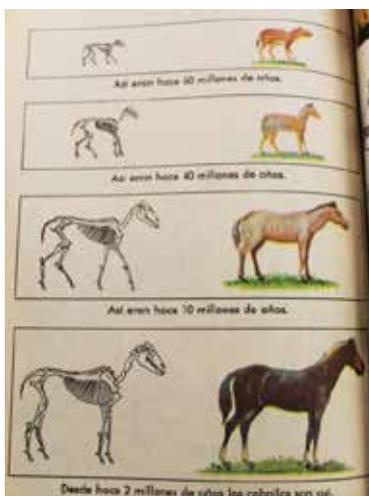


Figura 5. Representación lineal de la evolución del caballo, página 170 del libro de Ciencias Naturales de 1974.

La representación de la evolución del caballo como un proceso lineal tiene su origen en una imagen históricamente muy importante de Othniel Charles Marsh (1831-1899), un renombrado paleontólogo estadounidense que descubrió numerosos fósiles en el oeste de su país y participó en la denominada “Guerra de los Huesos”⁷. En la década de 1870, Marsh publicó una descripción de los

⁷ La Guerra de los Huesos fue protagonizada por dos aclamados paleontólogos estadounidenses: Edward Drinker Cope y Othniel Charles Marsh, el primero de la Academia de Ciencias Naturales de Filadelfia y el segundo del Museo Peabody de Historia Natural de Yale.

Ambos se dedicaron a especular sobre la evolución como resultado de la gran cantidad de fósiles de dinosaurios y otros animales que encontraron en Colorado, Nebraska y Wyoming. Se le llama la guerra de los huesos porque tras diversas disputas personales se convirtieron en enemigos acérrimos, llegando a atacarse en

fósiles de caballos recién descubiertos en Estados Unidos. Esto resultó muy interesante porque fuera de *Archaeopteryx*, no se habían encontrado otras formas en “transición”. Marsh rápidamente estableció una secuencia o genealogía del caballo que apareció en su libro *Polydactyl Horses, recent and extinct*, de 1879 (figura 6). En esta secuencia se puede apreciar que las especies fósiles de “Eohippus” se van transformando en equinos completamente distintos (formas intermedias) hasta llegar al moderno *Equus*.

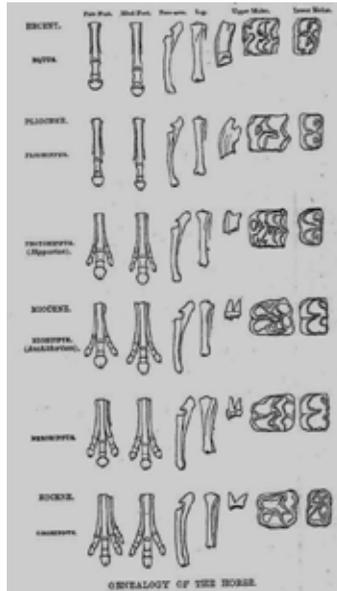


Figura 6. “Genealogía del caballo” de O.C. Marsh, en “Polydactyl Horses, recent and extinct” de 1879.

En aquel entonces, cualquier evidencia de la evolución era muy apreciada por los seguidores de Charles Darwin por lo que Thomas Huxley, uno de los campeones de la popularización de la evolución, empleó esta y otras imágenes de la evolución del caballo, no solo como evidencia, sino como un modelo de la evolución gradual. Algunos años después el Museo Americano de Historia Natural de Nueva York montó una famosa exhibición con estos fósiles y pronto la imagen de la evolución del caballo como ejemplo de la evolución gradual y lineal alcanzó los libros de texto.

En la actualidad se reconoce que numerosas imágenes de la evolución equina son una sobre-simplificación y que cualquier representación de la evolución en

obras científicas. No obstante, esta disputa llevó al descubrimiento y la descripción de más de 142 especies nuevas de dinosaurios. Entre las consecuencias de la Guerra de los Huesos se puede mencionar un mejor conocimiento de la vida prehistórica y el gran interés por los dinosaurios que despertaron en el público.

una línea recta no es adecuada para su enseñanza pues provoca una gran cantidad de interpretaciones equivocadas del proceso⁸. Ningún proceso evolutivo es lineal sino ramificado. De forma que *Equus* es solamente una rama del árbol evolutivo del caballo, la única rama sobreviviente eso sí.

