

Alexander von Humboldt, un naturalista genial

Contribuciones de Humboldt al conocimiento de la naturaleza en América Latina

Versión Ilustrada

Ignacio J. March Mifsut

Julio 2024
Ciudad de México

Página

Resumen	2
I. Introducción	2
II. El gran propósito: entender cómo funciona la naturaleza	4
III. Genialidad multi-disciplinaria	5
IV. El entorno científico de Humboldt	6
V. Midiendo la naturaleza: Instrumentos, métodos y técnicas	11
VI. Viajes en las eco-regiones de América Latina.	15
VII. Las grandes contribuciones a las ciencias naturales	18
a) Geología y Geofísica.	18
b) Mineralogía	21
c) Astronomía	23
d) Geografía	23
e) Oceanografía	25
f) Climatología y Meteorología	26
g) Biogeografía	26
h) Paleontología y Evolución Biológica	28
i) Zoología	28
j) Fisiología	31
k) Botánica	32
l) Uso de recursos naturales	33
m) Ecología	33
VIII. Reconocimientos al gran naturalista	34
IX. Consideraciones finales	35
X. Agradecimientos	41
XI. Referencias	41
XI. Anexos	44
Anexo 1.- Principales obras publicadas por Humboldt.	44
Anexo 2.- Lista de los principales instrumentos científicos y dispositivos utilizados por Humboldt para la colección de datos cuantitativos.	45
Anexo 3.- Ecorregiones terrestres de Sudamérica y México visitadas por Humboldt.	46
Anexo 4.- Especies animales dedicadas a Humboldt	46
Anexo 5.- Especies de plantas, hongos y micro-organismos dedicados a Humboldt.	47

Resumen



Fig. 1.- Autoretrato de Alexander von Humboldt (París, 1814).

Alexander von Humboldt fue un notable científico que incursionó en muy diversos campos de las ciencias naturales y humanísticas. Aunque Humboldt y su obra son ampliamente conocidos en todo el mundo y particularmente en América Latina, muchos biólogos y naturalistas en la actualidad no los conocen a profundidad.

Este trabajo se enfoca a dar un panorama de sus contribuciones y hallazgos como naturalista. Se comentan los procedimientos utilizados por Humboldt para recabar información a partir de observaciones propias y de intercambios con numerosos pensadores y científicos. De manera general, se presentan las habilidades de este naturalista para combinar distintas disciplinas, así como el entorno científico en el que se desenvolvió, incluyendo interacciones con ilustres naturalistas contemporáneos.

Se revisa su viaje al continente americano en el contexto de las eco-regiones que pudo visitar y que le permitió percibir, no solo la amplia diversidad ecológica de los paisajes naturales, sino también inferir diversas hipótesis y teorías sobre procesos y fenómenos naturales. En este trabajo se realiza una recapitulación sintética de las principales contribuciones de Humboldt en el campo de las ciencias naturales.

I. Introducción

“Humboldt conversó con la Tierra y el Universo”

Helmut de Terra

Alexander von Humboldt fue sin duda uno de los más grandes naturalistas que visitaron América Latina durante el siglo XIX, y es considerado como *el último naturalista ilustrado universal*. Ha sido llamado el Aristóteles del siglo XIX¹, así como un “gigante intelectual”². Desarrolló el concepto de la “contemplación razonada de la naturaleza” o “el empirismo razonado”, combinando de manera armónica la descripción científica de la naturaleza con la expresión estética y sensible de sus imágenes³. Humboldt mismo declaraba que su estilo narrativo era el de una “poesía narrativa”.

Su capacidad como científico multi-disciplinario e integrador es sorprendente, aún en nuestros días, y es inimaginable las deducciones que podría haber logrado una mente tan brillante, hoy en día, con las herramientas actuales de la ciencia y de la tecnología de la información. Humboldt contaba con enormes capacidades de observación y análisis de los eventos naturales físicos y biológicos, así como para el análisis holístico e interpretación de la naturaleza. Además, fue un libre pensador humanista que se opuso abiertamente a la esclavitud y que promovió la conservación de la naturaleza por los *grandes servicios que presta a la humanidad*.

¹ González Reyna y García Rojas, 1969.

² Echemberg, 2016.

³ Labastida, 1999.

Las fuentes de datos e información que le permitieron a Humboldt hacer grandiosas contribuciones a la ciencia moderna son muy diversas. Las principales provienen de sus propias mediciones y observaciones durante sus mayores expediciones en tres regiones del mundo (**Fig. 2**). Sin embargo, Humboldt también obtuvo grandes cantidades de información generada por muchos otros científicos y naturalistas cuyas obras revisó detalladamente o con quienes sostuvo una extensa correspondencia. El gran cúmulo de información compilada fue procesado por la mente de este brillante naturalista, quien la integró para presentar una visión holística sobre la naturaleza en su obra cumbre *Cosmos*.



Fig. 2.- Principales expediciones de Humboldt

Expediciones en Europa: Alemania, Polonia, Países Bajos, Francia, Suiza, Inglaterra, Italia, Hungría y España (1790 con Georg Forster).

Expediciones en América: Venezuela, Cuba, Colombia, Ecuador, Perú, México y EEUU (1799-1804, con Aimée Bonpland, y en la parte final con Carlos Montúfar).

Expediciones en Eurasia: Rusia, Siberia, Kazajistán y Mongolia (1829, con Gustav Rose y Christian Gottfried Ehrenberg).

Humboldt tenía una enorme capacidad para escribir en distintos idiomas. Históricamente, ha sido uno de los naturalistas científicos con mayor obra escrita a través de toda su vida. Además de sus detallados diarios, su obra epistolar de cerca de 5,000 cartas⁴ y su cartografía, Humboldt dejó una profusa y extensa obra científica y narrativa que inspiró poderosamente a otros científicos incluido el propio Charles Darwin⁵ (**Anexo 1**).

La obra de Humboldt ha sido analizada repetidamente desde muy distintas perspectivas en los aspectos historiográficos, políticos y humanísticos, pero pocas veces se ha revisado desde la óptica particular de las ciencias naturales.



Fig. 3.- Diario original de Alexander von Humboldt
(Tomado de <http://www.dw.com/en/will-humboldts-journals-go-under-the-hammer/a-16834512>).

En este manuscrito se pretende visitar la genialidad de Humboldt con un enfoque más orientado a conocer las capacidades científicas y humanas que lo condujeron en la búsqueda de explicaciones sobre el funcionamiento de los procesos naturales en el espacio y en el tiempo. También se hace una recapitulación sintética de sus principales contribuciones a las ciencias naturales.

⁴ Humboldt, 1860, 1989; Rebok, com.pers.; Kohlhepp (2005) comenta que Humboldt escribió más de 35,000 cartas y que recibió más de 100,000.

⁵ Baron, 2010.

II. El gran propósito: entender cómo funciona la naturaleza

Un naturalista, por lo general, enfoca su pasión a conocer la naturaleza que nos rodea en el sentido más amplio de la palabra. *Naturaleza* no es solamente las plantas y animales en los entornos en que se desarrollan; el concepto de *naturaleza* abarca prácticamente todo lo que es natural y que no fue “creado artificialmente” por el ser humano. De esta manera, Humboldt fue un naturalista al que por igual le interesaban los eventos astronómicos, el vulcanismo, la geología, los fenómenos meteorológicos, la hidrología, la biología y la ecología, y que analizaba muchas veces al mismo tiempo y en un mismo paisaje u objeto en observación.

Naturaleza.

f. Conjunto de todo lo que existe y que está determinado y armonizado en sus propias leyes.

Humboldt tenía la capacidad de hacer detalladas descripciones y comparaciones, en buena medida para poder después argumentar sus inferencias y deducciones; con el enfoque de que “*el todo es más que la simple suma de sus partes*”⁶, Humboldt en última instancia buscaba acumular e integrar elementos para encaminarse por aproximaciones sucesivas a un entendimiento integral del funcionamiento de la naturaleza y de las leyes y principios que la rigen. Podía abstraerse para imaginar la modelación de la geografía de una región a distintas escalas.

“Para que esta obra sea digna de la bellísima expresión del Cosmos, que significa el orden del Universo y la magnificencia en el orden, es necesario que abrace y describa el gran Todo (μὀν); es preciso clasificar y coordinar los fenómenos, penetrar el juego de fuerzas que los producen, y pintar, en fin con animado lenguaje, una viviente imagen de la realidad”.

Alexander von Humboldt, *Cosmos o ensayo de una descripción física del mundo* (1845-1862; traducción de Bernardo Giner y José de Fuentes)⁷

“Coleccionaré plantas y animales, estudiaré la temperatura, la elasticidad, la composición magnética y eléctrica de la atmósfera, la analizaré, determinaré las longitudes y los paralelos geográficos, mediré montañas, pero en realidad este no es mi objetivo final; mi verdadera y única finalidad es investigar cómo se entretajan todas las fuerzas naturales, la influencia de la naturaleza inanimada sobre el mundo vivo animal y vegetal...”.

Alexander von Humboldt, antes de emprender el viaje a América (Camacho Ochoa, 2006).

Luego de su visita a las selvas tropicales del Orinoco, el contraste con los llanos de Venezuela le permitió a Humboldt percibir factores ambientales no tan obvios para el observador casual.

⁶ Doherr, 2015.

⁷ Tomado de Magee, 2007.

III. Genialidad multi-disciplinaria

Aunque Humboldt fue más que nada un naturalista enfocado a las ciencias naturales y de la Tierra, también incursionó en otras disciplinas humanísticas como la economía, la geografía política y por supuesto en la antropología y la arqueología (**Fig. 4**). En su viaje por América invirtió esfuerzos considerables al estudio de los monumentos y culturas precolombinas, particularmente la Inca en Ecuador y Perú, y la cultura de Teotihuacán y la Azteca en el centro de México. Se puede decir que una de las características más notables de Humboldt es que fue un científico multi-disciplinario, que mostró interés y curiosidad por conocer todos los componentes de la naturaleza, desde los procesos físicos (la formación de los minerales, los fenómenos geológicos, la dinámica de los ríos y corrientes marinas, los fenómenos climáticos y meteorológicos), hasta los astronómicos y planetarios, pasando por supuesto por los biológicos, expresados en las plantas, los animales y los ecosistemas.

Humboldt fue un naturalista de vanguardia al incursionar en dos disciplinas de las ciencias naturales totalmente innovadoras en su época: La fitogeografía o geografía de las plantas, y la fisiología en plantas y animales.

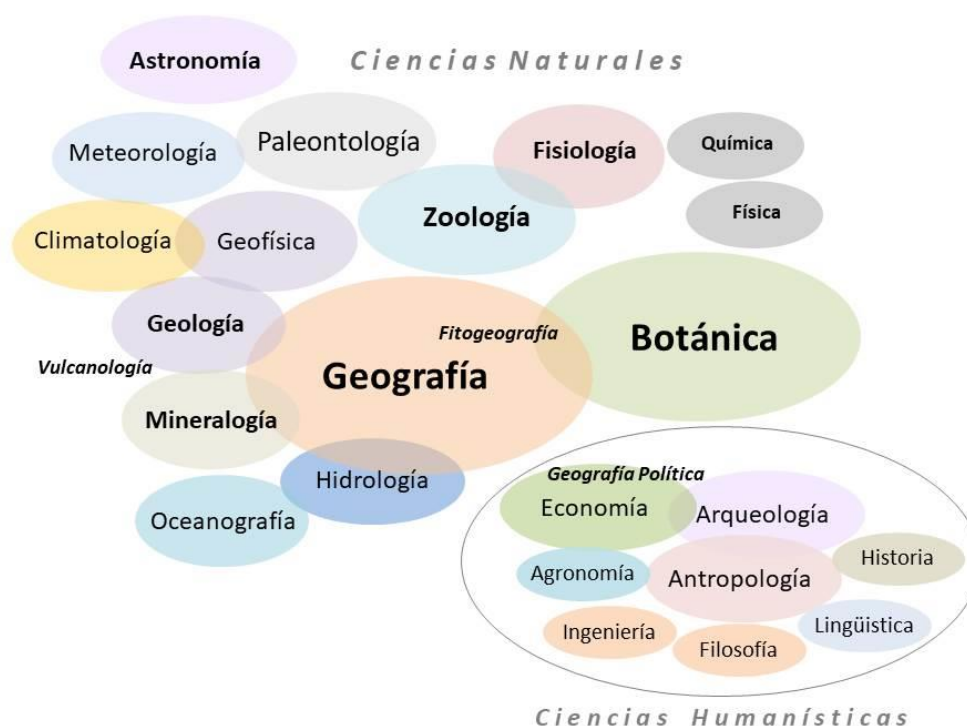


Fig. 4.- Disciplinas científicas en que Alexander von Humboldt enfocó su interés y trabajo

El enfoque trans-disciplinario de Humboldt debe ser de inspiración para las nuevas generaciones de naturalistas y científicos que persiguen un mejor entendimiento de porqué el todo es mucho más que la suma de sus partes.

Humboldt fue un extraordinario intérprete de los paisajes naturales y transformados; podía deducir la historia de eventos y condiciones que habían moldeado cada paisaje así como la fisonomía de la vegetación. Era un naturalista en toda la amplitud de la palabra. Le interesaba analizarlo todo, desde el vulcanismo y la formación de las rocas hasta la productividad de los suelos para la agricultura, pasando por la evolución y la ecología de los micro-organismos, invertebrados, peces, anfibios, reptiles, aves y mamíferos. Dicho por el propio Humboldt,

buscaba “una filosofía natural que responda a una concepción racional de los fenómenos del Cosmos”; tenía un pensamiento unificador y una conciencia universal trans-disciplinaria ⁸.

IV. El entorno científico de Humboldt

Es fundamental considerar el entorno en el que numerosos científicos de muy diversas disciplinas influyeron de manera complementaria sobre Humboldt. También es esencial mencionar la importante participación de diversos colaboradores que contribuyeron de manera muy importante a su obra y a sus ideas magistrales. De igual manera en que se reconoce la contribución de Alfred Russel Wallace a la teoría de la evolución generada con Darwin, es justo y necesario reconocer la contribución de Aimée Bonpland y muchos otros científicos que Humboldt consultó de muy diversas formas. Charles Darwin en su viaje a través del mundo, reconoció la inspiración que encontró en los relatos de Humboldt sobre su viaje a América, para realizar su histórico viaje a bordo del *Beagle*. Al terminar su periplo, Darwin envió a Humboldt una copia de su diario ⁹.

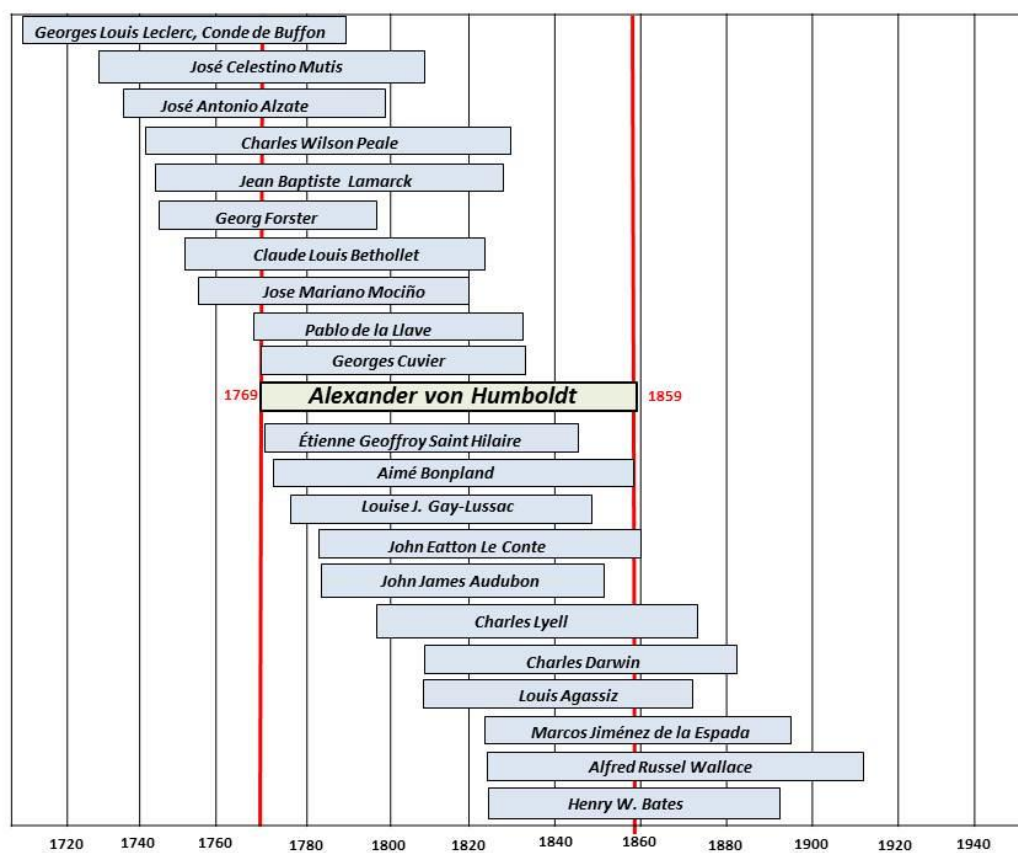


Fig. 5.- Línea de vida de Alexander von Humboldt con respecto a las de diversos naturalistas y científicos contemporáneos.

⁸ Ette, 2001.

⁹ Wulf, 2016.

Aparte de las frecuentes interacciones que Humboldt tuvo con afamados naturalistas como Georg Forster ¹⁰ y Georges Cuvier ¹¹, también tuvo contacto directo con diversos personajes en encuentros dignos de mencionarse: En 1790, el joven Humboldt conoció a Joseph Banks (1743-1820), quien fue el principal naturalista durante la primera expedición de James Cook a bordo del *HMS Endeavour* (1768-1771), y también a William Herschel (1738-1822) importante astrónomo descubridor del planeta Urano. En 1798, Humboldt conoció a Étienne Geoffroy Saint-Hilaire (1772-1844), un importante zoólogo y naturalista francés. En París conoció a Jean Baptiste Lamarck (1744-1829) quien propuso la evolución a través de la trasmutación de las especies.



