



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO

INSTITUTO DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA
ÁREA ACADÉMICA DE BIOLOGÍA
LICENCIATURA EN BIOLOGÍA

IMPORTANCIA Y APLICACIÓN DEL DIBUJO CIENTÍFICO EN
OSTEOLOGÍA Y ENTOMOLOGÍA

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
LICENCIADO EN BIOLOGÍA
P R E S E N T A:
JORGE ALBERTO GONZÁLEZ MARTÍNEZ

DIRECTOR DE TESIS:
M. en C. JESÚS MARTÍN CASTILLO CERÓN

CONTENIDO

DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTOS	vi
CITA Y MÚSICA ESCRITA	viii
RESUMEN Y ABSTRACT	ix
I. INTRODUCCIÓN	1
• Breve Historia de la Ilustración Científica	1
• La Ilustración Científica en México	12
II. JUSTIFICACIÓN	18
III. OBJETIVOS	19
• Objetivo General	19
• Objetivos Particulares	19
IV. MATERIAL Y MÉTODOS	20
• Conceptos Técnicos	24
• Direcciones, Planos y Vistas	29
• Preparación de un Dibujo Científico	35
• En lápiz	35
• En tinta	36
• A colores	39
V. PREPARACIÓN DE LAS ILUSTRACIONES PARA REPRODUCCIÓN	41
VI. VENTAJAS DEL DIBUJO SOBRE LA FOTOGRAFÍA	44
VII. OSTEOLOGÍA	47
• Desarrollo y Crecimiento de los Huesos	48
• Cráneo	52
• Esqueleto Axial	81
• Dientes	107
• Esqueleto Apendicular	120
• Cintura Escapular (o Pectoral)	123
• Cintura Pélvica	128
VIII. ENTOMOLOGÍA	133
• Orden Megaloptera	135
IX. DISCUSIÓN	143
X. CONCLUSIONES	147
XI. CRÉDITOS DE LAS ILUSTRACIONES	149
XII. BIBLIOGRAFÍA CITADA	151

