



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE CIENCIAS

**LA REPRESENTACIÓN VISUAL DE LA EVOLUCIÓN
BIOLÓGICA EN LOS INSTITUTOS TECNOLÓGICOS
DE MÉXICO**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

BIÓLOGO

P R E S E N T A:

RODRIGO GAVIÑO BAÑUELOS



**DIRECTOR DE TESIS:
DRA. ERICA TORRENS ROJAS
2019**

Ciudad Universitaria, CD. MX.



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Hoja de Datos de Jurado

1. Datos del Alumno
Gaviño
Bañuelos
Rodrigo
56 84 89 24
Universidad Nacional Autónoma de México
Facultad de Ciencias
Biología
310679590
2. Datos del Tutor
Dra.
Erica
Torrens
Rojas
3. Datos del Sinodal 1
Dr. Arturo Carlos II
Becerra
Bracho
4. Datos del Sinodal 2
M. en A.
Aldi
de Oyarzabal
Salcedo
5. Datos del Sinodal 3
M. en C.
María Alicia
Villela
González
6. Datos del Sinodal 4
Dr.
Juan Manuel
Rodríguez
Caso
7. Datos del trabajo escrito
La representación visual de la evolución biológica en los murales de los
Institutos Tecnológicos de México
132 pp.
2019

Este trabajo se realizó gracias al apoyo del proyecto PAPIIT IN404116 Cultura visual científica: análisis de las prácticas representacionales en la enseñanza de la evolución biológica de 1921 al México actual, bajo la dirección de la Dra. Erica Torrens Rojas.

Agradecimientos

A la Universidad Nacional de México y a la Facultad de Ciencias por haberme brindado un espacio en el cual pude desarrollarme tanto personal como profesionalmente. Gracias por facilitarme las herramientas que me permitieron acercarme al conocimiento y por permitirme realizar diversas actividades, tanto académicas como extracurriculares, en sus instalaciones. Gracias por haberme brindado la oportunidad de vivir esta experiencia.

A la Dra. Erica Torrens Rojas por ser una excelente tutora. Muchísimas gracias por haberme acompañado a lo largo de este largo camino. Gracias por las asesorías, las observaciones, el tiempo, la confianza y la libertad que recibí para realizar este trabajo. Así como también por todo lo que me enseñó a lo largo del proceso. Gracias por la beca PAPIIT que me otorgó de su proyecto de investigación Cultura visual científica: análisis de las prácticas representacionales en la enseñanza de la evolución biológica de 1921 al México actual (**IN404116**).

A los sinodales del jurado integrado por: Dr. Arturo Carlos Il Becerra Bracho, M. en A. Aldi de Oyarzabal Salcedo, M. en C. María Alicia Villela González y Dr. Juan Manuel Rodríguez Caso, por sus aportaciones que ayudaron a enriquecer este trabajo.

A la Dra. Ana Barahona Echeverría por haberme permitido desarrollar este trabajo en el Laboratorio de Estudios Sociales de la Ciencia. Muchas gracias.

A los integrantes y colaboradores del Laboratorio de Estudios Sociales de la Ciencia, Dra. Irama Silvia Nuñez, M. en C. Alicia Villela, M. en Bioética José Antonio Alonso y Biol. Marco Ornelas. Por sus observaciones y comentarios que fueron de gran ayuda para el desarrollo de este trabajo.

A todos mis compañeros del laboratorio: Nuria, Martha, William, Etzalli, Luz y Jassiel. Quienes me brindaron consejos y recomendaciones en todo momento.

A mis grandes amigos de La Magnolia por permitirme compartir con ellos todos estos años en la universidad y hacer este proceso tan divertido.

Un gran agradecimiento a mis papás, Ana María y Luis José, que siempre me han dado su cariño y su apoyo incondicional. Que me han apoyado tanto en la escuela como en otras actividades lo cual me ha permitido vivir muchísimas experiencias y cumplir un sin fin de metas. De verdad gracias.

Un agradecimiento especial a mi hermana Isabel que siempre ha estado para mi en las buenas y en las malas.

Índice de contenidos

Introducción	7
Capítulo 1 La representación visual de la ciencia	11
1.1 Importancia de la representación visual en la ciencia	12
1.2 La representación de la ciencia	28
1.2.1 Dibujos	28
1.2.2 Fotografías	29
1.2.3 Diagramas	31
1.2.4 Mapas	33
1.3 La relación entre la ciencia y el arte	36
Capítulo 2 Evolución: el reto de su representación	49
2.1 La evolución biológica	50
2.2 Retos en la representación visual de la evolución	51
2.2.1 Un poco de historia	52
2.2.2 La Gran Cadena del Ser	54
2.2.3 Redes y árboles	54
2.3 Series, redes y árboles evolutivos en la actualidad	67
2.3.1 La Marcha del Progreso	67
2.3.2 Redes en la actualidad	72
2.3.3 Árboles en la actualidad	73
Capítulo 3 Muralismo en México y en los Institutos Tecnológicos de la secretaría de educación pública	76
3.1 Muralismo mexicano	77
3.2 Muralismo con aspectos biológicos	83
3.3 Institutos Tecnológicos de la Secretaría de Educación Pública: acervo muralístico	92
Capítulo 4 Discusión y conclusiones	111
Bibliografía	121
Índice de imágenes	130

Introducción

“La perspectiva evolutiva ilumina cada tema en biología, desde la biología molecular hasta la ecología. Así, la evolución es la teoría unificadora de la biología.”
-Futuyma 2009-

El fenómeno evolutivo es considerado un hecho de la vida en nuestro planeta. Ningún científico serio duda de su ocurrencia y por ello, Theodosius Dobzhansky sostuvo que “nada en biología tiene sentido si no es a la luz de la evolución” (Dobzhansky, 1973, p. 125). De tal forma que la teoría evolutiva es el principio unificador esencial del conocimiento biológico, por lo que entonces debe ser también el eje guía en la enseñanza de las ciencias de la vida. El debate que existe dentro de la comunidad científica sobre el tema, no se basa en si la evolución biológica realmente ocurre, sino cómo se produce, es decir, acerca de sus mecanismos y los procesos que dan lugar a las categorías taxonómicas específicas y supraespecíficas. No es el objetivo de este trabajo abordar estas controversias, pero es necesario mencionarlas, porque la forma en la que se piensa y ha pensado que ocurre la micro y la macroevolución, ha jugado un papel fundamental en la forma de representar visualmente el proceso. Desde el siglo XIX, se ha representado la evolución mediante tres metáforas visuales diferentes, las cuales se discuten en el segundo capítulo: las series, las redes y los árboles (OHara, 1996; Ragan, 2009; Rieppel, 2010). Para aquellos que asumen un patrón de cambio gradual y constante, la visualización de la evolución será más “darwiniana”, es decir, la selección natural será el mecanismo principal de cambio y, el vínculo entre la micro y la macroevolución se basará únicamente en la intensificación o combinación de los procesos evolutivos en las poblaciones. En este caso se emplea un árbol evolutivo para visualizar el proceso (Gould, 2002). Por el contrario, para aquellos que sostienen que la brecha transicional es un fenómeno legítimo, la visualización de la evolución reflejará alteraciones fenotípicas mayúsculas durante periodos cortos, lo que significa que existen otros mecanismos principales además o en lugar de la selección natural, y que no se pueden extrapolar fácilmente las causas de la micro a la macroevolución. En este caso las series son las representaciones más empleadas para ilustrar dicho proceso.

En cuanto al tema de la representación visual, que ha demostrado ser una pieza fundamental para la construcción y diseminación del conocimiento científico, con aspectos epistémicos, cognitivos y psicológicos asociados muy interesantes, lo que predomina en la esfera pública es la representación de la macroevolución, es

decir, de los patrones y procesos asociados al surgimiento, la persistencia y extinción de las especies como individuos evolutivos (Torrens, 2018).

Debido a que el tema de la evolución biológica es fundamental para la alfabetización y cultura científica, a que las imágenes son vehículos poderosos para transmitir información (veraz o mendaz) y, a que los seres humanos somos visuales por naturaleza, resulta significativo revisar cómo se le ha presentado el proceso evolutivo al público en general en México. Ya existen estudios sobre este tema enfocados en libros de texto y en otros materiales educativos, pero ninguno ha centrado la atención en obras de arte mexicanas como son los murales (Skoog, 1984, 2005; Puelles & Hernández, 2009; Hernández, 2010; Cruz, 2017). Las imprecisiones conceptuales, así como las controversias que existen en el seno de la biología evolutiva están frecuentemente asociadas a dificultades en la enseñanza y el aprendizaje de esta disciplina (Alters & Nelson, 2002; Catley & Novick, 2008). No obstante, son pocos los estudios realizados sobre las imágenes cotidianas que han moldeado —y lo siguen haciendo— el imaginario colectivo sobre este tema tan importante. De modo que este trabajo de investigación busca contribuir puntualmente al establecimiento de la percepción pública sobre el tema de la evolución biológica en nuestro país, es decir a la descripción de las formas en las que el público en general entiende y comunica este tema, para revelar las posibles dificultades en el proceso de enseñanza-aprendizaje del mismo.

Para lo anterior se echará mano de la epistemología y de la historia de la ciencia, para hacer precisiones conceptuales y señalar polémicas, así como situar y contextualizar el trasfondo de las representaciones relacionadas con la evolución en murales mexicanos. Esto no tendrá un carácter prescriptivo dada la naturaleza libre del arte (aunque trate temas científicos y se encuentre en instituciones de enseñanza superior), pero se espera que sirva para llamar la atención hacia: 1) la falta de consideración de las imágenes como vehículos epistémicos y de edificación de imaginarios colectivos. 2) la importancia de análisis que muestren las diversas fuentes de conceptos erróneos con los que se convive diariamente, los cuales van apuntalando comprensiones incorrectas del mundo que es extremadamente difícil cambiar. 3) la importancia de cuestionar la permanencia del arte relacionado con

temas científicos en ámbitos públicos e institucionales, cuando sabemos que la naturaleza de diversos conocimientos científicos no es fija ni inmutable y cuando conocemos la dificultad de representar procesos biológicos, como el evolutivo.

Este trabajo está dividido en cuatro capítulos. En el primero, se aborda el tema de la importancia que tiene la representación visual en la ciencia, las diferentes técnicas de representación que son utilizadas en esta disciplina y la influencia que ha tenido la ciencia en el arte. En el segundo capítulo, se habla sobre qué es la teoría de la evolución biológica, cómo se ha representado a lo largo de la historia (series, redes y árboles) y cómo se representa en la actualidad. En el tercer capítulo, se aborda el tema del muralismo en México, se explica brevemente cómo surgió este movimiento artístico, qué buscaba y cómo se fue desarrollando. Posteriormente se habla sobre los murales que tienen cierto contenido relacionado con la biología, específicamente, murales que realizó Diego Rivera. El tercer capítulo concluye abordando los Institutos Tecnológicos de la Secretaría de Educación Pública: cómo surgieron, cuál es su función, y lo que es de mayor relevancia para el presente trabajo, los murales que representan la evolución biológica. Por último, en el capítulo cuatro se plasman la discusión y las conclusiones.

Capítulo I

La representación visual de la ciencia

“La visualización en la ciencia es un dominio complejo que abarca muchos aspectos diferentes interrelacionados, que se exploran desde diferentes perspectivas y se aplican a diferentes disciplinas de la ciencia”
-Pauwels 2006-

1.1 Importancia de la representación visual en la ciencia

Muchos filósofos de la ciencia están de acuerdo en que el principal objetivo de la ciencia es representar el mundo que estudia (Hacking, 1983; Lynch & Woolgar, 1990; Griesemer, 1991; Golinski, 2008; Suárez, 2010). Pero lo que se entiende por representar no es tan claro como podría pensarse, ya que ninguna definición de la representación de la ciencia está bien establecida (Suárez, 2003). El tema de la representación toca la esencia misma de toda actividad científica, ya que lo que se conoce y se transmite como ciencia, es el resultado de una serie de prácticas de representación (basta pensar que las teorías pueden ser consideradas como representaciones). Existen diferentes tipos (visuales, numéricas, verbales), las cuales se utilizan en todas las ciencias, y en varios tipos de discursos científicos (Pauwels, 2006).

Las definiciones de representar o de representación, pueden tener distintas connotaciones. Se pueden entender como la presentación de algo con palabras o figuras que la imaginación puede retener; como una figura que expresa la relación entre diversas magnitudes; como una imagen o idea que sustituye a la realidad; o como una imagen o símbolo de algo (Real Academia Española, 2018a; Real Academia Española, 2018b). Para este trabajo utilizaré el concepto de representación visual, el cual abarca todas las representaciones que están hechas con imágenes, entendidas en un sentido amplio, como cualquier representación visual o figura de dos o tres dimensiones, tales como ilustraciones, diagramas, mapas, tablas, gráficas, fotografías, modelos, dibujos, simulaciones y visualizaciones de computadora, entre otras, las cuales juegan un papel principal, tanto en la construcción, como en la comunicación de conceptos científicos (Torrens, 2010).

A lo largo de los últimos 30 años, los estudios de ciencias y disciplinas comprometidas con el estudio de imágenes visuales han investigado cada vez más el papel de la representación y los medios visuales en la práctica científica. Historiadores, filósofos, sociólogos, psicólogos, historiadores de arte, comunicólogos de la ciencia, entre otros, han interactuado críticamente con

cuestiones tales como la producción de imágenes, su procesamiento y consumo, su empleo en la ciencia, así como su papel en la generación de conocimiento, y en el entendimiento de conceptos (Anderson & Dietrich, 2012; Torrens & Barahona, 2014). Es debido a esto que las representaciones visuales en la ciencia se han estudiado desde diferentes perspectivas teóricas, disciplinas, metodologías de investigación y desde los diferentes entornos en los que se utilizan.

Desde las diferentes perspectivas teóricas, se puede considerar el aspecto filosófico, el cual ha planteado preguntas ontológicas sobre la naturaleza y las propiedades de las representaciones visuales en la ciencia, y teorizado sobre la intersección de la hermenéutica y la ciencia (Burri & Dumit, 2008). En cuanto al aspecto histórico, se ha señalado, por ejemplo la importancia de las representaciones científicas de la naturaleza para el surgimiento de un nuevo concepto de objetividad que surgió en el siglo XIX, señalando también la importancia de los instrumentos de visualización y las representaciones pictóricas utilizadas en sistemas experimentales desde el inicio de la edad moderna hasta la actualidad (Daston & Galison, 1992; Galison, 2008). Otros trabajos han reconstruido la historia de las diferentes tecnologías de visualización médica y su introducción en el campo de las ciencias de la salud. Por parte de la sociología de la ciencia, se han hecho estudios de laboratorio en los que se han examinado los usos de imágenes en la fabricación del conocimiento científico desde perspectivas sociológicas y antropológicas (Burri & Dumit, 2008). Finalmente, desde las metodologías de investigación se han abordado las representaciones visuales desde la etnometodología, fenomenología, semiótica, constructivismo social, etnografía, hasta experimentos, encuestas, entrevistas, notas de campo, etc. (Pauwels, 2006).

A partir del entorno en el que se utilizan, las imágenes se pueden estudiar desde el inicio de su producción en el laboratorio, así como por su paso en medios científicos como documentos especializados, hasta que llegan a los libros de texto, anuncios de revistas y televisión. Dependiendo del ámbito en el que se utilicen, se puede reconstruir la función que tienen mediante la investigación de su historia de producción, de su propósito persuasivo y al explorar cómo las imágenes son interpretadas por las personas que las ven. Es importante mencionar que la función

que pueden llegar a tener también está relacionada con las diferentes tecnologías que existen para producirlas, pues no es lo mismo un dibujo a una fotografía, o a una imagen producida por computadora a un diagrama (Golinski, 1998).

Es indudable entonces que las representaciones visuales son una parte fundamental de las prácticas científicas, de la representación del conocimiento, y de la difusión de éste y de la ciencia. Los diagramas, mapas, gráficas, tablas, dibujos, fotografías, simulaciones y visualizaciones por computadora, y escaneos corporales, se utilizan cotidianamente en trabajos y publicaciones científicas. Existe incluso un campo específico que se enfoca en estudiar la dimensión social y las implicaciones que las imágenes tienen cuando viajan fuera del contexto académico y se difunden en otros ámbitos denominado “Estudios Sociales de Imágenes y Visualización científica”, SIV por sus siglas en inglés (*Scientific Imaging and Visualization*). De manera interesante, este campo explora las trayectorias de las imágenes científicas desde su producción y lectura a través de su difusión, despliegue y adopción en diferentes esferas sociales, hasta su incorporación a las vidas e identidades de individuos, grupos e instituciones (Burri & Dumit, 2008). De forma que las representaciones visuales permiten difundir y estabilizar los sistemas teóricos y conceptuales que representan (Burri & Dumit, 2008).

Ahora bien, en esta trayectoria de producción, estabilización y circulación a diferentes esferas en distintos momentos y espacios, las imágenes pueden estar sujetas a transformaciones en forma y/o contenido conceptual que puede conducir a errores conceptuales. Los errores conceptuales pueden describirse como ideas que proporcionan una comprensión incorrecta del mundo, los cuales se construyen sobre la base de la experiencia de una persona e incluyen conceptos preconcebidos, creencias no científicas, teorías ingenuas, concepciones mixtas o malentendidos conceptuales¹. El gran problema para el desarrollo de un alfabetismo

¹ Piaget sugiere que el ser humano en la infancia busca y encuentra significado a medida que interactúa con el mundo que lo rodea y emplea tales experiencias para probar y modificar esquemas existentes. En esta búsqueda de significado, existen numerosas posibilidades para el desarrollo de conceptos erróneos. Primero, no todas las experiencias conducen a conclusiones correctas o hacen que las personas vean todos los resultados posibles. En segundo lugar, cuando los padres u otros miembros de la familia se enfrentan a preguntas de sus hijos, muchas veces en lugar de admitir que no saben la respuesta, es común que den una respuesta incompleta o equivocada. Otras fuentes de conceptos erróneos incluyen, medios de comunicación, y los mismos materiales educativos y

científico es que una vez que se ha formado una idea equivocada, es extremadamente difícil cambiarla. Como se verá más adelante, diversas imágenes representativas de la teoría evolutiva tienen la tendencia de conducir a errores conceptuales.

También se debe tomar en cuenta que las imágenes y visualizaciones científicas tienen la capacidad de ser excepcionalmente persuasivas, ya que apelan a la autoridad “objetiva” de la ciencia y la tecnología. Aunado a esto, es importante considerar que las imágenes no son autoexplicativas, y menos las imágenes científicas. Se puede considerar que una fotografía es una imagen cruda y que, por lo tanto, puede ser interpretada por el público lego de forma natural, aunque carezca de algún texto que la explique. Pero esto no es del todo cierto, ya que las fotografías son las imágenes menos ilustrativas debido a que contienen demasiada información, lo cual, es poco útil desde el punto de vista científico y de poco interés epistemológico (Perini, 2012). Por el contrario, las representaciones visuales en forma de diagrama brindan imágenes que permiten registrar y ejemplificar fenómenos de la naturaleza que de otra forma sería casi imposible representar (Perini, 2005a). Es importante mencionar que frente a la palabra o al texto escrito, la imagen tiene la ventaja de que transmite instantáneamente su mensaje. “Toda la estructura visual queda al alcance de una simple mirada” (Martineau, 1959). Sin embargo, en contra de la creencia popular, el lenguaje de las imágenes no es universal, sino que se encuentra intensamente condicionado por una serie de códigos —antropológicos, culturales, sociales (tradiciones, oficios y profesiones)— que determinan a los individuos (Eco, 1972). A partir de la década de 1960 surgió un nuevo concepto para explicar 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, Moleda, Russel & Smaldino, 2002). Esto, entre otros aspectos, porque las imágenes científicas no deben interpretarse literalmente, puesto que

profesores. Debido a que todas las fuentes anteriores se consideran “confiables”, las personas aceptan pronta y acríticamente la información que les brindan. Los conceptos erróneos en sí mismos pueden surgir por entender mal la información objetiva o por recibir información contradictoria de fuentes fidedignas, como padres y maestros.

están llenas de convenciones gráficas, lo que quiere decir que aprender a utilizarlas es parte del conocimiento sobre la materia (Constable, Campbell & Brown, 1988). Lo anterior es particularmente importante en la enseñanza y comunicación de la ciencia, porque uno de los errores más comunes que se cometen en cuanto a las imágenes es asumir que éstas son autoexplicativas y que su cometido es simplificar el contenido de las descripciones verbales. La realidad es que la comprensión de las ilustraciones científicas requiere que los estudiantes desarrollen conocimientos y aptitudes especiales, que les confieran el lenguaje necesario para interpretarlas, lo cual debería considerarse como parte de la educación básica científica (Torrens, 2010; Torrens & Barahona, 2014).

Por otro lado, cuando los científicos presentan y defienden hipótesis, dan argumentos que proporcionan una justificación para validar las nuevas ideas, los cuales no se limitan a expresiones verbales y matemáticas, la mayoría de las veces, las representaciones visuales están involucradas. Un volumen típico de la revista *Science*, incluye gráficos, cuadros, diagramas e imágenes producidos por diversas técnicas, como microscopía electrónica y escaneos de medicina nuclear y tomografía computarizada. Esto muestra que los científicos tratan a las imágenes como partes integrales de sus argumentos, cuya fortaleza y solidez dependen tanto de las representaciones visuales, como de las representaciones lingüísticas (Perini, 2005b).

Hoy sabemos que las imágenes son fundamentales, y que, a lo largo de la historia, también lo han sido, ya que han ayudado a construir teorías y a que el público comprenda temas científicos. A continuación, se presentan algunos ejemplos.

En 1539, Heinrich Vogtherr, produjo unas de las primeras *impresiones anatómicas planas* conocidas, las cuales fueron hechas a partir de xilografías que representaban una figura femenina y una masculina sentadas, cuyos torsos estaban compuestos por capas pegadas de componentes impresos que representaban los sistemas corporales internos. Estas imágenes tienen gran valor epistemológico, ya que incitaban a una manipulación manual, al tentar a los espectadores a levantar las capas impresas, imitando la profundización progresiva en el cuerpo que ocurre

durante una cirugía, lo cual demostraba la posibilidad de someter al cuerpo humano a una investigación invasiva manual. Las pestañas de cada una de las capas tenían cera en la parte inferior que creaba la ilusión de que las incisiones se podían sellar y que el cuerpo podía volver a quedar intacto (Dackerman, 2011). La capacidad persuasiva de estas ilustraciones anatómicas aumentó a través del coloreado a mano. Las figuras masculinas y femeninas se pintaron cuidadosamente con una paleta variada de pinturas transparentes que permitieron diferenciar e identificar los órganos que constituían las *impresiones*. Sin embargo, el color también se aplicó cuidadosamente a las características externas de las figuras: cabello, piel, ojos, mejillas y labios aumentando su apariencia realista (Imagen 1.1). Los tonos de piel color durazno animaban la piel de las figuras y tonos más oscuros aplicados sobre las líneas de sombreado favorecían la percepción de la firmeza de los músculos. El rojo y el rosa alzaban los labios y las mejillas. Aunque los ojos iluminados por el color y las mejillas enrojecidas por la sangre podían parecer fuera de lugar en una figura con el torso abierto, estos adornos transformaron dramáticamente los cuerpos representados de ilustraciones esquemáticas a figuras animadas (Dackerman, 2011).

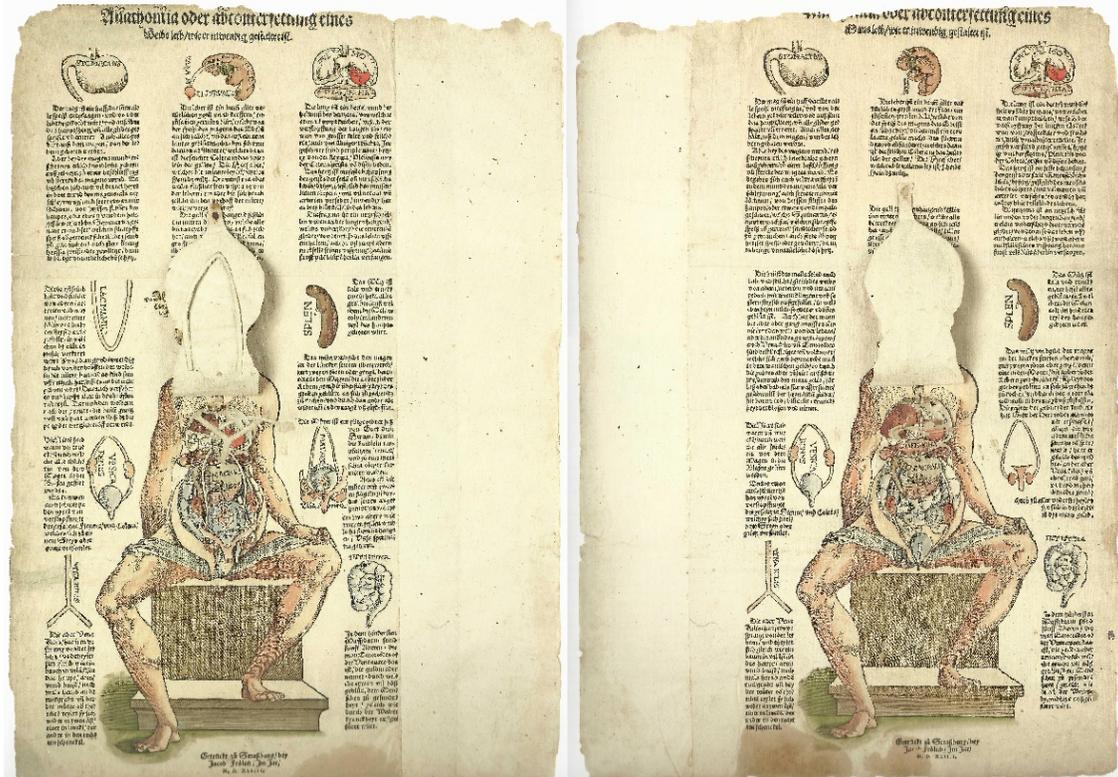


Imagen 1.1. Impresiones anatómicas planas de la anatomía de una mujer (izquierda) y un hombre (derecha), hechas por Heinrich Vogtherr en 1539. Estas impresiones incitaban a la manipulación manual ya que estaban compuestas de capas, las cuales imitaban la profundización progresiva en el cuerpo que ocurre durante una cirugía (tomada de Dackerman, 2011).

Al igual que Vogtherr, Andreas Vesalius produjo impresiones planas. Poco después de publicar *De Humani Corporis Fabrica Librorum Septem* (1543), publicó una versión abreviada del texto, conocido como *De Humani Corporis Fabrica Librorum Epitome*, para uso de los estudiantes, que se basó principalmente en las imágenes de xilografía para su propósito instructivo (Dackerman, 2011). *Epitome* junto con *Fabrica*, establecieron un nuevo punto de referencia para la ilustración anatómica. *Epitome* es, sin duda, una de las grandes contribuciones a las ciencias médicas pues se trata de una exquisita pieza de arte creativo con una combinación perfecta de formato, tipografía e ilustración (Maley, 2002). El volumen incluía hojas duplicadas de figuras femeninas y masculinas, rodeadas por sus órganos cardiovasculares, pulmonares, digestivos y reproductivos, que tenían el propósito de ser recortados y pegados en las figuras, lo que resultaba en modelos anatómicos en capas (Imagen 1.2). Utilizando imágenes impresas, Vesalius creó el tipo de experiencia instructiva que había descrito en la introducción de *Fabrica* (Dackerman 2011).

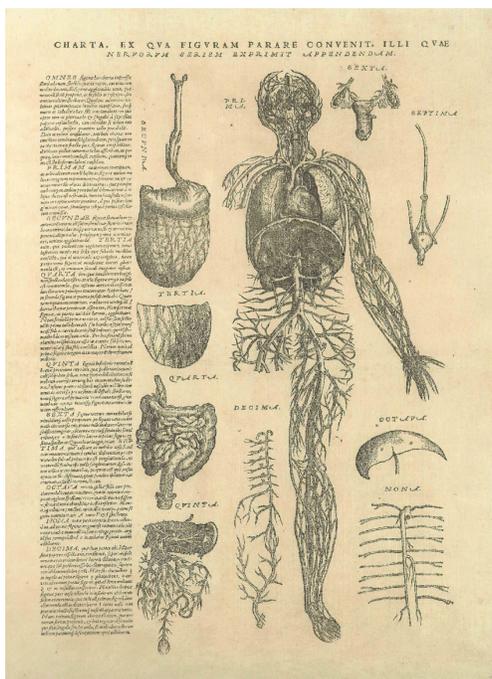


Imagen 1.2. Imagen femenina rodeada de los órganos internos, hecha por Andreas Vesalius para su libro *De Humani Corporis Fabrica Librorum Epitome* 1543 (tomada de Dackerman, 2011).

En *Sidereus Nuncius* (1610), Galileo Galilei buscó evitar los problemas que se tenían acerca de la veracidad de su telescopio, ya que se cuestionaba si éste en

realidad mostraba los astros. Lo que hizo Galileo fue desarrollar técnicas para representar la luna visualmente. Hizo dibujos en lavado de tinta, a partir de los cuales se prepararon e imprimieron grabados en cobre. Galileo no buscaba que sus ilustraciones reemplazaran sus palabras pues no hay que olvidar que la tradición de los siglos XVI y XVII era marcadamente hostil hacia las imágenes visuales pues no había nada como la claridad y la certeza que brindaban las matemáticas (Asma, 2001 en Torrens, 2010). Es por ello por lo que los fenómenos que Galileo explicaba en su libro tenían largas descripciones verbales y las ilustraciones mostraban, de manera exagerada, las características que Galileo quería enfatizar (Winkler & Van Helden, 1992). Galileo utilizó las imágenes entonces como una herramienta retórica para sustentar que lo que se podía observar desde sus telescopios era real (Imagen 1.3).

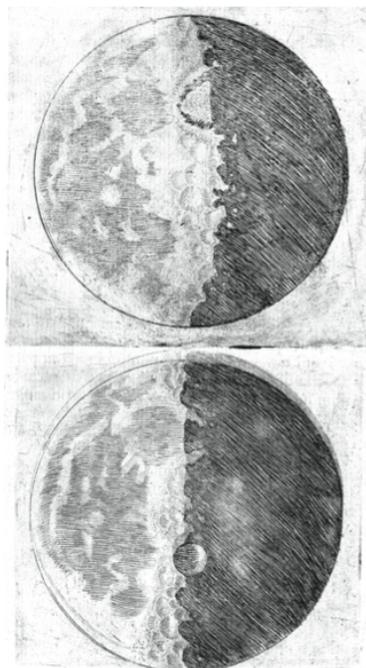


Imagen 1.3. Dibujo de la luna utilizado por Galileo Galilei en *Sidereus Nuncius* como herramienta retórica para convencer al público sobre la veracidad de su telescopio (tomada de Sacristán, 2010).