En palabras de Stephen Jay Gould:

[...] Es cierto que hay una conexión evolutiva sin solución de continuidad que enlaza *Hyracotherium* (que antes se llamaba *Eohippus*) con los modernos *Equus*. Y también es cierto que los caballos modernos son mayores, con menos dedos y con dientes que poseen coronas altas. Pero *Hyracotherium*-*Equus* no es una escala, ni tan solo una estirpe central. Esta secuencia no es más que una ruta laberíntica entre miles de un matorral complejo. Esta ruta particular ha conseguido prominencia sólo por una irónica razón: porque todas las demás ramitas se han extinguido. *Equus* es la única ramita que queda, y por ello el extremo de la escala de nuestra falsa iconografía. Los caballos se han convertido en el ejemplo clásico de la evolución progresiva porque su arbusto ha tenido tan poco éxito. Nunca concedemos el aplauso apropiado a los triunfos reales de la evolución de los mamíferos. ¿Quién ha oído alguna vez una historia sobre la evolución de los murciélagos, de los antílopes o de los roedores, los verdaderos campeones de la vida mamífera? No contamos tales relatos porque no podemos linearizar el amplio éxito de estos seres en nuestra escala favorita. Nos ofrecen miles de ramitas de un arbusto vigoroso (Gould, 1989, p. 31).

Por ello, a menos que ocurra un cambio sustancial en la iconografía, —de manera que las modernas formulaciones de la teoría evolutiva queden asentadas— el público “seguirá leyendo la historia de la vida bajo una luz que la distorsiona” (Gould, 1989, p. 31).

Evidencias anatómicas: homologías

Desde que la evolución fue incluida en los libros de texto, no solo de México sino de diversos países, una imagen muy empleada para mostrar las evidencias que tenemos de la evolución es la comparación anatómica entre las extremidades de algunos vertebrados que ponen de manifiesto la semejanza que existe en sus estructuras óseas. En biología a este fenómeno se le denomina “homología”, la cual fue explicada por Darwin como la relación que existe entre dos partes orgánicas diferentes debido al descenso con modificación, y la consideró una evidencia crucial de su teoría.

La imagen típica en los libros de texto muestra las extremidades de un hombre, un caballo, una rana o un lagarto, y las aletas pectorales de una ballena o las alas de un murciélago y de aves, con la explicación de que existe una correspondencia entre los distintos huesos a pesar de las marcadas diferencias en su desarrollo, forma y función, como se aprecia en libro *Biología* publicado por editorial Porrúa en 1963.

⁸ Para los especialistas, una representación de la evolución lineal se entiende como una “caricatura” de la compleja topología ramificada de cualquier proceso evolutivo.

El empleo de estas imágenes sirve, además, para explicar la selección natural y las adaptaciones y para enfatizar el origen común de todos los seres vivos, incluido el ser humano, aspecto que puede derivar en la enseñanza de que los humanos hemos evolucionados de otros primates. Respecto de los libros de Primaria sujetos a este estudio, a continuación se muestran las representaciones de homología en el libro correspondiente a la Reforma de 1993 (figuras 7 y 8). En los correspondientes a las Reformas de 1974 y 2009 no existen imágenes de este tipo, en el último caso quizá por la facilidad de derivar temas de evolución humana.



Figura 7. Ilustración que introduce la idea de semejanza ósea entre diferentes especies, Ciencias Naturales, 1993, p. 44.



Figura 8. Ciencias Naturales, 1993, p. 47.

Agradecimientos

Queremos agradecer el apoyo de los proyectos DGAPA PAPIIT RN403513, *El tema de la evolución en los libros de texto de secundaria en México desde la historia y la filosofía de la ciencia 1974-2012*, y CONACYT CB2012-178031-H, *La enseñanza de la evolución en el contexto de la historia y la filosofía de la ciencia en México*. Asimismo, a Alicia Villela por su colaboración en la búsqueda de material historiográfico y a Nuria Gutiérrez por su colaboración en la edición de este manuscrito.