INDICE DE FIGURAS

1. Detalle de pinturas rupestres en Lascaux, Francia y Baja California, México2

2. Dibujos anatómicos realizados por Leonardo da Vinci5

3. Detalle de figura incluida en *De Humanis Corporis Fabrica Libri Septem*6

4. Dibujos de espermatozoides hechos por Antoni van Leeuwenhoek7

5. Dibujo de pulga, por Robert Hooke8

6. Carátula de *Systema Naturae*, de Carl Linnaeus10

7. Detalles del Códice Badiano13

8. Detalles de Biología Centrali-Americana15

9. Subdivisión de un rectángulo25

10. Modelo básico de perspectiva lineal26

11. Planos principales utilizados en anatomía básica.30

12. Posiciones principales usadas en anatomía básica30

13. Contraste de nomenclatura entre humanos y cuadrúpedos31

14. Hábito de *Archichauliodes* sp. (Megaloptera: Corydalidae)32

15. Vistas anatómicas de la quinta vértebra torácica de *Urocyon cinereoargenteus*33

16. Vistas anatómicas en nomenclatura dental34

17. Proceso de ilustración de dibujos a lápiz36

18. Proceso de ilustración de dibujos en tinta37

19. Proceso de ilustración de dibujos a colores40

20. Desarrollo y osificación del hueso49

21. Huesos craneales de *Salmo gairdneri*53

22. Indicación de huesos craneales en *Cyprinus carpio*55

23. Huesos principales de cráneo de *Rana*58

24. Huesos principales de cráneo de *Chthonerpeton*59

25. Modelos de fenestración craneal60

26. Huesos principales del cráneo de *Emys*61

27. Fragmento mandibular de *Trionyx*62

28. Vistas y huesos principales de cráneo y mandíbula de *Sphenodon*64

29. Indicación de huesos en cráneo y mandíbula de *Iguana* y *Varanus*, respectivamente..... 65

30. Cinesis craneal y proceso de apertura mandibular en serpientes66

31. Cráneo y mandíbula de *Crocodylus* y *Alligator* y esquemas de las tres familias de Crocodylia68

32. Vista lateral y ventral de cráneo de *Canis familiaris* indicando sus partes70

33. Comparación craneal y mandibular de dos félidos72

34. Estimación del campo visual entre un herbívoro y un carnívoro74

35. Huesos nasales de Metatheria y Eutheria74

36. Cráneo y mandíbula de *Acinonyx jubatus*75

37. Comparación y nomenclatura mandibular en grupos de mamíferos76

38. Cráneo y músculos asociados en *Smilodon*77

39. Cráneo y mandíbula de *Anser*78

40. Apertura mandibular y huesos asociados en cráneo de aves79

41. Variación craneal de aves80

42. Secciones longitudinales de una vértebra82

43. Indicación de urostilo de rana83

44. Indicación de pigostilo en un ave84

45. Morfología y nomenclatura básica de vértebras85

46. Morfología y nomenclatura de vértebras cervicales87

47. Morfología y nomenclatura de vértebras dorsales o torácicas	88
48. Morfología y nomenclatura de vértebras lumbares	89
49. Morfología y nomenclatura de vértebras sacras	91
50. Morfología y nomenclatura de vértebras caudales	92
51. Comparación del complejo atlas-axis en reptil primitivo y mamífero	93
52. Atlas de <i>Gadus</i> sp	95
53. Distintas vistas de atlas de anfibios	96
54. Complejo atlas-axis de <i>Python</i>	98
55. Atlas de <i>Felis domesticus</i>	99
56. Axis de <i>F. domesticus</i>	101
57. Axis de distintos mamíferos	102
58. Atlas y axis de <i>Gallus</i>	103
59. Morfología y nomenclatura de costillas	104
60. Conexión de costillas con vértebras	105
61. Indicación del esternón	106
62. Elementos componentes del diente	107
63. Tipos de inserción dental	108
64. Corte y esquema de diente laberintodonto	108
65. Diente de tiburón	109
66. Fragmento mandibular de anguila	109
67. Tipos de dentición en serpientes	111
68. Indicaciones y profundidad dental en cráneo de roedor	112
69. Dentadura craneal y mandibular en <i>Didelphys virginiana</i>	113
70. Tipos de dientes en mamíferos	114
71. Mecanismo de corte del par carnasial en <i>Panthera tigris</i>	116
72. Movimientos de masticación en carnívoros y herbívoros y estructuras asociadas	117
73. Movimiento de masticación en roedor	118
74. Esqueleto apendicular de <i>Lemur</i>	120
75. Transición del medio acuático al terrestre	121
76. Locomoción en distintos grupos de vertebrados	122
77. Cintura escapular y extremidades anteriores en varios grupos de vertebrados	123
78. Nomenclatura e identificación de extremidades anteriores y posteriores	125
79. Comparación de la posición en el sustrato de anfibios primitivos y reptiles con mamíferos	126
80. Proceso olécranon y huesos asociados	126
81. Comparación de elementos óseos formadores de alas, en murciélagos y aves	127
82. Apéndices de ichtyosaurio y ballena, mostrando hiperfalangia e hiperdactilia	128
83. Cintura pélvica y extremidades posteriores en varios grupos de vertebrados	129
84. Comparación de fémures en distintos grupos de mamíferos	130
85. Comparación de extremidad posterior de ungulados	131
86. Postura del pie de mamíferos en el sustrato	132
87. Comparación de cabeza y pronoto en <i>Chloronia yungas</i> y <i>Protosialis mexicana</i>	138
88. Vista dorsal y ventral de genitalia de <i>Chloronia yungas</i> ♂	138
89. Hábito y ala anterior izquierda de <i>Protosialis mexicana</i> ♂	139
90. Hábito de <i>Protosialis ranchograndis</i> ♀	140
91. Ala anterior derecha con nomenclatura y comparación de genitalias de ambos sexos de <i>Sialis ranchograndis</i>	141
92. Cabeza y pronoto, ala anterior derecha y comparación de genitalias en ambos sexos de <i>Protosialis hauseri</i> Contreras, Fiorentin y Urakami	142

A mis padres Pancho y Gloria
Por todo, absolutamente TODO en mi vida

A mi hermano Paco (Pico)
Por compartir una vida común y única

A mi cuñada Anilú
A mi sobrinita Piani

A mis amigos verdaderos
Ustedes saben quienes son

A quienes nunca creyeron en mí
También ustedes saben quienes son

AGRADECIMIENTOS

En primera instancia a mis padres Francisco y Gloria por haberme dado vida, educación y libertad de elección, además de todo el apoyo que una persona puede recibir en su vida, a costa de grandes sacrificios conjuntos para poder llevar esta etapa de mi vida a buen término y cristalizar un objetivo mutuo. Todo lo que fui, soy y seré es gracias a ustedes. Los necesito y los amo siempre.

A mi hermano Paco (o Pico) por sus ejemplos, enseñanzas y por compartir tantos años un mismo sendero familiar. Gracias por cambiar continuamente mi vida. ¿Qué mejor ejemplo que tu hija? Te amo.

Al M. en C. Jesús Martín Castillo Cerón por aceptar el haber sido mi director de tesis, su ejemplo, apoyo inmenso, por toda su confianza brindada desde Ciencias de la Tierra, ser cómplice de este proyecto, por sus felicitaciones y palmadas en mi espalda por hacer bien las cosas en la carrera, pero sobre todo por su incondicional amistad. Gracias constantes, Jesús.

Al Dr. Víctor Manuel Bravo Cuevas por alentarme a seguir adelante, por tantas y tantas pláticas enriquecedoras y vastas de conocimiento en distintas cosas (desde Star Wars, ciencia ficción y novelas, hasta ciencia, libros y cine, pasando por Magic, videojuegos y música, sin olvidar obviamente, el maravilloso fútbol), por su confianza y permitirme ayudarlo en sus proyectos mediante mis primeras ilustraciones "profesionales" y también por su tremenda amistad. Gracias, Vic.

Al M. en C. Miguel Ángel Cabral Perdomo por compartirme parte de su conocimiento en osteología y en otras áreas, por su enorme amistad y por conllevar una pasión musical que nos acerca: Pink Floyd. Muchas gracias, Miguel...*I'll see you on the dark side of the moon.*

Al Dr. Carlos Esquivel Macías por sus comentarios, confianza, amistad y aliento para continuar esmerándome, por recurrir a mi capacidad ilustrativa y por ver el resultado en una publicación formal lo cual me llena de especial alegría.

A la Dra. Katia González Rodríguez por su confianza, conocimientos regalados y felicitaciones, además de su enorme paciencia al soportar mi irresponsabilidad e indisciplina en su clase de Zoología de la preparatoria, pero por sobre todo muchas gracias por tu amistad.

Al Dr. Atilano Conteras Ramos por su completo apoyo y principalmente su confianza brindada hacia mí por permitirme ayudarlo en parte de sus proyectos personales, lo cual me inunda de una gran satisfacción personal; estoy para servirle. Así mismo le agradezco por apoyarme al permitirme revisar su bibliografía y estudiar sus ejemplares de Megaloptera para completar los capítulos pertinentes en esta tesis. Muchas gracias por todo.

A la Dra. Consuelo Cuevas Cardona por sus enseñanzas y facilidad de palabra y tranquilidad expresadas al recurrir a ella y por sus felicitaciones expresadas al conocer parte de lo que he hecho. Al Biól. Ulises Iturbe Acosta por sus comentarios y apoyo a lo largo de la carrera. A la Dra. Irene Goyenechea Mayer Goyenechea por su clase de Genética en la prepa, la cual contribuyó para que eligiera esta carrera y por presionarme silenciosamente con la culminación de esta tesis. Al Dr. Juan Márquez Luna por su apoyo en contestar mis dudas y en especial por compartirme la clase de Entomología que hizo aproximarme a lo maravilloso que son los insectos. Agradezco también al Dr. Antonio González Martín por dos razones principales: la primera por impartir su clase de Origen y Dispersión Humana y tener la gran fortuna de ser su alumno, con lo cual aprendí infinidad de causas, razones y factores que hacen del ser humano una especie extraordinaria sin dejar de ser un resultado evolutivo, pero que a la vez nos hace ser simplemente una especie más; la segunda por la confianza de recurrir a mí para realizar la portada de su libro al fin publicado, lo cual significa uno de los mayores logros personales hasta el momento, muchas gracias.