Otro ejemplo de la utilización de las imágenes para validar el conocimiento es analizando lo que hizo Robert Boyle con su bomba de vacío. Boyle fue un ferviente impulsor de la sistematización experimental para la obtención de hechos durante el siglo XVII (Shapin & Schaffer, 2005). Para él, era muy importante obtener testigos que pudieran legitimar sus experimentos, ya que de esta forma se

legitimaban los hechos. Había tres formas diferentes de obtener dichos testigos, la primera de ellas era a través de la observación directa de los experimentos; la segunda era mandando las instrucciones de cómo se tenía que hacer el experimento para que otro lo reprodujera; la tercera, que es la que más nos interesa para este trabajo, era a través del testimonio virtual que consistía en hacer que el lector se imaginara el experimento. Para que esto fuera más sencillo, Boyle insertó imágenes en sus textos (Imagen 1.4). La imagen es un grabado de la bomba de vacío que utilizaba Boyle, en la cual se intentó hacer una representación naturalista, detallada y completa para transmitir que este dibujo no era una idea de cómo tenía que ser una bomba de vacío, sino que era *la* bomba de vacío. Boyle intentaba que sus imágenes fueran lo más reales posibles y para ello incluyó en sus grabados todos los detalles que había en su laboratorio, incluso los ratones muertos que se encontraban dentro de frascos o a los ayudantes que estaban trabajando en el experimento. Boyle prestaba tanta atención en la manufactura de las imágenes que aparecían en sus textos, que incluso se llegó a disculpar con sus lectores cuando unos grabados salieron mal, debido a que él no había supervisado su realización y no pudo corregir al grabador. Boyle buscaba que las imágenes sirvieran para enunciar que lo representado fue realmente hecho y que fue hecho del modo estipulado, lo que ayudaba a calmar la desconfianza de los lectores y contribuía con el testimonio virtual (Shapin & Schaffer, 2005).



Imagen 1.4. Dibujo de la bomba de vacío que utilizó Robert Boyle para sus experimentos (tomada de Shapin & Shaffer, 2005).

Robert Hooke en su libro *Micrographia* (1665), describió en detalle las formas en las que preparó sus especímenes y las largas manipulaciones a las que los sometió antes de hacer sus dibujos. Hooke le explicaba a sus lectores cómo roció una hormiga con alcohol para que permaneciera inmóvil, o cómo probó el efecto de diferentes condiciones de luz sobre la apariencia de un ojo de mosca (Imagen 1.5). Con esto, Hooke buscaba transmitir los cuidadosos protocolos experimentales que había realizado, para que sus lectores se convencieran de la veracidad de sus imágenes. Hooke le aseguraba a sus lectores que las técnicas con las que se habían realizado las ilustraciones eran completamente transparentes, pues él mismo había dirigido al grabador de cerca (Golinski, 1998).

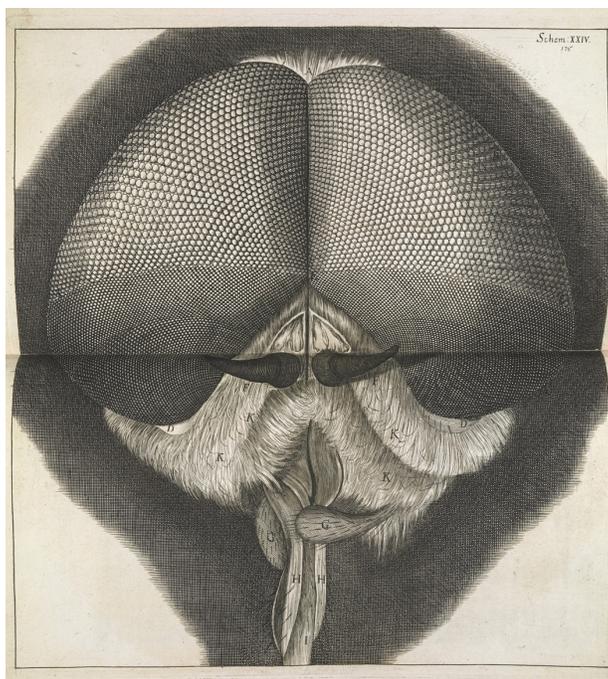


Imagen 1.5. Dibujo de un ojo de mosca que utilizó Robert Hooke en su libro *Micrographia* 1665 (tomada de Hooke, 1665).

Un ejemplo más reciente ocurrió en la embriología durante el siglo XX. A principios de ese siglo, esta disciplina luchaba por comprender cómo se desarrollaban los embriones a partir de células individuales indiferenciadas hasta cuerpos altamente específicos, compuestos de cientos de miles de células. Los embriólogos que investigaban la dinámica de la formación de capas germinales intentaban resolver la interrogante de si la célula germinal era responsable del desarrollo o si eran los movimientos morfogenéticos. Sin embargo, fue difícil reconstruir la embriogénesis visualmente observando embriones enteros o seccionados con los microscopios e instrumentos de corte que existían en esos años. Para facilitar la tarea de representación, los embriólogos utilizaban la cámara lúcida para rastrear, una y otra vez, los contornos móviles de estas delicadas muestras, tratando de identificar el área que inducía la diferenciación celular (Brauckmann, 2012). La cámara lúcida les permitía representar tridimensionalmente lo que observaban, pero dichas representaciones, por lo general, eran idealizaciones de lo que en realidad se observaba, por lo que no eran aceptadas por toda la comunidad científica. Debido a esto, constantemente se hacían nuevas investigaciones para encontrar métodos para comunicar sus observaciones sobre

responder algunas preguntas cruciales con respecto a la gastrulación y para demostrar si la embriogénesis procedía de manera regulativa o en forma de mosaico. Estos mapas se convirtieron en representaciones icónicas de un proceso dinámico complejo que era muy difícil de transmitir a través de texto. Todas estas imágenes sirvieron para hacer visibles los movimientos de la gastrulación, lo que permitió a biólogos y médicos, replicar los experimentos ya existentes para generar nuevo conocimiento (Brauckmann, 2012).

Para concluir, el ejemplo más reciente que se dará será el de las neuroimágenes. Hasta hace poco, nuestra comprensión científica del cerebro humano era bastante limitada. Por muchos años, nuestro conocimiento del cerebro se basó en inferencias derivadas del estudio del sistema nervioso de animales no humanos, o se adquirió del estudio de cerebros de cadáveres o de observaciones psicológicas de cerebros dañados. Nuestra capacidad de estudiar el cerebro y su actividad se ha potenciado gracias al desarrollo de técnicas no invasivas para examinar la función cerebral en seres humanos. Estas nuevas técnicas son conocidas como neuroimágenes, las cuales le permiten a los investigadores relacionar el rendimiento de tareas cognitivas particulares con la actividad cerebral. Las imágenes por resonancia magnética funcional (IRMf), son un método ahora ampliamente utilizado para estudiar las bases cerebrales de la cognición (Roskies, 2012).

Las neuroimágenes, son representaciones visuales de datos científicos que permiten ver más allá del cráneo humano. Los resultados técnicos de los estudios de neuroimágenes normalmente se presentan en un formato claramente reconocible, visualmente llamativo y fácilmente digerible de la imagen del cerebro. En estas imágenes, la actividad neuronal se indica mediante contornos localizados de regiones pseudocoloreadas superpuestas a una imagen en escala de grises de una sección del cerebro o del cerebro entero. Las imágenes parecen ser representaciones visuales de un objeto concreto, y la superposición colorida que representa la actividad cerebral es visualmente interesante y deslumbrante. A diferencia de muchas representaciones más abstractas de datos fisiológicos, como

pueden ser gráficos o ecuaciones, la imagen del cerebro parece concreta, accesible y fácilmente comprensible (Roskies, 2012).

Al ver los colores que presentan las neuroimágenes, se sobrentiende que no están representando el color real del cerebro, sino que representan cierta actividad neuronal, pero no siempre es aparente qué actividad están representando realmente. Es importante destacar, que los colores se utilizan de diversas maneras en diferentes estudios para representar parámetros bastante diferentes relacionados con la actividad neuronal. A veces se usan para representar el cambio de señal porcentual durante la ejecución de una tarea en relación con otra; otras veces se usan para reflejar la significación estadística del cambio de señal; y otras veces, la proporción o el número de casos que muestran cambios estadísticamente significativos en esa ubicación relativa. Por lo tanto, la misma representación visual puede reflejar datos científicos muy diferentes, todo depende de la interpretación (Roskies, 2012). Es debido a esto, que es necesario incluir un mensaje verbal al mensaje visual, para que la palabra sirva de guía a la lectura correcta de la imagen, más cuando son imágenes que requieren de numerosas convenciones para su comprensión precisa o correcta, como es el caso de las IRMf. El mensaje verbal, sirve además, para enfocar la atención en la zona de mayor significación de la imagen, es decir, en el contenido que se quiere comunicar (Torrens, 2010).

La ciencia no se trata solo de describir o tratar de replicar la realidad con veracidad, sino de hacerla más comprensible y accesible de innumerables maneras. Es por esto, que no se debe de ver únicamente el proceso de la representación visual como un esfuerzo por reproducir la naturaleza, sino de revelarla (Puwels, 2006). Es importante tomar en cuenta que una representación realista de la naturaleza puede no ser necesariamente más poderosa que una imagen simbólica o alegórica para hacer más comprensible a la naturaleza (Smith, 2006). Asimismo, debemos de tener en cuenta que en la ciencia se utilizan diferentes técnicas de representación visual, cada una igual de valiosa que las otras, pero especiales por las características que presentan. En el siguiente apartado podremos conocer más acerca sobre las diferentes técnicas de representación visual y cómo se emplean en la ciencia.

1.2 La representación de la ciencia

“Un día recibí de un fotógrafo, una foto mía que no recordaba que había sido tomada. Inspeccioné la corbata, el suéter, para descubrir en qué circunstancias los había tenido; en vano. Y sin embargo, como era una fotografía, no podía negar que había estado allí (incluso si no sabía dónde)”
-Barthes 1981 en Lynch 1991-

Existen diferentes técnicas de representación visual dentro de la ciencia, y a pesar de que una técnica puede parecerse mucho a otra, las formas en las que plasman los conceptos pueden llegar a ser muy diferentes. La fotografía de un guepardo puede estar personificando al animal tal y como es. Un dibujo del mismo animal puede estar representándolo también tal y cómo es, pero puede estar acentuando las características que lo diferencian de otros felinos. “Se puede decir que las diferentes representaciones visuales varían en su naturaleza, en su contenido explicativo, en su función y en su operatividad” (Torrens, 2010, p. 63). Es por esto, que el tipo de representación que se utiliza en la ciencia depende del contenido que se quiera representar y transmitir, y de la capacidad de los formatos visuales y lingüísticos para hacerlo (Perini, 2005a).

Las representaciones visuales se pueden clasificar de diferentes formas. Una de ellas es en aquellas que se caracterizan por sus detalles, a esta categoría se le puede llamar representaciones visuales pictóricas. Dentro de esta categoría podemos incluir los dibujos, pinturas, fotografías y microfotografías. Todas tienen en común, que los detalles visibles de la imagen se interpretan como información de propiedades específicas de lo representado. Todas estas representaciones implican una relación de forma-contenido, la cual correlaciona detalles visibles específicos dentro de la representación visual, con propiedades específicas de lo representado. Por ejemplo, en un dibujo se utiliza una línea para delimitar el contorno de una forma particular, o un tono específico es utilizado para figurar un color específico. Una característica de este grupo de representaciones es que transmiten grandes cantidades de información de manera muy específica (Perini, 2012).

Otra forma de clasificar las representaciones visuales es por su manufactura en reproducciones manuales (dibujos, pinturas y diagramas), y en reproducciones mecánicas (fotografías, microfotografías, rayos X, etc.). Las reproducciones

manuales, generalmente se producen mediante trabajos artísticos realizados por científicos o especialistas contratados, mientras que las reproducciones mecánicas, utilizan instrumentos para producir automáticamente imágenes (Lynch, 1991). El origen de esta clasificación se puede basar en la desconfianza que se generó a lo largo del siglo XIX sobre la objetividad de las reproducciones manuales. Durante esa época se pensaba que la mano y el juicio del artista podían afectar la objetividad de la representación de la naturaleza. Por el contrario, se pensaba que una representación mecánica proporcionaba una transferencia directa de la naturaleza, la cual no estaba influenciada por las manos humanas, ni contaminada por ideas preconcebidas (Lynch, 1991).

Hoy en día, con la proliferación del procesamiento de imágenes digitales en numerosos campos de investigación, es posible que nos encontremos en otra era en materia de representación visual. Las imágenes digitales y el procesamiento de éstas rompen la distinción entre reproducciones manuales y mecánicas. Con teclear algunos comandos, la imagen se puede transformar en una serie interminable de imágenes, gráficos, mapas, simulaciones tridimensionales, tablas, matrices de números y fórmulas. Esto genera que las distinciones entre diagramas, fotografías, tablas numéricas y modelos se descompongan a medida que las imágenes se conviertan en pantallas intercambiables de datos numéricos (Lynch, 1991).

A continuación, se mencionarán las características más importantes de algunos tipos de representaciones visuales.

1.2.1 Dibujos

Los dibujos son representaciones literales de objetos y fenómenos. Este tipo de imagen se caracteriza por tener un alto grado de detalle y por tratar de representar el objeto tal cual se ve en la naturaleza. Los dibujos, por lo general, presentan elementos subjetivos, ya que el dibujante normalmente enfatiza los aspectos que para él son importantes o que son importantes recalcar para entender lo representado.

Los dibujos y los grabados (que implican un proceso que se basa en la aplicación de una imagen sobre un soporte determinado, como puede ser madera

o cobre y que puede o no reproducirse en serie), junto con la imprenta, fueron las herramientas por excelencia utilizadas para el desarrollo histórico de la representación científica en el despliegue de su discurso moderno. Los dibujos fungieron como un instrumento que privilegió la acción comunicativa al volverse los vehículos de divulgación de teorías y hechos. Asimismo, el dibujo, o la “acción de dibujar”, se estableció como una herramienta que formaba parte de un conjunto de acciones emprendidas por la ciencia y por los científicos para el proceso constructor o generador de conocimiento. Fue gracias a esto, que el dibujo adquirió entonces una dimensión cognitiva, un estatus que lo emparentó con las metáforas literarias (de Pedro, 2009).

En resumen, los dibujos son representaciones visuales que pueden transmitir, con gran detalle, características que pueden ser fundamentales para el entendimiento del objeto o de la teoría que se representa. Tienen la ventaja de poder hacer visibles objetos que no existen en la naturaleza.

1.2.2 Fotografías

Las fotografías son una herramienta visual que captura un momento preciso, el cual es transmitido al papel fotográfico o a una computadora. Las fotografías son las representaciones visuales que más detalles presentan, lo cual hace que se puedan apreciar características que de otra forma habrían pasado desapercibidas o inadvertidas. No por nada, Edgar Allan Poe comentó:

Si examinamos una obra de arte común, mediante un potente microscopio, desaparecerán todos los rastros de parecido con la naturaleza, pero el escrutinio más cercano de la fotografía revelaría solo una verdad más absoluta, una identidad de aspecto más perfecta con lo representado (Rudisill 1971 en Daston & Galison 1992, p111).

Las fotografías invocan una suposición de que lo que muestran es real y de que la cámara no puede mentir. Esto en parte es verdad, ya que no se puede tomar una fotografía de algo que no existe en la naturaleza, y por ello, la fotografía en los siglos XIX y XX, se posicionó con poderosa fuerza como el verdadero símbolo de la verdad natural (Daston & Galison, 1992). No obstante, esto no siempre fue así. Como muchos escritores de atlas indicaron, las fotografías (en sus inicios), no siempre

eran, ni siquiera por lo general, el medio adecuado para crear una imagen que los lectores automáticamente encontrarán más similar a un animal, un cadáver disecado o una célula. Debido a la gran cantidad de detalles (los cuales, el lector no conocía porque su conocimiento se basaba en los dibujos que únicamente representaban lo más importante de los objetos mostrados), el que fueran en blanco y negro, y que a menudo fueran borrosos, las fotografías no siempre proporcionaban una guía visual igual a la que ofrecían los dibujos. Sin embargo, lo que la fotografía ofrecía era una representación veraz (obtenida de la automatización mecánica), la cual no estaba subordinada a la subjetividad que podía tener el científico o el dibujante. Desde este punto de vista, cualquier sacrificio de semejanza estaba más que justificado por la inmediatez de las imágenes de la naturaleza hechas por la máquina, que eliminaban la intervención entrometida de los humanos, la autenticidad antes que la mera similitud (Daston & Galison, 1992). De forma que uno de los aspectos que ayudó a que la fotografía se afianzara como un método confiable de representación científica no fue únicamente su realismo, sino su producción mediante un proceso mecánico que podía considerarse, en gran parte, independiente de la intervención humana (Golinski, 1998).

La noción de verdad fotográfica depende de la idea de que la cámara es un dispositivo objetivo para capturar la realidad y que puede presentar esta objetividad a pesar de la visión subjetiva de la persona que la usa. La imagen fotográfica es, en sus usos y contextos más positivistas, considerada como una entidad que está menos cargada con las intenciones de su creador que las representaciones hechas a mano y se cree que ofrece el potencial para revelar hechos y verdades. Sin embargo, igual que la ciencia, las fotografías contienen elementos sociales y culturales. Las fotografías requieren que sus productores tomen decisiones subjetivas y culturalmente informadas, como por ejemplo: cómo enmarcar, qué composición utilizar, qué iluminación es la más favorable, etcétera (Sturken & Cartwright, 2009).

Las cámaras fotográficas de nuestros días son tan potentes que toman fotografías que, a diferencia de las que se utilizaron en los primeros atlas, retratan con alta definición a la naturaleza, es por esto, que pueden ser un 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. Sin embargo, debido a que las fotografías contienen tantos detalles e información, no tienen tanto valor epistemológico (Torrens, 2010), pero son muy útiles para representar los datos crudos de una investigación.

1.2.3 Diagramas

Los diagramas son representaciones visuales que buscan simplificar información compleja. En ellos, sólo se plasma la información necesaria para comprender el funcionamiento del objeto estudiado, el cual puede ser real o teórico. Ejemplos claros de diagramas son las rutas metabólicas, las cuales involucran diferentes relaciones complejas. Los diagramas son excelentes representaciones visuales para las rutas metabólicas, ya que permiten hacer un análisis funcional que nos lleva a entender la capacidad del todo en función de sus partes (Torrens, 2010), es decir que los diagramas permiten la identificación de cada uno de los elementos que los conforman y su significado está determinado por la identidad y disposición de dichos componentes. En otras palabras, el significado de un diagrama es similar al de un texto en el que su significado está determinado por las letras, espacios y signos de puntuación (los cuales se pueden identificar), y por el orden en que se encuentren. La diferencia entre un texto y un diagrama es que el texto está restringido por el acomodo lineal de una serie de símbolos, mientras que el diagrama está determinado por una matriz bidimensional de caracteres. Los diagramas permiten que en una sola representación se puedan apreciar ambos tipos de características, los componentes y las relaciones que existen entre ellos (Perini, 2005a).

Este tipo de representación se puede separar en dos grandes grupos, los diagramas esquemáticos y los compuestos. Los diagramas esquemáticos, se caracterizan por mostrar características visibles genéricas en lugar de características específicas, lo cual permite que la atención se centre en el contenido significativo, ya que no están repletos de información (Perini, 2012). Los diagramas esquemáticos son herramientas efectivas para representar las relaciones entre los

diferentes niveles de organización, ya que tienen la capacidad de hacerlo sin mostrar los detalles específicos de las estructuras. Es gracias a esto, que este tipo de diagramas pueden comunicar las características genéricas que tienen todos los individuos en un nivel de organización, sin tener que elegir representar una clase mediante la representación de un individuo en particular (Perini, 2012).

Por el contrario, los diagramas compuestos emplean un tipo de relación más precisa entre la forma y el contenido. Presentan elementos como flechas y líneas que sirven para indicar características o direcciones específicas dentro del diagrama. Ejemplos de este tipo de representaciones son los ciclos de vida y las rutas metabólicas, como el ciclo de Krebs (Torrens & Barahona, 2014).

Los diagramas compuestos tienen la ventaja de que las formas de sus componentes no tienen que parecerse a las formas reales de lo representado, ya que solo se buscan las relaciones espaciales de los componentes para representar relaciones entre ellos. Esto se puede apreciar en un diagrama de ADN (Imagen 1.7). En este diagrama, la forma de las bases nitrogenadas no tiene nada que ver con la estructura y forma real que tienen en una doble hélice de ADN. Sin embargo, permiten inferir que hay una unión entre ellas, a través de puentes de hidrógeno.

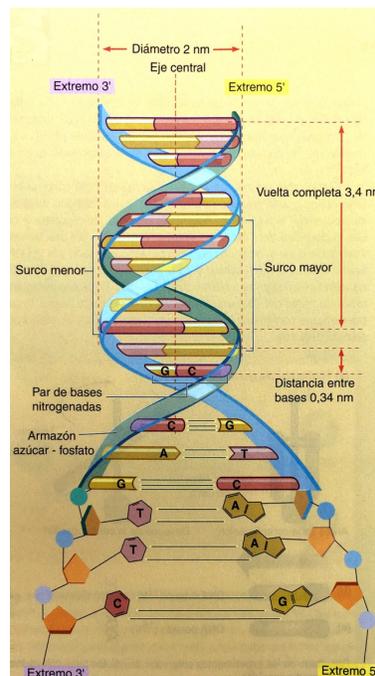


Imagen 1.7. Diagrama de la doble hélice del ADN. La forma de las bases nitrogenadas se utiliza para que se entienda que hay una unión entre ellas (tomada de Curtis, Barnes, Schnek & Massarini, 2008).

En resumen, los diagramas esquemáticos se emplean para representar características de los componentes de sistemas biológicos, mientras que los diagramas compuestos, se utilizan para representar las relaciones entre los componentes de dichos sistemas (Torrens & Barahona, 2014).

Los diagramas tienen la ventaja de que se pueden utilizar para estudiar objetos teóricos que no pueden ser representados de otra forma, así como de poder representar características compartidas por muchos individuos.

1.2.4 Mapas

Los mapas son un gran ejemplo de la utilidad de las representaciones visuales, ya que las diversas prácticas de mapeo demuestran cómo las relaciones espaciales se pueden manipular para crear una representación localmente utilizable de un espacio extendido (Golinski, 2002). Los mapas tienen la ventaja de ser reproducibles para diferentes propósitos, y todos pueden ser igualmente válidos de la misma realidad natural. Los diferentes tipos de mapas que existen están diseñados para diferentes usos, y no hay límite para las representaciones adicionales que pueden ser necesarias para nuevos propósitos (Rudwick, 1985).

Existen mapas muy diversos, como lo son los mapas geológicos, políticos, epidemiológicos, ecológicos, meteorológicos, entre otros. Cada uno de ellos cumple una función específica. Algunos ejemplos de la importancia de los mapas son los siguientes. Alexander von Humboldt, durante sus expediciones en América, mapeó y trazó mediciones físicas en amplias áreas para ver las relaciones de latitud, elevación, clima, vegetación, asentamientos humanos, agricultura, minería y otras características. El resultado de estos mapeos, fueron sus proyecciones verticales del paisaje (Imagen 1.8). Humboldt, también mapeó los datos que había obtenido de temperatura, junto con los de muchos otros naturalistas en un mapa mundial, obteniendo de esta forma las líneas isotérmicas que se convirtieron en un modelo para otros mapas, como los de variación magnética y sistemas meteorológicos (Wise, 2006). Otro ejemplo es el de los mapas epidemiológicos. La cartografía médica se originó en el siglo XVIII con “mapas de puntos” (*spot maps*), los cuales registraban el movimiento de enfermedades específicas como la fiebre amarilla, de

un lugar a otro y dentro de una única localidad. A mediados del siglo XIX, tales mapas se volvieron globales. Se creó una red informal de recolección de datos e intercambio de información sobre la distribución de enfermedades en lugares lejanos, que permitió a los médicos europeos mapear enfermedades en todo el mundo, lo que permitió relacionarlas con la latitud, temperatura y otras características ambientales en las que se presentaban (Stepan, 2001).

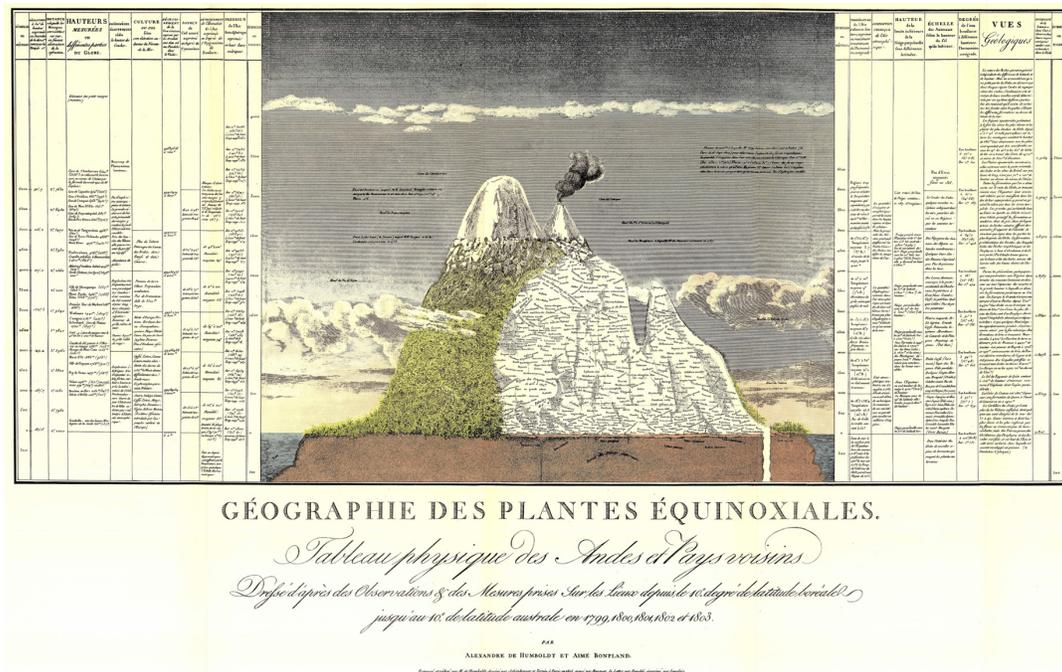


Imagen 1.8. Proyección vertical del paisaje de los Andes realizada por Alexander von Humboldt en 1805 (tomada de Zimmerer, 2006).

Todas las representaciones visuales, ya sean fotografías, mapas, dibujos, diagramas, tienen una característica que las hace únicas, tienen el carácter de ser “móviles inmutables”. Esto quiere decir que pueden moverse de un lugar a otro sin modificarse. Por lo tanto, se pueden usar para transportar representaciones de fenómenos distantes a un único sitio donde se pueden manipular, comparar y combinar (Golinski, 1998). También tienen ventajas y desventajas, y no todas sirven para los mismos propósitos, aunque cada una de ellas es igual de valiosa. Asimismo, se pueden combinar diferentes técnicas de representación visual para generar otras novedosas que sean más ricas o que permitan el entendimiento de algún concepto. Como primer ejemplo se mencionarán las foto-diagramas, las cuales son fotografías a las que se les insertan líneas o flechas para resaltar las

características más importantes. Otro ejemplo son los mapas cartográficos que combinan mapas con diagramas. Los mapas que muestran la distribución de los diferentes tipos de rocas que se encuentran bajo la superficie terrestre, se complementan con dos tipos de diagramas (Imagen 1.9). El primero de ellos es la columna estratigráfica, la cual muestra la secuencia y el grosor de los estratos antes de que se formaran pliegues y hubiera la erosión. El segundo es la sección transversal, que representa la estructura de la parte superficial de la corteza terrestre, en este caso, un equivalente hipotético y artificial de una línea de acantilados costeros naturales (Golinski, 2002). Juntando estas representaciones visuales, podemos obtener un mapa con mayor carga teórica que nos permita un mejor entendimiento de un área determinada.

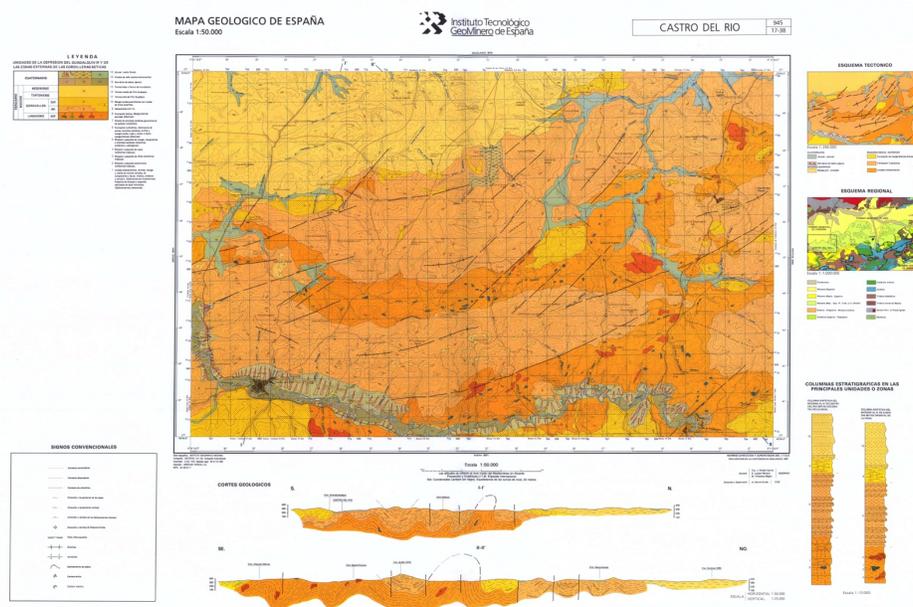


Imagen 1.9. Mapa cartográfico de Castro del Río, España. En este mapa se aprecia la columna estratigráfica y la sección transversal las cuales enriquecen el mapa (tomada de Instituto Geológico y Minero de España, 1987).

Finalmente es importante mencionar que el uso de las representaciones es tan dinámico como la ciencia misma. Las imágenes van cambiando con el tiempo, ya que una representación que se utilizó con anterioridad puede ya no ser la indicada para representar un nuevo fenómeno, concepto o teoría, como ha pasado en la geología. Hace unas décadas, los geólogos solían recurrir a fotografías para enfatizar los accidentes geográficos de la superficie terrestre. Sin embargo, a partir

de la década de 1960, con el surgimiento de la teoría de la deriva continental, se han tenido que emplear otro tipo de imágenes para representar las nuevas teorías. Mapas reconstructivos de continentes en movimiento y polos magnéticos cambiantes, diagramas esquemáticos de la expansión del lecho marino y la tectónica de placas, ahora se han incorporado en los libros de texto, ya que las fotografías simplemente no pueden satisfacer la necesidad de imágenes específicamente cargadas de teoría para mostrar procesos geológicos que, en realidad son invisibles para el ojo humano (Golinski, 1998).