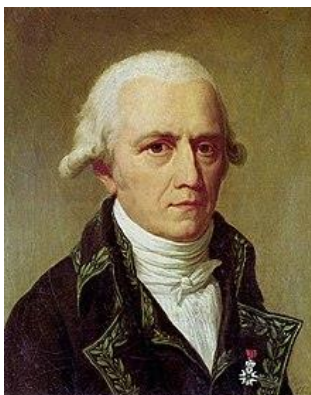
Joseph Banks (1743-1820)



William Herschel (1738-1822)



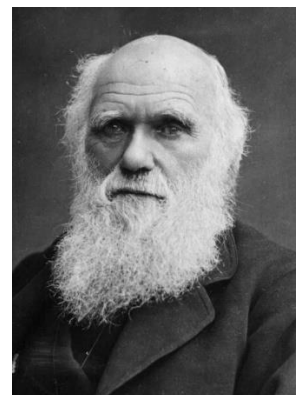
Étienne Geoffroy Saint-Hilaire (1772-1844)



Jean Baptiste Lamarck (1744-1829)



George Cuvier (1769-1832)



Charles Darwin (1809-1882)

En 1801 en Santa Fe de Bogotá, Humboldt visitó a José Celestino Mutis (1732-1808), un prominente botánico español de la época que fue miembro de la Real Expedición Botánica a Nueva Granada. En su viaje a Ecuador conoció a Francisco José de Caldas (1768-1816) un importante botánico y naturalista, quien lo acompañó a ascender los volcanes Pichincha y Cotopaxi. Igualmente, en Ecuador, herborizó ejemplares en compañía de los botánicos españoles Juan José Tafalla (1755-1811) y Juan Agustín Manzanilla (1783-1816). En México el Director del Real Jardín Botánico de la Ciudad de México Vicente Cervantes (1755-1829) le dio acceso a Humboldt a la información colectada por Martín de Sessé.

¹⁰ Participó en la segunda expedición alrededor del mundo del Capitán James Cook.

¹¹ Famoso naturalista y paleontólogo considerado como el padre de la anatomía comparada.



José Celestino Mutis (1732-1808)



Francisco José de Caldas (1768-1816)

En Junio 1804, Alexander von Humboldt, Aimée Bonpland y Carlos de Montúfar, visitaron al Presidente de EUA Thomas Jefferson en compañía de un importante naturalista: Charles Wilson Peale (1784-1827), a partir de cuyo gabinete de curiosidades se originó el primer Museo de Historia Natural de ese país en la ciudad de Filadelfia.

De regreso a Europa, ya en París, conoció al famoso naturalista y geólogo británico Charles Lyell (1797-1875) ¹². El famoso botánico Carl L. Willdenow (1765-1812) fue determinante para que Humboldt ordenara sus ideas sobre la geografía de las plantas. También es importante mencionar a Karl S. Kunth (1788-1850), quien fue el botánico que sistematizó la gigantesca colección de plantas que Bonpland y Humboldt recolectaron durante su viaje en América. Así mismo, ya en París, conoció a Achille Valenciennes (1794-1885) zoólogo discípulo de Cuvier.

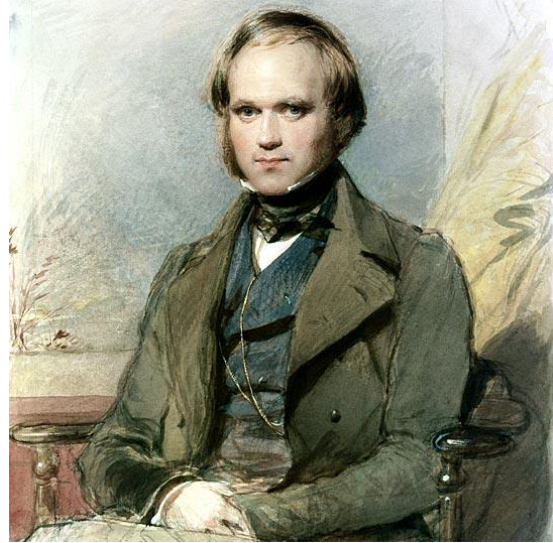
El joven Charles Darwin (1809-1882) admiró a Humboldt y su *“Narrativa personal de viajes a las regiones equinocciales del nuevo continente”* fue de gran inspiración durante su viaje alrededor del mundo. Después, el 29 de enero de 1842, se acordó una reunión entre Darwin y Humboldt en la casa del geólogo Roderik Murchinson en Londres; Darwin, de 32 años de edad y que ya estaba trabajando en su teoría sobre el origen de las especies, tenía numerosas preguntas por hacer al naturalista. Se dice que Humboldt, con 72 años de edad, no paró de hablar desde que entró al recinto del encuentro, y aunque no dejó de hacer reconocimientos al joven Darwin, este se frustró por no haber podido tener una conversación con el naturalista alemán ¹³.

¹² Wulf, 2016.

¹³ Wulf, 2016.



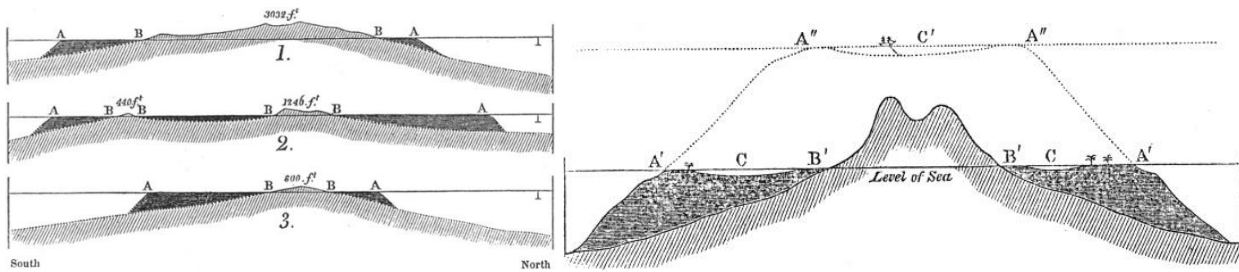
Alexander von Humboldt a los 73 años de edad
(Pintura de Joseph Stieler, 1843)



El joven Charles Darwin a los 31 años de edad
(Retrato por George Richmond, 1840)

El 29 de enero de 1842, Humboldt (72 años) y Darwin (32 años) se reunieron en la casa del geólogo Roderik Murchinson en Londres. Estas serían sus apariencias muy cercanas en dicho encuentro.

Cuando Darwin publicó en 1842 su teoría sobre la formación de los atolones de coral alrededor de islas que se hundían después, Humboldt la apoyó pese a que numerosos científicos proponían teorías contrarias sobre este fenómeno.



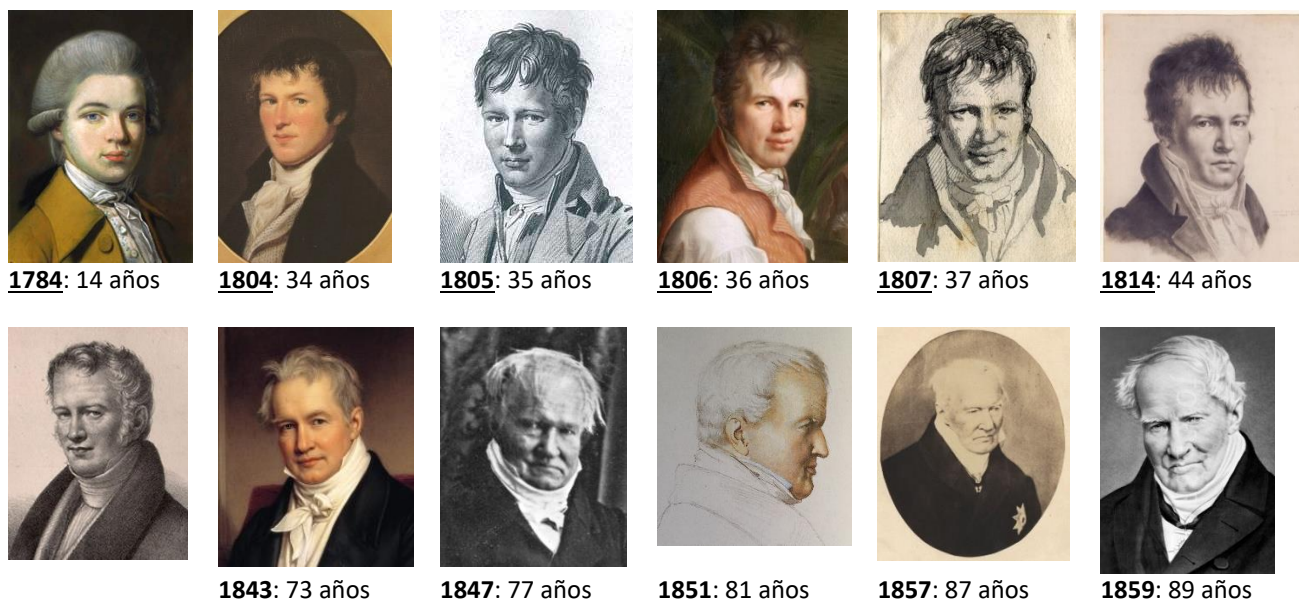
Formación de atolones por el crecimiento de arrecifes de coral alrededor de una isla de origen volcánico
(Tomado de: Darwin, C. 1842. The Structure and Distribution of Coral Reefs. London, Smith, Elderand Co.)



Fig. 6.- Pintura titulada "*The artist in his museum*" (el artista en su museo) de Charles Wilson Peale 1822 (Pennsylvania Academy of Fine Arts).

Finalmente cabe comentar que Humboldt fue de gran inspiración para John Muir (1838-1914), un naturalista estadounidense que impulsó la conservación de la naturaleza en su país y que fundó el *Sierra Club* ¹⁴.

¹⁴ Wulf, 2016.



Retratos de Alexander von Humboldt a lo largo de su vida (Tomados de diversas fuentes).

V. Midiendo la naturaleza: Instrumentos, métodos y técnicas

En su viaje a América, Humboldt con 30 años de edad, cargó con un amplio bagaje de instrumentos científicos y dispositivos que le permitirían obtener mediciones de muy diversa índole para poder generar datos cuantitativos de diversas variables físicas, y por supuesto para lograr el posicionamiento geográfico de sitios y rasgos terrestres con la mayor precisión posible (**Anexo 2**)¹⁵. Trasladar este instrumental a lo largo de su jornada a través de valles y montañas, le significó a Humboldt y a quienes le acompañaban una impedimenta considerable pero le permitió hacer mediciones sistemáticas de sus observaciones. No es difícil imaginar a Humboldt con sus acompañantes caminando por senderos sinuosos seguidos por una larga recua de mulas o caballos cargados con los instrumentos científicos y por supuesto con el resultado de sus colectas de especímenes de minerales, rocas, flora y fauna¹⁶. Adicionalmente al instrumental científico que llevó Humboldt, el naturalista contaba con otras herramientas y habilidades que le serían de la mayor utilidad para recabar información y efectuar observaciones: Humboldt era un decidido escalador y montañista, lo que le permitió ascender un número importante de volcanes y montañas y atravesar agrestes sierras. Estas travesías le permitieron percibir la manera en que los gradientes físicos y biológicos cambiaban con la altitud (**Fig. 7**).

¹⁵ Doherr, 2015

¹⁶ Sucarrats, 2014.

Instrumental científico y dispositivos de medición utilizados por Humboldt

Posicionamiento y ubicación geográfica, levantamientos topográficos

- Reloj de Longitudes de Berthoud**
(Para determinar la longitud en alta mar)
- Sextante de bolsillo de Throughton**
(Para posicionar ubicación utilizando al solo a estrellas)
- Sextante de Ramsden**
(Para posicionar ubicación utilizando al solo a estrellas)
- Telescopio de Caroché**
(Observaciones astronómicas para determinar posicionamiento)
- Cuadrante de Bird**
(Mejoramiento de la precisión de las marcas angulares de sextantes)
- Brújula de inclinación/declinación de Le Noir**
(Medición de la declinación magnética)
- Horizonte artificial de mercurio**
(Definición de la horizontalidad para representar un perfil topográfico)
- Cadena de agrimensur**
(Unidad de longitud para medir terrenos)

Medición de condiciones atmosféricas y del aire

- Higrómetro de Saussure**
(Medición de la humedad atmosférica)
- Cianómetro de Paul**
(Determinación de la coloración azul del cielo)
- Barómetro/término de Fortin**
(Medición de alta precisión de la presión atmosférica y la temperatura)
- Barómetro/término de Ramsden**
(Medición de la presión atmosférica y la temperatura)
- Término de Paul**
(Medición de la presión atmosférica y la temperatura)
- Electrómetros de Bennet y de Saussure**
(Medición de corrientes eléctricas sutiles y cargas de iones en el aire)
- Aerómetros de Nicholson y de Dollond**
(Medición de la densidad del aire y de algunos gases)
- Pluviómetro**
(Medición de la precipitación)

Medición del tiempo

- Medio cronómetro de Seyffert**
(Medición del tiempo en intervalos cortos)

Otras mediciones y dispositivos

- Horizonte Artificial de Caroché**
(Percepción de la horizontalidad)
- Grafómetro de Ramsden**
(Medición de ángulos topográficos)
- Péndulo invariable de Megnie**
(Medición de la intensidad del campo magnético)
- Eudiómetro de Fontana**
(Medición de cambios de volumen de una mezcla de gases)
- Eudiómetro de Fósforo de Reboul**
(Medición de cambios de volumen de una mezcla de gases)
- Sonda Temométrica de Dumotier**
(Transmisión de temperatura entre un emisor y un receptor)
- Microscopio Compuesto de Hofmann**
(Observación de objetos transparentes y características no observables a simple vista)
- Balanza de Ensayo**
(Medición de alta precisión de pequeñas masas)
- Electroscopio de Haüy**
(Medición de la electricidad generada por presión, fricción o calentamiento)
- Botella de Leyden**
(Dispositivo para almacenar cargas eléctricas)
- Telescopio acromático de Dollond**
(Observaciones astronómicas y de lugares distantes)



Telescopio acromático



Aerómetro de Nicholson



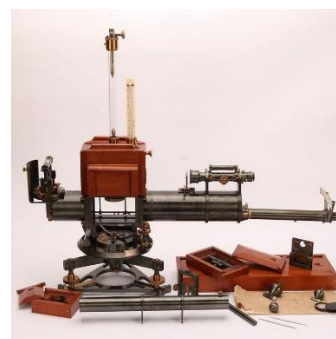
Sextante de bolsillo



Sextante de Ramsden



Nivel de Lenoir



Magnetómetro

Humboldt siempre tuvo una fuerte atracción por estudiar la naturaleza en las montañas y volcanes; visitó los Alpes, los Pirineos, el Teide y el Vesubio en Europa; tuvo la intención de visitar la cadena montañosa del Atlas en el norte de África y también los Himalaya; en América escaló y estudió muchas de las montañas en los Andes y en México realizó visitas a volcanes y montañas del Eje Neovolcánico Transversal. También tenía una especial atracción por explorar cuevas y cavernas.

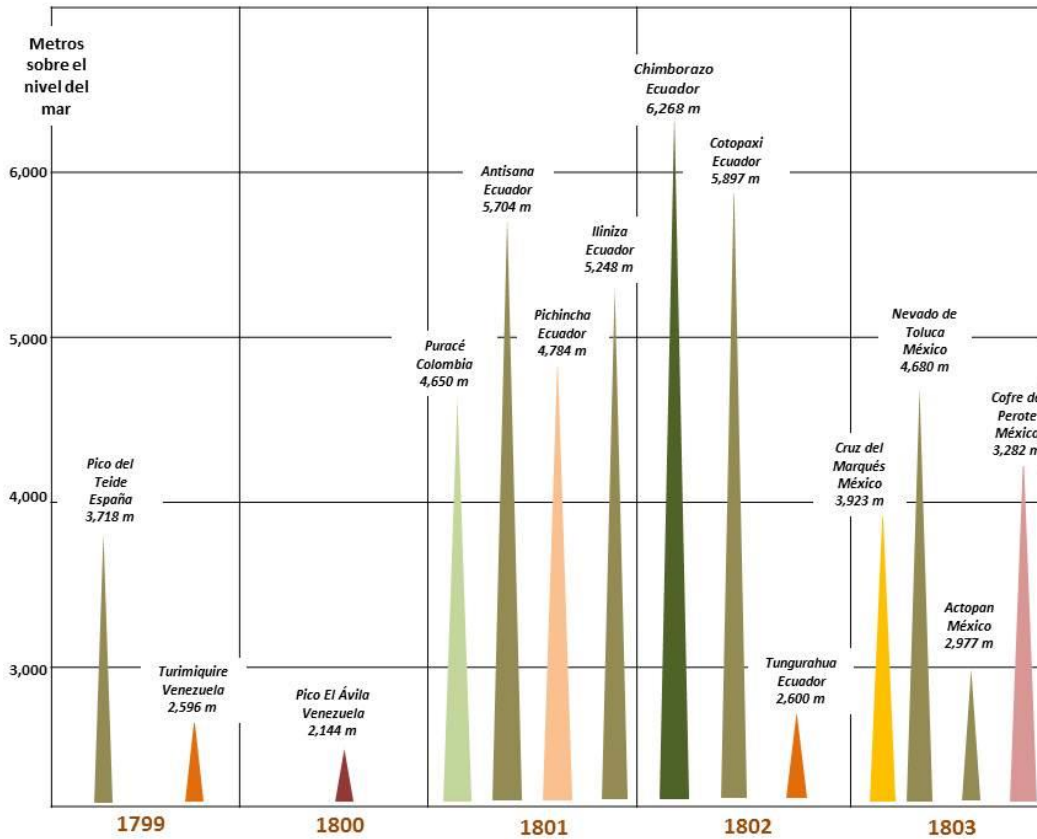


Fig. 7.- Diagrama que muestra las altitudes de las principales montañas y volcanes escalados por Humboldt entre 1799 y 1803.