Igualmente agradezco considerablemente al M. en C. Mario Segura Almaraz por todas las pláticas que tuvimos a lo largo de estos años, las cuales fueron enriquecedoras y gratificantes en gran medida, gracias igual por sus comentarios, apoyo y su legítima amistad.

A mi profesor de Biología y Física en la secundaria José Luis Mota Juárez, que aunque es improbable que lea estas líneas, le agradezco en todo lo que cabe el haber sido su alumno de secundaria, el ser el mejor profesor y ser un principal factor detonante de mi curiosidad y acercarme a la biología y a la ciencia en general. De verdad muchas, muchas gracias.

A los compañeros del Museo de Paleontología de la UAEH: Luis Nájera, Gloria Cuevas, Alejandro (Gordo), Rocío, "Dr." Aarón Gayosso (gracias por tu gran amistad), Arianna, Elvis, Maggie (¡coleguita!), Ivonne (bombón) y Rosana (cuando estabas, je je). Gracias por haber hecho más placentera mi estadía en Paleo y cortar un poco con la monotonía del trabajo al enfocarnos en otros deberes. De igual forma gracias a los compañeros del Laboratorio de Sistemática Animal del CIB: Elsa, Imelda, Claudia, Carmen, Daniel, Julio, Chino y Froy por no molestarse con mi presencia al dibujar y por todas las comidas, pláticas, risas y momentos acarreados dentro y fuera del laboratorio. Gracias igual a mis compañeros de generación aún interesados en la ciencia: a todos los Güi-güis, a las ñoñas y anexos(as) y gracias Gilberto por el dibujo de tu tesis. Qué bien que llevamos un mismo camino, al menos una vez en el tiempo. Así tenía que ser.

A mis amigos. A Víctor Hugo por tanto apoyo, tantísimos momentos, tantísimos litros de café ingeridos, tantísimos consejos y compañía, tantísimos recuerdos y vivencias, y por tanto futuro que tenemos delante de nosotros. A Octavio por casi lo mismo, por toda una carrera que juntos cargamos en nuestra espalda, por tantas conversaciones en las cuales pocas veces coincidíamos, por tus favores y risas invertidas en estos años. A Adma por ser simplemente tú y todo lo que ello implica, por todos los momentos y por ser mucho y demasiado en mi vida. A Lorena por saber arreglar situaciones turbias, por tu tranquilidad y confianza invertida en este largo trajinar. A Paty por amar a mi amigo en su momento preciso, por tus consejos y profesionalismo, por tus favores y pláticas mutuas, y por muchas cosas más, tú sabes cuales son. A Oscar por su madurez intelectual, por su elocuencia, espontaneidad y por tantas cosas aprendidas de ti. A Norma por ser mi eterna amiga y por ser como eres. A Erik por adentrarme en lo fabuloso que es U2, por infinidad de momentos en la prepa y después de ella, por ser mi amigo en toda la extensión de la palabra y por decirnos siempre la verdad. A los (casi) inseparables Reyes y Noé por permitirme ser su amigo y por tantas cosas sucedidas en la prepa. A Pamela, que si hay algo que agradecerle es tu constante inspiración a seguir mejorando. A Toño y Gustavo, gracias inmensas por estos ¡14 años! de amistad y por la infinita cantidad de memorias, cosas y recuerdos acumulados en este periodo de tiempo; no sabría que hacer si no existieran ustedes, par de puñales.

A todos ustedes, casi nunca lo digo pero siempre hay que elegir el momento adecuado: los amo verdaderamente y gracias a la vida por habernos interceptado en el camino, ustedes son dueños de parte de mi vida.

Finalmente a todos los involucrados en mis trabajos y proyectos, a todos los que nunca creyeron en mí, a todos mis amigos que aún puedo recordar, desde el kinder hasta la licenciatura, a Alejandra González Acosta...donde quiera que estés. Gracias igual a mis primos y primas (César, Chucho, Max, Josué, Tony, Claudia, Venecia, Isaac, Pablo, Berna, Mao, Lili, Bogar, Edgar, Brian, Pamela, Sergio, Perico y Mary) por echarme porras y darme sus felicitaciones, a mis tíos y tías (paternos y maternos, todos, todos) por lo mismo y por su aliento a seguir adelante. Gracias absolutas.

Todas las personas mencionadas aquí han tenido que ver en mi vida y por ende, en la culminación de esta etapa en mi vida (unas más que otras), y por lo mismo no creo excesivo nombrar, sólo lo considero justo y suficiente.

Y para terminar gracias a la naturaleza por ser y estar.

"¿Cómo puedo poner atención a ese libro si ni siquiera tiene dibujos?"
Alicia en el País de las Maravillas

*There are places I remember
All my life though some have changed
Some forever not for better
Some have gone and some remain
All these places had their moments
With lovers and friends I still can recall
Some are dead and some are living
In my life I've loved them all*

*But of all these friends and lovers
There is no one compares with you
And these mem'ries lose their meaning
When I think of love as something new*

*Though I know I'll never lose affection
For people and things that went before
I know I'll often stop and think about them
In my life I'll love you more*

*Though I know I'll never lose affection
For people and things that went before
I know I'll often stop and think about them
In my life I'll love you more
In my life I'll love you more*

IN MY LIFE
(John Lennon / Paul McCartney)
THE BEATLES
Rubber Soul. 1965

Resumen

Se presenta un análisis comparativo de los elementos generales conformadores del esqueleto en los grupos de vertebrados mediante dibujos científicos, los cuales explican diversas características determinantes en la vida del animal, tales como la forma o diseño particular de los huesos, las conexiones entre ellos, las fusiones, los movimientos en conjunto y aspectos mecánicos. Por otra parte, se ilustran individuos de las dos familias existentes en el Orden Megaloptera (Insecta), incluyendo ejemplares de una especie nueva recientemente descrita. Además, mediante revisiones en diversas fuentes se reúne un aspecto general de la historia de la ilustración científica en el mundo, desde el surgimiento del hombre hasta tiempos recientes. La finalidad es fomentar el aprecio al dibujo científico como herramienta útil y necesaria en la investigación científica y revalorarlo, junto con la fotografía científica, en su importante papel.

En este trabajo existen noventa y dos figuras, de las cuales ochenta y dos son realizadas enteramente por el autor. Cabe destacar que cuarenta y dos ilustraciones en su totalidad o en algún componente, son inéditas y se presentan por primera vez.