1.3 La relación entre la ciencia y el arte

En nuestros días existe una gran línea divisoria entre lo que es la ciencia y lo que es el arte, pero ésta no siempre ha existido. A inicios de la Edad Moderna, la palabra arte (*ars*) poseía una connotación más amplia de la que tiene hoy en día, pues se refería a las artes mecánicas, al trabajo que podía realizar la mano humana; mientras que ciencia, tenía un significado más dirigido al conocimiento teórico que se podía determinar de manera certera por medios deductivos. De hecho, hay que tener en cuenta que en la vida intelectual del siglo XIX, por ejemplo, las ciencias y las artes no eran dos culturas sino una (Donald, 2009). En nuestros días, ciencia y arte tienen significados muy diferentes, y esto ha hecho que muchas veces no se hayan tomado en cuenta dentro de las ciencias aquellos trabajos hechos por los artistas y solamente se reconozca los desarrollados por eruditos y teorizadores (científicos para nosotros), en cuanto a la generación de conocimiento (Smith, 2006). No obstante, los artistas y los científicos han mantenido desde hace siglos una relación muy estrecha, ya que los segundos han necesitado de los primeros para realizar ilustraciones sobre sus teorías e ideas.

Para conocer un poco cómo inició la relación entre los artistas y los científicos, hay que remontarse al siglo XV. Este siglo se ha llegado a ver como el que puso una pausa en la marcha de la civilización, puesto que en apariencia no hubo grandes descubrimientos en las ciencias naturales y en las explicaciones físicas sobre el funcionamiento del Universo. Esto provocó que no existiera una ideología que predominara sobre el estudio de la naturaleza, lo cual generó una

libertad de pensamiento ampliamente reflejada en el arte. Durante el Renacimiento (movimiento cultural que surgió en el siglo XV), los artistas buscaron mejorar las técnicas que les habían antecedido, ya que percibían el arte romano como decadente y sentían que debían de liberarse del arte simbólico de la Edad Media. La forma de liberación que utilizaron para llegar a lo que concebían como gloria artística fue basarse en la observación directa y la experiencia de primera mano para representar al mundo. El naturalismo renacentista, fue la única forma en la que los artistas de inicios de este periodo pudieron superar la antigüedad (Butterfield, 1954). Curiosamente, este naturalismo fue uno de los grandes logros y legados dejados por la pintura florentina del siglo XV, una tradición iniciada por Masaccio y personificada por las obras de Verrocchio y da Vinci (Baldasso, 2006).

La mayoría de los artistas del renacimiento escribieron sobre temas artísticos, científicos y humanistas. El artista necesitaba conocer de geometría para poder hacer una reproducción adecuada de lo que observaba, y necesitaba también tener conocimiento científico, ya que tenía que comprender qué era lo que observaba (Butterfield, 1954). La representación naturalista fue mucho más que una práctica visual, fue un modo de investigar, comprender y conocer la naturaleza. Además, por medio de imágenes naturalistas, los artistas se presentaron como expertos autoconscientes sobre los procesos y transformaciones de la naturaleza. Aunado a esto, el naturalismo artístico estuvo ligado de maneras complejas al surgimiento de nuevas actitudes hacia la naturaleza y hacia la búsqueda del conocimiento natural, que formaron parte crucial de la Revolución Científica (Smith, 2006). Un ejemplo de esto es el estudio de la anatomía que se dio en Florencia durante este periodo, ya que se profundizó en un conocimiento más preciso y detallado de la estructura del cuerpo humano para su posible representación. (Butterfield, 1954). La anatomía humana recibió una atención renovada, proveniente de artistas como Albrecht Dürer, Miguel Ángel y Leonardo da Vinci (Torrens, 2010).

La historia del arte renacentista tuvo una gran implicación en la relación que se dio posteriormente entre los científicos y los artistas. Podemos preguntarnos si el pintor florentino del siglo XV fue tan influyente para el científico moderno como lo fue el filósofo natural. La teoría de la naturaleza tal como se enseñaba en las

escuelas y la práctica de observación tal como se enseñaba en los estudios artísticos, avanzaban en líneas paralelas. No estaban ajustadas la una a la otra, no estaban coordinadas y no se reconocían entre ellas, pero comparten el honor de ser las precursoras de la ciencia moderna (Butterfield, 1954). Algunos artistas, como por ejemplo el ya mencionado Albrecht Dürer, se esforzaron por establecer su estatus como observadores, representantes y conocedores de la naturaleza, y usaron sus imágenes para participar en una especie de teorización sobre la misma naturaleza. Sus técnicas de observación y representación fueron profundamente importantes en el desarrollo de la ciencia empírica. Los artistas ayudaron a constituir los objetivos y métodos del estudio de la naturaleza durante los siglos XV y XVI, articulando un nuevo tipo de autoridad para la naturaleza. El arte y los artistas fueron motores fundamentales (pero no exclusivos) de la Revolución Científica. (Smith, 2006). No puede ser un accidente que la anatomía fuera la primera de las ciencias en transformarse al comienzo de la Edad Moderna, pues fue producto del resultado de una observación más auténtica y precisa. Vesalius, quien inauguró el estudio moderno del tema, se describió como la combinación del poder del artista con la habilidad del científico (Butterfield, 1954).



Imagen 1.10. Dibujo naturalista de Albrecht Dürer. *Wing of a Blue Roller* 1512 (tomada de Web Gallery of Art, s.f.).

Desde el Renacimiento, las ilustraciones comenzaron a jugar un papel destacado en la comunicación del conocimiento científico. Los dibujos puramente convencionales y simbólicos que habían prevalecido durante tanto tiempo en la Edad Media fueron suplantados por una representación precisa y detallada proveniente de la escuela artística renacentista de Florencia (Butterfield, 1954), momento en que el artista pasó a formar parte de la difusión y generación del nuevo conocimiento científico. La relación que se forjó entre el naturalista y el artista llegó a ser tan importante, que los primeros les rendían homenaje a los segundos en los prefacios de sus libros, elogiando la calidad de las imágenes presentadas. Los editores, estaban interesados también en la calidad de las imágenes, ya que se dieron cuenta que con ilustraciones bien ejecutadas vendían más libros (Daston, 2011). Un ejemplo de lo primero es la enciclopedia botánica de 1542 de Leonhart Fuchs, *De historia stirpium*. Dicho libro presenta un retrato de los tres artistas que participaron en la realización de las imágenes; Albrecht Meyer, el dibujante; Heinrich Füllmaurer, el encargado de hacer el grabado en los bloques de madera y, Veit Rudolf Speckle, el encargado de cortar los bloques. Estos tres hombres, que se muestran en el proceso de representar las flores en el jarrón que tienen ante ellos (Imagen 1.11), representan la profesionalización de la producción de imágenes y la división del trabajo, según la cual, los trabajos científicos fueron escritos por profesionales médicos e ilustrados por artistas (Swan, 2011). Fuchs elogió el valor de las imágenes, pero dejó claro que siempre estuvo al pendiente del trabajo de los artistas y que no permitió que sombras, composiciones ornamentadas simétricas, fondos que distrajeran o la aplicación exuberante de color y otros adornos menos necesarios, fueran empleados por los artistas para ganar gloria artística (Daston, 2011).



Imagen 1.11. Retrato de los tres artistas que trabajaron con Fuchs en el libro *De historia stirpium* (tomada de Gardham, 2002).

Conforme fueron transcurriendo los años, las técnicas que utilizaban los artistas se fueron perfeccionando debido a las demandas de mejores representaciones. Así, las técnicas de grabado poco a poco pudieron ser incorporadas a la representación científica. Del tosco soporte de madera se pasó al soporte de metal, más duradero y preciso; de las gubias se pasó al buril y después a los químicos que permitieron zonas amplias de contraste y descripción. Por su parte, el color obtuvo una discreta presencia en la configuración de la imagen científica del siglo XVII. Pareciese como si este elemento, tan ligado al ámbito artístico, no alcanzara todavía su apogeo en el seno de la representación científica. No obstante, es necesario tener en cuenta que si bien la gran mayoría de los dibujos eran realizados a color, luego, en su paso al grabado, éste se perdía o quedaba limitado a determinadas figuras (de Pedro, 2009). El color se vio ausente en la mayoría de los libros científicos de los siglos XVII y XVIII, ya que para poder incluir color en las imágenes se necesitaba que cada una de éstas fuera coloreada individualmente por especialistas, lo cual incrementaba los costos de producción. Pero también existieron razones de carácter teórico para que el color estuviese más ausente que presente en la imagen naturalista de estos siglos. El color resultaba un

elemento prescindible o de poca significación en la búsqueda de una clasificación sistemática y taxonómica. Para naturalistas como Linneo, el color era considerado un rasgo prescindible para la identificación y descripción de una planta, y fácilmente podía ser sustituido por el sombreado. Linneo consideraba que el sombreado contendría exactamente toda la historia de la planta, como sus nombres, su estructura, su conjunto exterior, su naturaleza y su uso (de Pedro, 2009). Asimismo, para el artista podía resultar difícil saber cuál era el color correcto que debía de utilizar en una ilustración. Las recomendaciones de Conrad Von Gesner para colorear los animales en sus tratados zoológicos, no siempre se seguían, ya que con frecuencia no era claro en sus descripciones, como cuando describió la piel del elefante como gris o negra, lo que obligó al artista a elegir una u otra (Dackerman, 2011). También era frecuente que los artistas trabajaran con especímenes secos y aplanados que provenían de herbarios, por lo que no sabían con certeza cómo se veían en la naturaleza, por lo que estaban sujetos a las descripciones hechas por los naturalistas (Daston, 2011). Un artista que siguió una técnica diferente a la mencionada fue Pierre-Joseph Redouté quien realizó sus ilustraciones a partir de plantas vivas, en lugar de especímenes de herbario, lo cual contribuyó a que sus ilustraciones se vieran muy reales (Walter, 2017). Redouté, fue un pintor y botánico de Bélgica, conocido y reconocido por sus acuarelas de rosas, lirios y otras plantas (Walter, 2017). Fue apodado el Rafael de las flores y es considerado como uno de los mejores ilustradores botánicos de todos los tiempos (Schmidt & Jacoby, 1996). Redouté colaboró con los mejores botánicos de su época y participó en casi cincuenta publicaciones, produjo más de 2,100 placas, las cuales representan más de 1,800 especies diferentes, muchas nunca antes representadas (Walter, 2017).

Otro ilustrador científico muy importante, y que nos muestra la importancia de las imágenes en la ciencia y la importancia del artista dentro de esta empresa es Jan Van Rymsdyk, un artista de la talla de Da Vinci y Vesalius, quien trabajó con William Hunter durante el siglo XVIII. Rymsdyk realizó para Hunter treinta y cuatro placas grabadas de la anatomía de las mujeres embarazadas, las cuales se distinguieron por un alto grado de realismo naturalista. Con bordes afilados en los rasgos representados, junto sombras sutiles que indicaban iluminación natural y

texturas superficiales, Rymsdyk representó con asombrosos detalles la disposición de los tejidos y de los órganos. Lo anterior sugiere que, además de sus habilidades artísticas, el autor estaba interesado en la historia natural (Imagen 1.12). El libro donde se encuentran sus ilustraciones le valió a William Hunter su reputación como uno de los principales anatomistas de su época (Daston & Galison, 1992; Torrens, 2010).



Imagen 1.12. Dibujo naturalista de Jan Van Rymsdyk de un feto humano, 1774 (tomada de Historical Anatomies on the Web, 2006).

La relación que ha existido entre la ciencia y el arte ha sido recíproca. Los artistas fueron de gran importancia para el estudio de la naturaleza desde el siglo XV, pero los científicos también le han aportado al arte ciertas cosas, principalmente inspiración. Algunas teorías científicas, como la que desarrolló Charles Darwin sobre la supervivencia del más apto, influenciaron artistas de la talla de Odilon Redon, Alfred Kubin y František Kupka y corrientes artísticas como el simbolismo (Larson, 2009). Recordemos también la pintura que hizo Rembrandt Harmenszoon van Rijn (que es considerado como uno de los grandes maestros del Barroco), *The Anatomy Lesson of Dr. Nicolaes Tulp*, la cual fue elaborada en 1632 y es considerada una de las imágenes más famosas de la anatomía. En esta pintura, Rembrandt retrató la disección pública anual que se llevaba a cabo en el Gremio de

Cirujanos de Ámsterdam. En la pintura (Imagen 1.13), se puede apreciar el cadáver de un hombre, el cual tiene el brazo expuesto debido a que el Doctor Tulp ya había comenzado la disección. Tulp, tiene a la derecha un libro de anatomía, el cual le sirve de apoyo durante la disección y se puede apreciar también las miradas curiosas de los espectadores. Esta pintura no es únicamente una representación de una práctica científica en un momento determinado, es un retrato de las relaciones sociales en torno a dicha práctica, en la cual se incluyen figuras importantes de la sociedad de Ámsterdam (Sturken & Cartwright, 2009).



Imagen 1.13. Pintura *The Anatomy Lesson of Dr. Nicolaes Tulp*, 1632 de Rembrandt (tomada de Ijpma, van de Graaf, Nicolai & Meek, 2006).

En cuanto a teorías que han influenciado el arte, podemos considerar la revolución que provocó Darwin con sus ideas durante el siglo XIX. Dentro de la cultura visual, se puede estudiar la teoría de la evolución desde tres puntos diferentes. El primero, es la popularización de las distintas conceptualizaciones sobre la teoría (de Darwin, de Spencer, de Haeckel, de Lamarck, etcétera) a través de dibujos (caricaturas), ilustraciones científicas y exposiciones en museos (Browne, 2009). La segunda, es a través del estudio de las ilustraciones científicas que utilizó el propio Darwin (ver, por ejemplo Voss, 2010). Y el tercero, es a través

de las formas en las que el arte configuró su propia cosmovisión sobre Darwin y sus ideas evolutivas (Larson, 2009). Para este trabajo, nos importa el tercer punto.

La influencia de Darwin en las artes visuales fue profunda y extensa, como lo han mostrado las extraordinarias ediciones de Donald y Munro (2009) y de Larson y Brauer (2009). Como lo muestran estas obras, las implicaciones de las ideas de Darwin principalmente acerca de la selección natural y la selección sexual, no se limitaron al ámbito científico sino impactaron diversas esferas sociales incluyendo a diversos artistas europeos y estadounidenses. La vasta edad y la extraña historia de la Tierra dentro de la cual se produjo la evolución; la batalla por la supervivencia (supervivencia del más apto), que era la precondition evolutiva; la teoría de la selección sexual; el origen de los animales y, el desarrollo cultural de la especie humana misma, fueron aspectos del pensamiento de Darwin que se expresaron o se resistieron a ser enunciados en el arte del siglo XIX. Al mismo tiempo, la visión de Darwin del funcionamiento de la naturaleza representaba un desafío para la estética tradicional, que resonó tanto en la teoría del arte, como en la práctica de la pintura (Donald, 2009).

La teoría evolutiva inspiró a muchos artistas del siglo XIX a reconceptualizar el mundo natural en representaciones, tanto del paisaje, como de la vida animal. Asimismo, la teoría de Darwin sobre la descendencia humana a partir de un ancestro simiesco tuvo efectos igualmente profundos en las artes visuales, sobre todo porque surgió una inquietud importante acerca de la brutalidad y crueldad presentes en la naturaleza, del parentesco del hombre con los simios, y sobre la reescritura de la historia humana que implicaba un modelo evolutivo. Así, muchos artistas como Böcklin, Redon, Watts e incluso Rodin, representaron los orígenes del hombre a través de la fantasía zoomórfica, el mito y la alegoría (Donald, 2009).

Lo que Darwin llamó “la guerra de la naturaleza”, tomó muchas formas. Los depredadores estaban constantemente a la caza de presas y los animales tenían que competir con su propia especie por alimento y territorio, o en el caso de los machos, por la posesión de hembras. Muchas de estas ideas cayeron en terreno artístico fértil. Las batallas entre animales habían sido un tema común en el arte desde el mundo antiguo. Pero en el siglo XIX, llegaron a simbolizar la competencia

feroz en la sociedad humana, así como las tragedias que surgen de la hostilidad de la naturaleza. Las ideas de Darwin transformaron gradualmente la forma en que los artistas representaban la vida animal en la naturaleza. Joseph Wolf, Bruno Liljefors y Abbott Thayer, en particular, trataron de expresar la compleja interacción de todos los seres vivos y las estrategias de supervivencia de los animales, incluidos el camuflaje, la velocidad y la constante batalla en la que vivían (Imagen 1.14) (Fitzwilliam Museum University of Cambridge, 2006)



Imagen 1.14. Pintura *A Row in the Jungle*, 1863, de Joseph Wolf (tomada de Fitzwilliam Museum University of Cambridge, 2006).

Las principales ideas de Darwin fueron aceptadas en Alemania por los científicos, los medios y el público en general, más rápidamente que en otros países. *El origen de las especies* fue traducido al alemán en 1860 por el paleontólogo Heinrich Georg Bronn y en 1866, por Victor Carus, quien también proporcionó una edición recopilada de las obras de Darwin en 1875. La teoría evolutiva se popularizó en Alemania principalmente por Ernst Haeckel, quien estuvo en contacto con Darwin, le envió libros y lo visitó en Kent, en 1866 y 1876. Haeckel recurría a cuestiones estéticas constantemente en sus publicaciones, un ejemplo de esto, son las ilustraciones suntuosas a color, principalmente de criaturas microscópicas y marinas, que visualmente incorporaron evidencias de evolución en *Art Forms in*

Nature (1899-1904). Los trabajos de Haeckel dieron forma al rostro público del evolucionismo en Alemania (en una versión totalmente Haeckeliana) y estableció una dirección que siguieron movimientos artísticos. Arnold Böcklin, Max Klinger, Ernst Moritz Geyger, Franz von Stuck, Gabriel von Max, Richard Muller y Alfred Kubin, fueron algunos de los artistas que receptivos de la teoría de la evolución, siguieron una narrativa evolutiva más sombría de competencia, lucha y muerte. Estos pintores y grabadores, a pesar de las diferencias de estilo y tono, dirigieron su atención a las implicaciones de la nueva ciencia con respecto a la conducta humana, mientras exploraban las borrosas fronteras entre el hombre y el animal, y exploraban los orígenes y estados primitivos de la ascendencia humana. Pusieron su interés en las características más oscuras de la teoría darwiniana respecto a la evolución del hombre: agresión, muerte, sufrimiento, interés propio. Cuestiones que contradecían las afirmaciones de la perfección humana progresiva anunciada por la mayoría de los naturalistas (Morton, 2009).

Un ejemplo sobre el arte alemán influenciado por las ideas evolutivas es la pintura de Klinger de 1875 *Darwinian Theory*, la cual está inspirada en los libros de Darwin (Imagen1.15). Klinger, retrata al científico con un libro y dos calaveras, simiescas y humanas, que ofrecen pruebas paleontológicas de la ascendencia del hombre a través de la anatomía comparada, el niño y el mono, revelan los orígenes del hombre. La figura en retirada de un sacerdote enojado hace referencia a la amenaza planteada por la teoría evolutiva a las creencias teológicas tradicionales, así como al anticlericalismo de la mayoría de los darwinistas alemanes (Morton, 2009).



Imagen 1.15. Pintura *Darwinian Theory*, 1875 de Max Klinger (tomada de Morton, 2009)

Los artistas alemanes encontraron en el darwinismo un mensaje que inspiró un arte de alienación, ambigüedad y conducta instintiva degradada. Rechazaron el optimismo progresivo de los escritores de ciencia popular y el monismo tranquilizador de muchos científicos profesionales, estos artistas produjeron imágenes de duda y desencanto que distorsionaron el nuevo sentido estético previsto por Haeckel. Inspirados selectivamente por aspectos de la teoría darwinista, su arte miró hacia el surrealismo y fue testigo de las exploraciones románticas alemanas del lado nocturno de la naturaleza (Morton, 2009).

La representación visual dentro de la ciencia es fundamental ya que puede ayudar a la comprensión de conceptos científicos, y puede ayudar también a la difusión de estos. Es importante considerar que no todas las técnicas de representación visual sirven de la misma manera para representar los mismos conceptos, cada una de estas técnicas tiene características que las hacen únicas y que les permiten representar, de mejor manera, cierto tipo de conceptos.

La representación visual, ha ayudado a lo largo de la historia a estabilizar teorías y conceptos científicos. Esto pudo ocurrir gracias a la relación que existía entre los naturalistas y los artistas. Fue gracias a los primeros, que los naturalistas pudieron mostrarle al mundo los descubrimientos que hacían. Asimismo, el arte

también se ha enriquecido por la ciencia ya que este ha sido influenciado por diferentes teorías científicas, como la teoría de la evolución de Darwin.

Capítulo 2

Evolución: el reto de su representación

“La visión que el hombre tiene del mundo hoy en día está dominada por la certeza de que el universo, las estrellas, la Tierra (*sic*) y todos los seres vivos han evolucionado a través de una larga historia que no estuvo programada, una historia de un cambio gradual y continuo.”
-Mayr 1972-

2.1 La evolución biológica

Como ya lo decía uno de los científicos más renombrados e influyentes del siglo pasado en 1980, Stephen Jay Gould: ningún biólogo duda de la evolución como un hecho de la vida en la Tierra.

El descubrimiento de la evolución es uno de los mayores logros intelectuales de la humanidad, quizá al mismo nivel que el cálculo y la relatividad. Es uno de los hallazgos científicos que cambiaron por completo la forma en la que vemos el mundo, pues transformó la visión de la naturaleza como algo fijo en forma y composición, a verla como un ente histórico y cambiante (Ruse & Travis, 2009).

La teoría de la evolución básicamente explica tres hechos fundamentales: la forma en la que aparecen nuevos seres vivos en nuestro planeta, las adaptaciones a sus ambientes particulares y la diversificación o extinción que pueden llegar a sufrir. Está compuesta por una serie de postulados que se centran en el hecho de que la vida evolucionó en la Tierra, y en que todos los organismos compartimos un ancestro común (Dupré, 2015).

De forma que hablar de evolución es hablar de cambio o transformación de los seres vivos a través del tiempo el cual se ve reflejado en dos fenómenos biológicos: la diversidad y la adaptación.

El carácter adaptativo de las estructuras, órganos y comportamiento de plantas y animales es algo incontrovertible. Sin embargo, aunque explicar el fenómeno de la adaptación es uno de los principales objetivos de la biología evolutiva (Ayala, 1970), es una gran simplificación asumir que las características de un organismo se desarrollan para adaptarlo mejor a su ambiente, como si la evolución consistiera en dar soluciones a problemas. Los organismos evolucionan en función de su relación ecológica con el medio (Barahona & Torrens, 2010). Visto así, la evolución no tiene una meta, un progreso inducido, una finalidad divina, ni un destino específico solo el mejoramiento continuo de los seres vivos a ambientes específicos, que además están en cambio constante. Esto desmitifica la divinidad del ser humano, es decir (Barahona & Torrens, 2010), echa abajo la idea de que los seres humanos somos el resultado final de una tendencia evolutiva progresiva. Los seres humanos, al igual que todas las demás especies, somos productos accidentales de un proceso histórico ciego y sin

dirección (Kingsland, 2004). Y también, nos ha permitido saber que las diferencias que existen entre las distintas poblaciones humanas son producto de la evolución y que todas son igual de “evolucionadas” (Barahona & Torrens, 2010). Esto resulta importante para nuestra posterior discusión acerca de las dificultades para representar los principales conceptos evolutivos. En este sentido haría falta agregar que Darwin no consideraba que la selección natural tuviera una dirección hacia el progreso de las especies, ya que para él, la selección natural carecía de finalidad. La supervivencia de los más aptos no implica necesariamente desarrollo progresivo puesto que la selección natural saca provecho de las variaciones a medida que surgen y que son beneficiosas para cada ser y actúa solamente en la variación presente y sin relación alguna con el futuro próximo o lejano de la especie. Otro punto importante que Darwin le agregó a la teoría evolutiva fue el concepto del árbol filogenético. Darwin hizo la analogía de que las ramas en la parte superior del árbol representaban las especies existentes en la actualidad. Luego, cuando se descendía por las ramas, se encontraban los caminos evolutivos que habrían transitado las especies actuales a partir de sus ancestros comunes. A medida que se seguía avanzado hacia la base del árbol se iban encontrando los primeros orígenes de la vida (Ruse, 2009), cosa que Darwin nunca intentó explicar.

2.2 Retos en la representación visual de la evolución

2.2.1 Un poco de historia

Para comprender los esfuerzos que se han desarrollado para visualizar el proceso evolutivo, debemos comenzar con una breve exposición sobre las clasificaciones del mundo natural, pues es en ellas que se engarza la representación que nos interesa.

Como civilización, el ser humano ha tenido la necesidad de clasificar y agrupar lo que le rodea. Esto ha implicado reconocer el universo biológico y describir sus similitudes y discontinuidades, y a la vez, que se descubran y establezcan unidades, principios y leyes. Los fundamentos que sirvieron a los taxónomos o naturalistas de antaño para proponer clasificaciones biológicas han variado a lo largo de la historia de la humanidad y de la ciencia (Llorente, 2002), ya que han ido

de la mano de creencias, religiones o cosmovisión (en el caso del hombre precientífico), o bien, de acuerdo con las concepciones de la especie y sus atributos, de las teorías acerca de la historia evolutiva de los organismos, del reconocimiento de patrones bióticos y de la necesidad de clasificar fenómenos, procesos, acontecimientos y características de los seres vivos, (en tiempos postlinneanos) (Llorente, 2002). Es importante recalcar, que no se pueden juzgar las clasificaciones que antes se tenían, ya que éstas estaban supeditadas a la cosmovisión del momento en el que se generaron.

Hoy en día no se clasifican las especies basándose en qué tanto se parecen morfológicamente o en qué tanto difieren en su conjunto de características, sino en función de las relaciones de ancestría-descendencia, cuyo resultado es que haya especies hermanas derivadas de una especie ancestral común (Llorente, 2002). Aunque hoy se sabe que la simple descripción científica no puede ser completamente “objetiva”, para la biología es primordial encontrar criterios racionales para agrupar ciertos individuos o procesos y distinguirlos de otros (Llorente, 2002). A continuación, se hablará brevemente sobre el cambio que han sufrido las clasificaciones de los seres vivos, pero principalmente, sobre cómo se han representado visualmente, puesto que esto ha tenido un impacto directo en la representación de la teoría evolutiva. Se pueden agrupar en tres grupos las tres principales metáforas que se han utilizado para representar la evolución de los seres vivos: series o cadenas, redes y árboles. Cada una de estas metáforas representa de distinta forma la evolución y cada una, dentro de su contexto, lo hace de manera correcta. A continuación, se describe brevemente cada una, primero se hablará sobre su origen y posteriormente de su uso en la actualidad.

2.2.2 La Gran Cadena del Ser

Posiblemente, la primera representación visual sobre la clasificación de los seres vivos fue la Gran Cadena del Ser. Dicha representación estaba enraizada en las reflexiones de Aristóteles y Platón, pero fue adaptada por los cristianos en la Edad Media y pensadores del Renacimiento. La Gran Cadena del Ser clasificó al mundo natural en una jerarquía estática que dilucidaba el carácter de Dios. La cadena no

era un conjunto desordenado de minerales, plantas y animales, sino una secuencia cuidadosamente ordenada de creciente complejidad y cercanía a Dios (Switek, 2013), que también agrupaba en algunos casos los elementos, como el agua, la tierra, el aire y el fuego.

Dicha cadena se representó de diferentes formas. Charles de Bouelles en su libro *Physicorum elementorum* (1512), acomodó la tierra, el agua, el aire y el fuego, en los primeros cuatro escalones de los veinticinco que él contempló, donde en el último escalón se encontraba Dios. Otro ejemplo, es la Gran Cadena del Ser, que se encuentra en el libro *Liber de ascensu et descensu intellectus* (escrito en 1307 y publicado en 1512), de Ramon Llull (Imagen 2.1). Llull, en ocho escalones acomoda toda la diversidad. En los primeros cinco, se encuentran las rocas, fuego, plantas, animales brutales y humanos, y Dios, se encuentra en el escalón número ocho (Ragan, 2009).

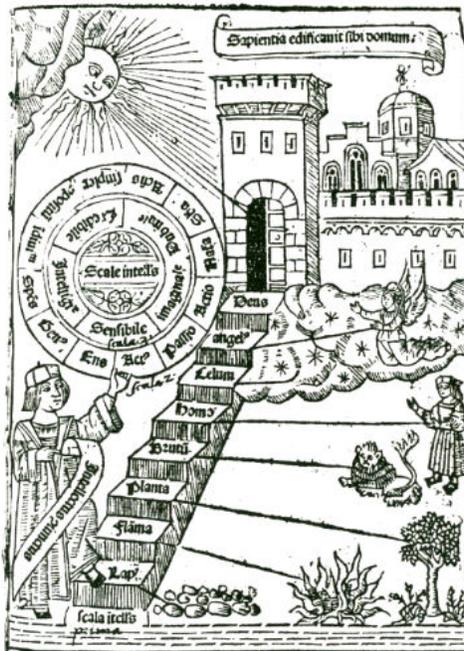


Imagen 2.1. Gran Cadena del Ser de Ramon Llull (1304). Representa jerárquicamente en ocho escalones la diversidad de la Tierra (tomada de Ragan, 2009).

A principios del siglo XIX, la Gran Cadena del Ser dejó de ser útil como concepto organizador. Los naturalistas catalogaban una diversidad tan amplia de especies que no todas podían clasificarse una encima de la otra (Switek, 2013). Aunado a esto, había organismos que los naturalistas no sabían cómo clasificar,

como los pólipos de coral ya que no sabían si eran animales, vegetales, minerales o alguna combinación de estos, por lo que no se podían acomodar fácilmente en la cadena. Asimismo, empezaron a surgir preguntas sobre la realidad de un progreso lineal desde los minerales hasta Dios. Algunos naturalistas, como Charles Bonnet, empezaron a cuestionar si los insectos y los moluscos debían de acomodarse como una rama lateral de la escala natural (Ragan, 2009). Otro argumento que ponía en duda la veracidad y utilidad de la Gran Cadena del Ser fue que se hacía cada vez más evidente que la continuidad, si la hubo, entre las plantas y animales, no se habría dado entre las plantas más perfectas (Mimosa para Charles Bonnet) con los animales menos perfectos, como las medusas, sino que el vínculo parecía hallarse entre las plantas más simples con los animales más simples, pero esto no producía una escala lineal sino una dicotomía (Ragan, 2009). Estas premisas, junto con las ideas que empezaron a surgir en el siglo XIX que cuestionaban el fijismo de la naturaleza, hizo que la Gran Cadena del Ser dejara de ser la principal representación de la clasificación del mundo orgánico.