Se ha propuesto que con sus “tablas físicas”, Humboldt pudo generar una imagen tridimensional de las zonas climáticas y los tipos de vegetación asociados ¹⁷.

Las relaciones que observó entre las variables físicas (temperatura, humedad, etc.) con la altitud y la geomorfología de los paisajes, le permitió inferir patrones en la distribución de la vegetación y de las plantas encaminados a producir un sistema similar al “sistema de zonas de vida” que muchos años después propusiera Holdridge (1907-1999)¹⁸ (Fig. 8).

¹⁷ Kohlhepp, 2005.

¹⁸ Holdridge, 1967.

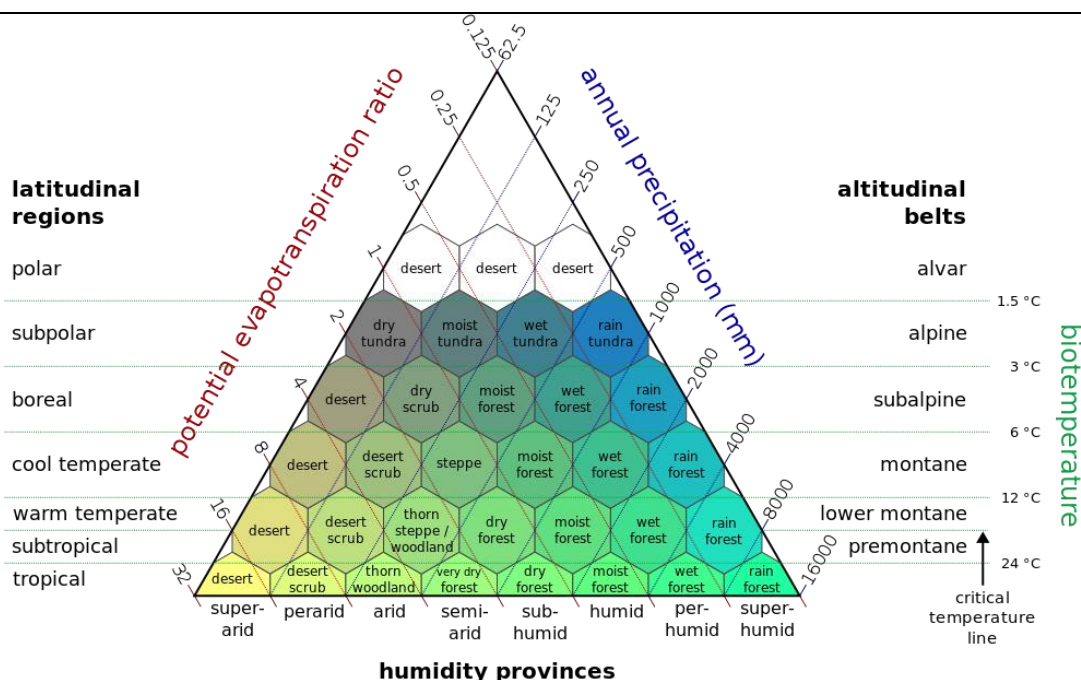


Fig. 8.- Gráfica de las Zonas de Vida según el sistema creado por Leslie R. Holdridge (Tomado de Wikipedia https://es.wikipedia.org/wiki/Sistema_de_clasificaci%C3%B3n_de_zonas_de_vida_de_Holdridge).

Adicionalmente, Humboldt contaba con amplias habilidades lingüísticas: hablaba al menos alemán, francés, español e inglés, además de tener una gran capacidad para lograr empatía en quien le conociese.

Además de sus textos y narraciones, Humboldt expresó sus ideas y hallazgos científicos utilizando muy diversos métodos visuales incluyendo la cartografía, los perfiles topográficos, las recreaciones de paisajes, los bocetos e ilustraciones de flora y fauna, los gráficos de histogramas, isolíneas y dimensiones, los perfiles de distribución de especies, etc. (Fig. 9).

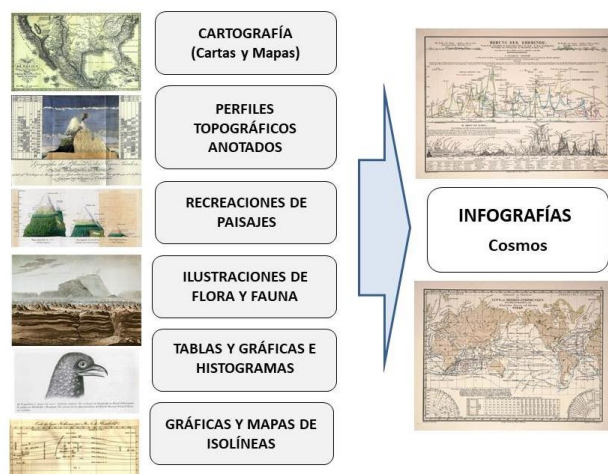
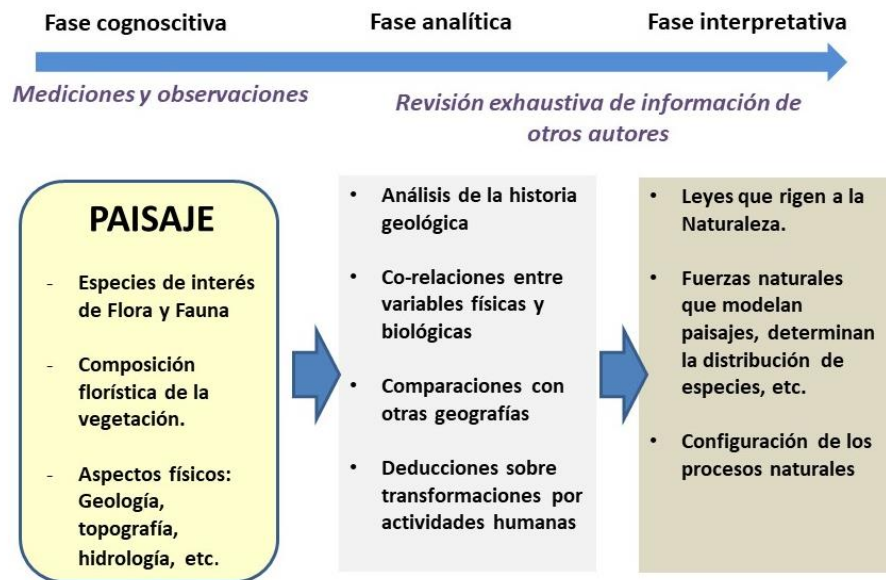


Fig. 9.- Elementos de comunicación utilizados por Humboldt para complementar a sus textos y narraciones.

Humboldt tenía la habilidad para proyectar escenarios al futuro, con base a la observación detenida y al análisis de los fenómenos y procesos naturales a través de la escala del tiempo.

El procedimiento de Humboldt para buscar explicaciones sobre el funcionamiento de la naturaleza, se basaba en la observación minuciosa de los fenómenos, la medición escrupulosa de los datos, la integración de la información sobre los factores involucrados y la comparación con casos y ejemplos observados en otros tiempos o en otros lugares.

Luego de analizar sus datos y observaciones para generar conocimientos propios, Humboldt los ensamblaba con conocimientos generados por filósofos y científicos que le precedieron y contemporáneos, para lograr así una aproximación más completa al entendimiento de la naturaleza y el cosmos. Era como si ensamblara los engranes y piezas dispersas para construir una compleja maquinaria de relojería.



VI. Viajes en las eco-regiones de América Latina.

En su viaje por América, el Botánico Aimée Bonpland, y el militar Carlos de Montúfar que lucharía después por la independencia de Ecuador, acompañaron a Humboldt en su viaje por América.



Aimée Bonpland (1773-1858)



Carlos de Montúfar (1780-1816)

Utilizando un Sistema de Información Geográfica (SIG), se digitalizaron a detalle las rutas de viaje de Humboldt y Bonpland, con el fin de poder determinar las ecorregiones terrestres¹⁹ en América Latina que visitó el naturalista. En Sudamérica (Venezuela, Colombia, Ecuador y Perú), el naturalista cruzó 22 ecorregiones terrestres y en México 11 (**Fig. 10; Anexo 3**). Humboldt caminó a través de paisajes de zonas bioclimáticas muy distintas y con historias geológicas muy diversas; esto le permitió percibir gradientes de tipos de vegetación muy variados, con composiciones florísticas y faunísticas muy contrastantes entre sí, así como ecotonos (zonas ecológicas de transición) que en su conjunto muy posiblemente contribuyeron a identificar en su mente correlaciones complejas entre variables físicas ambientales y comunidades ecológicas, así como patrones de distribución de las plantas que iba colectando y estudiando.

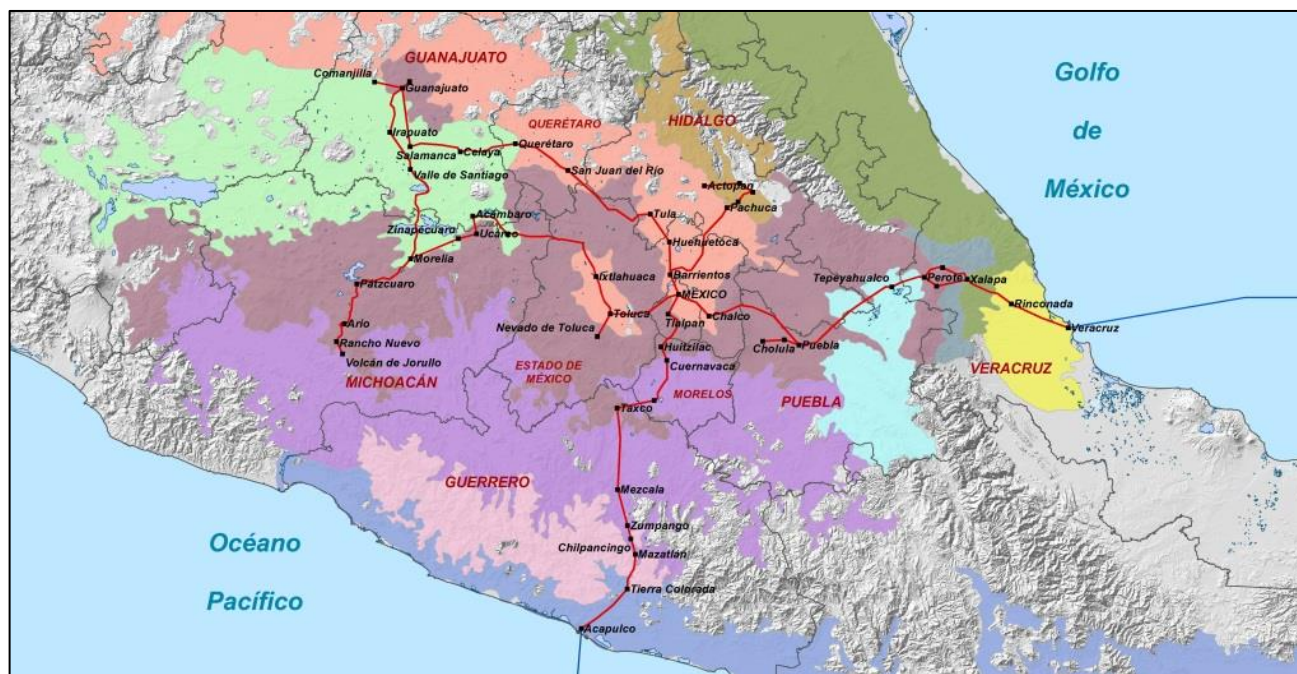


Fig. 10.- Rutas de las expediciones de Humboldt en América

¹⁹ Olson et al. 2001



En la región central de México, Humboldt transitó de manera alternada entre selvas tropicales secas, bosques templados de pino y encino, matorrales y selvas húmedas (**Fig. 11**). El centro de México es una región ambientalmente muy compleja pues confluyen varios sistemas montañosos que dan lugar a un intrincado mosaico ambiental, lo cual genera una gran diversidad biológica y un amplio espectro de ecosistemas que muy probablemente indujeron en Humboldt numerosas ideas para interpretar los paisajes que pudo observar.



Ecorregiones Terrestres de México visitadas por Humboldt

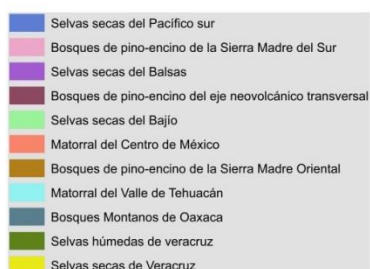


Fig. 11.- Mapa que muestra las eco-regiones terrestres del centro de México intersectadas por las rutas de viaje en las expediciones efectuadas por Humboldt.

VII. Las grandes contribuciones a las ciencias naturales

Las contribuciones al conocimiento de la naturaleza que Humboldt hizo a lo largo de su vida son, sin duda, numerosas y de muy diversa índole, particularmente las de su viaje por América ²⁰. A continuación se describen de manera muy breve sus contribuciones en las diversas disciplinas de las ciencias naturales.

a) Geología y Geofísica.

Los hallazgos logrados por Humboldt en el campo de la Geología, demostraron que las rocas iniciaban su formación en el interior del planeta gracias a enormes temperaturas y presiones, invalidando con ello la teoría neptunista ^{21 22}. Propuso que la Tierra es un planeta muy dinámico que cambia constantemente con el tiempo, y dijo que si cada siglo se hicieran mediciones de altitudes y ángulos de las montañas, se podría percibir los “cambios accidentales que experimenta la superficie del globo”. Tal y como él escribió, trataba de explicarse

²⁰ Rebok, 2003.

²¹ El Neptunismo es una teoría obsoleta que planteaba la formación de las rocas a partir de la cristalización de los minerales en los océanos en tiempos antiguos.

²² Magee, 2007

cómo funcionaba la “*maquinaria que genera continentes y montañas*”. El geomagnetismo fue de su mayor interés y las mediciones realizadas de manera sistemática en sus expediciones, demostraron la declinación magnética en un gradiente latitudinal²³.

Humboldt estuvo muy cerca de deducir la teoría de la tectónica de placas y la deriva continental; esto a partir de sus propias observaciones y de los numerosos informes de otros autores que visitaron distintas partes del mundo. Al revisar sus escritos, parece como si Humboldt sospechase ya los principios de la teoría de la propuesta por Alfred Wegener en 1912²⁴. De hecho, fue explícito cuando identificó la correspondencia de los contornos de las costas de Sudamérica y África²⁵.

Uno de los fenómenos naturales que más interesó a Humboldt fue sin duda el vulcanismo; compiló y analizó mucha información histórica sobre las erupciones de muchos volcanes en el pasado. Gracias a él, la caracterización de los diversos tipos de volcanes se incrementó de manera importante. En Turbaco, cerca de Cartagena Colombia, Humboldt observó los “volcancitos” que se forman alrededor de los cráteres principales de algunos volcanes, los cuales son conos por donde se exhalan los gases volcánicos. En México, un 19 de septiembre de 1803²⁶ visitó el volcán Jorullo en Michoacán²⁷. Este volcán se formó el 29 de septiembre de 1759; cuando esto ocurrió, las cenizas que expulsó llegaron hasta la ciudad de Querétaro. En su diario, Humboldt declara lo difícil que le fue conseguir a un habitante local con la suficiente audacia para guiarlo. Realizó una cuidadosa descripción tanto del volcán como de los numerosos conos de emisiones de gases y vapores que lo rodean; con dificultades subió hasta el cráter, corriendo peligro debido a lo delgado de la bóveda del volcán y a los hundimientos existentes. Observó como por una grieta emanaba un humo amarillo de azufre, que contrastaba con el negro de la roca volcánica y el basalto; también observó en el sitio aguas termales. La detallada descripción del Jorullo y un croquis que dibujó del volcán, convirtieron a este sitio en un lugar irresistible para ser visitado tiempo después por numerosos geólogos y vulcanólogos de distintas partes del mundo (Fig. 12 y 13).

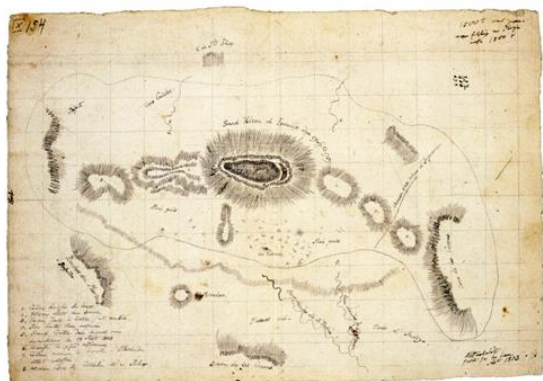


Fig. 12.- Croquis del Volcán Jorullo realizado por Alexander von Humboldt (Skizze des Vulkans Jorullo . Tagebuch IX, Bl. 154r; Staatsbibliothek zu Berlin).

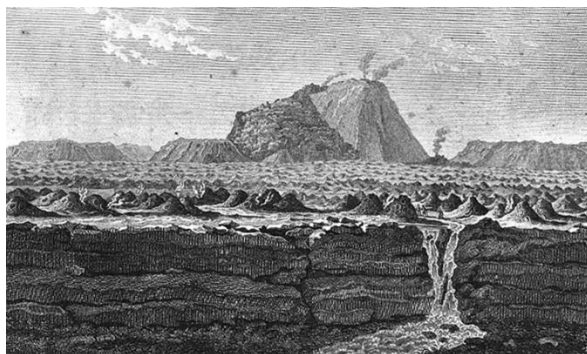


Fig. 13.- Ilustración del Volcán Jorullo realizada por Louis Bouquet (Vulkan Jorullo, Kupferstich nach einer Aquatinta von Wilhelm Friedrich Gmelin, aus Alexander von Humboldts Reisewerk „Vues des Cordillères“, Paris 1810–1815).