Abstract

A comparative analysis of the general elements that conforms the skeleton in the vertebrate groups is presented, through scientific drawings, which explain several specific characteristics in the life of the animal, such as the shape or the particular design of certain bones, connections between them, fusions, complex movements and mechanicals aspects. On the other hand, individuals of the two families within the Order Megaloptera (Insecta) are illustrated, including those of a recently described species. In addition, is gathered a general view of the history of the scientific illustration over the world through bibliographical revisions, from the dawn of men until recent time. The purpose is to enhance the appreciation of illustration as a useful and essential tool in scientific research and to reevaluate it, along with scientific photography, in its crucial role.

In this work there are ninety-two figures, of which eighty-two have been entirely elaborated by the author. It should be emphasized that forty-two illustrations, entirely or in some component, are unpublished and presented for the first time.

I. INTRODUCCIÓN

Una ilustración en muchos casos es equivalente a una fotografía hecha a mano. En el momento que una imagen es usada para transmitir o comunicar información concreta, es llamada ilustración. La ilustración científica se define como la producción de imágenes, dibujos y otras representaciones gráficas de elevada exactitud respecto a la realidad, que ayudan al científico a comunicarse (Hodges, 1989). La ilustración científica está formada por dos partes esenciales en su desarrollo: la fotografía y el dibujo. Éstos son dos recursos que se complementan pero no se excluyen uno del otro. El dibujo analítico y descriptivo ha sido uno de los principales campos de la ilustración, especialmente en el ámbito de la ciencia, la ingeniería y la arquitectura (Mendoza y Cerda, 1999).

En este trabajo se presentan numerosas ilustraciones referentes a todos los grupos de vertebrados (Peces, Anfibios, Mamíferos Reptiles y Aves) debido a la importancia estructural y mecánica del esqueleto de estos animales. Así también, se incluyen ilustraciones correspondientes a individuos del Orden Megaloptera (Insecta), entre las cuales se enfatiza una especie de Siálido recientemente descrita por primera vez. La inclusión de parte de este Orden obedece a conocer más sobre Megaloptera, al ser un orden poco estudiado, en comparación con otros grupos de Insecta. El estudio de estas dos disciplinas, Osteología y Entomología, aparentemente alejadas entre sí, persigue el desafío de entender la forma en que interactúan el arte y la ciencia.

Breve Historia de la Ilustración Científica

¿Pero en qué momento de la historia surgió la ilustración científica? Es difícil saberlo con exactitud. Desde el principio de la conciencia humana se ha tenido la inquietud de mostrar o representar de forma alterna lo que nos rodea, mediante un desarrollo de habilidades cognitivas meramente humanas. Las representaciones más antiguas de dibujo o ilustraciones son las llamadas

pinturas rupestres (Fig. 1). Tales obras fueron plasmadas en las paredes de cuevas de muchos lugares en el mundo como Lascaux (Francia), Altamira (España), Baja California (México) y el Parque Nacional Tassili n'Ajjer (en el Sahara), entre otros lugares más. Probablemente, estas representaciones gráficas siguieron un objetivo religioso, aunque cabe la posibilidad de mostrar estos dibujos en un contexto de triunfo sobre las presas que cazaban los humanos antiguos; de cualquier modo, nos encontramos con las primeras obras zoológicas y botánicas de nuestra historia.

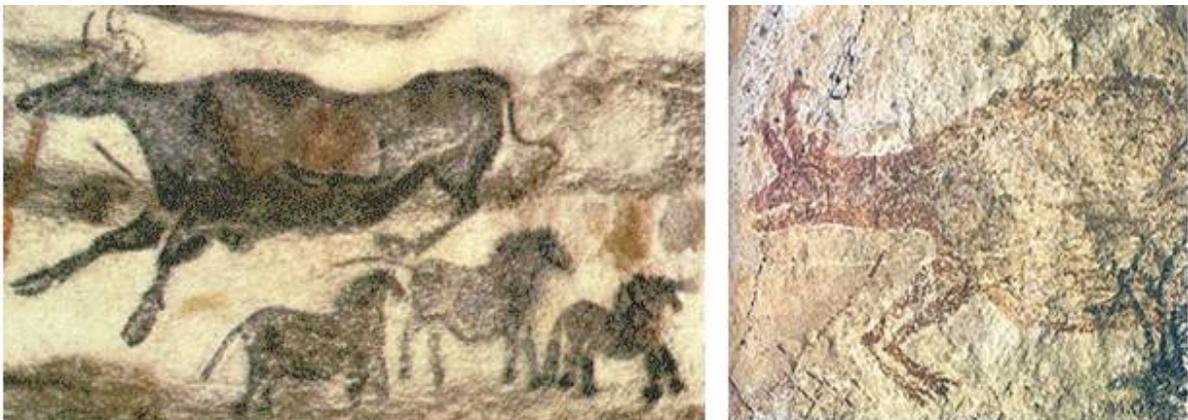


FIGURA 1. Detalle de pinturas rupestres en Lascaux, Francia (izq.) y Baja California, México (der.). Ambas muestran representaciones estilizadas de toros y caballos.

Algunas de estas pinturas datan aproximadamente de hace 13, 000 años; aunque existen unas más antiguas, como las encontradas en la frontera de Francia y España, que han sido datadas en 20, 000 años atrás (Ford, 1996). Estas obras fueron realizadas con pigmentos (rojo, ocre y negro, entre otros) sopladados a través de huesos huecos sobre la roca o aplicados con juncos o ramas aplastadas después de mezclarlos con grasa animal. En ellas se puede notar un conocimiento, aunque limitado, de la fauna y flora de aquella época y de la capacidad ilustrativa de sus creadores, quienes sobre todo, tenían en mente que el dibujar les ayudaba a conocer y entender el mundo que tenían alrededor. También existen dibujos plasmados en cortezas de árboles por tribus aborígenes en Australia, que muestran algunas partes de la estructura anatómica interna de peces;

estas impresiones pudieron tener un propósito educativo (Ford, 1996). Sin embargo, para que las imágenes de ilustración pudieran llamarse científicas, tuvieron que transcurrir cientos y hasta miles de años de desarrollo y mejoramiento del concepto.