2.2.3 Redes y árboles

“Así como a los estudiantes de geografía se les debe enseñar a leer mapas, también se les debe de enseñar a los estudiantes de biología a leer árboles y a entender que comunican”
-Robert O’Hara en Baum, Smith & Donovan 2005-

En el siglo XIX, las colecciones biológicas en Europa contaban con una gran cantidad de pieles, esqueletos, cráneos, órganos preservados, huesos, fósiles, diferentes especies de animales y plantas (muchas de ellas desconocidas hasta entonces) que necesitaban ser organizadas y clasificadas. Esto derivó en una gran preocupación para los naturalistas de la época e hizo que durante este siglo se intensificaran los esfuerzos por encontrar un método de clasificación de plantas y animales que reflejara mejor el orden de la naturaleza. Por ello, en esta época surgieron una gran cantidad de diagramas, cuyo propósito era lograr la mejor representación para clasificar los especímenes (Barahona & Torrens, 2010). Las iconografías más conocidas que surgieron de esta preocupación fueron las redes y

los árboles, pero no son las únicas. Antes de empezar a hablar de ellas, se explicará brevemente otro tipo de diagramas que se hicieron para clasificar y agrupar a las diferentes especies del planeta.

Las representaciones gráficas a las que se hace referencia en el párrafo anterior son los sistemas quinarios. Estos sistemas se basaban en la creencia de que los animales se podían clasificar en cinco grupos, cada uno subdividido en cinco subgrupos más (Imagen 2.2). Organizar los cinco subgrupos de cada clase en un solo círculo revelaba una serie de afinidades dentro de cada clase, y organizar los cinco grupos principales en un círculo más grande revelaba las afinidades existentes entre los grupos. Estos diagramas fueron criticados debido a que no explicaban cómo es que se daban esos patrones (Llorente, 2002; Ragan, 2009), sin embargo, los sistemas quinarios fueron adoptados por diferentes naturalistas, que lo hicieron de diferentes formas, algunos con sistemas de siete círculos o incluso de diez y no necesariamente con círculos, sino también con estrellas u otras figuras (Ragan, 2009).

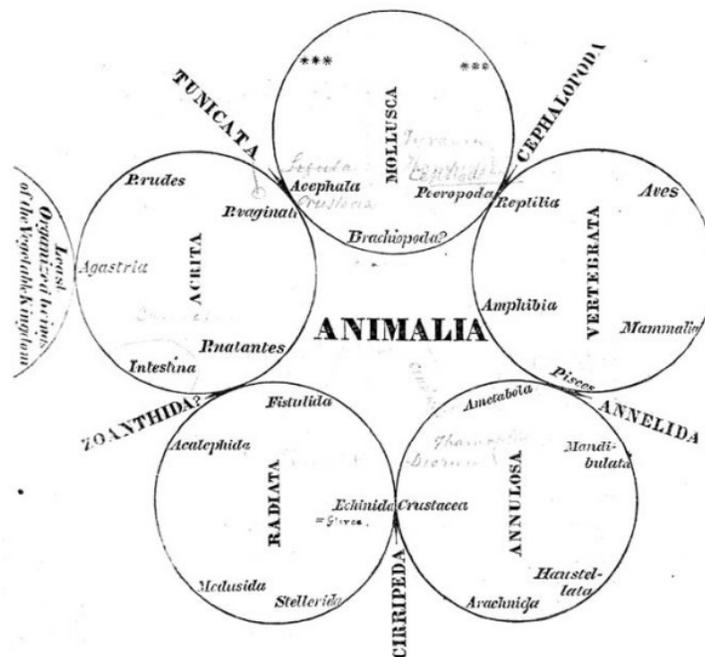


Imagen 2.2. Sistema quinario de los animales de William Sharp Macleay (1821). Sistema compuesto de cinco círculos, cada uno de ellos dividido en cinco subgrupos (tomada de Ragan, 2009).

Regresando a las redes y los árboles, estas dos metáforas surgieron casi al mismo tiempo. En el caso de las redes, podemos remontarnos a 1750 cuando Vitaliano Donati publicó *Della storia naturale marina dell'Adriatico*. En este libro, Donati buscó describir las afinidades que existían entre los organismos acuáticos. Donati intentó aplicar los mismos métodos que se utilizaban para clasificar a los organismos terrestres, su objetivo era comprender la historia natural de los organismos del mar, donde podía ser que las transiciones de plantas a animales se encontraran con mayor frecuencia. El resultado que obtuvo no fue una sola cadena, lo que encontró fueron una serie de progresiones uniformes y constantes las cuales se hallaban interconectadas, por lo que dichas progresiones tenían que visualizarse como una red en lugar de como una cadena (Ragan, 2009). El naturalista Gottfried Treviranus, en 1802, visualizó la naturaleza como un conjunto de miles de cadenas que estaban entrelazadas hasta en el eslabón más pequeño. Para Treviranus mientras que una cadena permitía describir una sola faceta de la organización, una red podía mostrar la organización completa de la naturaleza (Ragan, 2009).

Las redes de afinidades entre las plantas y entre los animales fueron representadas con gran detalle a finales del siglo XVIII y principios del siglo XIX. Un ejemplo notable es la *Tabula affinitatum regni vegetabilis* (1802) de August Johann Georg Carl Batsch (Imagen 2.3) (Ragan, 2009).

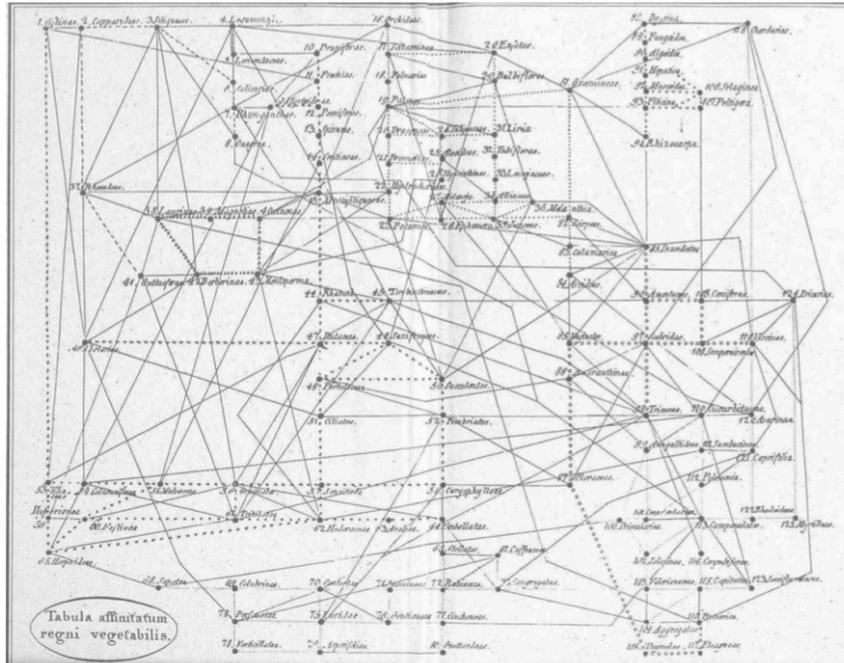


Imagen 2.3. Red de afinidades del reino vegetal publicada en el libro *Tabula affinitatum regni vegetabilis* (1802) de August Johann Georg Carl Batsch (tomada de Ragan, 2009).

Por otro lado, la figura del árbol como sistema de clasificación, se popularizó gracias a la teoría de la evolución de Darwin y, posteriormente, a la difusión que Haeckel le dio. Pero no fue Darwin el primero en utilizar la analogía de un árbol para representar las relaciones de similitud o afinidad que podían existir entre diferentes organismos.

Peter Simon Pallas, en su libro *Elenchus Zoophytorum* (1766), expresó que la gradación entre los organismos podía describirse mejor como un árbol ramificado, el cual, desde la raíz se dividía en dos grandes grupos, el de los animales y el de las plantas. Estos grupos crecían independientes y, en cada uno, iban apareciendo los diferentes grupos de organismos. En el caso de los animales, se podían encontrar desde los moluscos hasta los peces y anfibios, con grandes ramas laterales como la de los insectos. En la parte superior del árbol, se encontraban los cuadrúpedos junto con las aves en una rama lateral, igual de grande, pero debajo de ellos. Pallas argumentaba que los animales no eran continuos ni vecinos unos de otros, sino que permanecían cada uno en su propia rama, de la cual, únicamente salían pequeñas ramas pertenecientes a los géneros de cada grupo. No existían conexiones horizontales entre los principales grupos, por lo que se puede inferir que

no se trata de un árbol evolutivo sino de clasificación. No se sabe que Pallas haya bosquejado esta idea pero Edward Eichwald en 1829 dibujó un árbol basándose en sus descripciones (Imagen 2.4) (Ragan, 2009).

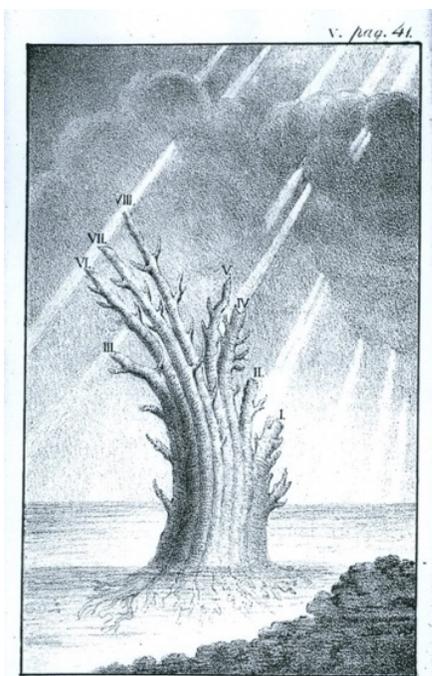


Imagen 2.4. Árbol de Edward Eichwald (1829) basado en la descripción que hizo Pallas en 1766 (tomada de Ragan, 2009).

Antes del dibujo de Eichwald, se publicó el que podría considerarse el primer diagrama literalmente con la forma de un árbol utilizado para clasificar a los seres vivos. Dicho árbol es el "*Arbre botanique*" (Imagen 2.5) de Agustin Augier el cuál venía dentro de su tratado sobre clasificación *Essai d'une Nouvelle Classification des Végétaux* (1801). Esta publicación tuvo muy poco éxito cuando fue publicada, pero en 1983 fue redescubierta y se le dio el valor que merecía y se inscribió en el linaje ancestral de los árboles evolutivos (Hellström, Philippe & André, 2017). Augier construyó su árbol botánico al tratar de consolidar dos grandes empresas en la botánica de su época: desarrollar un método práctico de clasificación e identificación de plantas, y que fuera una clasificación natural, es decir, que reflejara el orden natural inherente y respetará las *familles naturelles* (familias naturales) de las plantas, que se presumía que existían en la naturaleza, independientemente de la cognición humana. En el prefacio de su tratado, Augier describió cómo había intentado inicialmente organizar las familias naturales en una serie continua sin

éxito. La conclusión que sacó de esta experiencia fue que las plantas no estaban dispuestas en una sola serie, sino en varias series unidas en la base, lo que asemejaba un árbol genealógico, por lo que prefirió basarse en esa figura para explicar el orden y la gradación de las ramas, que formaban las clases y las familias de las plantas. Augier describió cómo las familias de plantas se organizaban en ramificaciones que marcaban las relaciones que mantenían entre sí, y al igual que en un árbol familiar, el tronco marcaba el origen de cada familia (Hellström, Philippe & André, 2017). Augier abrió nuevos horizontes al proponer un árbol para representar las relaciones entre las plantas y descartar la noción lineal de la escala natural, pero nunca consideró la posibilidad de que su imagen representara líneas de origen y descendencia (Torrens & Barahona, 2013).

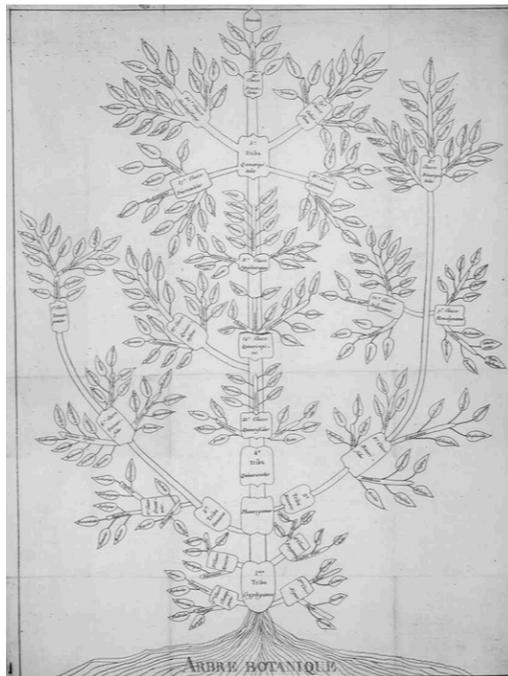


Imagen 2.5. Árbol de Agustín Augier, *Arbre botanique* (1801), es considerado el primer árbol que se publicó para clasificar a los seres vivos (tomada de Ragan, 2009).

Jean Baptiste Lamarck contribuyó también a la iconografía del árbol que hoy asociamos con la teoría de la evolución. El primer árbol que hizo apareció en su libro *Philosophie zoologique* (1809). Este árbol era muy sencillo y presentaba pocas ramas (Imagen 2.6). Años más tarde, en su libro *Histoire naturelle des animaux sans vertèbres* (1815) Lamarck presentó un segundo árbol el cual era un poco más complejo (Imagen 2.6) (Ragan, 2009). A pesar de que Lamarck intentó sustituir la

iconografía de la escala natural a través de una representación que implicaba descendencia ramificada no pudo evitar mantener la idea de progreso evolutivo (Llorente, 2002).

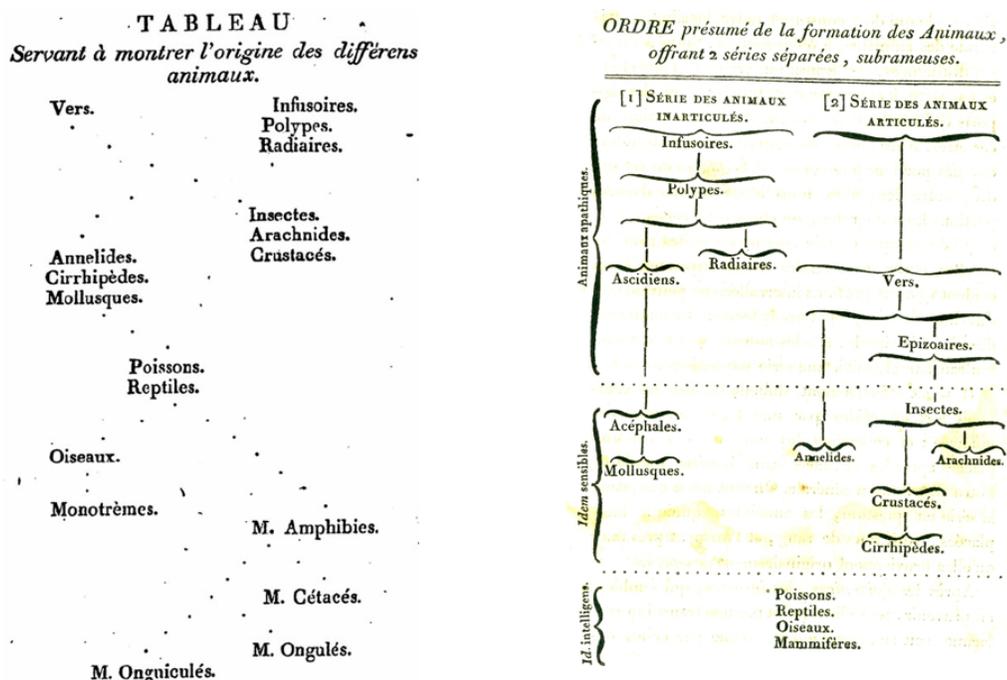


Imagen 2.6. Árboles de la vida realizados por Lamarck. A la izquierda el árbol que realizó en 1809 para su libro *Philosophie zoologique*. A la derecha el árbol que publicó en su libro *Histoire naturelle des animaux sans vertèbres* (1815) (tomadas de Ragan, 2009).

Otro prominente naturalista que contribuyó a esta iconografía, pero ya con tintes claramente evolutivos, fue Alfred Russel Wallace, quien estuvo buscando evidencia de la transmutación de especies en las expediciones que hizo en Brasil, entre 1849 y 1852, y en el archipiélago malayo, entre 1854 y 1862. Wallace notó que las conexiones entre los organismos eran tan intrincadas como el sistema vascular del cuerpo humano y que, para tener un verdadero sistema natural de clasificación, era necesario ordenar la naturaleza a manera de un tronco que tuviera ramas principales que permitieran mostrar la diversidad existente y las especies extintas (Ragan, 2009). En 1856 publicó un artículo en el que presentaba un árbol que representaba la relación existente entre dos grupos de aves (Imagen 2.7). En ese mismo artículo, explicaba el método que había utilizado para construir el árbol, argumentando que existía un eje principal a lo largo del cual se podían organizar muchos taxones con una serie de similitudes que se podían representar como

ramas secundarias a la izquierda y derecha del eje principal. Las características que utilizó Wallace para construir su árbol fueron la morfología y la forma de vida (características de reproducción, alimentación, fisiología y ecología); las longitudes de las ramas correspondían al grado de afinidad, y las brechas podían ocurrir en cualquier punto debido a la extinción de las familias (Ragan, 2009).

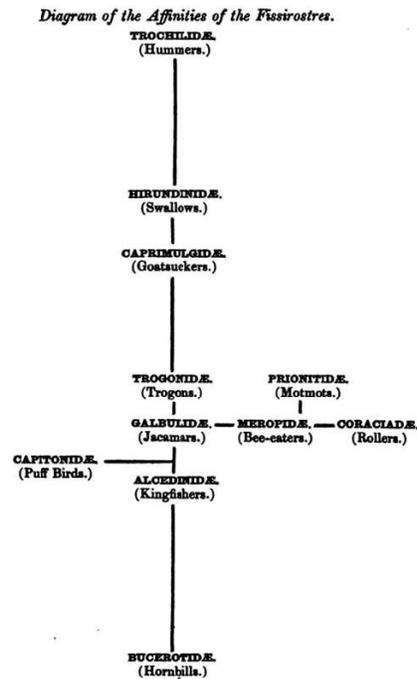


Imagen 2.7. Diagrama de árbol realizado por Wallace en 1856 el cual presenta las afinidades que existen entre dos grupos de aves (tomada de Ragan, 2009).

Sin embargo, es Darwin quien tiene el crédito de haber diseñado y desarrollado el primer árbol evolutivo que daría lugar a las futuras filogenias (los árboles que se realizaron antes únicamente buscaban mostrar afinidades entre los organismos). En su libro *El Origen de las Especies* (1859), presentó una sola imagen a la que Darwin hace referencia como el “diagrama” (Imagen 2.8). Esta imagen, aunque semeja la figura de un árbol, es muy diferente a los que se habían realizado con anterioridad. Darwin buscaba con su diagrama no solo explicar la idea de descendencia con modificación, sino también brindar una evidencia sólida de la teoría evolutiva (Brink-Roby, 2009). Le tomó más de diez páginas explicar el significado de su diagrama hipotético y abstracto, el cual no representaba especies reales, pero sí el proceso evolutivo. Diversos elementos entretreídos le permitieron

explicar muchas cosas. Mediante líneas horizontales numeradas; ramas que se ramifican más o dejaban de hacerlo; letras mayúsculas y minúsculas; líneas continuas y punteadas, explicó cómo actuaba la selección natural a través de las generaciones gracias a la acumulación de variaciones ventajosas y a la eliminación de las desfavorables, lo que permitía el cambio de las especies a través del tiempo; explicó también cómo esta divergencia podía eventualmente dar paso a la emergencia de nuevas especies; y de qué forma todas las especies estaban interrelacionadas (Torrens, 2018).

Utilizó la metáfora del árbol porque, como se mencionó anteriormente, ya había sido utilizada por otros naturalistas para expresar relaciones entre grupos de organismos, y también porque la figura del árbol ocupaba un lugar importante en la tradición iconográfica europea al utilizarse para representar diferentes tipos de relaciones: lingüísticas, genealógicas, lógicas, filosóficas, etcétera (Torrens & Barahona, 2013). El árbol que realizó Darwin ilustra la comprensión que tenía sobre la complejidad del proceso evolutivo, pues se trata de un dibujo abstracto, que no describe el destino de organismos o linajes específicos, sino un proceso de origen, divergencia y extinción de las especies, sin conducir necesariamente a una mayor diversidad y sin una dirección de crecimiento. Darwin explícitamente intentó que su árbol no tuviera una dirección y también se esmeró en que no fuera literalmente un árbol con un tronco y ramas, sino que fuera un diagrama de ramificación que ejemplificara sus ideas sobre descendencia con modificación (Clark, 2001).

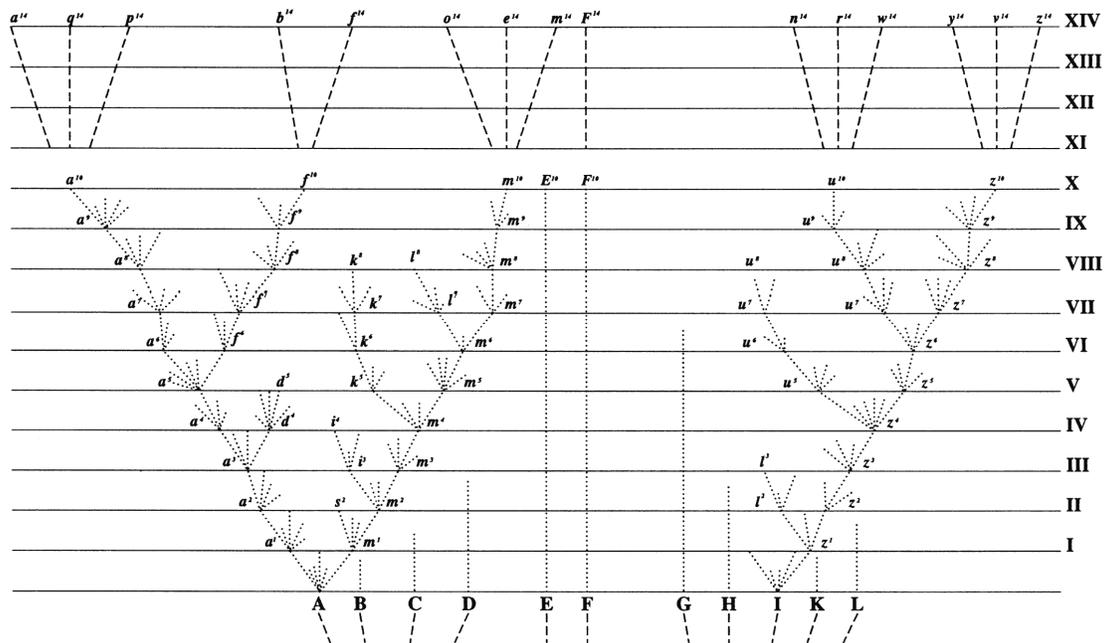


Imagen 2.8. Diagrama en forma de árbol utilizado por Darwin en su libro *El Origen de las Especies* (1859). Con este diagrama Darwin buscaba que se entendiera que la evolución no tenía una dirección predestinada (tomada de Ruse, 2009).

Después de la publicación de *El Origen*, la idea de que la genealogía podía dar cuenta de las similitudes y diferencias entre los organismos comenzó a cambiar la forma en la que los naturalistas veían el mundo. Estos se empeñaron en desarrollar diagramas que representara las relaciones evolutivas, lo cual causó que la investigación de las relaciones evolutivas entre los grupos de seres vivos se volviera una de las prácticas que dominaría gran parte de la investigación sobre el mundo orgánico durante las últimas décadas del siglo XIX (Torrens, 2018). En Alemania, la búsqueda de estos diagramas en forma de árbol experimentó un gran auge, propiciado principalmente por el famoso naturalista Ernst Haeckel.

Haeckel ayudó a que la iconografía del árbol se volviera la representación predilecta de la evolución. Darwin admitía que en la práctica no había ninguna representación de las genealogías de los seres vivos, ya que consideraba imposible reconstruir las líneas reales de descenso debido a la imperfección del registro fósil. Es debido a esto que su diagrama era un patrón de descendencia abstracto e hipotético que consiste en líneas rectas que se elevan desde varios puntos de origen en la base. Sin embargo, Haeckel se dedicó a construir genealogías reales de los

organismos. En sus tres libros principales dibujó numerosos árboles con verdadera corteza y ramas retorcidas, y colocó un organismo real en cada rama de sus copiosas arborescencias (Gould, 2011).

En 1866 publicó el primero de sus tres principales libros, *Generelle Morphologie der Organismen*. Este libro es un tratado de la evolución del mundo orgánico. El primer árbol que se muestra en el libro manifiesta su hipótesis sobre el origen de la vida y las relaciones genealógicas entre los grupos de organismos, el cual está dividido en tres porciones, cada una representando sus principales hipótesis del origen de la vida (Imagen 2.9). Dentro del mismo libro, Haeckel presentó árboles individuales para representar los *phyla* de los animales y las plantas (Torrens, 2018). En 1868 publicó el segundo de sus libros: *Natürliche Schöpfungsgeschichte*, conteniendo los mismos tipos de materiales que *Generelle Morphologie* pero diseñados para un público más amplio, en ellos utilizó una nueva invención pictórica de arbustos (Imagen 2.10) (Torrens, 2018). Algo que hay que destacar sobre la forma en la que Haeckel utilizó los árboles para representar el sistema natural, es que cuando representó toda la vida en conjunto dibujó árboles con múltiples ramas, pero cuando examinó la historia individual de ciertos organismos, el resultado de la representación fue una cadena lineal sin ramificaciones (Torrens, 2018), esto se puede apreciar en su tercer libro *Anthropogenie* (1874). En dicho libro, Haeckel abordó el tema del origen del hombre y su relación con otros primates y la naturaleza de las razas, y presentó la imagen de un árbol, que posteriormente se volvería una imagen emblemática de la evolución, la cual se utilizaría más adelante para representar dicho proceso. Dicha imagen es su *Systematischer Stammbaum des Menschen* (Genealogía del Hombre). La imagen no deja nada a la imaginación; ésta representa un roble europeo en la cual se pretende trazar la historia del desarrollo individual y paleontológico del hombre, es una cadena directa de los ancestros del hombre (Figura 2.11) (Torrens, 2018). En esta imagen, lo que Haeckel hizo fue experimentar con el origen del hombre, buscando mostrar la filogenia correspondiente al ser humano, en una cadena no ramificada y lineal, como lo hubiera hecho con cualquier otra especie. El problema fue que interpretaciones posteriores lo tomaron como una

filogenia completa, lo que derivó en su interpretación errónea. Esta imagen se utilizó como base para difundir la evolución de la vida en la Tierra lo cual condujo a que se viera como un proceso jerárquico y progresista (Torrens, 2018). El uso de árboles similares a *Genealogía del Hombre* hizo que hoy en día persistan entre los no especialistas dos ideas erróneas que impiden el entendimiento correcto del proceso evolutivo. La primera es la ausencia de un eje temporal, lo cual genera la idea de que la evolución culminó con la aparición del hombre, y la segunda es la noción de que la evolución tiene como objetivo el progreso de algunas formas, donde los grupos “inferiores” están posicionados cerca de la base del árbol y los grupos “superiores” cerca de la cima. Lo que en realidad representa un árbol evolutivo es la aparición de especies en el tiempo, por lo que aquellas especies que están en la base son las más antiguas, pero no por ello menos evolucionadas, numéricamente limitadas o inferiores. Aquellas especies en la cima son las sobrevivientes de linajes antiguos o de reciente aparición, pero no por ello ni mejores ni más evolucionadas. De modo que ninguna de las especies en la cima terminal de las ramas puede considerarse como la culminación de la evolución, puesto que todos los organismos actuales son igualmente modernos (Torrens, 2018).

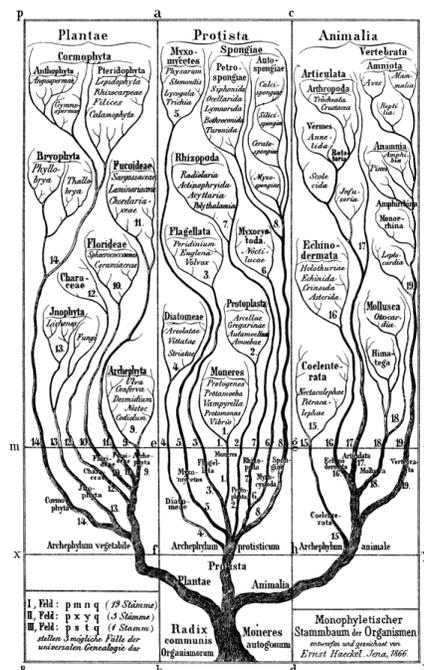


Imagen 2.9. Árbol publicado por Haeckel en 1866 en su libro *Generelle Morphologie des Organismen*. Representa sus tres hipótesis sobre el origen de la vida (tomada de Ragan, 2009).

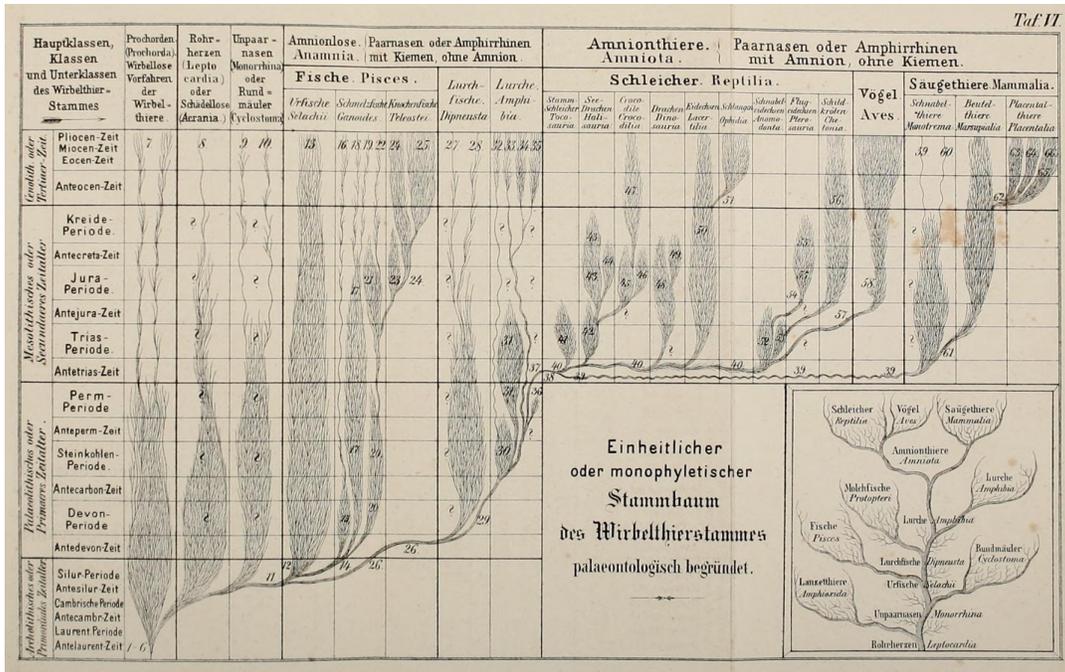


Imagen 2.10. Árbol publicado por Haeckel en 1868 en su libro *Natürliche Schöpfungsgeschichte*. Representa la genealogía de los animales (tomada de Torrens, 2018).