²³ De Terra, 1956.

²⁴ “Llevado por un ardiente deseo de ver la otra parte del mundo bajo el aspecto de la física general, de estudiar no solamente las especies y sus caracteres, sino también la influencia de la atmósfera y su composición química sobre los cuerpos organizados, la construcción del globo, la identidad de las capas (geológicas) en los países más alejados los unos de los otros...” (Tomado de Martí Marco, 2006).

²⁵ Doherr, 2015

²⁶ Peralta, 2007; Urquijo, 2010.

²⁷ Cerca del poblado “La Huacana”.

Al notar la alineación de los volcanes en el Eje Volcánico Transversal de México y en la Cordillera de los Andes, dedujo que podría deberse a una línea de debilitamiento de la corteza terrestre Humboldt buscó intensamente relaciones entre la actividad volcánica y los terremotos.

Una contribución importante de Humboldt fue la descripción geológica de Cuba, así como su hipótesis sobre la formación de las Antillas.

Humboldt fue el primer naturalista que describió los prismas basálticos de Santa María Regla en México. Estas estructuras geológicas fueron observadas por Humboldt en su viaje de prospección a las minas de Real del Monte en el estado de Hidalgo, México. Se localizan en la barranca de Alcholoya del municipio de Huasca de Ocampo (**Fig. 14**), y es un sitio considerado como una de las “13 maravillas naturales de México”. Estas estructuras basálticas se formaron a partir de derrames ígneos que ocurrieron hace unos 2.5 millones de años, al final del pleistoceno e inicios del cuaternario. Los prismas hexagonales se formaron cuando los flujos intrusivos de lava tuvieron un enfriamiento rápido al entrar en contacto con el agua por la intersección de un río o un brazo de un lago; con los años, por erosión se fue formando la barranca de Alcholoya dejando así expuesta estas estructuras rocosas. Humboldt infirió que la forma hexagonal de estos prismas basálticos se habrían debido a un rápido enfriamiento.

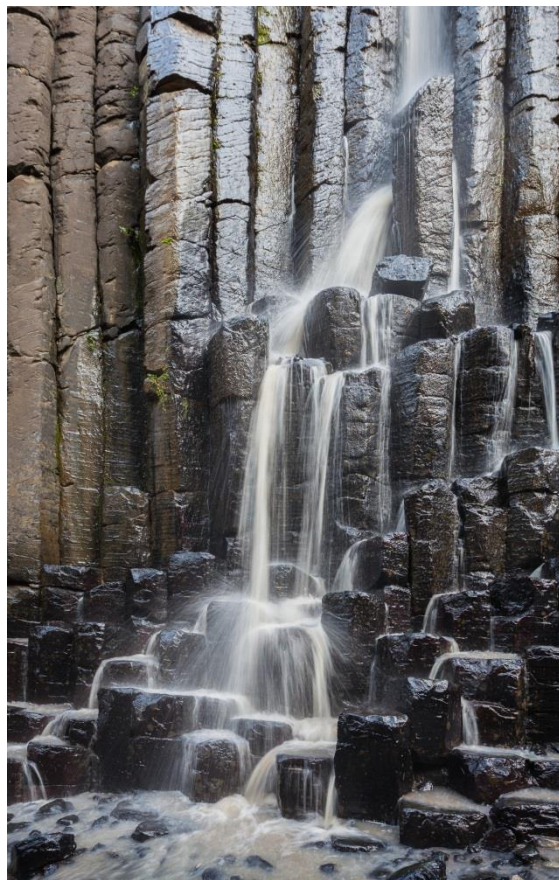
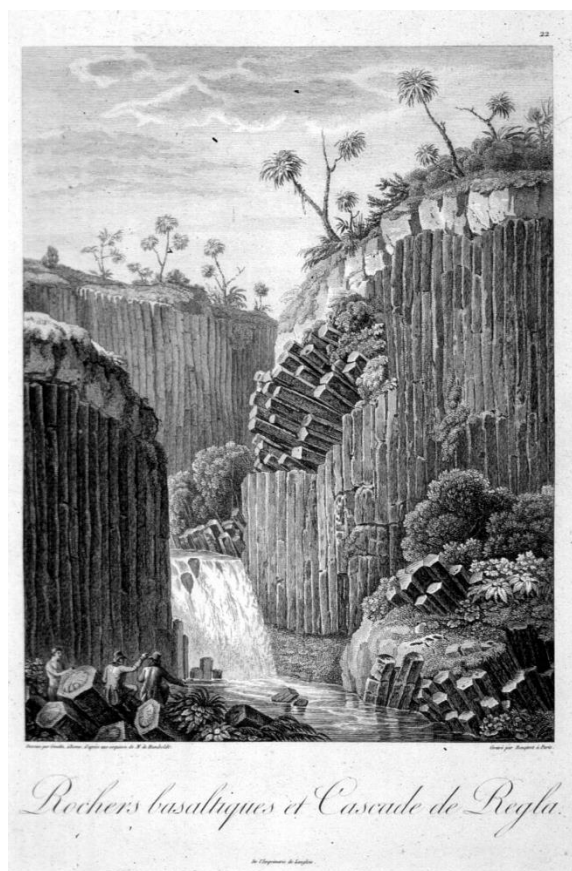


Fig. 14.- Ilustración de la visita de Humboldt y Bonpland a los prismas basálticos (izquierda ²⁸) e imagen reciente de los Prismas basálticos de Santa María Regla, Huasca de Ocampo, Hidalgo (Foto: I. J. March Mifsut).

²⁸ Tomado de *Vues des Cordillères, et monumens des peuples indigenes de l'Amerique* por Humboldt y Bondpland

En 1795, cuando viajó a Suiza e Italia, Humboldt acuñó el término “jurásico” (*Jurakalk*) a partir del estudio de las rocas calizas de una división estratigráfica en las montañas Jura en los Alpes franceses.

Es particularmente interesante que Humboldt haya inferido la controversial hipótesis de que en algún período geológico el mar Mediterráneo fue un lago o un mar cerrado; Humboldt escribió *“la gran catástrofe que dio lugar a que un inmenso lago, rompiendo los diques de los Dardanelos y de las columnatas de Hércules, se convirtiese en el mar Mediterráneo, parece haber robado a todas las comarcas de los alrededores gran parte de su tierra vegetal. Según los pormenores que los historiadores griegos nos han transmitido acerca de las tradiciones de la Samotracia es lícito conjeturar que este cataclismo natural no era entonces muy antiguo en todos los países que baña el mar Mediterráneo”*. Hoy en día sabemos que hace 5.6 millones de años, el Mediterráneo perdió su conexión con el océano Atlántico debido a las fuerzas tectónicas que empujaban al continente africano; durante los 300, 000 años de este aislamiento, el agua del Mediterráneo se fue evaporando y el nivel del agua bajó vertiginosamente, hasta que sucedió el fenómeno llamado “diluvio zancleano” cuando se reventó el dique natural, permitiendo que las aguas del Atlántico inundaran de nuevo la cuenca del Mediterráneo a una sorprendente velocidad de 100 millones de metros cúbicos por segundo, mil veces más que el caudal actual del Río Amazonas ²⁹.

b) Mineralogía

El estudio de los minerales fue una de las primeras disciplinas en que incursionó Humboldt en su juventud. Una situación interesante relacionada con los minerales es cuando Humboldt se vio envuelto en una vicisitud asociada con el descubrimiento del elemento con el número atómico 23 de la tabla periódica de los elementos: el vanadio (V), el cual se dice que es el elemento que fue “descubierto dos veces”³⁰.

Andrés Manuel Del Río y Fernández nació en Madrid en 1764; en 1789 coincidió con Humboldt en la Academia de Minería de Freiberg. Posteriormente, Del Río estudió química analítica en Hungría y en 1791 fue asistente del mismísimo Lavoisier³¹. Ya estando en el Real Colegio de Minas en la Ciudad de México, Del Río analizó un mineral conocido como “plomo pardo” procedente de una mina cerca de Zimapán, Hidalgo. De este análisis, Del Río identificó un elemento al que llamó “*eritrone*” por su color rojizo, y que consideró se trataba del descubrimiento de un nuevo elemento químico. En 1803, cuando Humboldt dio una serie de conferencias en el Real Colegio de Minas³², Del Río le comunicó a Humboldt su hallazgo, pero Humboldt tomó con escepticismo el hecho de que se tratara de un nuevo elemento; sin embargo, accedió a llevar un manuscrito describiendo el hallazgo realizado por Del Río, así como muestras del mineral para que las trasladara a Europa con el fin de confirmar su gran descubrimiento.

²⁹ Palmer, 2011.

³⁰ Caswell, 2003.

³¹ Antoine Lavoisier (1743-1794) es considerado como el padre de la química moderna.

³² En Ciudad de México, Humboldt pasó muchos días trabajando en la Escuela de Minas actualmente ubicada en la calle de Guatemala No. 90 en el Centro Histórico.



Alexander von Humboldt

(Retrato por Rafael Ximeno y Planes, Museo Tolsá de la Ciudad de México)



Andrés Manuel Del Río y Fernández

(Retrato por Rafael Ximeno y Planes, Museo Tolsá de la Ciudad de México)

Cuando Humboldt llegó a París en 1804, le entregó las muestras a Hippolyte Collet-Descotils del Instituto de Francia para que las analizara, pero este, de manera equivocada, no logró identificar ningún elemento nuevo. Ante ello, el manuscrito de Del Río nunca fue publicado. Fue hasta 1817 que Del Río escribió a Humboldt una carta de protesta por haber dudado de su descubrimiento. En 1831, el químico sueco Nils Gabriel Sefström hizo el descubrimiento de un nuevo elemento al que llamó *vanadium*, inspirado en Vanadis, la diosa de la belleza de la mitología escandinava. Simultáneamente, Friedrich Wöhler analizaba las muestras de la mina de Zimapán que le había dado el propio Humboldt, encontrando que el elemento de estas muestras era idéntico al vanadium encontrado por Sefström. Del Río murió en la ciudad de México a los 85 años de edad; hoy en día se reconoce tanto a Del Río y como a Sefström como los descubridores del vanadio. Es interesante añadir aquí que Del Río obsequió a Humboldt una pieza olmeca de jadeíta a la que se ha llamado “*el hacha Humboldt*”³³, la cual Humboldt depositó en el gabinete de mineralogía del rey de Prusia y que después pasó al museo etnológico de Berlín; en su libro *Vistas de las cordilleras y monumentos de los pueblos indígenas de América*, Humboldt incluyó una ilustración de esta pieza que desafortunadamente se perdió durante la segunda guerra mundial y que actualmente es posible que esté en alguna colección privada.

³³ López Luján y Gaida, 2016.



Fig. 15.- La vanadinita es un mineral compuesto por vanadio, plomo, cloro y oxígeno ($\text{Pb}_5\text{Cl}(\text{VO}_4)_3$) (Foto: I.J. March).

Independientemente de este suceso, en el campo de la mineralogía Humboldt tuvo un conocimiento amplio sobre la extracción de minerales y propuso una serie de mejoras para proteger la seguridad y salud de los mineros inventando incluso dispositivos para evitar el riesgo de envenenamiento por gases tóxicos.

c) Astronomía

En su misión de entender el funcionamiento del cosmos, Humboldt tuvo un gran interés por las observaciones astronómicas. Estudió los movimientos planetarios y en El Callao en Lima tuvo la oportunidad de observar el tránsito de Mercurio frente al disco solar. Además, fue el primero en observar con instrumentos la caída de meteoritos en 1799. En su obra *Cosmos*, escribió el primer relato moderno del universo con una perspectiva cronológica ³⁴.

d) Geografía

En su tiempo, Humboldt fue un gran innovador en el campo de la geografía ya que elaboró cartografía temática que combinaba las descripciones propiamente geográficas con temas económicos, políticos y sociales ³⁵.

Las detalladas mediciones de las variaciones del campo magnético a distintas latitudes, permitieron a Humboldt determinar la posición del ecuador magnético de la Tierra ³⁶. Por otra parte, Humboldt realizó numerosas mediciones de gran valor para la construcción de un mejor modelo geodésico de la Tierra.

La cartografía y observaciones del curso del Río Orinoco abonaron al conocimiento geográfico de este importante río de la cuenca amazónica; sus cartas de navegación de los Ríos Orinoco y Negro, demostraron que estos dos ríos se conectan través del Río Casiquiare ³⁷ (**Fig. 16**).

³⁴ De Terra, 1956.

³⁵ Kohlhepp, 2005.

³⁶ Magee, 2007

³⁷ Magee, 2007.

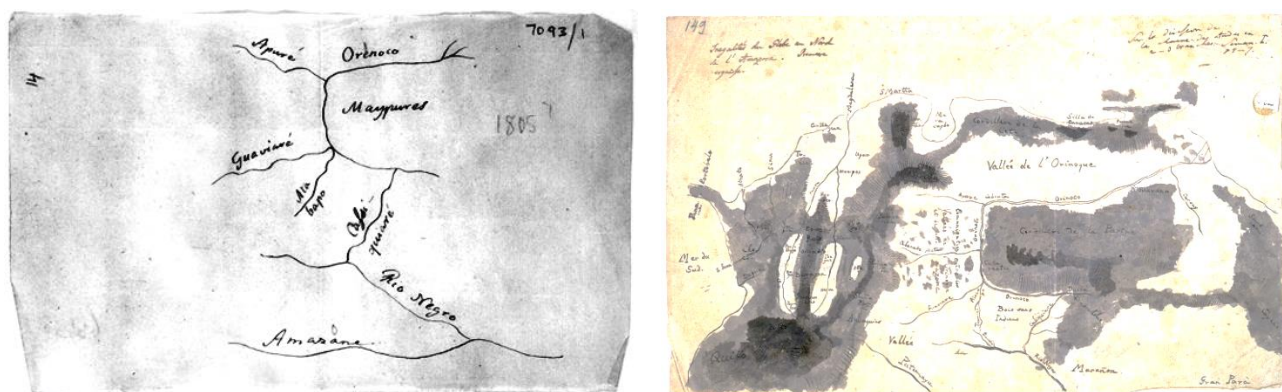


Fig. 16.- Croquis realizados por Humboldt sobre las cuencas de los ríos Orinoco, Casiquiare y Amazonas (Diary VIIbb/c, Bl. 149r; Staatsbibliothek zu Berlin).

Humboldt hizo dos contribuciones técnicas importantes para la geografía: por un lado, el uso de perfiles topográficos detallados para describir la topografía de las regiones impulsó el desarrollo de esta técnica de descripción geográfica; por otro, inventó el concepto de *isolíneas* e *isotermas* (Fig. 17). Una isolínea es una curva que en un mapa o gráfica conecta los puntos en los que una función tiene un mismo valor constante. De esta manera las isotermas están definidas por valores iguales de temperatura, las isobaras de presión, etc.

También midió por primera vez las altitudes y posiciones geográficas de numerosas ciudades, montañas y sitios de distintas partes de mundo, siendo el primero que aportó datos geodésicos de varias zonas de América³⁸. Humboldt corrigió la posición geográfica que se tenía del Puerto de Acapulco³⁹, así como la de la Ciudad de México.

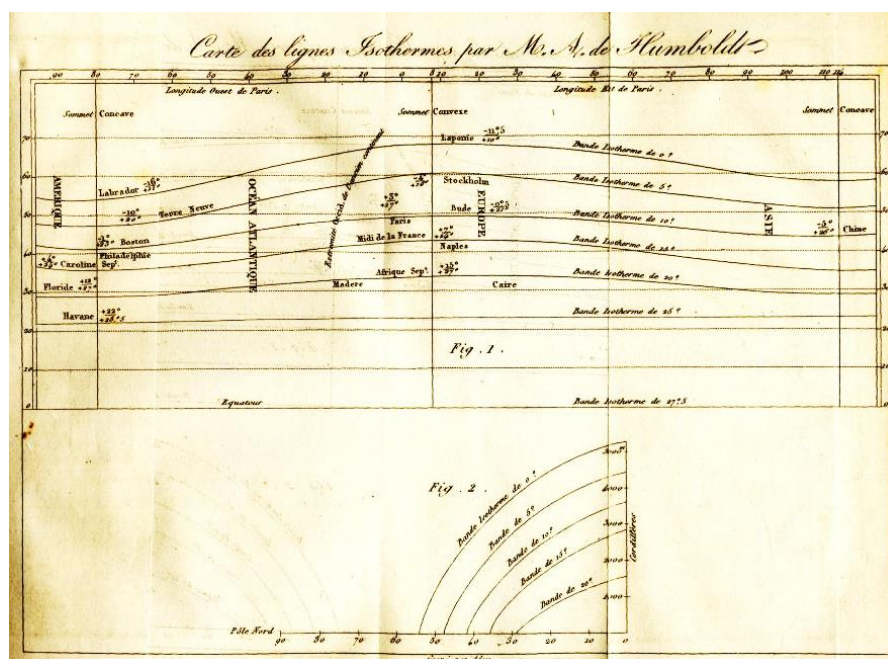


Fig. 17.- Primera carta de isotermas publicada en 1817 por Alexander von Humboldt (Fuente: Sur les lignes isothermes, par A. de Humboldt, 1817).

³⁸ Kohlhepp, 2005

³⁹ De Terra, 1956.

La cartografía elaborada por Humboldt es de muy alta calidad y fue un importante medio para la descripción detallada de las regiones que visitó. Su refinada cartografía se caracteriza por tener entre otros aspectos un gran detalle de las topoformas predominantes en la fisiografía de las regiones, los cursos y nombres de los ríos principales, y líneas de costa y cuerpos insulares definidos con el mayor detalle posible.