Referencias bibliográficas

- Abraham, Thomas (2003). From theory to data: Representing neurons in the 1940's. *Biology and Philosophy*, 18, pp. 415-426.
- Anderson, M., & Armen, C. (1998). *Diagrammatic reasoning and color*. In *Proceedings of the AAAI Fall Symposium on Formalization of Reasoning with Visual and Diagrammatic Representations*. Orlando, Florida, October.
- Ávila, A. & Muñoz, V. (1999). Creación de la Comisión Nacional de Libros de Texto Gratuitos, Noriega Editores.
- Barahona, A. (2009). Introducción del Darwinismo en México. *Teorema*, V. 28, n.º 2, pp. 201-214.
- Barahona, A & Bonilla, E. (2009). Teaching Evolution: Challenges for Mexican Primary Schools. *Revista Harvard Review of Latin America*, V. 3, n.º 3, pp. 16-17.
- Beltrán, E.; Rioja, E.; Alcaraz, J.; Ruiz, M.; Miranda, F., y Larios, I. (1963). *Biología Segundo Curso*. Editorial Porrúa.
- Browne, J. (1996). *Charles Darwin: a biography*. Nueva Jersey: Princeton University Press.
- Burri, R. V., & Dumit, J. (Eds.). (2007). *Biomedicine as culture: instrumental practices, technoscientific knowledge, and new modes of life*. Routledge Studies in Science, Technology and Society.
- Constable, H; Campbell, B. & Brown R. (1988). Sectional drawings from science textbooks: an experimental investigation into pupil's understanding. *Br. J. Educ. Psychol.*, n.º 58, pp. 89-102.
- Daston, L., & Galison, P. (1992). The image of objectivity. *Representations*, pp. 81-128.
- Duden, Barbara (1993). *Disembodying Women: Perspectives on Pregnancy and the Unborn*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Dugés, A. (1878). *Programa de un curso de zoología*. México.
- Dugés, A. (1884). *Elementos de Zoología*. México.
- Eco, Umberto (1972). Semiología de los mensajes visuales. En: *Varios análisis de las imágenes*. Buenos Aires: Tiempo Contemporáneo.
- Foucault, Michel ([1963]1973). *The Birth of the Clinic: An Archaeology of Medical Perception*. New York: Pantheon Books.
- Glick, T. F. (Ed.). (1988). *The comparative reception of Darwinism*. University of Chicago Press.
- Glick, T. (2009). *The Reception of Charles Darwin in Europe*. Bloomsbury Academic.
- Gombrich, Ernst. (1974). *Art and illusion: a study in the psychology of pictorial representation*. 3ed. Londres: Phaidon Press.
- Gould, Stephen. J (1989). *La vida maravillosa*. Barceona: Crítica.
- Hacking, I. (1999). *The social construction of what?* Harvard University Press.
- Hall, Bert, S. (1996). "The didactic and the elegant". En: Brian Baigrie (Ed.). *Picturing knowledge*. Toronto: University of Toronto Press.
- Heinrich, R; Molenda, M; Russel, J & Smaldino, S. E. (2002). *Instructional media and technologies for learning*. Merril Prentice Hall, EE. UU.

- Herrera, A. L. (1904). *Nociones de Biología*. México.
- Law John & Michael Lynch (1988). Lists, field guides and descriptive organization of seeing: birwatching as an exemplary observational activity. *Human Studies*, n.º 11, pp. 286-287.
- Libro de texto de Ciencias Naturales Sexto Año* (1974). Secretaría de Educación Pública. México.
- Libro de texto de Ciencias Naturales Sexto Año* (1993). Secretaría de Educación Pública. México.
- Libro de texto de Ciencias Naturales Sexto Año* (2009). Secretaría de educación Pública. México.
- Lynch, Michael & Steve Woolgar (eds) (1990). *Representation in Scientific Practice* (Cambridge, MA: MIT Press).
- Maienschein, Jane (1991). From Presentation to Representation in E. B. Wilson's *The Cell*. *Biology and Philosophy*, n.º 6, pp. 227-254.
- Myers, Greg (1988). Every picture tells a story: illustrations in E. O. Wilson's sociobiology. *Human Studies*, n.º 11, pp. 240-241.
- Myers, Greg (1990). *Writing Biology: Texts in the Social Construction of Scientific Knowledge (Science and Literature Series)*. Madison: University of Wisconsin Press.
- Mayr E. (1964). *Introduction to a facsimile of the first edition of Charles Darwin's On the Origin of Species*. Cambridge: Harvard University Press.
- Ochoterena, I. (1926). *Tratado elemental de Biología*. México.
- Paz, Octavio (1950). *El laberinto de la soledad*. México: Fondo de Cultura Económica.
- Perini, Laura (2005). Explanations in two dimensions: diagrams and biological explanation. *Biology and Philosophy*, n.º 20, pp. 257-269.
- Perini, Laura (2012). "Form and Function". En: *The educated eye: visual culture and pedagogy in the life sciences*. Hanover, NH: Dartmouth College Press.
- Rudwick, Martin J. S. (1976). The Emergence of a Visual Language for Geological Science, 1760–1840. *History of Science*, n.º 14, pp. 149–95.
- Ruiz, R. (1987). *Positivismo y evolución*. México: Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ciencias.
- Shapin, Steven & Schaffer, Simon. (1985). *Leviathan and the Air-Pump: Hobbes, Boyle, and the Experimental Life*. New Jersey: Princeton University Press.
- Sierra, J. (1875). *El Espiritismo y el Liceo Hidalgo. El Federalista*. México.