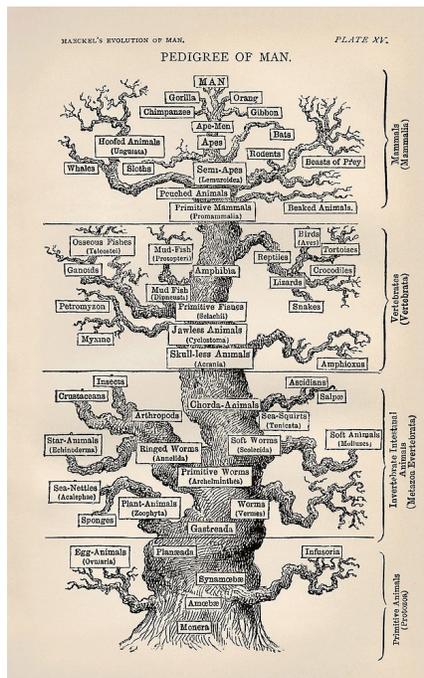


Imagen 2.11. *Systematischer Stammbaum des Menschen* (Genealogía del Hombre) publicada en *Anthropogenie*, 1874 (tomada de Torrens, 2018).

2.3. Series, redes y árboles evolutivos en la actualidad

2.3.1 La Marcha del Progreso

La Marcha del Progreso es probablemente la iconografía más conocida y reconocible sobre la representación de la evolución, que en última instancia es una serie (Imagen 2.12). Esta imagen apareció por primera vez en la colección *Time Life* en el volumen *Early Man* (1965). Desde su aparición, esta imagen ha sido frecuentemente utilizada en la cultura popular, tanto como publicidad, como burla, sátira o parodia (Tucker, 2012). Gran parte de la popularidad de esta imagen se debe, sin duda, a la forma inmediata y persuasiva en que transmite su mensaje: la evolución es progreso y el hombre moderno es el resultado (Shelley, 1996).

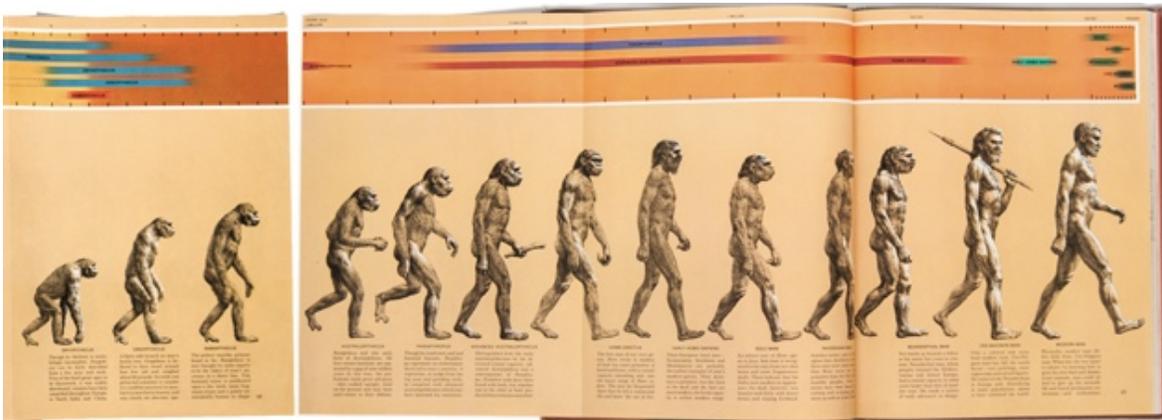


Imagen 2.12. Marcha del Progreso, dibujada por Rudolph Zallinger en 1965. Esta imagen muestra la evolución del hombre como un proceso lineal. La imagen ha sido sacada de su contexto y utilizada para muchos propósitos. La imagen original, en la parte superior, presenta una línea de tiempo en la que se puede observar que las diferentes especies que aparecen vivieron en el mismo periodo de tiempo, lo cual implica que no hubo un progreso lineal entre una especie y otra, sino que hubo una ramificación de descendencia (tomada de Howell, 1970).

La Marcha del Progreso es una imagen que se comprende en automático. Esto se debe a que presenta tanto un argumento retórico como uno demostrativo. Es demostrativo porque transmite un elemento real que es la evolución, pero al mismo tiempo es retórico porque genera una emoción en el espectador, la cual es la del progreso de la evolución con el hombre como su pináculo. El argumento demostrativo surge por los cambios que se pueden ver en cada uno de los actores de la imagen, mientras que el argumento retórico explica estos cambios como el resultado del progreso (Shelley, 2001). La imagen de la Marcha del Progreso se ha

sacado de todo contexto y esto ha llevado a un mal entendimiento de la teoría de la evolución.

Los argumentos demostrativos son los siguientes: cada figura se muestra mirando hacia el extremo derecho de la ilustración. Esta disposición recuerda mucho a los desfiles con sus implicaciones de movimiento intencionado sobre una ruta planificada. El hecho de que la mirada de cada individuo se dirige hacia adelante, hacia el individuo frente a él, respalda la conclusión de que cada figura puede ver la siguiente etapa en progreso hacia la cual se dirige. Sólo el Hombre de Cromañón se muestra mirando hacia un lado, lo que indica que ha alcanzado el objetivo anatómico (Shelley, 1996). La postura y la zancada son otro argumento importante, usar la misma postura para todas las figuras, refuerza la impresión de que forman un grupo coherente, en virtud de lo que los psicólogos Gestalt denominaron la Ley de la Similitud (Shelley, 1996). A medida que se observan las diferentes figuras de izquierda a derecha, se puede notar que la caja craneal se vuelve más alta y abovedada en apariencia, mientras que la mandíbula sobresale menos hacia adelante. La frente se vuelve gradualmente más vertical. Además, el oído tiende a desplazarse hacia atrás, lo que indica la adaptación de la anatomía homínida posterior a una columna vertebral completamente vertical (Shelley, 1996); es perceptible también el aumento general de la altura hacia la derecha. Aunque anatómicamente justificado, tiende a reforzar la conclusión de progreso, a lo que se le puede sumar que las últimas figuras pertenecen a un hombre caucásico. Del mismo modo, la reducción gradual en el pelaje del cuerpo y la apariencia recíproca de una barba moderna y el cabello recortado, indica que las figuras están experimentando algún cambio intencional en el físico (Shelley, 1996); otro atributo son las herramientas que tienen los diferentes actores de la marcha. Las primeras herramientas que se pueden observar son una piedra y un hueso o herramienta de madera. Más adelante, moviéndonos de izquierda a derecha, las herramientas progresan y podemos observar un arpón que descansa sobre el hombro del Hombre de Cromañón. El hombre moderno, en el extremo derecho, no lleva ninguna herramienta, pero su avance tecnológico está implícito por su corte de cabello y barba. Esta asociación sistemática entre evolución y tecnología implica fuertemente

que las dos formas de cambio operan de la misma manera, mediante un progreso continuo en el diseño. Por supuesto, ésta es una analogía falsa (Shelley, 1996).

La Marcha del Progreso es una de las imágenes más potentes en la iconografía científica. Sus argumentos retóricos y demostrativos son simples y fáciles de comprender y desempeñan un papel complementario al dar a entender que el cambio evolutivo significa progreso (Shelley, 1996). Diversos biólogos evolutivos se han esforzado en explicar que la evolución no implica progreso, pero esto es algo que no ha permeado al público lego. La fidelidad que le tenemos a este tipo de imágenes, al igual que a la escala natural y al cono de la diversidad², se puede deber a nuestras esperanzas de un universo de significado intrínseco definido en nuestros términos (Gould, 2011).

La evolución del humano no debe de representarse como una marcha lineal, el registro fósil nos permite saber que la evolución del *Homo sapiens*, no se dio como lo muestra la Marcha del Progreso. La historia evolutiva presenta una evidencia clara de divergencia en nuestra descendencia con modificación, que se hace evidente en el aumento del tamaño del cráneo a través del tiempo. Asimismo, gracias a la biología molecular, se han podido determinar las relaciones evolutivas que existen entre los diferentes fósiles de los antepasados de los humanos. La imagen 2.13 muestra cómo se podría representar más acertadamente la historia evolutiva del *Homo sapiens*. Es importante recalcar que esta forma de representación visual permite ver que la evolución del hombre no ha sido lineal, sino que ha seguido diferentes caminos, de los cuales, solamente uno presenta a la especie que vive actualmente (McHenry, 2009).

² El cono de la diversidad se refiere a la iconografía tradicional que tiene forma de pino invertido o embudo, la cual genera la idea de que la vida empieza con lo restringido y lo simple y progresa siempre hacia arriba, yendo a más y más e, implícitamente, a mejor y mejor. Esta iconografía se utiliza en los diagramas de árboles evolutivos en los cuales las ramas crecen siempre hacia arriba y hacia afuera. Si alguna rama se extingue pronto es reemplazada por otra e incluso la ramificación supera esa pérdida. El cono de la diversidad muestra la evolución como si el árbol estuviera creciendo dentro de un embudo, llenando siempre el cono de posibilidades que se expande continuamente. En esta interpretación convencional, el cono de la diversidad propaga una interesante combinación de significados. La dimensión horizontal muestra la diversidad. Pero ¿qué representa la dimensión vertical? En una lectura literal, arriba y abajo deberían registrar sólo los más antiguos y recientes en tiempo geológico: los organismos del cuello del embudo son más antiguos; los del borde, recientes. Pero también leemos el movimiento hacia arriba como paso de lo simple a lo complejo, o de primitivo a avanzado. (Gould, 2011).

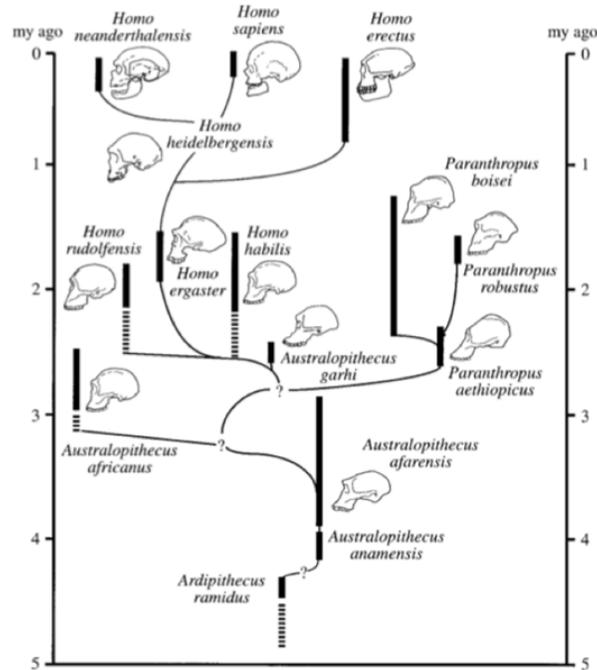


Imagen 2.13. Representación visual de la evolución del *Homo sapiens*. Muestra cómo la evolución se ha dado de forma ramificada y no de manera lineal (tomada de Klein, 2000).

La Marcha del Progreso no es la única iconografía de la familia de las series que representa la evolución como si fuera un proceso lineal que tiene una meta definida. La evolución del caballo y la del elefante han sido representadas de la misma forma.

Richard Owen, en 1860, descubrió el primer fósil parecido a un caballo, el *Hyracotherium*. Este fósil del ancestro del caballo moderno medía 50 centímetros de alto, se calcula que pesaba unos 23 kilogramos, tenía cuatro dedos en las patas delanteras y tres dedos en las patas traseras. Sus patas estaban adaptadas para caminar sobre los suelos blandos y húmedos. Sus dientes estaban adaptados para comer vegetación blanda. Hoy en día, el único género de caballos que vive (*Equus*) tiene un solo dedo en cada pata y está adaptado para correr en terreno duro, y ahora sus dientes están adaptados para pastar (Hall & Hallgrimsson, 2013).

En la década de 1870, los paleontólogos aprovecharon los fósiles que se habían encontrado en Norte América y Europa, para presentar un ejemplo de transición evolutiva (Hall & Hallgrimsson, 2013). Durante esos años, las ilustraciones del registro fósil de los caballos fueron las predilectas para ilustrar la evolución. Cuando Thomas Huxley recorrió Estados Unidos, visitó la colección de

fósiles de Othniel Marsh que tenía en Yale. Los caballos de Yale resultaron ser un ejemplo muy convincente de transición evolutiva, por lo que Huxley inmediatamente incluyó las ilustraciones de Marsh en las conferencias que dio durante su gira por Estados Unidos (Imagen 2.14) (Clark, 2001).

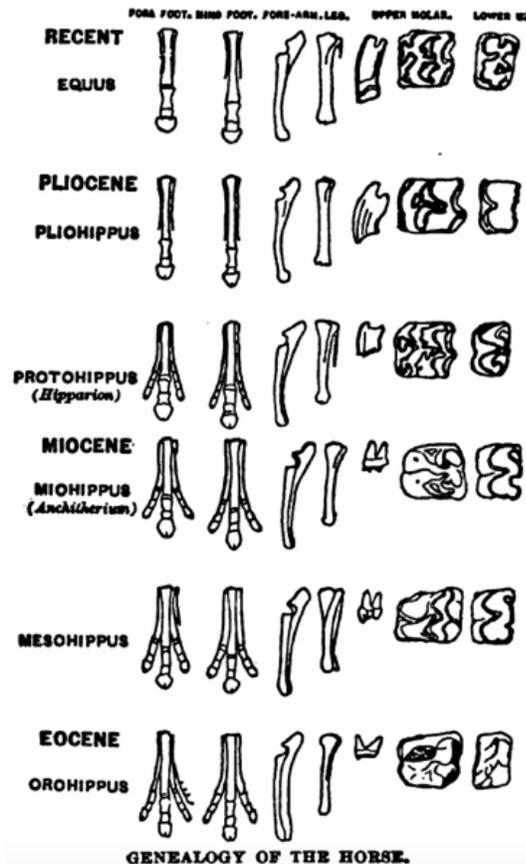


Imagen 2.14. Diagrama de Othniel Marsh que muestra la evolución de los dedos y los dientes de los caballos a lo largo del tiempo, fue incluido por Thomas Huxley en su libro (tomada de Huxley, 1876).

Como se puede observar en la figura, el registro fósil de los caballos está compuesto por una serie de especies que podrían considerarse ancestros y descendientes, por lo que Huxley argumentó que cada fósil demostraba el proceso de cambio que se dio a lo largo de un camino evolutivo lineal, que derivó en el género *Equus* que conocemos actualmente (Switek, 2013). Cabe mencionar que en aquel tiempo, algunas teorías evolucionistas, sobre todo sostenidas en Estados Unidos, eran ortogenéticas, lo que significa que asumían la tendencia de un organismo a desarrollar un determinado carácter previamente definido en su evolución. De ahí que las series evolutivas fueran tan empleadas.

Haciendo una crítica anacrónica pero pertinente para este trabajo, lo que es realmente cierto, es que la evolución del caballo ha sido un proceso de ramificación en el que varias especies y géneros vivieron uno junto al otro, algunos dejando descendientes y otros extinguiéndose (Switek, 2013). Por ello la iconografía de la serie del caballo, aunque al momento de su creación respondió al registro fósil conocido que daba la idea de linealidad, actualmente queda corta para comunicar la diversificación que realmente sufrió este linaje. La iconografía de la evolución del caballo ha sobresalido porque es relativamente fácil de representar, ya que su historia evolutiva ha tenido poco éxito. De todas las posibles ramas que derivaron de *Hyracotherium*, todas se han extinto menos una, la del género *Equus* (Gould, 1989). No existen iconografías de evolución lineal que representen la evolución de los organismos que realmente han triunfado evolutivamente (triunfado en el sentido de que han podido adaptarse a diversos ambientes), sería casi imposible poner como un proceso lineal la evolución de los murciélagos o los roedores, ya que su diversidad se explica gracias a la ramificación que ha existido durante su historia evolutiva (Gould, 1989).

2.3.2 Redes en la actualidad

Los estudios más recientes sobre filogenias muestran que no todas las filogenias se ajustan al modelo de descendencia vertical que da como resultado los árboles evolutivos que conocemos hoy en día. La reconstrucción de los genomas de los procariontes ha mostrado que éstos no se pueden conciliar parsimoniosamente con un patrón puramente vertical de transmisión genética y pérdida de genes, debido a que existe la transferencia horizontal de genes. En estos organismos, donde la historia de su genoma incluye componentes verticales (descendencia de padre-hijo) y laterales (transferencia horizontal de genes), la historia evolutiva debe de ser representada en forma de red (Imagen 2.15) (Ragan, 2009).

La visualización de la evolución en forma de red ha tomado fuerza en los últimos años, puesto que permite conceptualizar el proceso como un multigenoma enredado dentro del cual existen algunas localidades y regiones que pueden, en algunas escalas, ser en gran medida arborescentes (Ragan, 2009).

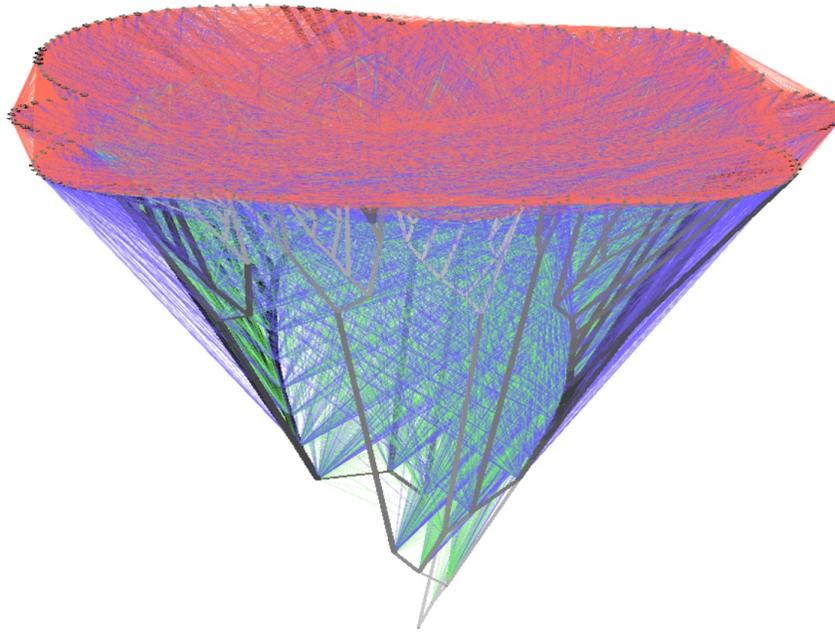


Imagen 2.15. Red que representa la herencia vertical y horizontal en procariontes (tomada de Ragan, 2009).

2.3.3 Árboles en la actualidad

Ahora bien, ya se describió sucintamente cuál ha sido la historia de los árboles en la clasificación de la vida, pero ¿cómo se representan hoy en día? Es importante recordar que fue Darwin quien indicó que las clasificaciones debían construirse con base en la ancestría-descendencia, es decir, basados en las relaciones de parentesco que existen entre las especies, pero no brindó el método para hacerlo. A partir de la publicación de *El Origen* y de los árboles que realizó Haeckel, los cuales proporcionaron una forma de naturalizar los argumentos de Darwin sobre la ascendencia común, los naturalistas, desde finales del siglo XIX, vieron la posibilidad de construir filogenias genuinas de los seres vivos. En varias partes del mundo empezaron a surgir métodos para reconstruirlas, pero no fue hasta la década de 1960, cuando Willi Hennig fundó la sistemática filogenética o cladismo, que hubo una metodología consistente para reconstruir las filogenias (Torrens, 2018). En la actualidad los diagramas ramificados de la biología evolutiva son conocidos como árboles filogenéticos³. Estos árboles se utilizan para conocer las relaciones de

³ Una filogenia es la historia de los eventos por los cuales especies o taxones han surgido sucesivamente de antepasados comunes (Futuyma & Kirkpatrick, 2017).

ancestría-descendencia que existen entre especies o taxones, pero también pueden mostrar información sobre cambios evolutivos en las características fenotípicas, genéticas y sobre las distribuciones geográficas (Futuyma & Kirkpatrick, 2017).

Los árboles filogenéticos tienen ciertas estructuras, el orden de ramificación define qué especies están más cerca y cuáles están más distantemente relacionadas. La cercanía de la relación no es lo mismo que la similitud, dos especies estrechamente relacionadas, pueden ser menos similares entre sí, que una especie más distantemente relacionada. Aunque ciertos aspectos de la similitud se pueden usar como datos para determinar las relaciones entre las especies, una filogenia describe la relación de ancestría-descendencia que existe entre dos especies, no la similitud (Futuyma & Kirkpatrick, 2017). La longitud de las ramas puede también brindar cierta información sobre la filogenia. Si el árbol solo transmite orden de ramificación, las longitudes relativas de las ramas no tienen importancia. Sin embargo, si el árbol está acompañado de una escala de tiempo, las posiciones de los puntos de ramificación indican cuándo ocurrieron eventos de especiación (Futuyma & Kirkpatrick, 2017).

Con respecto al método utilizado para construirlos y el tipo de información transmitida, los árboles evolutivos pueden ser cladogramas, cuando están compuestos por especies y eventos de especiación, y contruidos con base en análisis cladístico. Pueden ser filogramas, cuando presentan longitudes de ramas no iguales para transmitir el grado inferido de relación entre los grupos presentados. O pueden pertenecer a otros tipos de filogenias (no cladísticas), si incluyen diferentes componentes de la historia evolutiva de los organismos, como estimaciones de diversidad, enriquecimiento o agotamiento de especies, tiempo absoluto, relaciones biogeográficas y la dirección del cambio evolutivo, además de genealogía (Torrens & Barahona, 2012).

La forma que pueden llegar a tener estos árboles puede ser muy variada, ya que pueden tener diferentes formas, diseño y orientación (Imagen 2.16). Los árboles pueden estar orientados hacia arriba o hacia abajo, hacia la izquierda o hacia la derecha, dependiendo de la posición de la raíz o punto de origen. También pueden ser simétricos si el número de especies en cada lado de los nodos es el mismo, o

Capítulo 3

Muralismo en México y en los Institutos Tecnológicos de la Secretaría de Educación Pública

“Los espacios públicos, plazas, edificios, museos en México son realmente públicos, visitados y apropiados por todo tipo de personas, allí se consume la cultura con los ojos y los oídos. La historia y los mitos se transmiten por vía oral y visual. Lo oral recurre a los corridos, desde el punto de vista visual, los murales cumplen la misma función.”
-Collin 2003-

3.1 Muralismo mexicano

El muralismo mexicano es conocido y reconocido a nivel mundial, y sin duda caracteriza a México dentro del terreno de la plástica internacional. El muralismo no fue solamente arte, fue una forma de difundir y reproducir una visión de la historia de México (Collin, 2003), fue un arte de compromiso social que estuvo ligado a las luchas revolucionarias, cuyo objetivo fue tener una proyección pública. Es por esta razón que el muralismo es un arte sin precedentes dentro del siglo XX (García, 2010), el cual se basó principalmente en dos pilares: el primero, fue dejar constancia de la acción revolucionaria, desde sus antecedentes hasta su concretización y el triunfo del movimiento. El segundo, fue el de ser un arte comunicativo, un arte que sirviera para educar a las masas (García, 2010).

Comunicar a través de imágenes es algo que se hacía en México desde la época precolombina. Esta historia se remonta a las pinturas-murales y a los códices. Las primeras se utilizaron para decorar pirámides, avenidas y templos. Un ejemplo es el templo maya de Bonampak, el cual está decorado, en sus tres cámaras, con un mural que representa el triunfo de una batalla (García, 2010). Los códices fueron de gran importancia, ya que constituyeron testimonios pictóricos (imágenes) y pictográficos (escritos mediante dibujos), cuyo fin fue registrar acontecimientos y comunicarlos (Collin, 2003). El sistema pictográfico utilizado en los códices representó una enorme ventaja, ya que no dependían de un lenguaje único dentro de una sociedad multilingüe. Dentro del código, cada elemento (ícono, posición y tamaño) denotaba cierta información, lo cual permitía que no sólo se pudieran interpretar, sino que se pudieran leer (Collin, 2003).

Durante la colonia, la tradición de utilizar dibujos como medio de comunicación no se perdió, únicamente se cambiaron los materiales, los objetivos y los temas. Principalmente, durante esta época, surgieron dos formas de comunicación mediante dibujos: los históricos y los testerianos. Los históricos, se enfocaban en registrar la historia de una localidad o un señorío, y se remontaban casi invariablemente a los orígenes míticos y de los héroes fundadores. Los testerianos, estaban enfocados en la enseñanza de la doctrina cristiana, y al igual

que los murales del siglo XX, tenían un afán didáctico, el cual fue utilizado por los evangelizadores (Collin, 2003).

La creación del muralismo, como un arte colectivo y público, se constituyó, originalmente, como un espacio de recuperación del legado histórico de México, así como también un espacio de reflexión y comunicación acerca de sus herencias étnicas, tradicionales y culturales (Mandel, 2007). A lo anterior se le sumó lo sucedido en la revolución, fue por eso por lo que los muralistas mexicanos propusieron un arte público monumental al servicio de la revolución, que expresara un fuerte compromiso social. La apertura del gobierno mexicano brindó el marco institucional para la elaboración del proyecto muralista mexicano. La joven república, después de la revolución, buscaba un arte que fuera grandioso, que fuera capaz de conmover e impresionar a las masas (Mandel, 2007).

La revolución fue un parteaguas en la historia de México, fue una revuelta en la que hubo luchas, muertes, enfrentamientos entre líderes y contradicciones. Para transformar esta revuelta en una revolución, fue necesario una construcción ideológica, con su parte de verdad y con sus partes oscurecidas y silenciadas. La versión popular de la revolución, la versión mitificada, quedó plasmada en los murales (Collin, 2003). Los muralistas idealizaron a la sociedad precolombina, al tiempo que acentuaron los rasgos negativos y sombríos de los conquistadores y los misioneros. Asimismo, idealizaron al pueblo trabajador del siglo XX, que incluía a los campesinos, obreros, maestros e indígenas. A la vez, satanizaron a los herederos de los conquistadores, los criollos y los curas (Collin, 2003). El mestizo apareció como el prototipo del mexicano, hijo de la revolución y heredero de las culturas prehispánicas y del proceso colonial. Se representó un pueblo que intentaba emerger de la independencia pero que era opacado por el criollo que se había apropiado de México, pero que finalmente obtenía el papel protagónico en la revolución. El relato mitificado en los murales presentó al mestizo como el símbolo de una nueva identidad. Las dos herencias de los mexicanos, la india y europea, aparecieron resimbolizadas en el mestizo (Collin, 2003). Los murales de la revolución presentan un discurso radicalmente anticlerical y piadosamente nacionalista, donde la revolución aparece como dadora de bienes, tales como la

tierra, la escuela, la constitución y la justicia social (Collin, 2003). Los muralistas buscaron un arte de índole monumental y público, rechazando el arte elitista y burgués (Mandel, 2007).

Ahora bien, los dibujos como medio de comunicación tienen un origen antiguo en México, pero el muralismo como corriente artística tiene su origen en las vanguardias artísticas europeas. El movimiento muralista, desde el punto de vista artístico, tiene características propias e inconfundibles, ocupa un lugar único dentro de la historia del arte del siglo XX. El muralismo es consecuencia de los movimientos artísticos europeos de comienzos del siglo XX, pero al mismo tiempo, es una contradicción a ellos (Paz, 1987). La pintura mural es el resultado del cambio en la conciencia social, que se dio por la revolución mexicana, junto con el cambio de conciencia estética, que surgió por la revolución artística europea del siglo XX (Paz, 1987). La revolución descubrió al pueblo mexicano y a sus artes tradicionales, sin embargo, lo esencial del movimiento muralista, fue la capacidad que tuvieron un grupo de artistas de ver con otros ojos la realidad. Para un artista del México poscolonial del siglo XIX, no hubiera sido sencillo percatarse de la herencia artística precolombina, ni de la riqueza y originalidad del arte popular. Sin embargo, el arte moderno europeo, mostró que se tenían que ver y adoptar las artes y las tradiciones de otros pueblo y civilizaciones. Los artistas de occidente tomaron los estilos y visiones de los no-occidentales, esta enseñanza fue la que permitió que los artistas mexicanos pudieran comprender la tradición indígena mexicana (Paz, 1987). Ahora bien, los artistas mexicanos se inspiraron en el arte europeo, tanto en las vanguardias artísticas como en el *Trecento* y el *Cuattrocento* italiano. El cubismo, fovismo, futurismo y expresionismo, fueron adaptadas a las nuevas características estético-formales-compositivas que daban vida a los murales. Con el paso del tiempo, fueron surgiendo características únicas en el modo de componer estas obras, algunas de éstas son, la monumentalidad, la exageración de miembros en las figuras humanas, los escorzos pronunciados y la poliangularidad (Pagnone, 2015).

El muralismo mexicano muestra afinidad con dos grandes movimientos artísticos europeos: el fovismo y el expresionismo. El primero, fue francés y

mediterráneo; el segundo, alemán, flamenco y nórdico. Ambos movimientos aparecieron en 1905, curiosamente son similares, pero al mismo tiempo, se contradicen. El fovismo es un arte dinámico, sensual, luminoso y lleno de sensaciones. El expresionismo es dinámico, pero subjetivo; no busca reconciliarse con las fuerzas naturales como el fovismo. Para el expresionismo, la realidad es una fuente de horrores, mientras que para el fovismo, es una fuente de maravillas (Paz, 1987). Los artistas mexicanos conocieron estas dos corrientes artísticas, las asimilaron y las adoptaron con mucho talento, y con un toque personal. Del expresionismo destaca Orozco y Siqueiros, Rivera está más relacionado con el fovismo (Paz, 1987). Hay similitudes y diferencias entre el expresionismo europeo y el muralismo mexicano, la primera de ellas radica en la subjetividad de la realidad, para el expresionismo existe un asunto de sensibilidad, mientras que, para el muralismo, además de ser algo emocional y psicológico, es también ideológico. El expresionismo fue pesimista, el muralismo optimista; el expresionismo fue un arte contra la sociedad y el estado, el muralismo fue un arte de un estado nacionalista, en el cual sus obras más características fueron pintadas en muros de edificios pertenecientes al gobierno. El expresionismo y el muralismo siguen caminos que se cruzan pero que se dirigen hacia direcciones opuestas (Paz, 1987).