Fig. 18.- Mapa de México elaborado por Humboldt y publicado en 1811 (*Carte Du Mexique et des Pays Limitrophes Situes Au Nord et a l'est* Dressee d'apres la Grande Carte de la Nouvelle Espagne De Mr. A. De Humboldt et d'autres Materiaux par J.B. Poirson; Fuente: Humboldt, A. von, *Atlas Geographique Et Physique Du Royaume De La Nouvelle-Espagne, Fonde Sur Des Observations Astronomiques, Des Mesures Trigonometriques Et Des Nivellemens Barometriques*, 1811).

e) Oceanografía

Humboldt aportó bases importantes para la oceanografía moderna; sus observaciones y mediciones de temperaturas en el mar le permitieron identificar la corriente que en el Pacífico sur lleva su nombre⁴⁰.

La corriente de Humboldt fue descrita por Humboldt a partir de los datos que obtuvo en su viaje desde El Callao en Lima, Perú, hacia Acapulco, México. Esta corriente, corre de sur a norte por la costa sudamericana en la franja intertropical del Pacífico Sur. Es una corriente de aguas frías que emergen de zonas profundas y que fluyen a una velocidad promedio de 28 kilómetros por día desde la zona central de Chile hacia el Archipiélago de las Galápagos y el Ecuador. Esta corriente es responsable de que las zonas costeras del norte de Chile y del sur de Perú tengan una marcada escasez de lluvias y temperaturas más frías que las que le corresponde por la latitud a la que se encuentra esta región; por ello, está asociada a la presencia de los desiertos de Atacama y el Costero de Perú (Nazca, Ica). La corriente de Humboldt se asocia a una importante productividad pesquera por los nutrientes y el plancton que aporta la surgencia a las especies epipelágicas de peces de interés para las pesquerías.

⁴⁰ Humboldt se opuso a que esa corriente llevara su nombre (Kohlhepp, 2005).

Humboldt conocía perfectamente el hecho de que la corriente del Golfo de México (*Gulf Stream*) lleva calor al continente europeo.

f) Climatología y Meteorología

Se ha dicho que Humboldt puso la primera piedra angular de la climatología moderna ⁴¹. Humboldt descubrió las tormentas geomagnéticas, y sentó las bases de esta disciplina, sobre todo lo relacionado con la caracterización de los diversos tipos de tormentas. Enfatizó la gran importancia del clima y el tiempo sobre la distribución de las especies y la modelación de los paisajes naturales. Humboldt no percibía el clima en una región como un proceso independiente, sino por lo contrario, reflexionó sobre las diferencias de temperatura y humedad en sitios y paisajes combinando los factores meteorológicos con las características fisiográficas (ej. Presencia de cadenas montañosas, etc.), las características de la vegetación, los suelos, etc.; consideró la contribución de todos estos factores en las diferencias en la irradiación del calor recibida del sol.

En colaboración con Gay Lussac (1778-1850), analizó la constitución química de la atmósfera ⁴².

g) Biogeografía

Con su “Geografía Botánica”, Humboldt prácticamente fundó la fitogeografía o la geobotánica como disciplina científica; demostró que la conjunción de los efectos de la altitud, la temperatura y la humedad tienen un papel esencial en determinar la distribución de las plantas. De igual manera, las observaciones del propio Humboldt y toda la información que revisó sobre la distribución de las especies le permitió percibir con toda claridad el incremento de la diversidad biológica en el gradiente de los polos al ecuador.

Su famosa infografía sobre el Chimborazo (**Fig. 20**) ejemplifica claramente esta propuesta y dio pie al *Ensayo sobre la Geografía de las Plantas* publicado en 1805. Esta es una de las infografías más famosas generadas por Humboldt, y describe la distribución altitudinal de diversas especies de plantas en el volcán Chimborazo de Ecuador. Humboldt y Bonpland ascendieron a esta montaña en junio de 1802, y fueron documentando la distribución de las plantas en los distintos pisos altitudinales del volcán. A 210 años después de la visita de Humboldt y Bonpland, un grupo de científicos registró la distribución de las plantas reportadas por los naturalistas en el Chimborazo⁴³. Los hallazgos de estos investigadores, al comparar sus observaciones con las de Humboldt y Bonpland, son evidencia inequívoca de que el cambio climático detonado por nuestras actividades ha provocado drásticos cambios en la distribución altitudinal de las plantas los ecosistemas montanos tropicales. En promedio, las especies ocupan ahora posiciones altitudinales a más de 500 metros por arriba de lo observado por Humboldt y Bonpland.

En 1802, los naturalistas encontraron que en el Chimborazo el límite altitudinal máximo para el crecimiento vegetal estaba a los 4,600 metros sobre el nivel del mar, mientras que el estudio antes referido lo registró a los 5,185 metros. Los científicos mencionados verificaron además que la propuesta de Humboldt de que el clima es el factor primario en determinar la distribución altitudinal de la vegetación es correcta. Además de los cambios en la vegetación, los datos de Humboldt y Bonpland han servido para demostrar la acelerada disminución del glaciar del Chimborazo por el incremento de las temperaturas; luego de 210 años el límite inferior del glaciar ha cambiado de los 4,814 metros sobre el nivel del mar a los 5,270 ± 260 metros.

⁴¹ De Terra, 1956.

⁴² De Terra, 1956.

⁴³ Morueta-Holme y colaboradores (2015).



Fig. 19.- Pintura de Friedrich Georg Weitsch de 1806 que muestra a Humboldt y Bonpland en su visita al volcán Chimborazo de Ecuador (Fuente: Berlin/Stiftung Preussische Schlösser und Gärten/Hermann Buresch/Art Resource, NY. Fotografía de Jörg P. Anders).

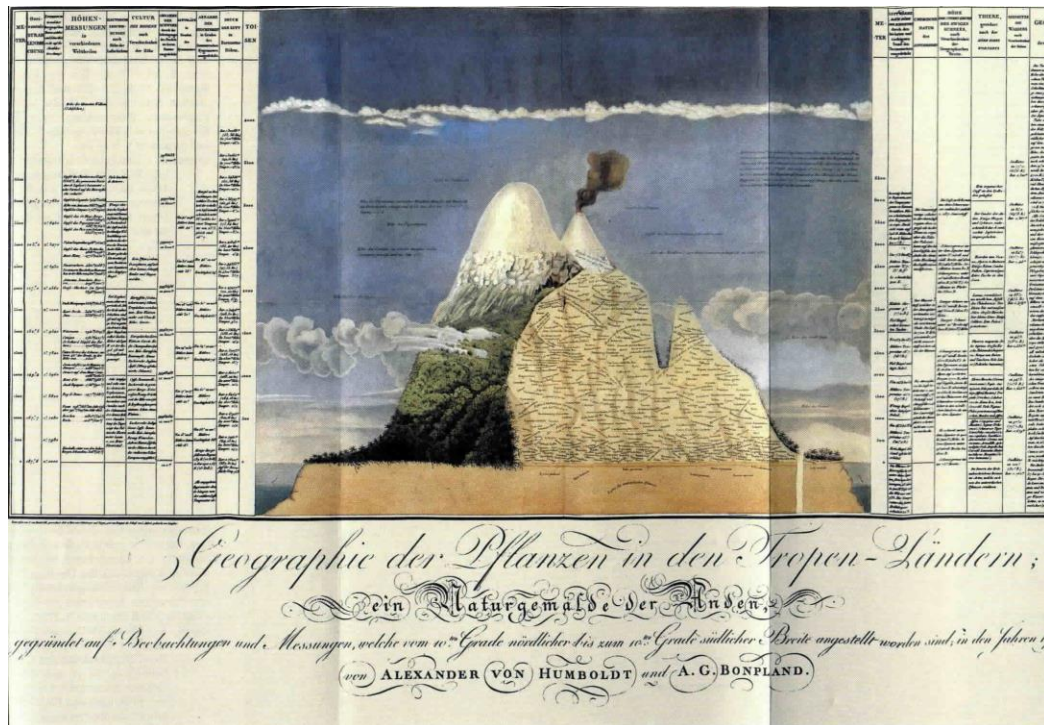
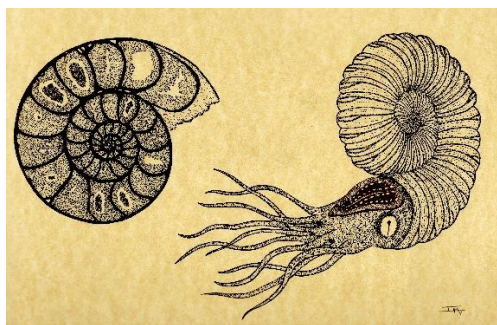


Fig. 20.- Infografía de Humboldt mostrando la distribución altitudinal de las plantas en el volcán Chimborazo en Ecuador (Naturgemälde 1805-1807).

En su viaje a Siberia en 1829, Humboldt notó claramente que al desplazarse hacia el este las plantas afines a Europa iban desapareciendo para dar lugar a una flora típica de Asia.

h) Paleontología y Evolución Biológica

Humboldt buscó explicar las diferencias entre plantas y animales del pasado geológico con las especies actuales, a partir de cambios en las condiciones físicas del planeta y del clima, la irradiación del calor interno de la Tierra y la presión atmosférica. Dio mucha importancia al recambio de especies a través de la escala del tiempo: las especies se extinguen y aparecen nuevas especies. Aunque no tuvo oportunidad de leer el Origen de las Especies de Darwin pues murió pocos días antes de su publicación en 1859, Humboldt siempre apoyó las propuestas de Darwin sobre la evolución y de hecho escribió en el primer volumen de su obra Cosmos “una especie forma parte del conjunto y está unida al pasado y al futuro más mutable que fija” ⁴⁴.



Hizo importantes contribuciones a la paleontología; en sus travesías por América colectó numerosos fósiles de plantas y animales, muchos de los cuales envió para su estudio a científicos como Cuvier ⁴⁵. En su trayecto por los Andes entre Ecuador y Perú, a altitudes superiores a los 3,800 metros sobre el nivel del mar, Humboldt colectó numerosos fósiles marinos incluyendo ammonites, erizos y conchas de los moluscos *Pecten* y *Exogyra*.

Humboldt observó que en regiones distantes existían especies que eran funcional y morfológicamente muy similares, el concepto que se denominó después como “especies vicariantes” ⁴⁶.

En su viaje de Guayaquil a Acapulco, Humboldt lamentó no haber podido visitar el Archipiélago de las Galápagos. De haberlo hecho, ¿Habrían sus observaciones podido alterar de alguna forma el viaje que años después hizo Darwin?, ¿Habría influido de alguna manera en las hipótesis de Darwin sobre el origen de las especies y la selección natural?... nunca lo sabremos.

i) Zoología

Alexander von Humboldt realizó detalladas observaciones y descripciones sobre diversas especies incluyendo la anguila eléctrica (*Electrophorus electricus*), el guácharo (*Steatornis caripensis*), el cóndor andino (*Vultur gryphus*), los primates: mono lanudo gris (*Lagothrix lagothicha*), Uacarí de cabeza negra (*Cacajao* (*Simia*) *melanocephalus* Humboldt, 1812) y el ajolote mexicano (*Ambystoma mexicanum*) entre muchos otros animales (Fig. 21 a 23). Humboldt fue el primero en describir a las pirañas de la cuenca amazónica ⁴⁷.

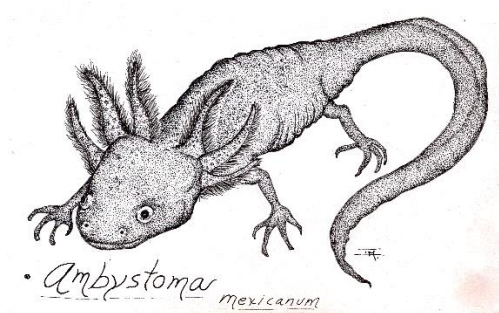
⁴⁴ Wulf, 2016.

⁴⁵ De Terra, 1956.

⁴⁶ El término “especies vicariantes” se refiere a aquellas que siendo filogenéticamente distintas y teniendo una distribución distante, ocupan nichos ecológicos similares. Algunos ejemplos de estas especies similares con historias evolutivas diferentes son el lobo marsupial de Tasmania (ahora presuntamente extinto) y el lobo europeo, el armadillo americano y el pangolín africano, etc.

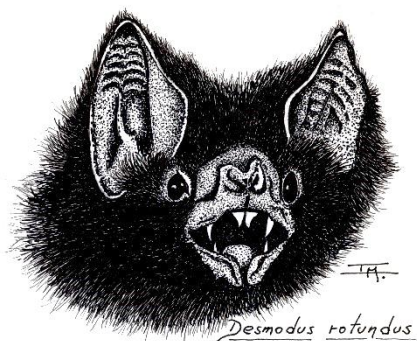
⁴⁷ Magee, 2007.

El descubrimiento de los guácharos en América del Sur para la ciencia fue un importante hallazgo de la expedición de Humboldt a Sudamérica. Esta ave es la única representante de la familia Steatornithidae de los Caprimulgiformes. Se distribuye en distintas zonas del norte de América del Sur y es de hábitos frugívoros. Es peculiarmente interesante por ser de hábitos nocturnos, y habitar y anidar en cuevas, hábitos muy similares a los murciélagos frugívoros de los trópicos. Consumen frutas de más de 30 especies de árboles principalmente de la Familia Lauraceae⁴⁸. Son dispersores de la mayor parte de las especies cuyos frutos consumen. Utilizan la ecolocación para realizar sus vuelos nocturnos y para encontrar su alimento. La cueva del guácharo descubierta por Humboldt en el Cerro Negro de Venezuela, se protegió estableciendo el primer Monumento Natural el 15 de julio de 1949 con el nombre de Alejandro de Humboldt.

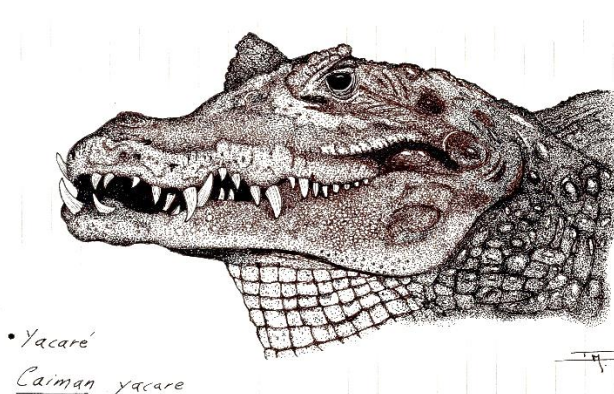


A su regreso a París en 1804, Humboldt obsequió a Georges Cuvier, a quien se considera el padre de la anatomía animal comparada, dos especímenes de ajolotes mexicanos (*Ambystoma mexicanum*), que al principio Humboldt consideró como “un reptil problemático”. El naturalista los observó tanto en el lago de Texcoco como en la Ciénega de Castilla cerca de Acapulco, Guerrero⁴⁹.

Otras especies animales sobre las que Humboldt tuvo gran interés de observar incluyen al delfín de agua dulce del Amazonas (*Inia geoffrensis*), el hocofaisán (*Crax rubra*), el murciélago vampiro (*Desmodus rotundus*), el cocodrilo (*Crocodylus* spp.), el yacaré (*Caiman yacare*), el jaguar (*Panthera onca*), la anaconda (*Eunectes murinus*) y la foca del Pacífico Sur (*Arctocephalus australis*), por mencionar algunas. Humboldt también caviló ideas acerca de las características y parentescos de los perros indígenas en América Latina.



Murciélago vampiro *Desmodus rotundus*
(Ilustración: I.J. March Mifsut).



Yacaré *Caiman yacare* (Ilustración: I.J. March Mifsut).

⁴⁸ Bosque *et al.*, 1995.

⁴⁹ Bartra, 2011.

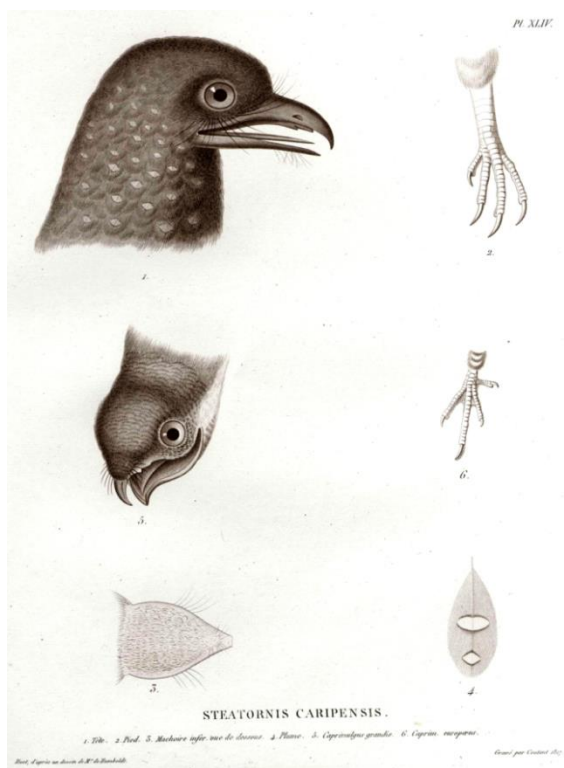


Fig. 21.- Guácharo (*Steatornis caripensis*) (Fuente: Recueil d'observations de zoologie et d'anatomie 30rinoco faites dans l'océan atlantique, dans l'intérieur du nouveau continent et dans la mer du sud pendant les années 1799, 1800, 1801, 1802 et 1803 par Al. de Humboldt et A. Bonpland. Published 1811 by in A Paris).