Otras imágenes igualmente tempranas son las pertenecientes al antiguo Egipto. Las ilustraciones usadas eran destinadas a celebrar la vida diaria y constituyen documentos invaluable. Las pinturas muestran jardines y plantas, que incluso el día de hoy se pueden identificar; además de aves, peces y mamíferos con los cuales los egipcios tenían contacto muy cercano. Después, el conocimiento pasó a los estudiosos árabes y persas. Abu Sina (980-1037), mejor conocido como Avicenna, realizó aportaciones a la ilustración mediante estudios anatómicos, los cuales fueron rechazados por las estrictas enseñanzas impuestas del Islam. Muchos estudios pioneros acerca de la visión fueron realizados en el Medio Oriente, por ejemplo, los nervios ópticos fueron ilustrados en numerosos manuscritos y representados en forma estilizada, así como diagramática (Ford, 1996).

Por otro lado, las expresiones gráficas más antiguas de anatomía humana provienen de pinturas realizadas en cuevas de los montes Pirineos. Algunas de las pinturas muestran manos con dígitos faltantes, ojos y oídos extraños. Es preciso mencionar que tales pinturas no presentan características detalladas ni de amplia importancia científica; algunos autores suponen que el objetivo de estas representaciones era meramente religioso. Tiempo después, el médico y Emperador chino Hoang-Ti escribió un libro llamado *Nei Tsing* (Regla de lo Interior) hace 2, 800 años; en este libro se proporcionan datos importantes para la ciencia, como el de la circulación de la sangre (Ford, 1996).

En la Grecia clásica, Aristóteles (384-322 a. C.) aportó diversos conocimientos a la Historia Natural, mediante observaciones en sus jardines y sus escritos de zoología, tales como *Historia de los Animales* -diez libros- y *De las partes de los animales y movimientos* -cuatro libros- (Biblioteca de

Consulta Encarta®, 2002). Estas obras merecen especial atención por los dibujos descriptivos que marcan un avance en el campo de la ilustración y la ciencia en general.

Anaxágoras realizó diversas disecciones en animales en las cuales ilustró y aplicó este conocimiento de forma filosófica al hombre. Alcmeón disecó animales y describió las arterias y las venas; tales aportaciones fueron creadas entre los siglos V y IV a. C. El filósofo griego Pedanius Dioscorides (20-70 a. C) escribió diversas notas acerca de plantas como tratamiento médico en su obra *De Materia Medica*; los dibujos incluidos muestran claramente que fueron tomados de obras anteriores, así como en condiciones silvestres. En Roma, el médico Claudio Galeno escribió en el siglo II el primer libro conocido de disección, en el cual describió con ayuda de ilustraciones las diáfisis y epífisis óseas, entre otras estructuras humanas. Durante el siglo XIV, en el año 1370, el físico John of Arderne publicó sus técnicas quirúrgicas para el tratamiento de las fístulas anales; los diagramas que permanecen de esta obra muestran lo especializado de sus técnicas y son consideradas imágenes pioneras del nacimiento de la medicina quirúrgica (Ford, 1996).

Fue hasta el Renacimiento donde se vio un intento por entender la naturaleza e ilustrarla. En esta edad progresista, el notable hombre del renacimiento, Leonardo da Vinci (1452-1519), se convirtió en el precursor de la anatomía comparada al disectar cerca de 30 cadáveres humanos e ilustrar sus componentes con la maestría que tenía para plasmar en un lienzo sus obras (Fig. 2); las cuales residen ahora en la Biblioteca de la Reina en el Castillo de Windsor en Inglaterra (Ford, 1996). Los descubrimientos de Leonardo no se difundieron en su época debido a que suponían un avance tan grande que los hacía indescifrables; de otro modo, al haberse publicado hubieran revolucionado la ciencia en el siglo XVI. A partir de este momento se empieza a hablar de un *arte científico*. Leonardo también hizo aportaciones a la zoología, botánica y fisiología. Asimismo incorporó grandes conocimientos y hechos a la Historia Natural y a la ilustración en general,

gracias a la maestría que empleaba para dibujar, por lo cual muchos lo consideran como el iniciador del campo de la ilustración científica.

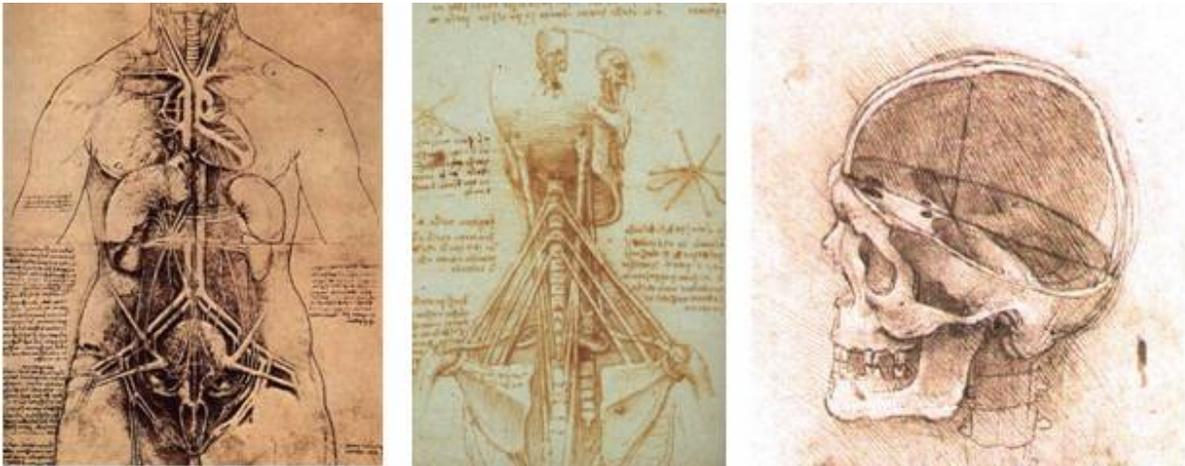


FIGURA 2. Detalle de dibujos realizados por Leonardo da Vinci. *Izquierda:* The Principal Organs and Vascular and Urino-Genital Systems of a Woman, 1507. *Centro:* Anatomy of the neck, 1515. *Derecha:* View of a skull, 1489.