En cuanto a la implementación de este movimiento, se puede considerar que José Vasconcelos fue quien propició el muralismo en México. Siendo Secretario de Educación Pública, durante el gobierno de Álvaro Obregón, auspició y promovió un nacionalismo cultural a través de las artes (Ocampo, 2005). Vasconcelos se basó en la idea del arte público, un arte al alcance del pueblo, un arte inspirado en Bizancio y en el primer Renacimiento. Vasconcelos les pidió a los artistas que pintaran en los muros de los edificios del gobierno, una identidad nacional alrededor de la historia de México, de los indígenas, del mestizo y de la revolución. Vasconcelos creía en la misión del arte por lo que no restringió a los artistas a ningún dogma estético ni ideológico (Ocampo, 2005; Paz, 1987). La misión de Vasconcelos no se limitó al arte mural, impulsó campañas de alfabetización, creó escuelas y bibliotecas, y estimuló la publicación de revistas y periódicos (Collin, 2003). El movimiento muralista decayó con la salida de Vasconcelos de la Secretaría de

Educación Pública, pero no desapareció. El muralismo renació con el gobierno de Lázaro Cárdenas, quien inauguró una nueva etapa de tolerancia y estímulos hacia los muralistas. Con Cárdenas y sus coqueteos socialistas, la pintura mural encontró espacios en las escuelas primarias, sindicatos y confederaciones, lo cual permitió que hubiera un mayor contacto con el público en general y también abrió el muralismo a un círculo mayor de pintores (Collin, 2003).

Uno de los primeros edificios que fue decorado con murales fue el Antiguo Colegio de San Ildefonso, que albergaba la Escuela Nacional Preparatoria. En 1922, Diego Rivera, José Clemente Orozco y David Alfaro Siqueiros, junto con otros artistas, recibieron la tarea de decorar los muros de dicho edificio. Ideologías y técnicas diferentes plasmaron una plural iconografía con un interesante repertorio temático (García, 2010). Durante los primeros años del movimiento, la pintura mural no tuvo la uniforme coloración ideológica que tendría después y que terminaría rectificándola en una retórica de lugares comunes y revolucionarios. En los primeros años la pintura mural mostraba temas populares y religiosos, fueron Siqueiros y Rivera, quienes ayudaron a que se convirtiera en un arte ideológico (Paz, 1987).

Aunque los sucesores de Vasconcelos no compartían sus ideas, se percataron de la utilidad que tenía este movimiento artístico, por lo que continuaron promovándolo. El joven Estado revolucionario necesitaba una consagración cultural, fue de esta forma que se convirtió en un arte oficial (Paz, 1987). El Hospicio Cabañas, en Guadalajara y la Escuela Nacional de Agricultura de Chapingo, en el Estado de México, fueron edificios seleccionados para que continuara el proyecto del muralismo nacional. Durante estos años, Rivera y Orozco, comienzan a inclinarse por profundizar sobre la historia y la revolución de México (García, 2010). A partir de ese momento, la creación de murales en diferentes recintos públicos tuvo un impacto importante, tanto por la necesidad de hacer prevalecer los valores revolucionarios, como por mantener una ideología artística, lo cual generó que el movimiento alcanzara su momento cumbre. Aunado a esto, el sector privado, como bancos y hoteles, comenzaron a contratar a diferentes artistas para que decoraran sus edificios con murales. De esta forma, poco a poco, empezó a haber una modificación en el contenido de las obras. Algunos artistas empezaron a omitir

aspectos de la revolución para abordar temas más generales. Sin embargo, es importante recalcar que prevaleció la intención de mostrar un compromiso social y político, y que se mantuvo la intención del arte popular, el pasado indígena y lo mexicano (Museo del Palacio de Bellas Artes, s.f.).

Para 1940, los principales muralistas habían ya producido la parte medular de su obra, y para 1950, empezaban a perder terreno frente a otras manifestaciones artísticas, aún así, hubo una gran producción de murales hasta 1954. Durante esos años, el muralismo había devenido en un arte decorativo y retórico (Pereira, 1997), y los contenidos empezaron a reflejar el rumbo que tomó el país con el auge industrial y las aspiraciones de progreso y modernidad (Museo del Palacio de Bellas Artes, s.f.). A principios de la década de 1950, una nueva corriente artística comenzó a gestarse (Generación de la Ruptura). Su principal impulsor fue Rufino Tamayo, quien impulsaba la tesis de que el arte revolucionario no radicaba en los contenidos sino en las formas de expresión. Tamayo fue respaldado por un nutrido grupo de pintores, y fue gracias a ellos que se revaloró la obra de artistas como Gunther Gerzso y Leonora Carrington (Pereira, 1997).

En la actualidad, se puede considerar que hay cuatro modalidades de muralismo, de arte ligado al público en general. La primera, es el muralismo clásico o histórico, el cual está patrocinado por el Estado y se realiza en espacios del gobierno. Es un arte público, pero al mismo tiempo privado, ya que los sitios donde se realiza son elegidos por el benefactor. Este muralismo es muy similar al que se dio en 1920, sólo que el patrocinio por parte del Estado se redujo. Esta modalidad es la que más nos interesa para este trabajo, ya que más adelante se abordará el tema de los murales que se encuentran en los Institutos Tecnológicos de la Secretaría de Educación Pública. La segunda, es el muralismo que han realizado artistas en espacios que son otorgados por ellos mismos o por la población. Por lo general, este tipo de muralismo busca reciclar el espacio y está mucho más cercano a la población debido a que la incluye en la realización de la obra y en el debate sobre el tema. La tercera, es un muralismo de nueva generación, el cual es realizado

por grafiteros, los cuales han pasado del tag⁴ a trazar figuras, personajes, paisajes, etc., convirtiendo el graffiti en arte mural. Este arte utiliza símbolos populares, nuevas formas de lenguaje visual y símbolos de la cultura popular (Guadarrama, 2013). La cuarta y última modalidad, implica nuevas tecnologías, lo que se busca es intervenir obras ya existentes o hacer nuevas propuestas, las cuales se engloban dentro del concepto de arte público. Un ejemplo de esto es lo que realizó Antoni Muntadas en el 2004, cuando intervino el mural *Sueño de una tarde dominical en la Alameda Central*, de Diego Rivera. Lo que hizo Muntadas, fue resaltar la censura de la que fue objeto este mural por la frase “Dios no existe”, colocada en las manos de Ignacio Ramírez “El Nigromante”. Muntadas dibujó las siluetas de los personajes que aparecen en el mural sobre un periódico mural formado con noticias de los periódicos de la época (Guadarrama, 2013).

El muralismo actual y las diferentes formas de arte público deben continuar como un medio de comunicación popular, sus representaciones deben ser figurativas y su lenguaje claro, comprensible para todos los estratos de la población, pero sobre todo correcto (Guadarrama, 2013).

3.2 Muralismo con aspectos biológicos

Los principales artistas que promovieron el muralismo en México fueron Diego Rivera, David Alfaro Siqueiros y José Clemente Orozco. De cada uno de ellos se podrían escribir un sin fin de párrafos que hablen sobre los aportes que dieron al arte mural, pero para este trabajo se hablará brevemente sobre Diego Rivera, debido a que realizó varios murales con temas relacionados con la biología y la evolución. Rivera (1886-1957), nació en Guanajuato, y a los 10 años de edad ingresó a la Escuela Nacional de Bellas Artes (antes Academia de San Carlos). En 1907 fue becado por el gobernador del Estado de Veracruz para continuar sus estudios en Europa. Estando allá formó parte del movimiento cubista, se dejó influir por la pintura de Paul Cézanne, Amadeo Modigliani y los futuristas rusos (Museo del Palacio de Bellas Artes, s.f.). Regresó a México en 1921 para colaborar con el

⁴ El tag consiste en la firma que utiliza un grafitero para firmar sus graffitis o para dejar su marca en algún muro.

proyecto mural de Vasconcelos, su primer mural lo realizó en el Antiguo Colegio de San Ildefonso, el mural fue titulado “La Creación”, el cual no presenta los postulados revolucionarios, sino que abunda más en un terreno filosófico y esotérico (García, 2010). Fue en la Secretaría de Educación Pública en donde planteó el mensaje popular inspirado en la revolución y en la historia de México. Pintó 124 frescos, equivalentes a 1,585 metros cuadrados, en los cuales retrató la vida del pueblo, su trabajo, sus fiestas y los antecedentes, causas, anhelos y logros de la revolución mexicana (García, 2010). La pintura de Rivera se caracteriza por el movimiento de las figuras indígenas y la fuerza de sus formas, en las cuales, se percibe la vitalidad de América. Se interesó por los problemas de la Historia de México, desde la época precolombina hasta la revolución mexicana. Representó la vida cotidiana en México, la sociedad azteca, la crueldad de los españoles durante la conquista y la humillación que sufrieron los indígenas. Con el mensaje social revolucionario, buscó afirmar la identidad del pueblo mexicano indígena y la inautenticidad de la influencia europea y norteamericana (Ocampo, 2005).

Rivera trató el tema de la vida y la muerte constantemente en sus murales. En nueve de ellos abordó temas relacionados con la biología. Sus obras, que tienen aspectos de esta ciencia, se pueden ver en el Antiguo Colegio de San Ildefonso, en su mural *La Creación*; en la Secretaría de Educación Pública, en una grisalla llamada *La Operación*, que representa una intervención quirúrgica; en la capilla Riveriana de la Escuela Nacional de Agricultura de Chapingo, pintó una serie de frescos que aluden a la fecundidad de la tierra a través de la mujer; en la Sala de Acuerdos de la Secretaría de Salubridad y Asistencia, entre 1929y 1930, desarrolló el tema de la salud a través de dos paños que presentan cuatro manos que detienen las infecciones provocadas por diversas enfermedades, amparadas por letreros que orientan hacia la salud por medio de la higiene, la profilaxis, la educación y la salubridad. Incluyó la palabra “microbiología”, refiriéndose a que ésta es la ciencia que hace posible estudiar los microorganismos que dañan la salud y agregó diferentes bacterias en cada uno de los paños; decoró el Instituto Nacional de Cardiología, a través de una composición en espiral que marca el continuo ascenso de los descubrimientos científicos y, representó también, la evolución de la

cardiología; en el Palacio Nacional, homenajeó la herbolaria de la época precolombina; decoró también el Hospital General del Centro Médico del Instituto Mexicano del Seguro Social “La Raza” con un mural que muestra la historia de la medicina en México. Lo mencionado corresponde a los murales que tienen cierta relación con la biología, pero hay dos trabajos a los cuales vale la pena prestar más atención, ya que contienen aspectos que están relacionados con el tema de la evolución biológica (Villagómez, 1997).

El primero de ellos es “El hombre controlador del universo” (Imagen 3.1). Para pintar este mural, Rivera le presentó una solicitud al gobierno mexicano para que le concedieran un sitio en el cual pudiera realizar su obra, debido a que el mural que había hecho en el Rockefeller Center de Nueva York había sido destruido, ya que contenía un mensaje político que iba en contra de la política de la familia Rockefeller. El gobierno de México, en 1934, le concedió un muro en el Palacio de Bellas Artes para que pudiera hacer su mural, en el cual retomó muchos de los motivos que había dibujado para el Rockefeller Center (Paquette, 2007).



Imagen 3.1. Mural El hombre controlador del universo (1934). Mural pintado en el Palacio de Bellas Artes (tomada de Museo del Palacio de Bellas Artes, s.f.).

El mural tiene un contenido abiertamente político, Rivera escogió un obrero industrial para representar a la humanidad, el cual está vestido de forma sencilla, con una camisa de algodón y un overol. El mural está hecho de tal forma que el obrero es el elemento central de la obra. La cabeza, manos, brazos y hombros están situados en el centro, en el punto de intersección de dos grandes elipses, una de

ellas con una imagen telescópica del sol, la luna y una nebulosa; la otra, con una vista microscópica de organismos celulares. Con una palanca y un panel de control, el obrero maneja una enorme maquinaria que le permite controlar el sistema de riego que abastece a las cosechas que se encuentran debajo de él, para que crezcan y resulten productivas. Asimismo, con dedos de grandes dimensiones, sujeta una esfera con una perspectiva panorámica de partículas atómicas. Lo que se puede interpretar, es que es un trabajador que, a través de una amplia variedad de aparatos tecnológicos, mantiene los ámbitos de la ciencia, la medicina, la agricultura y la industria, además de dominar las unidades básicas de materia y energía, tal y como lo indica el título del mural, ese hombre controla el universo (Paquette, 2007). La expresión que muestra el trabajador es muy sombría, lo que sugiere que está enfrentándose a una decisión compleja. Rivera representó dos sistemas sociales muy diferentes, el de Estados Unidos y el de la Unión Soviética. A la izquierda representó el del primer país ilustrando tres viñetas: una escena bélica con tanques, aviones y soldados; una imagen de policía a caballo golpeando a civiles que se encuentran en una manifestación; y un retrato de John D. Rockefeller Jr., junto con otras personas que están bebiendo y apostando. En el lado derecho representó a la sociedad de la Unión Soviética: un soldado y dos obreros uniendo las manos con Lenin; obreros de ambos sexos realizando una asamblea pacífica en la Plaza Roja, con el Kremlin y la tumba de Lenin tras ellos; y unas ágiles figuras femeninas participando en una carrera. Las escenas que dibujó Rivera a cada lado del obrero hacen suponer que el obrero tiene que tomar una elección, sin embargo, la disposición simétrica de las escenas, la profundidad y densidad de éstas, pone de manifiesto que el trabajador aún no se ha decidido por una de ellas. El mural constituye un reflejo de los debates económicos, políticos y sociales de la época, y en especial, de los relacionados con la clase trabajadora (Paquette, 2007).

La sección izquierda del mural representa una crítica al mundo capitalista, mientras que la derecha presenta una visión idealizada del mundo socialista. En el sector capitalista, la elipse que representa la parte microscópica contiene células enfermas, símbolo de la decadencia de este sistema, la elipse microscópica del lado socialista muestra células sanas que aluden a la génesis de la vida (Museo del

Palacio de Bellas Artes, s.f.). En la parte inferior del mural, se presentan estratos geológicos en los que pueden observarse fósiles como trilobites, conchas, peces, un alce y un dinosaurio (Villagómez, 1997). En el extremo izquierdo Rivera dibujó a Charles Darwin, este personaje evoca el planteamiento de la evolución de las especies en paralelo a la evolución social del hombre (Imagen 3.2) (Paquette, 2007). Darwin está recargado sobre una regla y señala hacia ella como si apuntara hacia su teoría. Rivera dibujó una serie continua que va de la vida en el agua, pasando por equinodermos, crustáceos, peces, anfibios, reptiles y mamíferos, estos últimos, representados por un primate que se encuentra a un costado de la cadena, el cual está ayudando a ponerse de pie a un niño.



Imagen 3.2. Sección del mural El hombre controlador del universo en la que aparece Darwin quien hace alusión a la teoría de la evolución (foto del autor).

El segundo mural que representa el tema de la evolución es “El agua, origen de la vida” (Imagen 3.3). Para entender mejor este mural y por qué fue pintado en el actual Museo Cárcamo de Dolores, debemos conocer el contexto por el cual atravesaba el muralismo en la década de 1950. Durante esos años, el muralismo atravesaba un proceso conceptual, en el que se buscaba existiera un equilibrio entre la arquitectura y el arte mural. Muchas de las obras plasmadas en las décadas anteriores, se habían realizado de manera aleatoria en diferentes edificios, lo cual derivó en una falta de unidad armónica entre el mural y la arquitectura del edificio (Coronel, 2007). Muchos murales se pintaron en venerables edificios de los siglos XVII y XVIII, lo cual, para algunos críticos del muralismo, fue una intrusión a la arquitectura de dichos edificios, “¿qué tiene que ver el Colegio de San Ildefonso, obra maestra de la arquitectura novohispana, con los frescos que pintó allí Orozco?” (Paz, 1987 p. 246). Fue debido a eso que, durante estos años, la idea central de los artistas y arquitectos se enfocó en buscar que el proceso constructivo del edificio se realizara a la par de las obras plásticas que lo decorarían, para que se llegara a un equilibrio entre las dos artes. A esto se le conoció como “integración plástica”. El mural “El Origen de la vida”, que es conocido popularmente como “Caja del Cárcamo del río Lerma”, se inauguró en 1951, en la Tercera Sección del Bosque de Chapultepec, y es un ejemplo de integración plástica, ya que la arquitectura del lugar está relacionada con la decoración artística. Los murales que realizó Rivera, principalmente, estarían sumergidos bajo el agua, ya que decorarían una caja, la cual recolectaría los caudales del sistema de saneamiento y distribución del río Lerma y Santiago, es por ello, que Rivera decidió plasmar el origen de la vida (Coronel, 2007). Que Rivera se decidiera por representar este tema no fue casualidad, desde pequeño estuvo interesado en los laboratorios, y durante su paso por la Escuela Nacional de Bellas Artes, desarrolló un marcado interés en los métodos naturalistas y anatómicos que le fueron enseñados. Durante esos años de estudio se le asignaron un par de libros que lo acompañaron siempre: *Morfología general de los organismos* de Ernst Haeckel y *La Creación. Historia Natural* de Alfred Brehm. Estos textos le brindaron la iconografía necesaria para dibujar todo el

piso de la caja del cárcamo, de ellos tomó también gran parte de la flora y fauna que empleó en el resto de los murales (Coronel, 2007).



Imagen 3.3. Mural El agua, origen de la vida (1951). Mural que se encuentra en el actual Museo Cárcamo de Dolores (tomada de Museo de Historia Natural, s.f.).

El mural plantea el origen de la vida en el medio acuático, el piso del cárcamo está cubierto por microorganismos, el círculo central representa una mira microscópica donde se observa el momento en que la materia entra en contacto con la electricidad, formando así los primeros compuestos orgánicos que desembocan en las primeras formas de vida; a lo largo de todo el piso del mural se pueden identificar una gran variedad de especies que representan la evolución de los seres vivos (Museo de Historia Natural, s.f.) (Imagen 3.4). En el lateral derecho, Rivera dibujó un desnudo femenino (Imagen 3.5), que representa la raza asiática, en el vientre de la mujer se está gestando un embrión y dos anguilas delimitan su abdomen. Está rodeada de peces, anfibios, reptiles, crustáceos y grandes óvulos que presentan división cromosómica. En el lateral izquierdo dibujó un desnudo masculino (Imagen

3.6), que representa a la raza africana y detrás de su cabeza bosquejó un australopiteco. Rivera tenía la idea de que estas dos razas fueron la base para el resto, las cuales surgieron por mestizaje. En la desembocadura, en el túnel que se lleva el agua, pintó un par de manos que ofrecen el agua a la ciudad. Las manos representan, por un lado, el esfuerzo intelectual y tecnológico de los ingenieros y arquitectos que proyectaron el túnel, y por el otro, el sacrificio y la entrega de los trabajadores que lo hicieron posible (Villagómez, 1997). En este mural, Rivera se concentró en la representación plástica de las diferentes formas de vida, de los primeros microorganismos coacervados y unicelulares a los peces, anfibios, la mujer, el hombre, la ciudad y las obras públicas, y describe con estos y otros elementos la evolución de la vida desde el punto de vista de Darwin y Oparin (Museo de Historia Natural, s.f.).



Imagen 3.4. Caja de distribución del Cárcamo del Río Lerma (foto del autor).

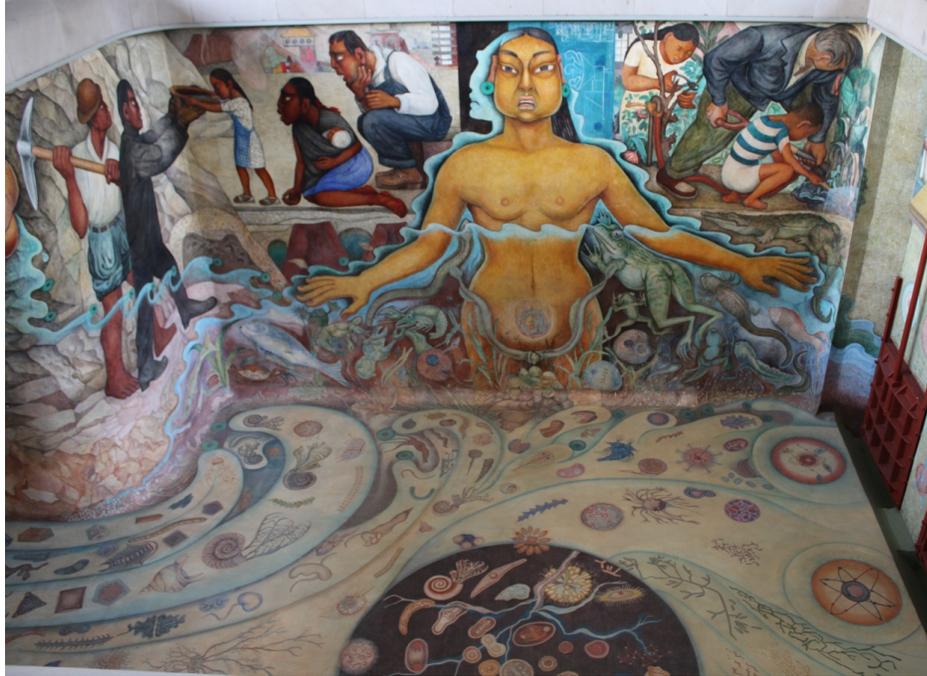


Imagen 3.5. Origen de la vida humana simbolizada por una mujer de raza asiática (foto del autor).



Imagen 3.6. Origen de la vida humana simbolizada por un hombre de raza negra (foto del autor).

Estos dos murales son de los pocos frescos que fueron plasmados durante el apogeo del muralismo en México, que presentan aspectos sobre la evolución biológica.

A continuación, se hablará brevemente sobre los Institutos Tecnológicos de la Secretaría de Educación Pública y sobre los murales que decoran sus muros que contienen aspectos de la evolución biológica.

3.3 Institutos Tecnológicos de la Secretaría de Educación Pública: acervo muralístico

La educación en México, a través de los Institutos Tecnológicos, inició hace 70 años. Los primeros Institutos Tecnológicos que se construyeron en México fueron los de Durango y Chihuahua en 1948. En 1951, se fundó el de Saltillo y en 1954, el de Ciudad Madero. Para 1955, estos cuatro Institutos tenían una matrícula de 1,795 estudiantes (Tecnológico Nacional de México, 2018a). Desde su creación, los Institutos Tecnológicos estuvieron incorporados al Instituto Politécnico Nacional, en 1959, esto cambió, ya que fueron desincorporados de esta institución y pasaron a depender de la Secretaría de Educación Pública. Este cambio representó una nueva etapa para estas instituciones, la cual se caracterizó por la respuesta que dieron a las necesidades geográficas, sociales y de desarrollo industrial en las zonas en las que se ubicaban (Tecnológico Nacional de México, 2018a). Para 1968, existían ya dieciséis Institutos Tecnológicos distribuidos en catorce estados de la república. Durante los siguientes diez años (1968-1978) se construyeron 31 Institutos Tecnológicos más, repartidos en veintiocho estados. Durante esos mismos diez años, se crearon también los primeros centros de investigación y apoyo a la educación tecnológica, es decir, el Centro Interdisciplinario de Investigación y Docencia en Educación Tecnológica (CIIDET), en Querétaro, y el Centro Regional de Optimización y Desarrollo de Equipo (CRODE), en Celaya. De 1978 a 1988 se fundaron doce nuevos Institutos Tecnológicos y tres Centros Regionales de Optimización y Desarrollo de Equipo. Para 1988 los Institutos Tecnológicos atendían una población escolar de 98,310 alumnos, la cual, en cinco años, aumentó a 145,299. En 1990, iniciaron actividades los Institutos Tecnológicos Descentralizados, con esquemas distintos a los que operaban en los Institutos Tecnológicos Federales, ya que se crearon como organismos descentralizados de los gobiernos estatales. En 2014 se creó la institución de educación superior más

grande de nuestro país, el Tecnológico Nacional de México (TecNM), y se fundó como un órgano desconcentrado de la Secretaría de Educación Pública, cuyo objetivo es administrar y coordinar este sistema de educación superior (Tecnológico Nacional de México, 2018a).

El Tecnológico Nacional de México, está constituido por 266 instituciones, de las cuales 126 son Institutos Tecnológicos Federales, 134 Institutos Tecnológicos Descentralizados, cuatro Centros Regionales de Optimización y Desarrollo de Equipo (CRODE), un Centro Interdisciplinario de Investigación y Docencia en Educación Técnica (CIIDET) y un Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico (CENIDET) (Tecnológico Nacional de México, 2018a). Para el ciclo escolar 2017-2018 la matrícula del TecNM fue de 597,031 estudiantes. Esta cifra lo posiciona como la institución más grande de educación superior del país (Contreras & Sáenz, 2018), su matrícula equivale a 2.5 la matrícula de licenciatura y posgrado registrada por la Universidad Nacional Autónoma de México para el ciclo escolar 2017-2018 (Universidad Nacional Autónoma de México, 2018).

Los Institutos Tecnológicos llevan 70 años impartiendo educación superior en México, por lo que han sido una pieza fundamental para la educación superior de nuestro país. Su propósito primordial es la formación de profesionales en los campos de ciencia y tecnología, pero sin dejar de lado la parte social y cultural. Es por ello por lo que en los Institutos Tecnológicos se han establecido estrategias que permitan acercar a los estudiantes a la cultura nacional. Una de las estrategias que se ha utilizado ha sido la expresión muralística en los planteles, con el propósito de conjuntar la actividad científica y tecnológica, con la producción artística. La pintura mural no sólo cumple con una función decorativa en los diversos espacios de los Institutos; lleva también el objetivo de dotar a la tecnología de un sentido humano (Jaramillo & Vega, 2011). Este ejercicio de creación plástica ha derivado en un acervo de murales producto de artistas de renombre nacional e internacional, así como de artistas locales, docentes y estudiantes de los mismos Institutos. Esto ha generado una gran diversidad de estilos, lo cual, junto con la libertad que han dado los Institutos Tecnológicos al no poner restricciones al momento de hacer los murales, ha permitido que se muestren distintas versiones del mundo (Jaramillo &

Vega, 2011). Los murales que decoran los muros de los Institutos Tecnológicos no muestran el mismo contenido que muestran los murales que se pintaron en la primera mitad del siglo XX. Se han abandonado los fines ideológico-políticos conservando el propósito social del muralismo, pero ahora, con una orientación que enfatiza los tópicos educativos (Jaramillo & Vega, 2011).

Para este trabajo, se analizó el libro *Los Murales de los Institutos Tecnológicos/ Tecnología con Sentido Humano*, el cual fue publicado en el año 2011 y es un compendio de 193 murales que decoran 83 Institutos Tecnológicos a lo largo de todo el país. Lo que se buscó en estos murales fue contenido que mostrara la teoría de la evolución biológica, ya que esta teoría es la base de la biología moderna y su difusión es de suma importancia. A continuación, se muestran los siete murales que tienen contenido relacionado con la teoría de la evolución, se brinda una breve descripción de su contenido, así como de los Institutos en los que se encuentran.

El primer mural que es de interés para este trabajo lleva por título *Ciencia y Tecnología*, fue pintado en el año 2009 por Ana Isabel Pérez Godina y se encuentra en el Instituto Tecnológico de Delicias. Este Instituto se fundó en 1986, fue el cuarto Tecnológico que se instauró en el estado de Chihuahua. Cuenta con una matrícula de 1,733 alumnos, los que se encuentran repartidos en las seis ingenierías que se imparten en esta institución de educación superior (Instituto Tecnológico de Delicia, s.f.). El mural está dividido en tres hojas, la hoja central es un vitral que por fines prácticos no se mostrará debido a que no contiene nada relacionado con la teoría de la evolución.

En el mural izquierdo (Imagen 3.7), se muestra la Marcha del Progreso, la cual va de derecha a izquierda. Comienza con Darwin, quien carga en su brazo izquierdo un mono y con el derecho tiene agarrado el brazo de lo que parece ser un chimpancé, la marcha continúa con dos figuras más que poco a poco aparecen más erguidas y con menos pelo, a estas dos le sigue la de un hombre con cabello largo y barba. Por último, aparece un hombre sin cabello, musculoso y con una mano robótica. El mural de la derecha (Imagen 3.8), muestra dos Marchas del Progreso. Una de ellas presenta la cabeza de un humano, la cual, conforme avanza la marcha, adquiere elementos robóticos. La segunda comienza con un hombre que tiene las

extremidades hechas de partes robóticas, la figura que le sigue es un esqueleto hecho de metal y la última figura es un robot.

El siguiente mural que se analizó se localiza en el Instituto Tecnológico de Celaya, el cual fue instaurado en 1958. Inició siendo un Centro de Segunda Enseñanza, Capacitación Técnica para Trabajadores y Preparatoria Técnica Especializada. En 1962, comenzaron a impartirse los programas de educación superior, en 1970, desincorporó los estudios de secundaria y, en 1984, los de bachillerato. La primera maestría se comenzó a dar en 1980 y el primer doctorado en 1989. Actualmente se imparten doce ingenierías, siete maestrías y cuatro doctorados (Instituto Tecnológico de Celaya, 2018). Este Tecnológico cuenta con gran cantidad de obras de arte, repartidas en murales, esculturas, vitrales, grabados, oleos y fotografías (Ferrer, 2015). La obra que es de interés para el presente trabajo es un mural que lleva por nombre *La Evolución del Hombre* (Imagen 3.9), el cual fue pintado en 1985 por Octavio Ocampo.

El mural es una unión de símbolos e imágenes que desarrollan un discurso complejo, Ocampo propuso una metáfora pictórica de la teoría de la evolución de Darwin, la que representó a través de una marcha que comienza con el mono y termina con el hombre en el espacio. Esta marcha forma tres rostros. El primero, de izquierda a derecha, corresponde al de un Australopiteco (o *Australopithecus*), el siguiente, a Paracelso y el último, a Einstein. Conforme avanza la marcha, se pueden observar volcanes, glaciares, animales y la vegetación en la que habitan, pinturas rupestres y herramientas, casas, fuego y la Venus de Willendorf. Posteriormente, se aprecian una serie de construcciones y esculturas de las civilizaciones hindú, olmeca, maya, egipcia, sumeria, griega y romana. Se puede observar también el arado, la rueda, la polea, la palanca, los números, la imprenta, los elementos químicos, la máquina de vapor, el telescopio, el pararrayos, la electricidad, el telégrafo, el teléfono, la televisión y la computadora. Por último, se pueden ver los últimos avances tecnológicos como los aviones, cohetes viajando por el espacio, satélites, las estrellas y las galaxias (Jaramillo & Vega, 2011). El mural representa a través de una Marcha del Progreso la evolución del ser humano, así como la evolución de la sociedad y la tecnología.