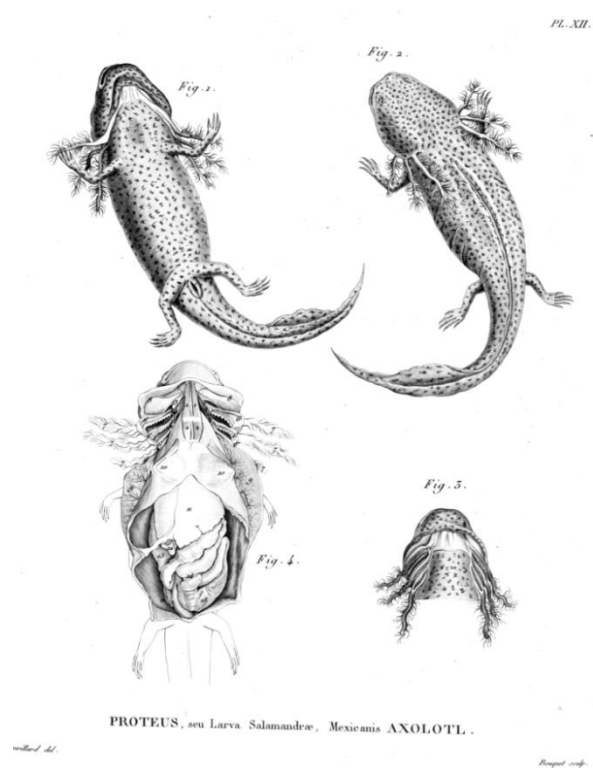


Fig. 22.- Ilustraciones sobre el ajolote mexicano (Fuente: Alexander v. Humboldt: *Beobachtungen aus der Zoologie und Vergleichenden Anatomie gesammelt auf einer Reise nach den Tropen-Ländern des neuen Kontinents, in den Jahren 1799, 1800, 1801, 1802, 1803 und 1804 von Al. Von Humboldt und A. Bonpland. Bearbeitet und herausgegeben von Ersterem* Tübingen, bey F. G. Cotta Paris, bey Levrault, Schoell und Compagnie 1806. 14 anatomische Detailzeichnungen).



Fig. 23.- Cóndor de los Andes (de Recueil d'observations de zoologie por Humboldt y Bonplannd. Royal Geographic Society Londres).



Humboldt otorgó el nombre científico a ocho especies de primates del Nuevo Mundo: el marikiná de Azara *Nyctipithecus trivirgatus* Humboldt, 1811 (ahora *Aotus azarae*); el mono bebeleche o pichico *Simia leonina* Humboldt, 1806 (ahora *Saguinus fuscicollis*); mono capuchino de frente blanca *Simia albifrons* Humboldt, 1812 (ahora *Cebus albifrons*); el mono churuco *Simia lagotricha* Humboldt, 1812 (ahora *Lagothrix lagotricha*); el sakki barbudo negro *Simia satanas* Humboldt, 1812 (ahora *Chiropotes satanas*); el socayo negro *Simia lugens* Humboldt, 1811 (ahora *Callicebus lugens*); el uakari de espalda dorada *Simia melanocephala* Humboldt, 1812 (ahora *Cacajao melanocephalus*) y el mono guariba *Simia ursina* Humboldt, 1812 (ahora *Alouatta guariba guariba*).

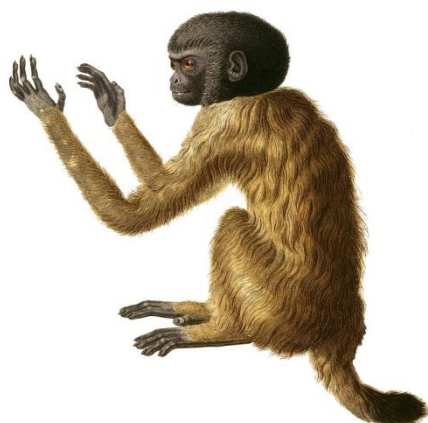


Fig. 24.- *Simia melanocephala*



Fig. 25.- *Simia ursina*

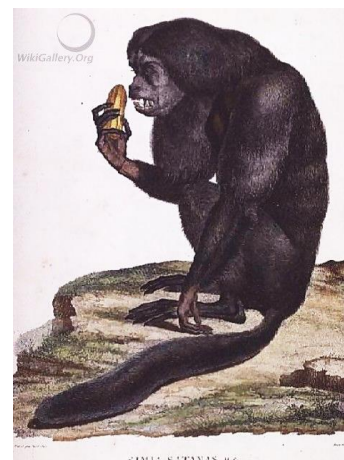


Fig. 26.- *Simia satanas*

j) Fisiología

Humboldt tuvo un interés especial en estudiar a detalle la bioelectricidad como un fenómeno biofísico; realizó diversos experimentos y observaciones sobre las anguilas eléctricas (*Electrophorus electricus*) de la cuenca del Orinoco; estos estudios fueron base para la electrofisiología⁵⁰. Su interés por estudiar la bioelectricidad en las anguilas eléctricas posiblemente fue estimulado por los trabajos de Galvani (1737-1798) y Volta (1745-1827). Galvani realizó importantes estudios para entender la naturaleza eléctrica de los impulsos nerviosos que activan los músculos. Entre 1793 y 1798 Humboldt realizó numerosos experimentos sobre la electricidad en los animales⁵¹.

En 1807, Humboldt publicó la descripción de un evento que observó en el año 1800; se trataba de un método para poder capturar anguilas eléctricas en las pozas que se forman durante la época de secas en el Amazonas. El método descrito por Humboldt involucraba a un grupo de caballos que eran obligados por los arrieros para entrar a las pozas en donde las anguilas habían quedado aisladas (**Fig. 27**). Las anguilas atacaron activamente a los caballos con descargas eléctricas de gran intensidad al hacer contacto físico de manera deliberada con las patas de los caballos, con lo que incluso llegaron a matar a algunos de ellos; al haber agotado su capacidad de

⁵⁰ Calderón, 2009.

⁵¹ Labastida, 2016.

descargar electricidad, entonces las anguilas podían ser capturadas vivas con seguridad. Diversos autores pusieron en duda la veracidad del relato de Humboldt, pero experimentos realizados y publicados recientemente, demostraron que el relato de Humboldt era cierto y que las anguilas eléctricas pueden ponerse a la ofensiva buscando hacer contacto con el cuerpo de cualquier animal que las amenace⁵².



Fig. 27.- Grabado que muestra la descripción de Humboldt en una captura de anguilas eléctricas utilizando caballos (Publicada en 1860 en *The Naturalist's* London . 1860. The Naturalist's Library London. 1860).

Humboldt escribió una obra titulada *Mis Confesiones (Mes Confessions)*⁵³ en la que Humboldt se enfoca no solo en el galvanismo sino en muchos experimentos realizados sobre los resultados de poner compuestos químicos en contacto con órganos⁵⁴.

También fue de su interés el fenómeno de la bioluminiscencia en invertebrados marinos y terrestres, así como la capacidad de algunos animales de suspender su metabolismo.

k) Botánica

Para Humboldt la pasión por las plantas inició cuando apenas era un niño. Karl Ludwig Willdenow tuvo una fuerte influencia en Humboldt y posiblemente le inculcó el interés por estudiar la distribución de las especies vegetales. Humboldt y Bonpland colectaron en América más de 60,000 ejemplares correspondientes a cerca de 6,000 especies⁵⁵, siendo los primeros naturalistas que por primera vez hicieron una colección con un importante número de plantas neotropicales de América del Sur y Mesoamérica no conocidas en Europa. Willdenow estimó que al menos 1,400 o 1,500 fueron especies nuevas para la ciencia. En Cuba hicieron las

⁵² Catania, 2016.

⁵³ Humboldt, Federico Alejandro Barón, *Experiencias acerca del galvanismo y en general sobre la irritación de las fibras musculares y nerviosas*. Madrid: Imprenta de la Administración del Real Arbitrio de Beneficencia, 1803 (Según Rebok, 2005).

⁵⁴ Martí Marco, 2006.

⁵⁵ Wulf, 2016.

primeras colectas de plantas en distintas localidades de la isla. En México, Humboldt y Bonpland hicieron las primeras colectas botánicas en las laderas del Cofre de Perote y del Pico de Orizaba ⁵⁶.

En su ascensión al Cofre de Perote en México, Humboldt se maravilló de los patrones sucesionales en los que se distribuían las comunidades vegetales y pudo determinar los límites de los encinos (a 3,155 metros sobre el nivel del mar) y del Pino *Pinus montezumae* a 3,943 msnm. Si hoy en día se determinarían estos límites, quizás se documentarían cambios como los mencionados antes para las plantas en el Chimborazo. ⁵⁷

l) Uso de recursos naturales

Humboldt documentó los procedimientos utilizados en América para el aprovechamiento de los recursos minerales, y realizó cálculos de los volúmenes de producción de algunas minas. También realizó importantes observaciones sobre el uso de diversas plantas incluyendo la quina (*Cinchona officinalis*), el árbol del caucho (*Hevea brasiliensis*)⁵⁸ y las utilizadas en la fabricación del curare.

La quina es un árbol de la región amazónica que tiene diversas propiedades medicinales. De ella se extrae la quinina, un alcaloide utilizado como antipalúdico; el nombre del género se relaciona al hecho de que con esta planta se curó a la Condesa de Chinchón, esposa del virrey del Perú. En 1802 Humboldt estudió a esta planta y encontró que la variedad roja, a la que denominó *Chinchona succirubra*, era la más efectiva.

Entre las tribus amazónicas, el curare se emplea para cazar animales y es una sustancia que se impregna en la punta de flechas y lanzas; se prepara al hervir las raíces de distintas plantas de las Familias Loganiaceae (*Strychnos*) y Menispermaceae (*Chondrodendron*, *Curarea* y *Abuta*). En el Alto Orinoco, Humboldt y Bonpland documentaron con detalle el procedimiento utilizado por las tribus locales para preparar el curare ⁵⁹; Documentaron que los otomacos envenenaban a sus rivales colocándose curare en las uñas de los pulgares cuando luchaban contra ellos.

Humboldt también documentó el uso del barbasco para pescar y del guano como un abono agrícola de gran beneficio para la producción⁶⁰.

m) Ecología

Se ha propuesto que Humboldt puede ser considerado como uno de los primeros ecólogos de la historia, aunque el término “ecología” (*oekologie*) fue formalmente propuesto por Ernst Haeckel (1834-1919) hasta 1866 ^{61, 62}. Esto se debe al enfoque holístico que practicaba Humboldt en sus aproximaciones para entender a la naturaleza. Humboldt consideró a los diversos organismos en el planeta como parte de una misma unidad integrada por formas de vida interdependientes, con lo que sentó las bases más fundamentales de la ecología moderna. La interconectividad de las especies y los procesos naturales siempre fue un tema de gran interés para el naturalista.

⁵⁶ De Terra, 1956.

⁵⁷ Zamudio y Butanda, 1999.

⁵⁸ Diversos autores confunden el árbol del caucho colectado por Humboldt y Bonpland, originalmente con el nombre científico de *Siphonia brasiliensis*, con el árbol del hule *Castilla elastica* nativo del sur de México y Centroamérica.

⁵⁹ Carod-Artal, 2012.

⁶⁰ Labastida, 1999.

⁶¹ En su libro *Generelle Morphologie der Organismen*

⁶² Humboldt tuvo una importante influencia en Haeckel, a quien le afectó mucho la muerte del naturalista; de hecho, Haeckel fundó una revista con el nombre de *Kosmos* (Wulf, 2016).

De la misma manera, Humboldt estableció los principios más básicos de lo que hoy se conoce como “ecología del paisaje”, disciplina en la que se analizan los procesos naturales y antrópicos que caracterizan a un paisaje dado, así como la interacción de variables físicas y biológicas que modelan a una geografía.

Humboldt escribió como la población de capibaras en el Orinoco era controlada por sus principales depredadores: cocodrilos y jaguares, y como los tapires eran también atacados por estos felinos ⁶³; también tuvo mucho interés en los procesos de dispersión de las especies; entre otros aspectos observó como las corrientes ascendentes de aire caliente de las zonas bajas, podían transportar insectos y polen a las montañas y a lugares distantes.

Se dice que fue el primer científico en proyectar que dos de las perturbaciones ambientales causadas por las actividades humanas con mayores efectos sobre el planeta en el futuro eran por un lado la deforestación y por otro las emisiones masivas de contaminantes a la atmósfera ⁶⁴.

VIII. Reconocimientos al gran naturalista

El reconocimiento de Humboldt como un gran científico y naturalista ha ido aumentando en las últimas décadas, aunque por mucho tiempo fue reconocido únicamente en los países de América Latina que visitó en su histórico viaje y por supuesto en Alemania, Francia y España.

Hoy en día, en reconocimiento a su prestigio e importante obra, llevan su nombre:

- 26 especies de animales (**Anexo 4**).
- 26 especies de plantas, 5 especies de hongos y 1 especie de bacteria (**Anexo 5**).
- 10 ríos, lagos o bahías.
- 1 corriente oceánica.
- 7 montañas y cordilleras.
- 23 toponímicos en ocho países ⁶⁵.
- 7 áreas naturales protegidas ⁶⁶.
- 2 asteroides (“4877 Humboldt” y “54 Alexandra”).
- 1 cráter y un valle lunar (Cráter Lunar Humboldt, *Mare Humboldtianum*).
- 2 barcos bergantines: Alexander von Humboldt (1906) y Alexander von Humboldt II (2011).

En 1859, el Presidente de México Benito Juárez, le otorgó oficialmente el título de Benemérito de la Patria, un reconocimiento nunca antes dado a un extranjero. Por su parte, en 1848 Edgar Allan Poe dedicó a Humboldt su poema en prosa *Eureka, ensayo sobre el universo material y espiritual* ⁶⁷.

⁶³ Wulf, 2016.

⁶⁴ Wulf, 2016.

⁶⁵ *Glaciario Humboldt* (Groelandia), *Bahía Humboldt* (California), *Corriente de Humboldt* (Pacífico Peruano), *Cascadas Humboldt* (Nueva Zelanda), *Río Humboldt*, *Lago Humboldt*, *Marisma Humboldt*, *Sima Humboldt* (Venezuela). Para conmemorar su visita, en México se llamó el “géiser de Humboldt” a la mayor de las fuentes de aguas termales de Comanjilla, Guanajuato (De Terra, 1956).

⁶⁶ *Monumento Natural Alejandro von Humboldt* (Cueva de los Guácharos) en Venezuela, *Parque Estatal Alejandro de Humboldt* en Guerrero, México, *Parque Nacional Humboldt* en Cuba, *Humboldt Bay National Wildlife Refuge* y *Humboldt Redwoods State Park* en California, EUA., *Humboldt Wildlife Management Area* y *Humboldt-Toiyabe National Forest* en Nevada EUA,

⁶⁷ Poe, 1972.



Fig. 28.- Retrato de Humboldt (por Friedrich Georg Weistch, 1806).

IX. Consideraciones finales

Alexander von Humboldt fue un científico brillante cuya obra fue una de las más importantes contribuciones a diversas ciencias naturales. Su visión holística de la naturaleza, basada en las observaciones profundas, las mediciones meticulosas y el análisis comparativo, le permitieron generar una nueva manera de hacer ciencia considerando todos los procesos y condiciones que interactúan entre sí para explicar un objeto de estudio. Hoy en día seguramente son muy pocos los naturalistas que al igual que Humboldt, combinan simultáneamente distintas disciplinas de las ciencias para dar una explicación más completa a los complejos fenómenos que involucra la naturaleza. Humboldt buscó explicar la interconectividad de las especies, los ecosistemas y los procesos naturales utilizando precisamente la interconectividad de las diversas disciplinas científicas.



Humboldt en su estudio en Berlín (Acuarela de E. Hildebrant, 1848).

Humboldt entendió y demostró que en la naturaleza todo está conectado con todo. Muchos de sus conceptos e ideas, hoy están más vigentes que nunca; por ejemplo predijo los impactos negativos causados por la deforestación y por las actividades humanas que no favorecen la continuidad de los procesos naturales en los paisajes.

Humboldt buscó crear una “síntesis enciclopédica” del conocimiento sobre la Tierra y el universo. Al igual que Galileo, consideraba que el universo está escrito en “lenguaje matemático” y de ahí su perseverancia de medir todo con la mayor precisión posible ⁶⁸. Fue un gran divulgador de la ciencia y un habilidoso escritor; el poeta Robert Southey (1774-1843) declaró que “Humboldt aunaba sus vastos conocimientos con una mirada de pintor y un sentimiento de poeta” ⁶⁹.

Si Humboldt hubiese vivido en el siglo XXI, con su gran ingenio y capacidad de integración de información, y en sinergia con las herramientas tecnológicas para acceder y analizar extraordinarios volúmenes de datos, sin duda hubiera resuelto complejos problemas y retos científicos sobre el funcionamiento del cosmos.

⁶⁸ Labastida, 1999.

⁶⁹ Wulf, 2016.



Humboldt en su biblioteca en Berlín (Cromolitografía de E. Hildebrant, 1850).

Sin duda Humboldt y su obra han sido inspiración para numerosos naturalistas y científicos contemporáneos y actuales. Se ha propuesto que la mente inquisitiva y abierta de Humboldt, y los métodos sistemáticos con los que realizaba sus observaciones y razonamientos, son un gran ejemplo para que los científicos modernos aborden problemas a resolver de una forma más libre, integral y creativa, particularmente en las ciencias ambientales ⁷⁰. El enfoque trans-disciplinario a través de redes científicas de conocimiento científico es sin duda un importante legado de Humboldt ⁷¹. Entre otras redes, generó una red científica internacional para registrar las mediciones geomagnéticas ⁷².