En 1543, Andreas Vesalius, belga de origen alemán, marcó una revolución en las investigaciones anatómicas con su obra magna de anatomía, *De Humanis Corporis Fabrica Libri Septem* (Siete libros sobre la Estructura del Cuerpo Humano; Quiroz Gutiérrez, 1959). Influenciada por el estudio práctico del cuerpo humano, esta aportación monumental fue complementada por cerca de 300 láminas magníficas dibujadas por el artista Jan Stefan, que ilustran detalladamente la anatomía humana. Cabe destacar que Vesalius corrigió cerca de 200 creencias erróneas acerca del cuerpo humano. Las ilustraciones de la obra de Vesalius permitieron el uso de grabados, lo cual significó un avance tecnológico sobre las copias a mano. Así, sus grabados proporcionaron fielmente la información anatómica (Fig. 3). Por otra parte, se considera que probablemente la primera publicación ilustrada preocupada por diseminar conocimientos de otros animales, además del hombre, fue el llamado *Buch der Natur* de Conrad von Megenberg, publicado en 1475, en el cual la mayor parte de las ilustraciones de plantas y animales fueron

basadas en patrones medievales (Ford, 1996). Con base en esta información se fundó la anatomía artística y se sentaron las bases para que durante el siglo XVI se originaran los precursores de los libros ilustrados actuales.

El Renacimiento fue un periodo creativo para los naturalistas y artistas interesados en la búsqueda de nuevos conocimientos. El alemán Alberto Durero (1471-1528), famoso por su conocido dibujo del rinoceronte, basó su ilustración en una descripción de un rinoceronte llevado a Italia por el Papa León X. La ilustración de Durero (Albrecht Dürer; en alemán; precursor de las ilustraciones en acuarela), realizada en 1515, fue copiada por siglos, inclusive exagerando



FIGURA 3. Detalle de una página de *De Humanis Corporis Fabrica Libri Septem*.

errores anatómicos cometidos por el autor, que mostró un segundo cuerno central más pequeño, adyacente a la escápula, de menos de la décima parte de tamaño del cuerno real. En dichas copias elaboradas por siglos, el cuerno creció de una a otra. François Legaut publicó en su *Voyages et Adventures* en 1708, una ilustración del rinoceronte en donde en este caso el cuerno imaginario tenía el mismo tamaño que el existente. Sin embargo los autores aseguraban haber basado sus ilustraciones en animales reales. Un caso similar aconteció al suizo Konrad Gessner quien realizó la ilustración de un mandril y ésta aparece en obras subsecuentes de William Topsell y Johann Johnston en 1607 y 1653, respectivamente. De cualquier manera, Gessner fue el productor de los

primeros trabajos ampliamente ilustrados sobre zoología en su libro *Icones Animalium* de 1560 (Ford, 1996).

La invención del microscopio abrió las puertas a un mundo desconocido hasta entonces y surgió la biología moderna. El primer microscopio fue fabricado en Holanda por el óptico Zacharias Jansen alrededor del año 1590. Los primeros estudios ayudados por microscopios primitivos los realizó Francesco Stelluti y fueron compilados en obra *Retrato de la abeja de la miel Apis mellifera*, que data de 1620. En este estudio se ilustró con detalle el aguijón de la abeja, el ojo compuesto y los finos detalles de la probóscis bajo análisis microscópico (Ford, 1996).

Anthony van Leeuwenhoek (1632-1723), un fabricante holandés de microscopios, fue el primero en descubrir características de los protozoarios, los glóbulos rojos y el sistema de capilares, así como los ciclos vitales de algunos insectos y espermatozoides en diversas especies

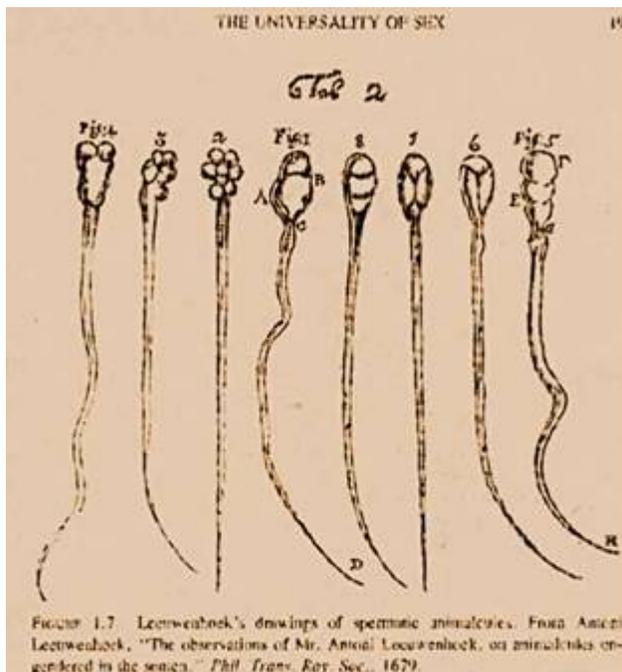


FIGURE 1.7. Leeuwenhoek's drawings of spermatic animalcules. From Antoni Leeuwenhoek, "The observations of Mr. Antoni Leeuwenhoek, on animalcules engendered in the semen." *Phil. Trans. Roy. Soc.*, 1679.

FIGURA 4. Dibujos de espermatozoides de diversas especies realizados por Antoni van Leeuwenhoek en *The Observations of Mr. Antoni Leeuwenhoek on animalcules engendered in the semen*.

(Fig. 4). Uno de los libros que hizo Leeuwenhoek es el denominado *The Observations of Mr. Antoni Leeuwenhoek on animalcules engendered in the semen*. Algunos autores consideran a Leeuwenhoek como pionero en las investigaciones microscópicas. Por otro lado, Robert Hooke (1635-1703), que comenzó sus investigaciones al microscopio en 1663, reunió toda la información recabada en un amplio volumen titulado *Micrographia*, el cual revolucionó la ciencia en ese entonces. En este libro, Hooke realizó imponentes grabados de la pulga y el

piojo en el humano (Fig. 5), esquemas de la hormiga, ambos lados de la hoja de la ortiga, entre otros organismos. Ford (1996) considera este libro como el primero de ciencia moderna popular. La visión de algunos tejidos al microscopio puso al descubierto la célula, unidad morfológica y fisiológica de la vida. Hooke fue el primero en ponerles realmente atención y en ilustrar sus partes en el