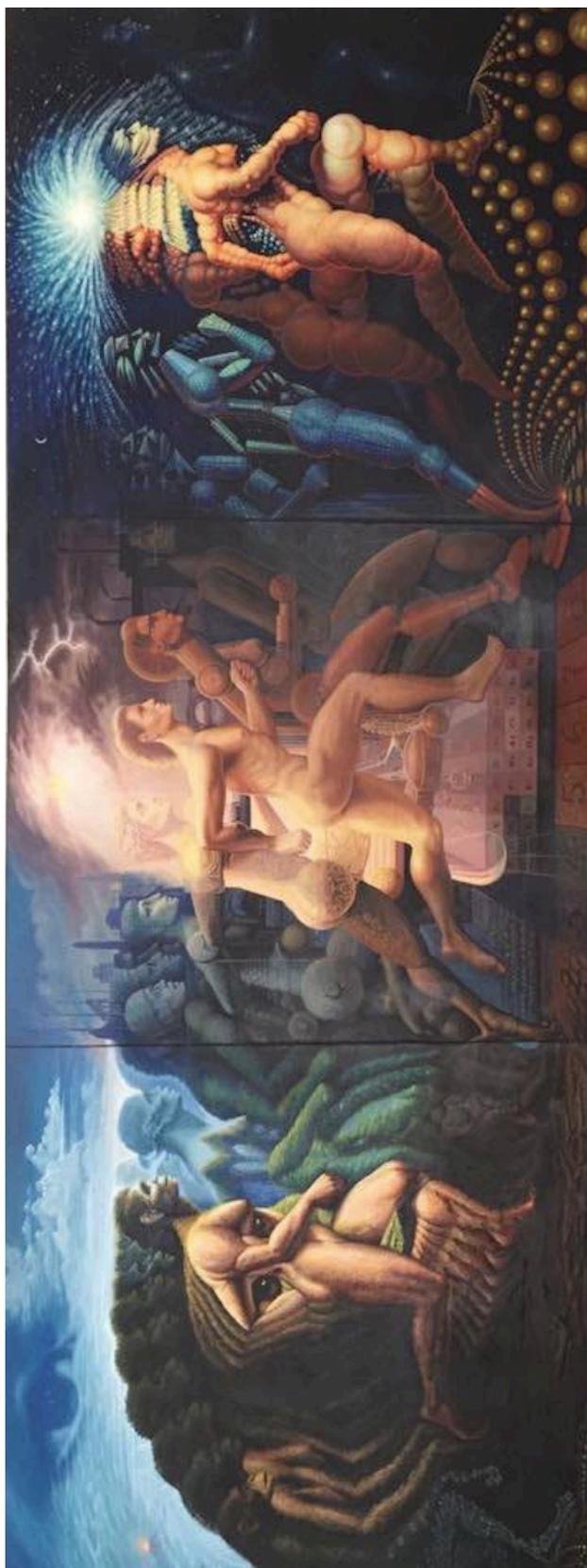


Imagen 3.9. Mural *La Evolución del Hombre* (1985), se encuentra en el Instituto Tecnológico de Celaya (tomada de Jaramillo & Vega, 2011).

El tercer mural que se analizó lleva por nombre *La Aventura de la Ciencia* (Imagen 3.10), fue pintado en 2006 por Jorge Luis Domínguez Chequer, quien es ex alumno del Instituto Tecnológico de Pachuca, que es el lugar donde se encuentra esta obra de arte. Este Tecnológico inició funciones en 1971, con su creación, fue posible que los habitantes de Hidalgo no tuvieran que viajar a la Ciudad de México para continuar con sus estudios, ya que el estado no contaba con una institución de educación superior. Actualmente, el Tecnológico tiene una capacidad para albergar a 3,152 alumnos, que pueden estudiar nueve ingenierías, tres licenciaturas y una maestría (Instituto Tecnológico de Pachuca, 2018a).

La Aventura de la Ciencia es un mural que muestra la historia de la humanidad y su avance tecnológico. Del lado izquierdo muestra los aspectos negativos de la ciencia, como la guerra, la contaminación, el uso de la bomba atómica, etc. Del lado derecho muestra sus aspectos positivos como el mejor aprovechamiento de los recursos naturales, mejor transporte, la farmacéutica, entre otras (Instituto Tecnológico de Pachuca, 2018b).

Al centro se encuentra la Tierra, como centro de toda la actividad tecnológica del hombre y alrededor de ella, hay un espiral conformado por esferas que cuentan la historia de la humanidad. Las esferas comienzan con el Big Bang, continúa el origen de la vida, representado por una molécula de ADN, después se muestran pinturas rupestres que representan el inicio de las sociedades humanas, le sigue una esfera que presenta la cultura egipcia y su conocimiento, seguida de la cultura griega que es la base del pensamiento moderno. Posteriormente, se encuentra la esfera que representa al renacimiento, a ésta la sigue la revolución industrial y la última, muestra a Einstein, así como la fachada del Instituto Tecnológico de Pachuca. Sobre la última esfera, se encuentra el elemento que es de interés para este trabajo. Está representada la evolución del hombre a través de la Marcha del Progreso. Dicha marcha está compuesta por cinco figuras, que son idénticas a las que dibujó Zallinger en 1965 para la revista *Time Life*. El mural cuenta también con elementos que representan la cultura e historia del estado de Hidalgo (Instituto Tecnológico de Pachuca, 2018b).

El Instituto Tecnológico de Los Mochis, fue inaugurado en 1976. Cuando abrió sus puertas contaba con un total de 276 alumnos repartidos en las ingenierías bioquímica en alimentos, industrial, química y en la licenciatura de administración de empresas. Actualmente cuenta con cuatro licenciaturas, diez ingenierías y dos maestrías (Instituto Tecnológico de Los Mochis, 2018). Este Instituto cuenta con el cuarto mural que se analizó para este trabajo, cuyo nombre es *Creación de la Vida* (Imagen 3.11), el cual fue pintado por Rafael Ibarra, aunque no se tiene registrado en qué fecha. El mural muestra en la parte de arriba, una serie que empieza en la esquina superior izquierda y termina en la esquina inferior derecha, representando la evolución desde un pez hasta un dinosaurio volador. Asimismo, en el mural se puede ver una molécula de ADN y una célula vegetal y animal.

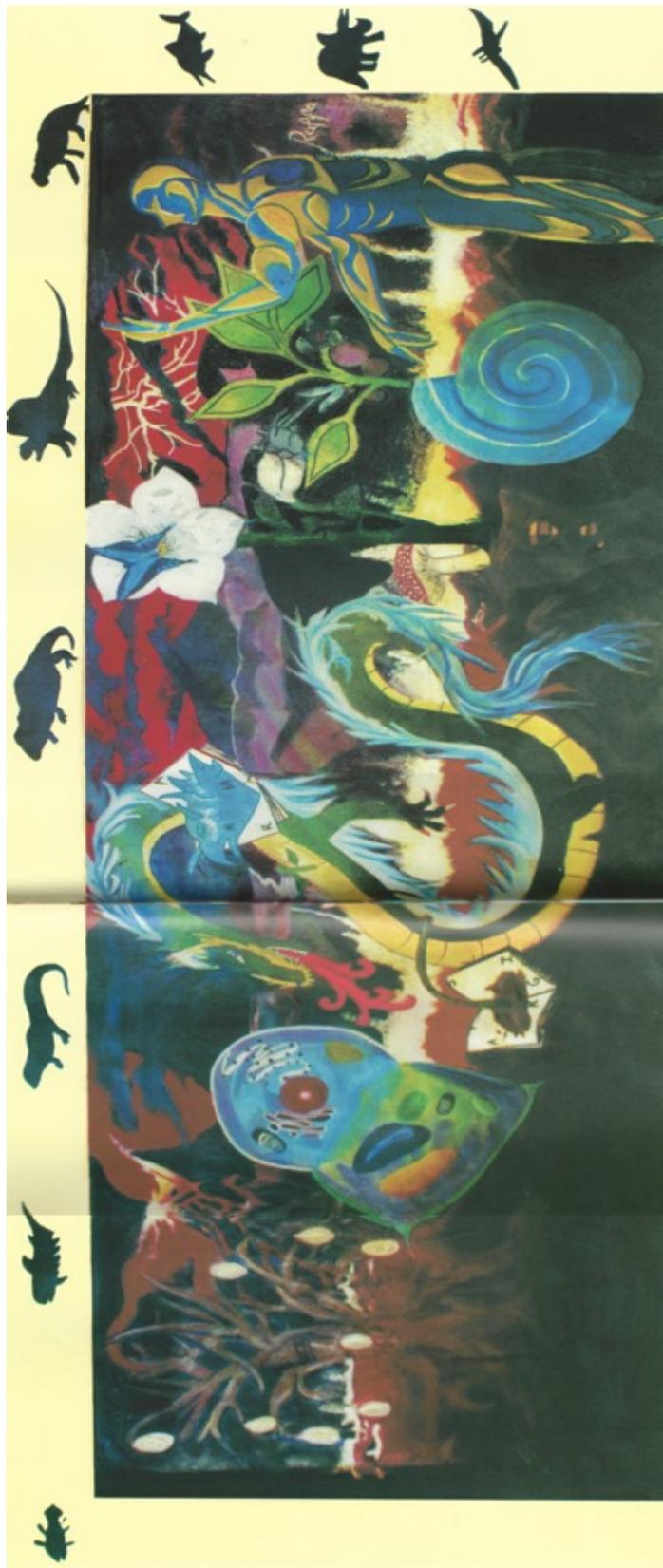


Imagen 3.11. Mural *Creación de la Vida* (s.f.), se encuentra en el Instituto Tecnológico de Los Mochis (tomada de Jaramillo & Vega, 2011).

El quinto mural analizado se encuentra en el Instituto Tecnológico de Ciudad Victoria, el cual se fundó en 1975. Durante su primer año de actividades usaron las instalaciones del CECYT 104, para 1976, se mudan a sus propias instalaciones que se encuentran en un terreno de veinte hectáreas. La primera generación de alumnos fue de 149 personas repartidas entre ingeniería civil e ingeniería industrial, actualmente, se imparten ocho ingenierías, una licenciatura, tres maestrías y un doctorado (Barraza, 2015). El Instituto Tecnológico de Ciudad Victoria, nació como un proyecto piloto ya que fue el primer instituto que ofreció únicamente el nivel de licenciatura (Tecnológico Nacional de México, 2018b). El mural que se encuentra en este Tecnológico es muy peculiar, ya que no tiene título ni fecha de creación (Imagen 3.12). Presenta cuatro ecosistemas diferentes, existentes en el Estado de Tamaulipas, y en los que se puede apreciar una gran biodiversidad. En los extremos del mural se observan cuatro escenas diferentes: en la esquina superior izquierda se representa el universo; en la inferior izquierda el mundo microscópico; en la inferior derecha, se pueden ver células y una neurona. En la esquina superior derecha se encuentra Charles Darwin y algunos elementos representativos de su teoría de la evolución. Se pueden ver algunos fósiles, como el cráneo de un dinosaurio, de trilobites y de una planta, hay también un pinzón, y por último, una serie compuesta de tres cráneos que representan la evolución del hombre.



Imagen 3.12. Mural sin título ni fecha que muestra la biodiversidad del Estado de Tamaulipas (tomada de Jaramillo & Vega, 2011).

El sexto mural de interés para este trabajo lleva por nombre *Impulso de la Nueva Humanidad Tecnológica* (Imagen 3.13). Fue pintado en 2003 por César Delgado Paredes y se encuentra en el Instituto Tecnológico de Matamoros. Este instituto se fundó en 1972, en la actualidad imparte nueve ingenierías, dos licenciaturas y una maestría. Cuando se fundó, únicamente había dos ingenierías, electromecánica e industrial química, entre estas dos ingenierías había 144 alumnos (Instituto Tecnológico de Matamoros, 2018). El mural de este instituto está dividido en dos paneles, el de la derecha muestra que el humano es el artífice del conocimiento, quien por medio del trabajo establece las condiciones de liberación del propio ser humano a través de la ciencia y la tecnología. Se muestra la energía atómica, al estudiante graduado y al maestro, como generadores de abundancia (Jaramillo & Vega, 2011). El de la izquierda muestra La Justicia y debajo unos arcos que contienen una serie de caballos que representa la evolución de este grupo.



Imagen 3.13. Mural *Impulso de la Nueva Humanidad Tecnológica* (2003), se encuentra en el Instituto Tecnológico de Matamoros (tomada de Jaramillo & Vega, 2011).

El séptimo y último mural que se analizó se encuentra en el Instituto Tecnológico de Apizaco, ubicado en el estado de Tlaxcala. Este Instituto inició actividades en 1975, momento en que comenzó a propiciar alternativas reales y sustentables para la juventud de la región. Ofrece en su formación educativa nueve ingenierías, tres maestrías y un doctorado (Instituto Tecnológico de Apizaco, 2018). El mural que se encuentra en este Tecnológico lo pintó Inés Xochipa Zempoalteca en 1990 y lleva por nombre *El Hombre y la Tecnología* (Imagen 3.14). Este mural a simple vista no parece contener algo relacionado con la evolución biológica, pero cuando se ve con detalle se puede apreciar una Marcha del Progreso, la cual inicia del lado izquierdo con una figura que asemeja a un cavernícola el cual porta un mazo de madera. Después se puede ver un indígena que trae un taparrabos, un mazo de madera en la mano derecha y una lanza en la mano izquierda, posteriormente se encuentra un hombre en ropa interior, bien peinado y no porta ningún arma. Por último, hay una máquina de la cual salen dos robots, los cuales completan la marcha.



Imagen 3.14. Mural *El Hombre y la Tecnología* (1990), se encuentra en el Instituto Tecnológico de Apizaco (tomada de Jaramillo & Vega, 2011).

Al ser obras de arte y no ilustraciones científicas, o imágenes pedagógicas, no se puede emitir un juicio sobre lo que el artista plasmó en el mural. Sin embargo, para los historiadores de la ciencia resulta interesante preguntarse cómo la obra de Darwin se convirtió en parte del rico y variado mundo de la cultura popular que, como ya vimos, florece más allá de los dominios de la ciencia. En este sentido, el estudio de la respuesta popular a las teorías de la evolución tiene mucho que contarnos sobre las formas en que la ciencia y la sociedad se encuentran, y en cómo ésta última percibe a la primera. Después de todo, la mayoría de la gente se encuentra con la ciencia a través de la televisión, periódicos y revistas, a veces en conferencias públicas, museos o galerías de arte, e incluso a través de la ficción. En este caso, los murales de los Institutos Tecnológicos son interesantes porque muestran vívidamente la percepción pública que se tiene sobre la actividad científica y sobre los temas científicos que se consideran relevantes (moldeado de la opinión pública), sobre lo cual sí se puede realizar un análisis.

Capítulo 4

Discusión y conclusiones

“La diferencia entre la ciencia y el arte no es que sean caras diferentes de la misma moneda, ni partes diferentes del mismo continuo, sino que son manifestaciones de la misma cosa. Brotan de la misma fuente. Las artes y las ciencias son avatares de la creatividad humana. Es nuestro intento como seres humanos para construir una comprensión del universo, del mundo que nos rodea.”
-Jemison 2002-

Teniendo en cuenta que uno de los aspectos más sobresalientes de la investigación sobre la historia de la evolución biológica es el creciente interés por explorar escenarios no científicos para preguntarse cómo la idea original de Darwin y otras teorías evolutivas se ha convertido en parte del variado y rico mundo de la cultura popular, este trabajo se enfocó en la representación de la evolución en los murales de los Institutos Tecnológicos de la Secretaría de Educación Pública. De forma que, si la cultura visual popular puede decir mucho sobre la percepción pública de la ciencia y de determinados temas científicos, los murales plasmados en instituciones educativas nos pueden permitir apreciar qué ideas sobre la evolución biológica son las que prevalecen en el imaginario colectivo.

Para poder descubrir dicha interrogante se realizó una investigación de más de dos años, la cual concluyó con la redacción de esta tesis.

Como se dijo en el capítulo 1, las imágenes científicas no son autoexplicativas, lo que quiere decir que tanto los científicos como el público en general requieren de ciertos conocimientos, habilidades y aptitudes para poder leer y entender una imagen científica. Además, como apunta Lynch (1988) es importante que las ilustraciones se acompañen de texto para, no solo invitar, sino dirigir al lector a "ver lo que se está diciendo".

En el caso de la evolución biológica, lo anterior es muy importante, ya que no todas las formas de representación (fotografías, diagramas y dibujos) funcionan para caracterizar este proceso debido a que muchos de los argumentos de esta teoría son referentes abstractos (por ejemplo, la selección natural, el tiempo geológico o el proceso de cambio). Sumando a esta dificultad, se puede mencionar que en general, la evolución biológica es difícil de comprender (Ha & Nehm, 2014; Lombrozo *et al.*, 2008) y que se ha intentado representar de diferentes formas a lo largo de la historia.

En el caso de los Institutos Tecnológicos, la representación empleada en los siete murales analizados fue mediante una serie, seis de ellos con la imagen de la Marcha del Progreso (Imagen 4.1) y uno con la evolución lineal del caballo.



Imagen 4.1. Seis de los siete murales que se analizaron para este trabajo representan la evolución como la Marcha del Progreso.

En el ámbito científico en la actualidad, la representación visual de la evolución que prevalece es mediante filogenias o diagramas ramificados. La razón es que comunican la idea de origen común, divergencia y extinción, pero además permiten elucidar las relaciones de parentesco entre diferentes grupos de organismos a partir de la distribución de caracteres primitivos y derivados de cada taxón⁵. Sin embargo, lo que nos muestra este estudio, es que, en la esfera pública, la idea de evolución es mayormente representada a través de una serie, lo cual es problemático para la enseñanza de la teoría por diversas razones que se explicitarán más adelante.

Una posible explicación para el empleo tan frecuente de las series es que la Marcha del Progreso es sin duda la iconografía más conocida y reconocible sobre la representación de la evolución (Gould, 1989; Shelley, 1996, 2001). Gran parte de la popularidad de esta imagen se debe a la forma inmediata y persuasiva en que

⁵ Grupo de organismos emparentados. Por ejemplo, especies, géneros, familias, clases, etcétera.

transmite su mensaje: la evolución es progreso y el hombre moderno es el resultado (Shelley, 1996). Sin embargo, las representaciones a partir de series lineales tienen el inconveniente de que si no se colocan en el contexto correcto (explicando que se trata de la representación de grandes tendencias, por ejemplo) y con un texto que ayude a su entendimiento pueden producir malentendidos. Estos pueden deberse a distintas razones. Una de ellas es que muestran la evolución como un proceso lineal que tiene una dirección preestablecida, otra es que no todas presentan un eje temporal que permita entender que la evolución es un proceso de cambio gradual a lo largo del tiempo.

¿Por qué es importante representar correctamente la evolución biológica? Es fundamental la representación adecuada de esta teoría para comprenderla. El tema de la evolución biológica es primordial tanto para la biología, como para la educación científica. En biología, porque representa el principio unificador de sus disciplinas al brindar un marco explicativo y conceptual. Para la educación, porque implica conocer la propuesta de Darwin la cual revolucionó el pensamiento científico al proponer la selección natural como el mecanismo principal de cambio y la comunidad de descendencia de todos los seres vivos. Esto aunado a las contribuciones modernas que se le han hecho, permite comprender que las especies no son creaciones fijas ni inmutables, sino que son producto de una historia que se remonta a 3,800 millones de años; que la evolución de los seres vivos no tiene una dirección específica; que todas las especies que habitan en la actualidad en la Tierra son igual de evolucionadas; que los seres humanos somos parte del mismo proceso evolutivo que acontece en el resto de los seres vivos con los que compartimos la Tierra, y que no somos el centro de la creación ni la culminación de un proceso gradual hacia alguna perfección.

Como se había apuntado con anterioridad, la teoría de la evolución no es fácil de comprender y mucho menos de representar visualmente. Es difícil aseverar que existe una forma correcta de representarla. Se sabe que no mediante una serie, ni siquiera mediante un árbol en su totalidad⁶. Lo cierto es que debe ser de forma

⁶ La herencia horizontal de genes o transferencia lateral de genes es un tipo de herencia que consiste en la transferencia de material genético de una célula a otra sin que exista una relación de descendencia padre-hijo. Este tipo de herencia se puede dar a través de un plásmido (conjugación),

compleja y enredada, sin arriba ni abajo, pues toda la diversidad biológica que vemos hoy en día es producto de la gradual divergencia a partir de ancestros comunes que siguen evolucionando (Torrens, 2018). Hasta el momento, la mejor manera para representarla de acuerdo con los biólogos evolutivos es a través de filogenias reconstruidas mediante diversos métodos, las cuales muestran el dinamismo de las especies, el descenso común y la diversificación mediante un proceso de ramificación desde las formas ancestrales hasta las modernas. Sin embargo, el pensamiento arbóreo (la capacidad de comprender la evolución como un proceso de ramificación), entre el público en general, no es tan aceptado y extendido como se esperaría. Esto se puede deber a que existe una falta de familiaridad con las filogenias y, además, la cultura visual sobre la evolución sostiene un discurso eminentemente progresista, lleno de prejuicios y estereotipos (personajes caucásicos del género masculino) que lleva a interpretaciones erróneas del proceso (Torrens & Barahona, 2012). Esto se aprecia claramente en los murales que los Institutos Tecnológicos muestran, en los cuales la representación visual de la evolución biológica no se ajusta a las representaciones empleadas por los científicos.

El Tecnológico Nacional, cuando propuso que artistas, docentes y/o estudiantes decoraran los muros de los Institutos Tecnológicos de la SEP, no estableció restricciones sobre el contenido que tenían que mostrar estos, ya que buscaba que se plasmaran diferentes versiones del mundo (Jaramillo & Vega, 2011), lo cual repercutió en que muchos de los artistas que hicieron los murales en los diferentes Institutos fueran *amateurs*.

De los siete murales que se analizaron para este trabajo, dos de ellos no tienen fecha de creación (*Creación de la Vida* de Rafael Ibarra y el mural que se encuentra en el Instituto Tecnológico de Ciudad Victoria, que además carece de autor). De los cinco murales restantes, dos fueron pintados antes del 2000, *La Evolución del Hombre* (1985) de Octavio Ocampo y *El Hombre y la Tecnología* (1990) de Inés Xochipa Zempoalteca. Los otros tres murales fueron pintados en

a través de un virus (transducción) o a través de material genético libre que se incorpora a una célula receptora (transformación).

2003 (*Impulso de la Nueva Humanidad Tecnológica* de César Delgado Paredes), en 2006 (*La Aventura de la Ciencia* de Jorge Luis Domínguez Chequer) y en 2009 (*Ciencia y Tecnología* de Ana Isabel Pérez Godina).

En cuanto información sobre los artistas no existe mucha disponible. De hecho, Octavio Ocampo, autor de *La Evolución del Hombre*, es el único artista consolidado. Es egresado de la escuela nacional de pintura y escultura “La Esmeralda” (INBA) y también estudió en el *Art Institute* de San Francisco, California. Sus pinturas se caracterizan por ser metamórficas, ya que combina texturas, colores, imágenes y espacios que se transforman en múltiples interpretaciones. Sus obras forman parte de varias colecciones en México y otros países. En la Ciudad de Celaya se encuentra el Museo de Arte de Octavio Ocampo, donde exponen varias de sus obras más reconocidas. Asimismo, es también un reconocido muralista. Sus murales se encuentran en importantes edificios como el Palacio Nacional de México, la Presidencia Municipal de Celaya, el Instituto Tecnológico de Celaya, en el *Grossenbacher Oil Co.* en Harlingen, Texas y en la Casa de gobierno de Guanajuato (Llanos, 2019). De Jorge Luis Domínguez Chequer, autor de *La Aventura de la Ciencia*, se sabe que estudió ingeniería civil en Instituto Tecnológico de Pachuca, recinto en donde se encuentra su mural. Estudió durante tres años en el Instituto Hidalguense de Bellas Artes y ha participado en exposiciones colectivas en el Instituto Hidalguense de Bellas Artes y en exposiciones individuales en la Escuela Técnica Secundaria No. 1, y en el Instituto Tecnológico de Pachuca (Instituto Tecnológico de Pachuca, 2018b). De Inés Xochipa Zempoalteca, autora del mural *El Hombre y la Tecnología*, se sabe que es Jefa de Oficina de Promoción Cultural en el Instituto Tecnológico de Apizaco (Instituto Tecnológico de Apizaco, 2019). Del resto de los artistas no hay información disponible, por lo que no podemos saber si los autores de los murales analizados estaban familiarizados con teorías científicas relacionadas con la evolución.

Como se mencionó en la introducción de este trabajo, se buscó llamar la atención hacia: 1) la falta de consideración de las imágenes como vehículos epistémicos y de edificación de imaginarios colectivos. 2) La importancia de análisis que muestren las diversas fuentes de conceptos erróneos con los que se convive

diariamente, los cuales van apuntalando comprensiones incorrectas del mundo que es extremadamente difícil cambiar. 3) La importancia de cuestionar la permanencia del arte relacionado con temas científicos en ámbitos públicos e institucionales, cuando sabemos que la naturaleza de diversos conocimientos científicos no es fija ni inmutable y cuando conocemos la dificultad de representar procesos biológicos, como el evolutivo.

En cuanto al primer punto, se puede decir que es indudable que la escritura es el medio dominante del discurso académico, lo cual no es incidental: la materia escrita puede ser iterada para su análisis, mientras que la materia pictórica normalmente requiere una reducción para que sea susceptible de estudio (Lynch, 1988). Debido a ello, las proposiciones verbales, los argumentos, las referencias, las analogías, las metáforas y las "ideas" han recibido mucha más atención como elementos constitutivos del razonamiento y la retórica científicos y se han desarrollado diversos métodos de análisis semántico y lingüístico. No obstante, las representaciones visuales están claramente implicadas en la comunicación científica y en la propia "construcción" de los hechos y objetos científicos (fenómenos invisibles o procesos abstractos, por ejemplo). Resultan esenciales para revelar relaciones ordenadas de los objetos de estudio y de esta forma volverlos analizables. Diversos sociólogos de la ciencia como Michael Lynch, Steve Woolgar y Bruno Latour, han mostrado que las imágenes sufren transformaciones y/o modificaciones en su proceso de socialización que va desde su creación inicial hasta la publicación final. De manera muy importante para este trabajo, en cualquier momento de dicho proceso, tales representaciones constituyen la fisonomía del objeto de la investigación, de forma que son vehículos epistémicos fundamentales que deberían recibir mayor atención tanto por parte de los Estudios de la Ciencia y la Tecnología (STS), como por todos aquellos interesados en la enseñanza y comunicación de la ciencia.

En el caso de las iconografías de la evolución, ya se mostró que su trayectoria de producción, estabilización y circulación las puede transformar de manera importante, tanto en forma como en contenido conceptual, lo que puede conducir a malentendidos del proceso evolutivo, los cuales una vez que se han formado

pueden ser extremadamente difíciles de cambiar. Un ejemplo concreto es lo que ha sucedido con la “marcha del progreso” original *The Road to Homo Sapiens* de Rudolph Zallinger (1965) (p. 63), la cual sufrió una pérdida en su contenido (la escala temporal que aparece hasta arriba en la publicación de 1965) conforme fue circulando en la cultura popular. Eventualmente, esta marcha se convirtió en la representación más conocida de la evolución en la esfera pública (Gould, 1989), lo que ha ocasionado que la forma en la que se representa el proceso evolutivo no sea la misma para los científicos que para el público general. Un claro ejemplo son los murales de los Institutos Tecnológicos de la SEP, donde la representación de la evolución es mediante series. En palabras de Ludwick Fleck (1934), dentro del colectivo de pensamiento de la evolución biológica, el círculo exotérico está por encima del círculo esotérico ya que el hecho científico de la evolución como un proceso de cambio constante, sin dirección específica y representado a través de árboles filogenéticos, no ha permeado en el círculo exotérico que ve este hecho como un fenómeno progresista. Quizá esto podría ser una de las razones por las cuales los artistas que hicieron los murales de los Institutos Tecnológicos pintaron la evolución como la Marcha del Progreso.

En cuanto al tercer punto⁷, hay que tomar en cuenta que al ser obras de arte, resulta complicado emitir un juicio sobre si las representaciones de la evolución en los murales de los Institutos Tecnológicos son correctas o incorrectas. Sin embargo, es indudable que muestran lo que el artista buscaba transmitir, lo cuales un reflejo de la percepción pública que se tiene de la evolución. No obstante, al estar en recintos de educación, en los cuales día con día se forman profesionistas, se esperaría que mostraran de forma correcta los conceptos y teorías científicas, puesto que fomentan ciertas concepciones acerca del mundo y de las teorías científicas. Es debido a lo anterior que surge la siguiente pregunta, ¿qué papel tiene el arte y el artista al momento de plasmar un hecho científico en un recinto de educación superior cuyo objetivo es promover la enseñanza? Las instituciones de

⁷ 3) La importancia de cuestionar la permanencia del arte relacionado con temas científicos en ámbitos públicos e institucionales, cuando sabemos que la naturaleza de diversos conocimientos científicos no es fija ni inmutable y cuando conocemos la dificultad de representar procesos biológicos, como el evolutivo.

educación superior producen cultura al promover la transferencia de conocimiento y al alentar el libre intercambio de ideas, formando así sociedades humanas complejas. Los espacios de educación superior son entornos destinados para enseñar, aprender y trabajar. Por su parte, el arte ofrece una visión sancionada de la humanidad, expresa el pensamiento y la experiencia humana a través de la comunicación visual, lo cual es esencial para comprender la cultura. El arte público, en este caso los murales de los Institutos Tecnológicos, combina los objetivos del arte y de la educación superior, al promover el libre intercambio de ideas, la humanidad y la innovación, ya que ayuda a construir y mejorar el entorno físico en el que se lleva a cabo la investigación, el análisis y el diálogo (Grenier, 2009). Asimismo y de acuerdo con el discurso oficial, el muralismo en los Institutos Tecnológicos contribuye con la estética del campus, fomenta el espíritu de comunidad, encarna y refleja las misiones intelectuales y creativas de los Institutos, y conmemora a personas, eventos o sitios importantes (Jaramillo & Vega, 2011). De esto se desprende que los murales tienen otro fin que el del mero ornamento, pues buscan transmitir visiones científicas acerca del mundo. ¿Qué pasa si estas visiones son incorrectas?

Hay carencia en literatura referente al arte público en recintos de educación superior, y hay aún menos trabajos relacionados con analizar el impacto de dicho arte (considerando su naturaleza subjetiva, combinada con su capacidad de evocar emociones, es difícil de definir y cuantificar, y es mucho más difícil hablar de sus beneficios). La evidencia empírica de los beneficios del arte público en estos lugares es prácticamente inexistente, al igual que la evidencia empírica de los beneficios sociales y culturales de las artes. Se necesitan investigaciones futuras para revelar con más efectividad el poder y el impacto de las artes, en la forma en la que piensan y actúan las personas y en el moldeado de valores y creencias (Grenier, 2009).

Esto no quiere decir que se deba desistir de representar la evolución biológica en recintos públicos. El muralismo actual y las diferentes formas de arte popular deben continuar como un medio de comunicación, buscando, en la medida de lo posible, representaciones figurativas y su lenguaje claro, comprensible para todos los estratos de la población, pero sobre todo correcto (Guadarrama, 2013). La

importancia del arte público es que es arte original, accesible a la población y que enriquece a las comunidades. Este tipo de arte tiene la ventaja de que puede poseer cualidades tanto funcionales como estéticas (Grenier, 2009). Un ejemplo claro de esto es el mural que se encuentra en el Museo de Historia Natural de la Ciudad de México (Imagen 4.2). Dicho mural muestra la evolución de la vida a través de los diferentes eones, eras y periodos, además, está acompañado de diferentes textos que ayudan a comprender lo que es la evolución biológica.