La obra cumbre de Humboldt, *Kosmos*, es la mejor muestra del conocimiento enciclopédico que fue construyendo a lo largo de su vida y considerando no solo la información de sus propias observaciones, sino también al ensamblar los conocimientos de muchos científicos de distintos países y épocas. Esta obra cumbre se enfoca en la naturaleza global del cosmos y no solo en una descripción física de la Tierra⁷³. *Kosmos* representó para el gran naturalista un último gran esfuerzo para tratar de integrar una explicación holística de

⁷⁰ Bouma, 2017.

⁷¹ Rebok, 2003.

⁷² Wulf, 2016.

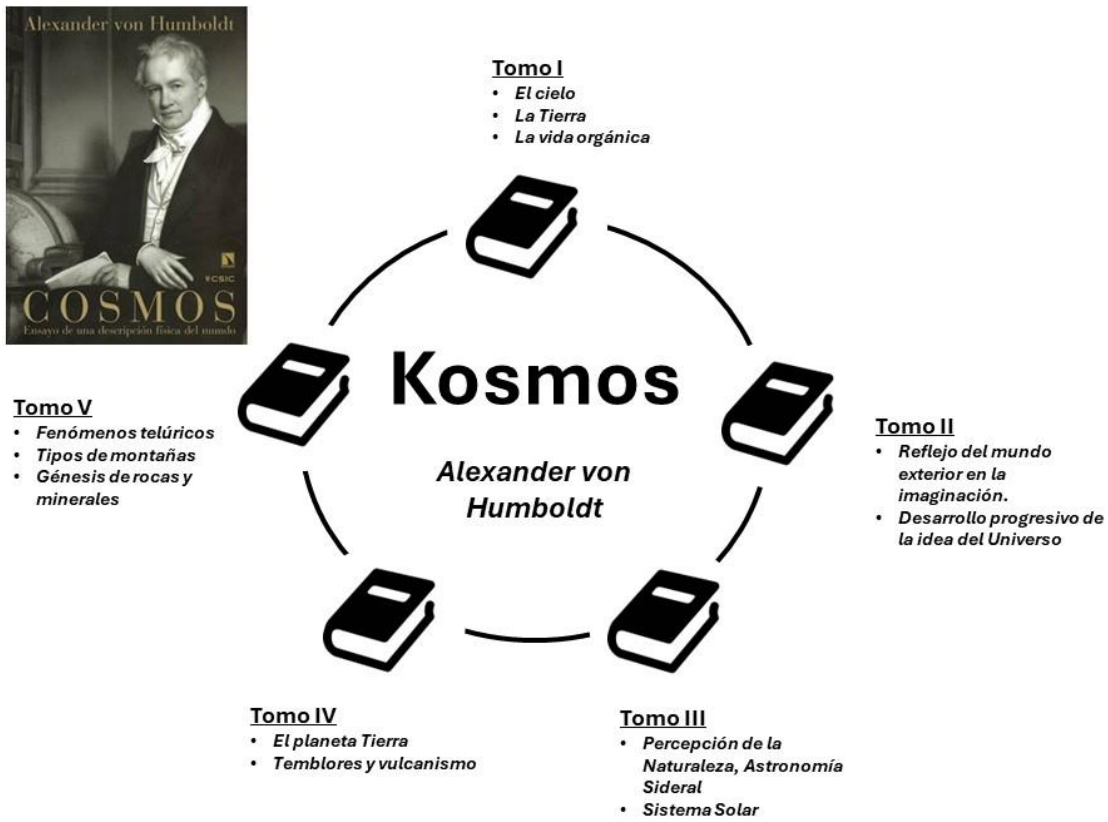
⁷³ Martí Marco, 2006.

cómo funciona la naturaleza. Humboldt demostró en la práctica que la ciencia debe ser universal y que debe sumar conocimientos de diversas fuentes y autores para avanzar mucho más en menos tiempo ⁷⁴.



Fig. 29.- Retrato de Humboldt por Joseph Karl Stieler (1843).

⁷⁴ Doherr, 2015.



Después de su visita al Reino de la Nueva España, que pocos años después se convertiría en el México independiente, Humboldt tuvo la idea de crear en este país un centro de investigación científica, pero fue un sueño que nunca pudo concretar ⁷⁵.

El barón Alejandro de Humboldt, no fue solamente un fuera de serie y un erudito en numerosas ciencias humanas y naturales, fue sin duda un naturalista genial.

⁷⁵ Comisión de Homenaje a Alejandro von Humboldt, 1969

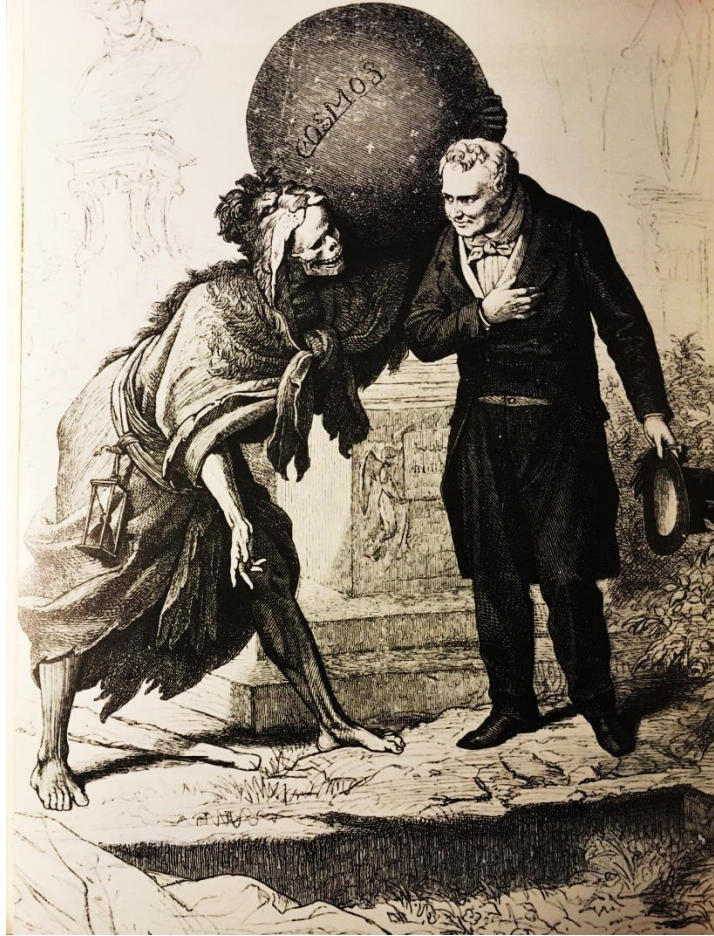


Fig. 30.- “Despedida del Cosmos” Dibujo de Wilhem von Kaulbach
Staatsbibliothek, Berlín Occidental Veröffentlichung:
September 1869, in: Die Gartenlaube, S. 654 (Tomado de
Botting, 1985).



Tumba de Alexander von Humboldt en el cementerio familiar de Tegel; su muerte ocurrió el 6 de Mayo 1859, cuando contaba con 89 años de edad.

X. Agradecimientos

Expreso mi más sincero agradecimiento a quienes amablemente revisaron este manuscrito y me hicieron importantes aportaciones para mejorarlo, particularmente a Sandra Rebok, Jorge Rickards, David Gutiérrez Carbonell, Hernando Cabral, Carlos Galindo y Humberto Berlanga.

XI. Referencias

- Allen, David Y., 2014. Alexander von Humboldt and the mapping of Mexico. *Perimtron*. 9(2): 78-96.
- Álvarez López, Enrique, s/a. El viaje a América de Alexander von Humboldt y Aimé Bonpland y las relaciones científicas de ambos expedicionarios con los naturalistas españoles de su tiempo. *Anales del Instituto Botánico A.J. Cavanilles*.
- Baron, Frank, 2010. From Alexander von Humboldt to Charles Darwin: Evolution in Observation and Interpretation." *Internet Zeitschrift für Kulturwissenschaften*, 17. Nr. February 2010.
- Baron, Frank. , 2005. From Alexander von Humboldt to Frederic Edwin Church: Voyages of Scientific Exploration and Artistic Creativity. *HiN. Alexander von Humboldt im Netz*. 6.
- Bartra, R., 2011. Axolotlada: Vida y mito de un anfibio mexicano. Fondo de Cultura Económica. México. 415 pp.
- Bosque, C., Ramírez, R. and Domingo Rodríguez, 1995. The diet of the oilbird in Venezuela. *Ornitología Neotropical*, 6 (1995): 67–80.
- Botting, D., 1981. Humboldt y el Cosmos: Vida, obra y viajes de un hombre universal (1769-1859). Ed. Del Serbal. España. 264 pp.
- Bouma, J., 2017. How Alexander von Humboldt's life story can inspire innovative soil research in developing countries. *SOIL*. 3: 153-159.
- Calderón, María, 2009. Alexander von Humboldt, perfil de un sabio. *Encuentros en la Biología*. Universidad de Málaga. 2(126): 61-66.
- Camacho Ochoa, José, 2006. Humboldt y la historiografía mexicana. *Vuelo Libre* N. 1, Oct. 2006. Pp. 39-50.
- Cardenal, E., 2014. Humboldt: Poema. Siglo XXI. México. 43 pp.
- Carod-Artal, F.J., 2012. Curares y timbós, venenos del Amazonas. *Rev. Neurol.*, 55(11): 689-698.
- Caswell, Lyman R., 2003. Andrés del Río, Alexander von Humboldt and the twice-discovered element. *Bull.Hist. Chem*. 28(1):35-41.
- Catania, K.C., 2016. Leaping eels electrify threats, supporting Humboldt's account of a battle with horses. *PNAS*. June 21, 2016. 113(25): 6979–6984.
- Comisión de Homenaje a Alejandro von Humboldt, 1969. Alejandro de Humboldt: Modelo en la lucha por el progreso y la liberación de la humanidad. Memorial en conmemoración del bicentenario de su nacimiento. Akademie-Verlag. Berlín. 153 pp. + anexos.
- Cuesta, Mariano y Sandra Rebok, 2008. Alexander von Humboldt: Estancia en España y viaje americano. Real Sociedad Geográfica de España. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Madrid. 396 pp.
- De Asúa, Miguel, 2009. Darwin y Humboldt. *Ciencia Hoy*. 19(113): 20-29.
- De Terra, Helmut, 1956. Humboldt: Su vida y su época 1769-1859. Biografías Gandesa. México. 313 pp.
- Diario Oficial de la Federación, 1990. Decreto por el que se declara una zona de monumentos históricos de la Ciudad de Taxco de Alarcón, Guerrero, con el Perímetro, características y condiciones que se indican. México. 19 de Marzo 1990.
- Doherr, Detlev, 2015. Alexander von Humboldt's idea of interconnectedness and its relationship to interdisciplinarity and communication. *Systemics, Cybernetics and Informatics*. 13(6): 47-51.
- Echenberg, M., 2017. Humboldt's Mexico: In the footsteps of the illustrious German scientific traveler. McGill-Queen's Univ. Press. Montreal. 236 pp.
- Erickson, R., Font, M.A. & B. Schwartz 1998. Alexander von Humboldt: From the Americas to the Cosmos. Bildner Center for Western Hemisphere Studies. The Graduate Center, The City University of New York. 537 pp.
- Ette, Ottmar, 2001. Alexander von Humboldt und das Projekt der Moderne. en: Ette; Bernecker, Walther L. (eds.), *Ansichten Amerikas. Neuere Studien zu Alexander von Humboldt*, Frankfurt am Main: Vervuert, Pp. 9-17.

- Excurra, Exequiel, 2002. Redescubriendo a Alexander von Humboldt. Ciencias. UNAM. México. No. 66: 4-11.
- Fernández de Alba, Luz, s/a. La ciudad de México que Humboldt vio a través de sus ojos azules. Fuentes Humanísticas 36. Dossier. Pp. 51-57.
- Fiedler, H. & U. Leitner, 2000. Alexander von Humboldts Schriften. Bibliographie der selbstständig erschienenen Werke. Beiträge zur Alexander-von-Humboldt-Forschung, vol. 20. Berlin: Akademie-Verlag.
- Fondo Editorial del Estado de México, 2016. Alexander von Humboldt: México grande. México. 239 pp.
- Galvis, Santiago, s/a. Viajes, instrumentos y legitimación del quehacer científico: Alexander von Humboldt y su travesía por Nueva España. México. 17 pp.
- García Farrero, Jordi, 2015. Sobre la expedición americana de Alexander von Humboldt (1769-1859): vinculación con la naturaleza, impulso nómada y realización de uno mismo. Espacio, Tiempo y Educación. 2(2): 313-333
- Garrido, E. y M.A. Puig-Samper, s/a. Alexander von Humboldt: Notas sobre su diario de viaje a Inglaterra con Georg Forster. Pp. 71-92.
- Gómez M., Josefina y Concepción Sanz H., 2010. De la biogeografía al paisaje en Humboldt: pisos de vegetación y paisajes andinos equinociales. Población y Sociedad 17: 29-57.
- González Díaz, Sofía, 2010. Reseña de "Humboldt y el Jorullo. Historia de una exploración" de Urquijo Torres, P. Investigaciones Geográficas. Instituto de Geografía, UNAM. 72: 142-144
- González Reyna, J. y A. García Rojas, 1969. El barón Alexander von Humboldt y su influencia en el desarrollo científico y económico de México.
- Heyd, Thomas, 2017. Alexander von Humboldt y la unidad de la Naturaleza. 16 pp.
- Holdridge, L.R., 1967. Life zone ecology. Tropical Science Center. San José Costa Rica. 206 pp.
- Humboldt, A., 1860. Letters of Alexander von Humboldt written between the years 1827 and 1858 to Varnhagen von Ense. Trübner and Co. London. 334 pp.
- Humboldt, A., 1967. Del Orinoco al Amazonas: Viaje a las regiones equinociales del nuevo continente.. Ed. Labor. Barcelona. 429 pp.
- Humboldt, A., 1989. Cartas Americanas. Biblioteca Ayacucho. Venezuela. 299 pp.
- Humboldt, A., 2003. Atlas geográfico y físico del reino de la Nueva España. Siglo XXI. México. 150 pp.
- Humboldt, A., 2010. Vistas de las cordilleras y monumentos de los pueblos indígenas de América. Los libros de la catarata. Madrid. 318 pp.
- Humboldt, A., 2011. Cosmos: Ensayo de una descripción física del mundo. Edición de Sandra Rebok. Los libros de la Catarata. Madrid. 959 pp.
- Humboldt, A., Jaguars and electric eels. Penguin Great Journeys No. p. 100 pp.
- Humboldt, A., 1999. Cuadros de la Naturaleza. Siglo XXI. México. 494 pp.
- Ichikawa, S., 2009. Alejandro de Humboldt y la Nueva España. 14 pp.
- Jaramillo, Juvenal, 1996. Alejandro de Humboldt y su paso por Michoacán. Tzintzun. No. 24, Pp. 47-57.
- Kohlhepp, Gerd, 2005. Scientific findings of Alexander von Humboldt's expedition into the Spanish-American Tropics (1799-1804) from a geographical point of view. Anais da Academia Brasileira de Ciências (2005) 77(2): 325-342.
- Krauze, Enrique, 1994. Humboldt y México: Un amor correspondido. Vuelta, 212: 21-24.
- Labastida, J., 2016. Humboldt, ciudadano universal. 2ª. Ed. Ed. Siglo XXI. México. 391 pp.
- Labastida, J., s/a. Chapter 4: Humboldt en la Nueva España. Culture and Society in the New World. Pp. 25-39.
- Lavilla, E.O., 2004. Under the Southern Cross: Stories around Humboldt and Bonpland's trip to the New Continent. Latin American Applied Research. 34:203-208.
- López Luján, Leonardo y María Gaida, 2016. El Hacha Humboldt, Un objeto ritual olmeca tallado en jadeitita. Arqueología Mexicana. México. 133:56-61