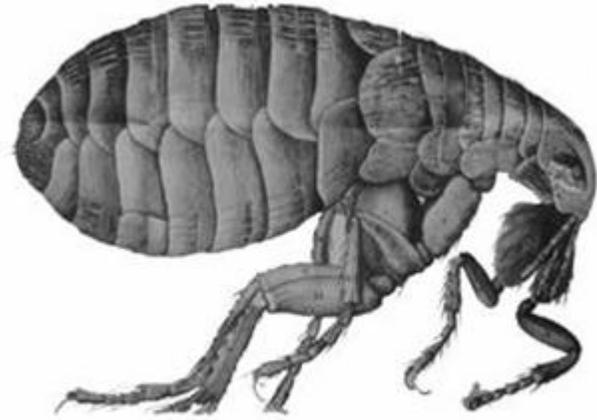


FIGURA 5. Ilustración de pulga realizada por Hooke en su libro *Micrographia*.

conocido dibujo del corcho bajo el microscopio; en esta visión se apreciaban espacios que llamó "celdillas" y es a partir de estas observaciones que la célula adquirió un sentido funcional como elemento fundamental de la materia viva.

En el campo de la microbiología, un estudio fino de la ameba *Allogramia* sp. a cargo de M. S. Schultze se volvió la fuente de conocimiento más fidedigna para este organismo. Thomas Moffet publicó en 1634 *Insectorum Theatrum*, considerada una obra pionera en el campo de la ilustración entomológica. Para el resto de este siglo, el estudio de la vida animal real se combinó de cierta forma con la imaginación popular y las creencias en criaturas fantásticas. El médico Johann Johnston publicó *De Serpentibus et Draconibus* en 1653, obra que incluía ilustraciones de animales fantásticos que el autor insistía haberlos "dibujado en vida". Como es de suponerse, estas imágenes eran inadecuadas para considerarse científicas; sin embargo, algunos grabados de estos animales no existentes tenían valor referencial al momento de identificar animales reales. Por ejemplo, Matthew Paris, un monje de Saint Albans (Albania) dibujó un elefante vivo en 1255 basándose en ilustraciones fantásticas. Así, estas representaciones ayudaron a los naturalistas ingleses a reconocer la apariencia real de algunos otros animales.

El surgimiento de representaciones precisas y exactas durante el siglo XVIII proveyó a la ciencia de una herramienta magnífica de apoyo visual nunca antes alcanzado. George Stubbs (1724-1806), documentó la anatomía del caballo mediante disecciones de cadáveres y con el grabado registró sus observaciones; *La Anatomía de un caballo*, publicada en 1766 se volvió un ejemplo inalcanzable de ilustración zoológica (Ford, 1996). Otro ejemplo de calidad incomparable es *Methamorphosis Insectorum Surinamensium* de María Sibylle Merian, publicado en 1705; la importancia de esta obra radica en que se ilustró por primera vez el ciclo de vida de diversas mariposas de Surinam en una sola lámina (Rickards Guevara, 2000). Por el nivel de información incluida en las ilustraciones fue la obra más avanzada sobre insectos publicada en esa época. Existieron otros naturalistas e ilustradores extraordinarios en el campo entomológico. Destaca *Mémoires pour servir a l'Histoire des Insectes* de René-Antoine Ferchault por sus descripciones anatómicas e ilustraciones, así como el Conde de Buffon, Georges-Louis Leclerc y su magna obra *Histoire Naturelle, Générale et Particulière avec la Description du Cabinet du Roi*, publicada en 1749.

Mención aparte se merece el *Systema Naturae* de Carl Linnaeus (Fig. 6), un catálogo detallado de todos los seres vivos hasta el momento conocidos, que dotó a la biología de un sistema artificial de clasificación basado en gran medida en ilustraciones sin las cuales difícilmente se podrían identificar los organismos descritos (Rickards Guevara, 2000). Linnaeus sirvió de ejemplo a otros científicos para comenzar a observar e identificar según un sistema propio. De esta forma hubo manera de reconocer, diferenciar y distinguir especies conocidas por medio de nombres e ilustraciones, y a la vez, se sentaron las bases para el descubrimiento de nuevas especies y la importancia de ilustrarlas.

Durante este siglo XVIII la ilustración médica alcanzó un nivel inédito de perfección gracias a los hermanos escoceses William (1718- 1783) y John Hunter (1728-1793), quienes publicaron las imágenes más impresionantes de anatomía moderna con un impecable realismo, cosa nunca antes vista. A mediados de este siglo se incorporó una nueva modalidad a la ilustración con una expansión de imágenes cautivantes de gran precisión y claridad. *Plantae Selectae* de George Ehret y *Flora Graeca* de Ferdinand Bauer son claros ejemplos de la nueva era del realismo; ambos autores (en especial Ehret) realizaron ilustraciones con un gran sentido de profundidad y perspectiva, tal como una fotografía moderna, y esto les confería un evidente sentido de realismo (Ford, 1996).

Después de los cambios en la mentalidad de algunos naturalistas, el avance tecnológico y científico y después de que Linnaeus puso un orden en la clasificación de los seres vivos en el siglo XIX, surgió la necesidad de producir imágenes detalladas; sin embargo, era preciso no exagerar detalles por lo que mientras más embellecida era una ilustración, menos credibilidad presentaba por lo mismo, la estandarización de las descripciones ilustradas apareció. Un ejemplo de ello es *Anatomía de Gray* de Henry Gray publicada en 1858, en la cual describió la anatomía humana complementándola con ilustraciones adecuadas y de gran calidad realizadas por H. Vandyke Carter. Tales ilustraciones surgieron gracias al proceso de grabado en acero que confería grandes ventajas sobre el grabado en madera. Por otro lado, John James Audubon caracterizó su trabajo ilustrativo en aves por transmitir al observador emociones humanas a otros organismos en



FIGURA 6. Carátula de *Systema Naturae* de Carl Linnaeus.

su ambiente natural tal como lo muestra su obra magna, *The Birds of America* publicada entre 1827 y 1838. John Gould también fue un artista especializado en aves y su estudio, *The Birds of Australia* de 1841, fue el resultado de la aplicación del recientemente inventado proceso de litografía. Con esta técnica el artista pudo directamente dibujar sobre la piedra, evitando la necesidad de alguien más en la transferencia y reinterpretación de sus originales (Mendoza y Cerda, 1999). El estilo propio de estos dos artistas proporcionó a sus ilustraciones expresiones sumamente realistas, las cuales atrajeron a mucha gente y, probablemente, a la misma gente seguidora de Linnaeus.