Imagen 4.4. Mural que se encuentra en el Museo de Historia Natural de la Ciudad de México el cual muestra la evolución biológica (foto del autor).

Sin duda, la representación visual de la teoría evolución biológica es un tema importante que debe preservarse y alentarse en las instituciones de educación superior del país, sin embargo, es una tarea que deberá ser realizada en conjunto, es decir, los artistas deben ser apoyados por científicos para que dicha teoría sea representada de forma correcta.

Bibliografía

- Alters, B. J., & Nelson, C. E. (2002). Perspective: Teaching evolution in higher education. *Evolution*, 56(10), 1891-1901.
- Anderson, N. & Dietrich, M. R. (2012). Visual Lessons and Life Sciences. En N. Anderson & M. R. Dietrich (eds.), *The educated eye: visual culture and pedagogy in the life sciences* (pp. 235-254). Nueva Inglaterra: Dartmouth College Press.
- Ayala, F. J. (1970). Teleological explanations in evolutionary biology. *Philosophy of science*, 37(1), 1-15.
- Baldasso, R. (2006). The Role of Visual Representation in the Scientific Revolution: A Historiographic Inquiry. *CENTAURUS*, 48(2), 69-88.
- Barahona, A. & Torrens, E. (2010). *Para entender a Darwin*. México: Castillo.
- Barraza, A. (2015). *Historia Inicial del Tecnológico de Ciudad Victoria*. En su 40 Aniversario. Recuperado de: <http://www.itvictoria.edu.mx/conocenocenos/fundacion.html>.
- Baum, D. A., Smith, S. D., & Donovan, S. S. (2005). The tree-thinking challenge. *Science*, 310(5750), 979-980.
- Brauckmann, S. (2012). On Fate and Specification: Images and Models of Developmental Biology. En N. Anderson & M. R. Dietrich, (eds.), *The educated eye: visual culture and pedagogy in the life sciences* (pp. 213-234). Nueva Inglaterra: Dartmouth College Press.
- Brink-Roby, H. (2009). Natural Representation: Diagram and Text in Darwin's "On the Origin of Species". *Victorian studies*, 51(2), 247-273.
- Browne, J. (2009). Looking at Darwin: portraits and the making of an icon. *Isis*, 100(3), 542-570.
- Burri, R. V. & Dumit, J. (2008). Social Studies of Scientific Imaging and Visualization. En E. J. Hackett, O. Amsterdamska, M. Lynch & J. Wajcman, (eds.), *The handbook of science and technology studies* (pp. 297-317). Massachusetts: MIT Press.
- Butterfield, H. (1954). Art and Modern Science. *University Review*, 1(2), 25-37.
- Catley, K. M., & Novick, L. R. (2008). Seeing the wood for the trees: an analysis of evolutionary diagrams in biology textbooks. *BioScience*, 58(10), 976-987.
- Clark, C. A. (2001). Evolution for John Doe: Pictures, the public, and the Scopes trial debate. *The Journal of American History*, 87(4), 1275-1303.

- Collin, L. (2003). Mito e historia en el muralismo mexicano. *Scripta Ethnologica*, 25, 25-47.
- Constable, H., Campbell, B., & Brown, R. (1988). Sectional Drawings from science textbooks: an experimental investigation into pupils' understanding. *British Journal of Educational Psychology*, 58(1), 88-102.
- Contreras, M. & Sáenz, N. (coords.). (2018). *Anuario Estadístico 2017*. México: Tecnológico Nacional de México.
- Coronel, R. (2007). XIV El origen de la vida. Museo Anahuacalli, Cárcamo del río Lerma y Ciudad Universitaria, México. En L. Lozano & R. Coronel (eds.), *Diego Rivera. Obra Mural Completa* (pp. 538-555). México: Taschen.
- Cruz, J. W. (2017). *La representación visual del tema de la evolución biológica en las monografías escolares* (Tesis de Licenciatura). UNAM Facultad de Ciencias. México.
- Curtis, H., Barnes, N. S., Schnek, A. & Massarini, A. (2008). *Biología* (7ma ed.). Buenos Aires: Médica Panamericana.
- Dackerman, S. (2011). Prints as Instruments. En S. Dackerman (ed.), *Prints and the Pursuit of Knowledge in Early Modern Europe* (pp. 19-35). Massachusetts: Harvard Art Museums.
- Daston, L. & Galison, P. (1992). The Image of Objectivity. *Representation*, 40, 81-128.
- Daston, L. (2011). Observation. En S. Dackerman, (ed.), *Prints and the Pursuit of Knowledge in Early Modern Europe* (pp. 125-133). Massachusetts: Harvard Art Museums.
- Daston, L., & Galison, P. (1992). The image of objectivity. *Representations*, (40), 81-128.
- de Pedro, A. E. (2009). El dibujo y las estrategias de la representación científica. *Co-herencia*, 6(10), 11-28.
- Dobzhansky, T. (1973). Nothing in Biology Makes Sense except in the Light of Evolution. *The American Biology Teacher*, 35(3), 125-129.
- Donald, D. (2009). Introduction. En D. Donald & J. Munro, (eds.), *Endless Forms: Charles Darwin, Natural Science and the Visual Arts* (pp. 1-27). New Haven: Yale University Press.
- Donald, D. & Munro, J. (eds.), (2009). *Endless Forms: Charles Darwin, Natural Science and the Visual Arts*. New Haven: Yale University Press.
- Dupré, J. (2015). ¿Qué es la teoría de la evolución?. En E. Torrens, A. Villela, E. Suárez-Díaz & A. Barahona (coords.), *La biología desde la historia y filosofía de la ciencia* (pp. 317-326). México: Las prensas de ciencias.
- Eco, U. (1972). *Semiología de los mensajes visuales*. Buenos Aires: Tiempo Contemporáneo.

- Ferrer, J. (2015). *Acervo Artístico del Instituto Tecnológico de Celaya*. México: Tecnológico Nacional de México.
- Fitzwilliam Museum University of Cambridge. (2006). *Struggle for Existence*. Recuperado de <http://www.darwinendlessforms.org/gallerydarwin/struggle-for-existence/>.
- Fleck, L. (1934). *La génesis y desarrollo de un hecho científico*. Madrid: Alianza Editorial.
- Futuyma, D. J. & Kirkpatrick, M. (2017). *Evolution* (4a ed.). Estados Unidos: Sinauer Associates.
- Futuyma, D. J. (2009). Coevolution. En V. H. Resh & R. T. Cardé (eds.), *Encyclopedia of Insects*. China: Academic Press.
- Galison, P. (2008). *Objectivity*. Zone Books.
- García, E. (2010). El Muralismo Mexicano. En F. Durán (ed.), *Iberoamérica y Extremadura: Memoria de un vínculo* (pp. 91-120). España: CEXECl.
- Gardham, J. (2002). *Leonhart Fuchs: De Historia Stirpium*. Recuperado de <http://special.lib.gla.ac.uk/exhibns/month/oct2002.html>.
- Golinski, J. (1998). *Making Natural Knowledge: Constructivism and the History of Science, with a new Preface*. Estados Unidos: Cambridge University Press.
- Golinski, J. (2008). *Making Natural Knowledge: Constructivism and the History of Science, with a new preface*. University of Chicago Press.
- Golinski, J. (abril, 2002). *Producción del conocimiento natural: paradigmas, laboratorios y mapas*. Trabajo presentado en la conferencia Ciencia y la mente global: Alexander von Humboldt en México. Conferencia llevada a cabo en Centro de Investigación y Docencia Económicas, Ciudad de México.
- Gould, S. J. (1980). *Hen's teeth and horse's toes: Further reflections in natural history*. Estados Unidos: WW Norton & Company.
- Gould, S. J. (1989). *Wonderful Life. The Burgess Shale and the Nature of History*. Inglaterra: Penguin.
- Gould, S. J. (2002). *The Structure of Evolutionary Theory*. Estados Unidos: Harvard University Press.
- Gould, S. J. (2011). *La vida maravillosa*. Barcelona: Critica.
- Grenier, M. R. (2009). *An Analysis of Public Art on University Campuses: Policies, Procedures, and Best Practices* (Tesis de Doctorado). Faculty of the Graduate School of the University of Minnesota. Minnesota.
- Griesemer, J. R. (1991). Must scientific diagrams be eliminable? The case of path analysis. *Biology and Philosophy*, 6(2), 155-180.
- Guadarrama, G. (2013). El muralismo: después de Siqueiros, retos y perspectivas. En L. López (ed.), *Tercer Encuentro Internacional de la Pintura Mural* (pp. 171-179). México: Universidad Nacional Autónoma de México.

- Ha, M. & Nehm, R. H. (2014). Darwin's difficulties and students' struggles with trait loss: cognitive-historical parallelisms in evolutionary explanation. *Science & Education*, 23(5), 1051-1074.
- Hackett, S. J., Kimball, R. T., Reddy, S., Bowie, R. C., Braun, E. L., Braun, M. J., ... & Huddleston, C. J. (2008). A phylogenomic study of birds reveals their evolutionary history. *Science*, 320(5884), 1763-1768.
- Hacking, I. (1983). *Representing and intervening: Introductory topics in the philosophy of natural science*. Cambridge University Press.
- Hall, B. & Hallgrímsson, B. K. (2013). *Evolution* (5a ed.). Estados Unidos: Jones & Bartlett Learning.
- Heinrich, R., Molenda, M. Russel, J. & Smaldino, S. E. (2002). *Instructional media and technologies for learning*. Estados Unidos: Merrill Prentice Hall.
- Hellström, N. P., André, G. & Philippe, M. (2017). Augustin Augier's botanical Tree: Transcripts and translations of two unknown sources. *Huntia*, 16(1), 17-38.
- Hernández, M. (2010). *Darwinismo y manuales escolares en España e Inglaterra en el siglo XIX (1870-1902)*. España: UNED.
- Historical Anatomies on the Web. (2006). *William Hunter: Anatomia uteri humani gravidi tabulis illustrata*. Recuperado de https://www.nlm.nih.gov/exhibition/historicalanatomies/hunterw_home.html.
- Hooke, R. (1665). *Micrographia: or some physiological descriptions of minute bodies made by magnifying glasses, with observations and inquiries thereupon*. Londres.
- Howell, F. C. (1970). *El hombre prehistórico*. Estados Unidos: Time Life.
- Huxley, T.H. (1876). *Prof. Huxley in America*. Estados Unidos: History of Medicine and Natural Sciences.
- Ijpma, F. F. A., van de Graaf, R. C., Nicolai, J. P. A., & Meek, M. F. (2006). The anatomy lesson of Dr. Nicolaes Tulp by Rembrandt (1632): a comparison of the painting with a dissected left forearm of a Dutch male cadaver. *The Journal of hand surgery*, 31(6), 882-891.
- Instituto Geológico y Minero de España. (1987). Mapa Geológico de España: Castro del Río. España: Instituto Geológico y Minero de España.
- Instituto Tecnológico de Apizaco. (2018). *Instituto Tecnológico de Apizaco*. Recuperado de <http://www.apizaco.tecnm.mx/Oficial/historia/plantillas/historia.php>.
- Instituto Tecnológico de Apizaco. (2019). Convocatoria: 2019, Año del Caudillo del Sur, Emiliano Zapata. Recuperado de <http://www.apizaco.tecnm.mx/Oficial/root2019/convocatoria/ActComplementarias2019.pdf>.

- Instituto Tecnológico de Celaya. (2018). *Instituto Tecnológico de Celaya*. Recuperado de <http://www.itc.mx/?r=nuestroInstituto/nuestroInstituto>.
- Instituto Tecnológico de Delicias. (s.f.). *Reseña histórica del Instituto Tecnológico de Delicias*. Recuperado de <http://www.delicias.tecnm.mx/QuienesSomos.html>.
- Instituto Tecnológico de Los Mochis. (2018). *Antecedentes*. Recuperado de: <http://www.itmochis.edu.mx/index.php/nosotros>.
- Instituto Tecnológico de Matamoros. (2018). *Institución*. Recuperado de: <http://www.itmatamoros.edu.mx/?p=49#top>.
- Instituto Tecnológico de Pachuca. (2018a). *Historia*. Recuperado de: <http://www.itpachuca.edu.mx/historia.html#cabezal>.
- Instituto Tecnológico de Pachuca. (2018b). *Murales*. Recuperado de: <http://www.itpachuca.edu.mx/murales.html>.
- Jaramillo, E. & Vega, L. G. (2011). *Los Murales de los Institutos Tecnológicos: Tecnología con Sentido Humano*. México: Dirección General de Educación Superior Tecnológica.
- Jemison, M. [TED] (2009, mayo 9). Mae Jemison: Integración de la enseñanza de las artes y las ciencias [Archivo de video]. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=6Vy0ncmUvUw>.
- Kingsland, S. (2004). Neodarwinismo e historia natural. En A. Barahona, E. Suárez-Díaz & S. Martínez (comp.), *Filosofía e historia de la biología* (pp. 443-466). México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Klein, R. G. (2000). Archeology and the Evolution of Human Behavior. *Evolutionary Anthropology: Issues, News, and Reviews*, 9(1), 17-36.
- Larson, B. (2009). Introduction. En B. Larson & F. Brauer, (eds.), *The Art of Evolution: Darwin, Darwinism, and Visual Culture* (pp. 1-17). Nueva Inglaterra: Dartmouth College Press.
- Larson, B. & Brauer, F. (eds.) (2009). *The Art of Evolution: Darwin, Darwinism, and Visual Culture*. Nueva Inglaterra: Dartmouth College Press.
- Llanos K. (2009). *El celayense metamórfico, Octavio Ocampo*. Recuperado de <https://www.elsoldelbajio.com.mx/cultura/el-celayense-metamorfico-octavio-ocampo-2818467.html>.
- Llorente, J. (2002). *La búsqueda del método natural* (3ra ed.). México: Fondo de Cultura Económica.
- Lombrozo, T., Thanukos, A., & Weisberg, M. (2008). The importance of understanding the nature of science for accepting evolution. *Evolution: Education and Outreach*, 1(3), 290.
- Lynch, M. E. (1988). Sacrifice and the transformation of the animal body into a scientific object: Laboratory culture and ritual practice in the neurosciences. *Social studies of science*, 18(2), 265-289.

- Lynch, M. E. (1991). Science in the Age of Mechanical Reproduction: Moral and Epistemic Relations Between Diagrams and Photographs. *Biology and Philosophy*, 6, 205-312.
- Lynch, M. E. & Woolgar, S. (Eds.). (1990). *Representation in scientific practice* (p. 153). Cambridge, MA: MIT press.
- Maley, S. (2002). *Glasgow University Library special collections department Book of the Month: De Humani Corporis Fabrica Librorum Epitome*. Recuperado de <http://special.lib.gla.ac.uk/exhibns/month/sep2002.htm>.
- Mandel, C. (2007). Muralismo mexicano: arte público / identidad / memoria colectiva. *Revista ESCENA* 30(61), pp. 37-54.
- Martineau, P. (1959). *Un guide de la stratégie publicitaire. Motivation et publicité*. Paris: Ed. Hommes et Techniques.
- Mayr, E. (1972). The nature of the Darwinian revolution. *Science*, 176(4038), 981-989.
- McHenry, H. M. (2009). Human Evolution. En M. Ruse & J. Travis (eds.), *Evolution: the first four billion years* (pp. 256-280). Estados Unidos Americano: Harvard University Press.
- Morton, M. (2009). Form Monera to Man: Ernst Haeckel, Darwinismus, and Nineteenth-Century German Art. En B. Larson & F. Brauer, (eds.), *The Art of Evolution: Darwin, Darwinisms, and Visual Culture* (pp. 59-91). Nueva Inglaterra: Dartmouth College Press.
- Museo de Historia Natural. (s.f.). *Mural de Diego Rivera: El agua, origen de la vida*. Recuperado de <http://data.sedema.cdmx.gob.mx/museodehistorianatural/index.php/exhibiciones-y-colecciones/exhibiciones-permanentes/carcamo-de-dolores>.
- Museo del Palacio de Bellas Artes, (s.f.). *Murales*. México: MPBA.
- O'Hara, R. J. (1996). Trees of history in systematics and philology. *Memorie della Società Italiana di Scienze Naturali e del Museo Civico di Storia Naturale di Milano*, 27(1), 81-88.
- Ocampo, J. (2005). José Vasconcelos y la educación mexicana. *Rhela* 7, 137-157.
- Pagnone, L. (2015). La poliangularidad en el muralismo contemporáneo. *Revista de la Red Intercátedras de Historia de América Latina Contemporánea*, 2(3), 161-162.
- Paquette, C. (2007). El hombre en la encrucijada. Centro Rockefeller, Nueva York y Palacio de Bellas Artes, México. En L. Lozano & R. Coronel (eds.), *Diego Rivera. Obra Mural Completa* (pp. 344-363). México: Taschen.
- Pauwels, L. (2006). Introduction: the Role of Visual Representation in the Production of Scientific Reality. En L. Pauwels (ed.), *Visual Cultures of Science: Rethinking Representational Practices in Knowledge Building and*

Science Communication (pp. VII-XIX). Nueva Inglaterra: Dartmouth College Press.

- Paz, O. (1987). *México en la obra de Octavio Paz, III: Los privilegios de la vista: Arte de México*. México: Fondo de Cultura Económica.
- Pereira, A. (1997). *La Generación de Medio Siglo*. México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Perini, L. (2005a). Explanation in two dimensions: diagrams and biological explanation. *Biology and Philosophy*, 20(2-3), 257-269.
- Perini, L. (2005b). The Truth in Pictures. *Philosophy of Science*, 71, 262-285.
- Perini, L. (2012). Form and Function: A Semiotic Analysis of Figures in Biology Textbooks. En N. Anderson & M. R. Dietrich, (eds.), *The educated eye: visual culture and pedagogy in the life sciences* (pp. 235-254). Nueva Inglaterra: Dartmouth College Press.
- Piaget, (1970). *La construcción de lo real en el niño*. España: PROTEO.
- Puellas, M. & Hernández, M. (2009). El darwinismo en los manuales escolares de ciencias naturales de segunda enseñanza desde la publicación del "Origen de las especies" en España hasta finales del siglo XIX. *AHlg*, (18), 69-83.
- Ragan, M. A. (2009). Trees and networks before and after Darwin. *Biology direct*, 4(1), 43.
- Real Academia Española. (2018a). *Diccionario de la lengua española. Edición del tricentenario. Actualización 2017: Representación*. Recuperado de <http://dle.rae.es/?id=W4VMjJb>.
- Real Academia Española. (2018b). *Diccionario de la lengua española. Edición del tricentenario. Actualización 2017: Representar*. Recuperado de <http://dle.rae.es/?id=W4bJCOY>.
- Rieppel, O. (2010). The series, the network, and the tree: changing metaphors of order in nature. *Biology & Philosophy*, 25(4), 475-496.
- Roskies, A. (2012). Neuroimages, Pedagogy, and Society. En N. Anderson & M. R. Dietrich, (eds.), *The educated eye: visual culture and pedagogy in the life sciences* (pp. 255-276). Nueva Inglaterra: Dartmouth College Press.
- Rudwick, M. J. (1985). *The Great Devonian Controversy the shaping of scientific knowledge among gentlemanly specialist*. Estados Unidos: The University of Chicago Press.
- Ruse, M. (2009). The History if Evolutionary Thought. En M. Ruse & J. Travis (eds.), *Evolution: the first four billion years* (pp. 1-48). Estados Unidos Americano: Harvard University Press.
- Ruse, M., & Travis, J. (2009). Introduction. En M. Ruse & J. Travis (eds.), *Evolution: the first four billion years* (pp. ix-xii). Estados Unidos Americano: Harvard University Press.

- Sacristán, T. (2010). *Sidereus Nuncius*. España: MUNCYT.
- Schmidt, A. & Jacoby, T. (1996). *Herbs to Orchids: Botanical Illustration in the Nineteenth Century*. Irlanda: Trinity College Digital Repository.
- Shapin, S. & Schaffer, S. (2005). *El Leviathan y la bomba de vacío. Hobbes, Boyle y la vida experimental*. Argentina: Universidad Nacional de Quilmes Editorial.
- Shelley, C. (1996). Rhetorical and Demonstrative Modes of Visual Argument: Looking at Images of Human Evolution. *Argumentation and Advocacy*, 33(2), 53-68.
- Shelley, C. (2001). Aspects of visual argument: A study of the March of Progress. *Informal Logic*, 21(2), 85-96.
- Skoog, G. (1984). The coverage of evolution in high school biology textbooks published in the 1980s. *Science Education*, 68(2), 117-28.
- Skoog, G. (2005). The coverage of human evolution in high school biology textbooks in the 20th century and in current state science standards. *Science & Education*, 14(3-5), 395-422.
- Smith, P. H. (2006). Art, Science, and Visual Culture in Early Modern Europe. *Isis*, 97(1), 83-100.
- Stepan, N. (2001). *Picturing Tropical Nature*. Londres: Reaktion Books.
- Sturken, M. & Cartwright, L. (2009). *Practices of Looking: An Introduction to Visual Culture* (2da ed.). Nueva York: Oxford University Press.
- Suárez, M. (2003). Scientific representation: against similarity and isomorphism. *International Studies in the Philosophy of Science*, 17(3), 225-244.
- Suárez, M. (2010). Scientific representation. *Philosophy Compass*, 5(1), 91-101.
- Swan, C. (2011). Illustrated Natural History. En S. Dackerman, (ed.), *Prints and the Pursuit of Knowledge in Early Modern Europe* (pp. 85-91). Massachusetts: Harvard Art Museums.
- Switek, B. (2013). *Breaking our link to the "March of Progress*. Scientific American Blog Network. Recuperado de <https://blogs.scientificamerican.com/guest-blog/breaking-our-link-to-the-march-of-progress/>.
- Tecnológico Nacional de México. (2018a). *Breve Historia de los Institutos Tecnológicos*. Recuperado de <https://www.tecnm.mx/informacion/sistema-nacional-de-educacion-superior-tecnologica>.
- Tecnológico Nacional de México. (2018b). *Instituto Tecnológico de Ciudad Victoria*. Recuperado de: <https://www.tecnm.mx/federales/instituto-tecnologico-de-ciudad-victoria-dp1>.

- Torrens, E. & Barahona, A. (2012). Why Are Some Evolutionary Trees in Natural History Museums Prone to Being Misinterpreted?. *Evo Edu Outreach*, 5, 76-100.
- Torrens, E. & Barahona, A. (2013). Darwin's muses behind his 1859 diagram. *Arbor*, 189(763), 1-16.
- Torrens, E. & Barahona, A. (2014). La representación de la evolución en los libros de texto mexicanos. *Ciencias Sociales y Educación*, 3(6), 19-42.
- Torrens, E. (2010). *El árbol filogenético como metáfora en la comunicación de la ciencia* (Tesis de Doctorado). UNAM Posgrado Filosofía de la Ciencia. México.
- Torrens, E. (2018). Los árboles de Darwin. *Árboles evolutivos en la cultura visual popular*. México: Las prensas de ciencias.
- Tucker, J. (2012). *What our most famous evolutionary cartoon gets wrong*. Recuperado de <https://www.bostonglobe.com/ideas/2012/10/27/what-our-most-famous-evolutionary-cartoon-gets-wrong/drKMD5121W6EUxXJ4pF0YL/story.html>.
- Universidad Nacional Autónoma de México. (2018). *La UNAM en Números 2017-2018*. Recuperado de: <http://www.estadistica.unam.mx/numeralia/>.
- Villagómez, A. (1997). La biología en el muralismo de Diego Rivera. *Ciencias*, 45, pp. 24-30.
- Voss, J. (2010). *Darwin's pictures: Views of evolutionary theory, 1837-1874*. Estados Unidos: Yale University Press.
- Walter L. (2017). *Redoute: The Book of Flowers*. Alemania: Taschen.
- Web Gallery of Art. (s.f.). *DÜRER, Albrecht. Wing of a Roller*. Recuperado de https://www.wga.hu/html_m/d/durer/2/16/2/10roller.html.
- Winkler, M. G., & Van Helden, A. (1992). Representing the heavens: Galileo and visual astronomy. *Isis*, 83(2), 195-217.
- Wise, M. N. (2006). Making Visible. *Isis*, 97(1), 75-82.
- Zimmerer, K. S. (2006). Humboldt's nodes and modes of interdisciplinary environmental science in the Andean world. *Geographical Review*, 96(3), 335-360.

Índice de imágenes

Capítulo I La representación visual de la ciencia

- 1.1 Impresiones anatómicas planas de la anatomía de una mujer y un hombre, hecha por Heinrich Vogtherr (tomada de Dackerman, 2011).
- 1.2 Imagen femenina rodeada de los órganos internos, hecha por Andreas Vesalius (tomada de Dackerman, 2011).
- 1.3 Dibujo de la luna utilizado por Galileo Galilei en *Sidereus Nuncius* (tomada de Sacristán, 2010).
- 1.4 Dibujo de la bomba de vacío que utilizó Robert Boyle para sus experimentos (tomada de Shapin & Shaffer, 2005).
- 1.5 Dibujo de un ojo de mosca que utilizó Robert Hooke (tomada de Hooke, 1665).
- 1.6 Representaciones de Walther Vogt sobre el anágeno del embrión y los movimientos existentes durante la gastrulación (tomada de Anderson & Dietrich, 2012).
- 1.7 Diagrama de la doble hélice del ADN (tomada de Curtis, 2008).
- 1.8 Proyección vertical del paisaje de Alexander von Humboldt (tomada de Zimmerer, 2006).
- 1.9 Mapa cartográfico de Castro del Río, España (tomada de Instituto Geológico y Minero de España, 1987).
- 1.10 Dibujo naturalista de Albrecht Dürer, *Wing of a Blue Roller* (tomada de Web Gallery of Art, s.f.).
- 1.11 Retrato de los tres artistas que trabajaron con Leonhart Fuchs en el libro *De historia stirpium* (tomada de Gardham, 2002).
- 1.12 Dibujo naturalista de Jan Van Rymsdyk de un feto humano (tomada de Historical Anatomies on the Web, 2006).
- 1.3 Pintura *The Anatomy Lesson of Dr. Nicolaes Tulp*, de Rembrandt (tomada de Graaf, Nicolai & Meek, 2006).
- 1.14 Pintura *A Row in the Jungle*, de Joseph Wolf (tomada de Fitzwilliam Museum University of Cambridge, 2006).
- 1.15 Pintura *Darwinian Theory*, de Max Klinger (tomada de Morton, 2009).

Capítulo II Evolución: el reto de su representación

- 2.1 Gran Cadena del Ser de Ramon Llull (tomada de Ragan, 2009).
- 2.2 Sistema quinario de animales de William Sharp Macleay (tomada de Ragan, 2009).

- 2.3 Red de afinidades el reino animal de August Johann Georg Carl Batsch (Tomada de Ragan, 2009).
- 2.4 Árbol de Edward Eichwald basado en la descripción que hizo Peter Simon Pallas (tomada de Ragan, 2009).
- 2.5 Árbol de Agustín Augier, *Arbre botanique* (tomada de Ragan, 2009).
- 2.6 Árboles de la vida realizados por Lamarck (tomadas de Ragan, 2009).
- 2.7 Árbol de la vida realizado por Wallace (tomada de Ragan, 2009).
- 2.8 Diagrama de utilizado por Darwin en su libro *El Origen de las Especies* (1859) (tomada de Ruse, 2009).
- 2.9 Árbol publicado por Haeckel en su libro *Generelle Morphologie des Organismen* (tomada de Ragan, 2009).
- 2.10 Árbol publicado por Haeckel en su libro *Natürliche Schöpfungsgeschichte* (tomada de Torrens, 2018).
- 2.11 *Systematischer Stammbaum des Menschen* (Genealogía del Hombre) publicada en *Anthropogenie* (tomada de Torrens, 2018).
- 2.12 Marcha del Progreso, dibujada por Rudolph Zallinger (tomada de Howell, 1970).
- 2.13 Representación visual de la evolución del *Homo sapiens* (tomada de Klein, 2009).
- 2.14 Diagrama de Othniel Marsh que muestra la evolución de los dedos y los dientes de los caballos a lo largo del tiempo que fue incluido por Thomas Huxley en su libro (tomada de Huxley, 1876).
- 2.15 Red que representa la herencia vertical y horizontal en procariontes (tomada de Ragan, 2009).
- 2.16 Árboles filogenéticos de la historia evolutiva de las aves (tomada de Hackett *et al.*, 2008).

Capítulo 3 Muralismo en México y en los Institutos Tecnológicos de la secretaría de educación pública

- 3.1 Mural *El hombre controlador del Universo*, de Diego Rivera (tomada de Museo del Palacio de Bellas Artes, s.f.).
- 3.2 Sección del mural *El hombre controlador del Universo*, donde se muestra a Darwin (foto del autor).
- 3.3 Mural *El agua, origen de la vida*, de Diego Rivera (tomada de Museo de Historia Natural, s.f.).
- 3.4 Sección del mural *El agua, origen de la vida*, donde se muestra la evolución de los seres vivos (foto del autor).
- 3.5 Sección del mural *El agua, origen de la vida*, donde se muestra un desnudo femenino (foto del autor).
- 3.6 Sección del mural *El agua, origen de la vida*, donde se muestra un desnudo masculino (foto del autor).
- 3.7 Sección izquierda del mural *Ciencia y Tecnología*, de Ana Isabel Pérez Godina (tomada de Jaramillo & Vega, 2011).
- 3.8 Sección derecha del mural *Ciencia y Tecnología*, de Ana Isabel Pérez Godina (tomada de Jaramillo & Vega, 2011).

- 3.9 Mural *La Evolución del Hombre*, de Octavio Ocampo (tomada de Jaramillo & Vega, 2011).
- 3.10 Mural *La Aventura de la Ciencia*, de Jorge Luis Domínguez Chequer (tomada de Jaramillo & Vega, 2011).
- 3.11 Mural *Creación de la vida*, de Rafael Ibarra (tomada de Jaramillo & Vega, 2011).
- 3.12 Mural del Instituto de Ciudad Victoria (tomada de Jaramillo & Vega, 2011).
- 3.13 Mural *Impulso de la Nueva Humanidad Tecnológica*, de César Delgado Paredes (tomada de Jaramillo & Vega, 2011).
- 3.14 Mural *El Hombre y la Tecnología*, de Inés Xochipa Zempoalteca (tomada de Jaramillo & Vega, 2011).

Capítulo 4 Discusión y conclusiones

- 4.1 Compendio de seis de los murales analizados.
- 4.2 Mural del Museo de Historia Natural de la Ciudad de México que muestra la evolución biológica (foto del autor).