- Madan, A.S., 2017. Geographical discourse and Alexander von Humboldt. In: Lines of Geography in Latin American Narrative. Geocriticism and Spatial Literary Studies. Springer. Pp. 29-76.
- Magee, Judith, 2007. Alexander von Humboldt, la unidad de la naturaleza (1769-1859). En: Huxley, R. (Ed.). Los grandes naturalistas. Ed. Ariel. Barcelona. Pp. 224-232.
- Martí Marco, M.R., 2006. El naturalista Alejandro de Humboldt, Cavanilles y Juan Andrés. Cuadernos Dieciochistas. Salamanca. 7:47-68.
- Mendoza, Héctor, s/a. Humboldt y la Geografía de Latinoamérica. México. 7 pp.
- Morueta-Holme, N., Engemann, K., Sandoval Acuña, P., Jonas, J.D., Segnitz, R.M. and J.C. Svenning, 2015. Strong upslope shifts in Chimborazo's vegetation over two centuries since Humboldt. PNAS.112(41): 12741-12745.
- Olson, D. M., Dinerstein, E., Wikramanayake, E. D., Burgess, N. D., Powell, G. V. N., Underwood, E. C., D'Amico, J. A., Itoua, I., Strand, H. E., Morrison, J. C., Loucks, C. J., Allnutt, T. F., Ricketts, T. H., Kura, Y., Lamoreux, J. F., Wettengel, W. W., Hedao, P., Kassem, K. R. 2001. Terrestrial ecoregions of the world: a new map of life on Earth. Bioscience 51(11):933-938.
- Ortega y Medina, Juan A., 1976. Otra vez Humboldt, ese controvertido personaje. Historia Mexicana, 25(3): 423-454.
- Palmer, D., 2011. Earth in 100 groundbreaking discoveries. Quercus Publ., London.
- Paulsen, A., 2013. Alexander von Humboldt. Cosmos. Ensayo de una descripción física del mundo. Revista de Geografía Norte Grande, 54: 269-272.
- Peralta, O. 2007. Humboldt y el volcán. Historia de la Ciencia. El Faro. México. 70: 10-12.
- Pérez Brignoli, H. (Ed.), 2011. Zentralamerika – Centroamérica, Alexander von Humboldt. Editorial Universidad de Costa Rica. San José, C.R., 119 pp.
- Poe, E.A., 1972. Eureka. Prologo y Trad. Julio Cortázar. Alianza Ed., Madrid.
- Puig-Samper, MM.A. y S. Rebok, 2002. Alexander von Humboldt y el relato de su viaje americano redactado en Filadelfia. Revista de Indias. LXII(224): 69-84.
- Rebok, Sandra, 2003. La expedición americana de Alexander von Humboldt y su contribución a la ciencia del Siglo XIX. Bulletin de l'Institut français d'études andines. 32(3): 441-458.
- Rebok, Sandra, 2005. Alexander von Humboldt: Biblioteca digital. Humboldt im Netz. VI (11): 58-64.
- Rebok, Sandra y Miguel Ángel Puig-Samper, 2013. Alexander von Humboldt: Traducción y edición de sus obras en España. En: Estudio crítico: Alexander von Humboldt. Fundación Ignacio Larramendi. DIGIBIS. 18 pp.
- Rupke, N.A., 2006. A metabiography of Alexander von Humboldt. Humboldt im Netz. VII, 12: 70-73.
- Schaumann, Caroline, 2009. Who Measures the World? Alexander von Humboldt's Chimborazo Climb in the Literary Imagination. The German Quarterly, 82 (4): 447-468.
- Stauffer, Fred W., Stauffer, Johann & Laurence J. Dorr, 2012. Bonpland and Humboldt specimens, field notes, and herbaria; new insights from a study of the monocotyledons collected in Venezuela. *Candollea* 67(1) : 75-130 (2012).
- Sucarrats, R., 2014. Romantic Travellers. Alexander von Humboldt and Charles Darwin. Mètode Science Studies Journal. Universitat de València. Valencia, España. 4: 147-153.
- Urbani, Franco, 2005. Alejandro de Humboldt, 1799-1800. El primer geólogo en Venezuela. Revista Geográfica Venezolana, Número especial 2005, Pp. 267-281.
- Urquijo, P.S., 2010. Humboldt y el Jorullo: Historia de una exploración. SEMARNAT. México. 103 pp.
- Van Wyhe, John, 2002. Humboldt's *Personal narrative* and its influence on Darwin. The Complete Work of Charles Darwin Online. UK.
- Weiner, Richard, 2015. Politics and Culture: Influences in Alexander von Humboldt's appraisal of Mexico's natural wealth. AMHE Congreso. Colegio de México. 15 pp.
- Worrall, S., 2015. Why is the man who predicted climate change forgotten?. National Geographic. Septemeber 2015.
- Wulf, A., 2016. La invención de la naturaleza: El Nuevo Mundo de Alexander von Humboldt. Taurus. España. 578 pp.
- Zamudio, G y A. Butanda, 1999. Humboldt y la botánica americana. Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. 55-56: 36-43.

XI. Anexos

Anexo 1.- Principales obras publicadas por Humboldt ⁷⁶.

Título	Año y lugar de publicación	Notas sobre la obra
Observaciones mineralógicas sobre basaltos en el valle del Rhin (<i>Mineralogische Beobachtungen über einige Basalte am Rhein</i>)	1790	
Florae fribergensis specimen plantas cryptogamicas praesertim subterraneas exhibens.	1793 Berlín	Presentando ideas incipientes sobre la geografía de las plantas
Versuche über die gereizte Muskel-und nervenfaser nebst und Pflanzenwelt.	1797 Berlín	Experimentos sobre los efectos del galvanismo en fibras musculares y nerviosas de los animales y el Hombre.
Über die unterirdischen Gasarten und die Mittel ihren Nachteil zu verhindern.	1799	
Sur l'analyse de l'air atmosphérique	1805 París	En colaboración con J.L. Gay-Lussac. Análisis de la atmósfera.
Ensayo sobre la geografía de las plantas (<i>Essai sur la géographie des plantes, accompagné d'un tableau physique</i>)	1805, París	
Colección de observaciones de zoología y anatomía comparada (<i>Recueil d'observations de zoologie et d'anatomie comparée</i>)	1805-1833 París	Con contribuciones de Cuvier, Latreille, Valenciennes y Gay-Lussac
Ideen zu einer Physiognomik der Gewächse	1806 Tübingen	Formas vegetales condicionadas por factores físicos y químicos.
Viaje a las regiones equinocciales del Nuevo Continente (<i>Le voyage aux régions équinoxiales du Nouveau Continent</i>)	1807-1839, París	30 volúmenes. Escrita entre 1799-1804, por Alexander von Humboldt y Aimée Bonpland
Cuadros de la Naturaleza (<i>Ansichten der Natur</i>)	1808, Berlín	Esta obra fue traducida en prácticamente todas las lenguas europeas.
Colección de observaciones astronómicas (<i>Recueil d'observations astronomiques</i>)	1808	J. Olmanns ayudó en la preparación
Vistas de las cordilleras y monumentos de los pueblos indígenas de América (<i>Vue des Cordillères et monuments des peuples indigènes de l'Amérique</i>)	1810, París	
Examen crítico de la historia de la geografía del Nuevo Continente (<i>Examen critique de l'histoire de la géographie du Nouveau Continent</i>)	1814-1834	
Ensayo Político sobre el reino de la Nueva España (<i>Essai politique sur le royaume de la Nouvelle Espagne</i>)	1811	
Atlas geográfico y físico del virreinato de la Nueva España (<i>Atlas géographique et physique du royaume de la Nouvelle Espagne</i>)	1811	
Relación histórica (<i>Relation historique</i>)	1814-1825	inconcluso
Nova genera et species plantarum	1815	7 volúmenes que contienen descripciones de más de 4,500 especies de plantas recolectadas por Humboldt y Aimée Bonpland, compilado principalmente por Karl Sigismund Kunth.
Des lignes isothermes et de la distribution de la chaleur sur le globe	1817, París	Se presenta un nuevo método gráfico para ilustrar la distribución de las temperaturas en una geografía dada.

⁷⁶ Fiedler y Leitner, 2000.

Título	Año y lugar de publicación	Notas sobre la obra
<i>Consideraciones sobre los bosques de chinchona en América del Sur</i> (Account of the Chinchona forests of South America)	1821	Publicado en alemán y traducido al inglés
<i>Essai géognostique sur le gisement des roches dans les deux continents.</i>	1823, París	
<i>Ensayo político sobre la isla de Cuba</i> (Essai politique sur l'île de Cuba)	1826-1827, París	Descripción geográfica y política de Cuba.
<i>Fragments de géologie et de climatologie asiatiques</i>	1831, París.	Reseña preliminar de sus investigaciones científicas en el viaje a Siberia
<i>Asie centrale, recherches sur les chaînes des montagnes et la climatologie comparée</i>	1843, París	3 vols. Informe completo sobre sus estudios en Asia central.
<i>Cristóbal Colón y el Descubrimiento de América: Historia de la geografía del Nuevo Continente y de los progresos de la astronomía náutica en los siglos XV y XVI</i>	1892	
<i>Cosmos: Ensayo de una descripción física del mundo</i> (Kosmos – Entwurf einer physischen Weltbeschreibung . Cosmos: A Sketch of the Physical Description of the Universe)	1845-1862 Londres – Reino Unido	4 volúmenes, el 5º. Volumen quedó inconcluso

Anexo 2.- Lista de los principales instrumentos científicos y dispositivos utilizados por Humboldt para la colección de datos cuantitativos.

Instrumento o dispositivo	Función principal
Posicionamiento y ubicación geográfica, levantamientos topográficos	
Reloj de Longitudes de Berthoud	Determinación de la longitud en alta mar
Sextante de bolsillo de Throughton	Determinación de la ubicación utilizando al sol o a estrellas
Sextante de Ramsden	Cálculo de la ubicación utilizando al sol o a estrellas
Telescopio de Caroché	Observaciones astronómicas para determinar posicionamiento
Cuadrante de Bird	Mejoramiento de la precisión de las marcas angulares de sextantes
Brújula de inclinación/declinación de Le Noir	Medición de la declinación magnética
Horizonte artificial de mercurio	Definición de la horizontalidad para representar un perfil topográfico
Cadena de agrimensor	Unidad de longitud para medir terrenos
Medición de condiciones atmosféricas y del aire	
Higrómetro de Saussure	Medición de la humedad atmosférica
Cianómetro de Paul	Determinación de la coloración azul del cielo
Barómetro/térmostato de Fortin	Medición de alta precisión de la presión atmosférica y la temperatura
Barómetro/térmostato de Ramsden	Medición de la presión atmosférica y la temperatura
Térmostato de Paul	Medición de la presión atmosférica y la temperatura
Electrómetros de Bennet y de Saussure	Medición de corrientes eléctricas sutiles y cargas de iones en el aire
Aerómetros de Nicholson y de Dolland	Medición de la densidad del aire y de algunos gases
Pluviómetro	Medición de la precipitación
Antracómetro	Medición de la proporción de ácido carbónico en una mezcla gaseosa
Medición del tiempo	
Medio cronómetro de Seyffert	Medición del tiempo en intervalos cortos
Otras mediciones y dispositivos	
Horizonte Artificial de Caroché	Percepción de la horizontalidad
Grafómetro de Ramsden	Medición de ángulos topográficos
Péndulo invariable de Megnie	Medición de la intensidad del campo magnético
Eudiómetro de Fontana	Medición de cambios de volumen de una mezcla de gases
Eudiómetro de Fósforo de Reboul	Medición de cambios de volumen de una mezcla de gases
Sonda Termométrica de Dumotier	Transmisión de temperatura entre un emisor y un receptor

Instrumento o dispositivo	Función principal
Microscopio Compuesto de Hofmann	Observación de objetos transparentes y características no observables a simple vista
Balanza de Ensaye	Medición de alta precisión de masas pequeñas
Electroscopio de Haüy	Medición de la electricidad generada por presión, fricción o calentamiento
Botella de Leyden	Dispositivo para almacenar cargas eléctricas
Telescopio acromático de Dollond	Observaciones astronómicas y de lugares distantes

Anexo 3.- Ecorregiones terrestres de Sudamérica y México visitadas por Humboldt.

Sudamérica
1. Bosques secos del Valle de Sinú
2. Bosques secos Maraón
3. Desierto Sechura
4. Llanos de Venezuela
5. Manglares del sur del Caribe Amazonas-Orinoco
6. Matorral xerófilo de Araya y Paria
7. Matorral xerófilo de Guajira-Barranquilla
8. Matorrales xerófilos de la Costa
9. Páramo Andino del norte
10. Páramo de la Cordillera Central
11. Yungas Peruanas
12. Bosques montanos del Valle del Cauca
13. Bosques secos del Valle Magdalena
14. Bosques húmedos del Negro-Branco
15. Bosques húmedos de tierras bajas y piedemonte guayanenses
16. Bosques húmedos del occidente de Ecuador
17. Bosques montanos de la Cordillera Real Oriental
18. Bosques montanos de la Cordillera de la Costa
19. Bosques húmedos Magdalena-Urabá
20. Bosques montanos del Valle Magdalena
21. Bosques secos del Valle del Cauca
22. Bosques montanos del noroeste andino

México
1. Bosques de pino-encino de la Sierra Madre del Sur
2. Bosques de pino-encino de la Sierra Madre oriental
3. Bosques de pino-encino del Eje Volcánico de México
4. Bosques húmedos de Veracruz
5. Bosques montanos de Oaxaca
6. Bosques secos de Veracruz
7. Bosques secos del Bajío
8. Bosques secos del Balsas
9. Bosques secos del Pacífico del Sur
10. Matorral del centro de México
11. Matorral del Valle de Tehuacán

Anexo 4.- Especies animales dedicadas a Humboldt

Nombre común	Nombre científico
Isópodo (Crustáceo)	<i>Bathione humboldtensis</i> (Pardo, Guisado & Acuña, 1998)
Anfípodo (Crustáceo)	<i>Caprella acanthifera humboldtiensis</i> Martin, 1977
Pez de agua dulce (Atherinopsidae) Charal de Xochimilco	<i>Chirostoma humboldtiana</i> (Valenciennes 1835)
Catarina (Coleóptero)	<i>Coccinella hieroglyphica humboldtiensis</i> Nunenmacher, 1912
Zorrillo de Patagonia	<i>Conepatus humboldtii</i> Gray 1837
Calamar de Humboldt	<i>Dosidicus gigas</i> (D'Orbigny, 1835)
Pez de agua dulce	<i>Eigenmannia humboldtii</i> (Steindachner, 1878)
Ardilla voladora de Humboldt	<i>Glaucomys oregonensis</i> (Bachman, 1839)
Gusano (Tremátodo)	<i>Haematoloechus humboldtensis</i> n.sp.
Murciélago de Humboldt	<i>Histiotus humboldti</i> Handley, 1996
Caracol terrestre (Humboldtianidae)	<i>Humboldtiana ootamorum</i> Mejía, Naranjo-García & Polaco, 2009
Caracol	<i>Humboldtiana pergranulosa</i> Solem, 1955
Zafiro de Humboldt o colibrí de garganta azul	<i>Hylocharis humboldtii</i> (Boucier & Mulsant, 1852)

Nombre común	Nombre científico
Delfín del Amazonas	<i>Inia geoffrensis humboldtiana</i> Pilleri & Gühr, 1978
Mono lanudo de Humboldt	<i>Lagothrix lagoreicha</i> (Humboldt, 1812)
Caracol fósil	<i>Lithotrochus humboldtii</i> von Buch 1839
Marta de Humboldt (Mustelidae)	<i>Martes caurina humboldtensis</i> (Grinnell and Dixon, 1926)
Ammonite (fósil)	<i>Nevadites humboldtensis</i> Smith 1914
Trucha de Humboldt	<i>Oncorhynchus clarkii humboldtensis</i> Trotter & Behnke, 2008
Mariposa	<i>Perisama humboldtii</i> Guérin-Méneville (1844)
Caracol de agua dulce (Hydrobiidae)	<i>Pyrgulopsis humboldtensis</i> Hershler, 1998
Sapo	<i>Rhinella humboldti</i> (Gallardo, 1965)
Mono ardilla de Humboldt	<i>Saimiri sciureus cassiquiarensis</i> Lesson, 1840
Pingüino de Humboldt	<i>Spheniscus humboldti</i> Meyen, 1834
Saltamontes (Orthoptera)	<i>Titanacris humboldtii</i> (Scudder & S.H. 1869)
Ammonite (fósil)	<i>Tozerites humboldtensis</i> Smith 1914

Anexo 5.- Especies de plantas, hongos y micro-organismos dedicados a Humboldt.

Nombre común	Nombre científico
Herbácea (Asteraceae)	<i>Acourtia humboldtii</i> (Less.) B.L. Turner
Bacteria (Chromatiaceae)	<i>Allochromatium humboldtianum</i> Serrano et al. 2015
Anturio (Araceae)	<i>Anthurium humboldtianum</i> Kunth
Araucaria de Humboldt (Araucariaceae)	<i>Araucaria humboldtensis</i> J. Buchholz
Matorral (Rubiaceae)	<i>Bouvardia humboldtii</i> Kunth
Liquen (Pilocarpaceae)	<i>Byssoloma humboldtianum</i> Lücking & Kalb
Herbácea (Araceae)	<i>Caladium humboldtii</i> (Raf.) Schott
Herbácea (Scrophulariaceae)	<i>Castilleja ambigua humboldtensis</i> (D.D.Keck) J.M. Egger
Herbácea (Rhamnaceae)	<i>Ceanothus x humboldtensis</i> J.B. Roof
Arbusto (Solanaceae)	<i>Cestrum humboldtii</i> Francey
Árbol (Polygonaceae)	<i>Coccoloba humboldtii</i> Meins
Hongo	<i>Cortinarius humboldtensis</i> Ammirati & A.H. Sm.
Arbusto de O'ahu	<i>Cyanea humboldtiana</i> Gaud
Herbácea (Amaranthaceae)	<i>Froelichia humboldtiana</i> (Schult.) Seub.
Arbusto (Asteraceae)	<i>Helipterum humboldtianum</i> (Gaudich.)DC.
Hiedra (Araliaceae)	<i>Hydrocotyle humboldtii</i> A. Rich.
Arbusto (Rhamnaceae)	<i>Karwinskia humboldtiana</i> (Schult.) Zuuc.
Lili de Humboldt (Liliaceae)	<i>Lilium humboldtii</i> Roetz & Leichtlin, 1871
Planta acuática (Limnathaceae)	<i>Limnathenum humboldtianum</i> Griseb.
Árbol (Rubiaceae)	<i>Macrocnemum humboldtianum</i> (Roem. & Schult.) Wedd.
Alga marina (Laminariaceae)	<i>Macrocystis humboldtii</i> (Bonpland) C.Agardh in Kunth 1822
Cactus (Cactaceae)	<i>Mammillaria humboldtii</i> Ehrenb.
Arbusto (Melastomataceae)	<i>Monochaetum humboldtianum</i>
Orquídea (Orchidaceae)	<i>Myrmecophila humboldtii</i> (Rchb.f.) Rolfe
Planta acuática (Menyanthaceae)	<i>Nymphoides humboldtianum</i> (H.B.K.) Kuntze
Pasto (Gramineae)	<i>Paspalum humboldtianum</i> Flügge
Encino sudamericano (Fagaceae)	<i>Quercus humboldtii</i> Bonpl. 1805
Hongo	<i>Resinogalea humboldtensis</i> Rikkinen & A.R.Schmidt
Hongo	<i>Russula humboldtii</i> Singer
Sauce criollo (Salicaceae)	<i>Salix humboldtiana</i> Willd. (1805)
Hongo de un liquen tropical	<i>Sticta humboldtii</i> Hook f.
Planta carnívora (Lentibulariaceae)	<i>Utricularia humboldtii</i> R.H. Schomb.