En Europa, Edgard Lear fue uno de los mejores ilustradores de ciencia natural en Inglaterra. Cabe mencionar también a Johnson Goodrich cuya publicación *Natural History of the Animal Kingdom* reflejaba una observación precisa combinada con las tradiciones orales y las anécdotas. En el transcurso del siglo XIX las obras ilustradas de entomología fueron suficientes para las exigencias de ese entonces. Entre ellas se puede mencionar a James Wilson quien incluyó un grabado realizado a mano de *Thysania agrippina*, la mariposa nocturna más grande del mundo, en su obra llamada *Illustrations of Zoology, being new, rare, or remarkable subjects of the Animal Kingdom* de 1872. Otras obras de este tipo son *British Entomology* de John Curtis, *The Insect* de Jules Michelet, e *Icones Ornithopterum* de R. H. F. Rippon (Dance, 1978).

En el siglo XIX también existen ilustraciones en ciencias geológicas, tales como grabados de distintos minerales de interés general en los primeros libros de la recién creada Sociedad Real como *Essai sur la Géographie Minéralogique des Environ de Paris* de Cuvier y Brongniart, publicada en 1811; esta obra permitió descubrir qué es lo que existe debajo de la corteza terrestre. El apoyo de mapas ilustrados era crucial para una mejor comprensión de estos descubrimientos. William Smith (1769-1839) produjo los mejores mapas geológicos conocidos hasta entonces, los cuales fueron compilados en un libro llamado *A Delineation of the Strata of England and Wales with part of Scotland*, de 1815 (Ford, 1996).

La Ilustración Científica en México

En México existe también arte científico, aunque las primeras formas de ilustración fueron realizadas por españoles, principalmente frailes. A ellos se les encomendó la tarea de compilar y organizar el conocimiento de los indígenas sobre las plantas medicinales, animales y todo el mundo prehispánico por medio de vastas obras pictográficas. Si bien estas expresiones gráficas no son fácilmente clasificables como "científicas", es muy cierto que tales ilustraciones han sido basadas en observaciones directas de la naturaleza, aunque Trabulse (1995) considera a las primeras imágenes científicas en México aquellas posteriores a la Conquista.

En 1552 se realizó el Códice Badiano o Códice de la Cruz, del indígena Martín de la Cruz. El indio xochimilca Juan Badiano lo tradujo al latín como *Libellus de medicinalibus indorum herbis* (Fig. 7). Este libro manuscrito está ilustrado con numerosas acuarelas atractivas a la vista que como función principal representan plantas de importancia medicinal. En 1558, Fray Bernardino de Sahagún ilustró 140 imágenes de 225 plantas mexicanas en el *Códice Florentino*, publicado en su *Historia General de las cosas de la Nueva España* (Cárdenas, 1989); cabe destacar que estas obras fueron ilustradas en su totalidad por manos indígenas.

Bernal Díaz del Castillo en su obra *Historia verdadera de la conquista de la Nueva España* (1568) describió la gran diversidad de plantas y animales que se comercializaban en el gran tianguis o mercado de Tlatelolco, ayudado por ilustraciones precisas de cada uno de los ejemplares ahí expuestos. Sin embargo, el primer trabajo de grandes dimensiones en torno a la flora y fauna mexicanas fue realizado por el doctor Francisco Hernández, llegado a la Nueva España en 1570. Tal obra fue adornada con ricos y numerosos dibujos de plantas y animales de México, cuyo título traducido al español en 1615 por Fray Francisco Ximénez fue *Cuatro libros de la Naturaleza*; aunque

en 1651 Nardo Antonio Recco imprimió en Roma una nueva edición ampliada de este trabajo bajo el título de *Nova plantarum, animalium et mineralium mexicanorum historia* (Trabulse, 1992).

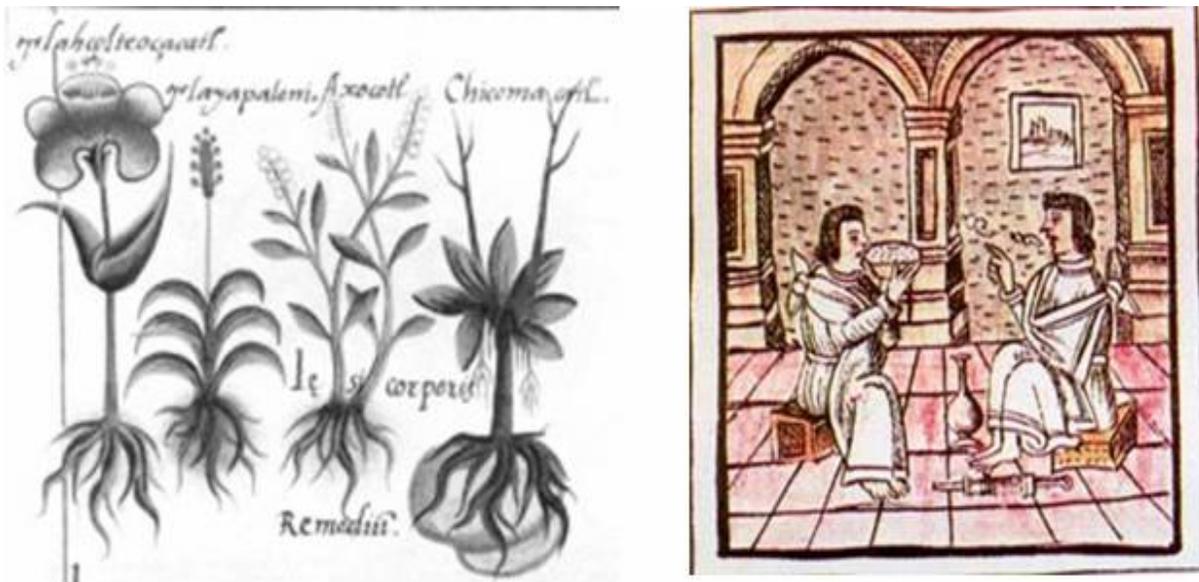


FIGURA 7. Detalles del Códice Badiano. *Izquierda:* Dibujos de plantas medicinales. *Derecha:* Ilustración del interior del códice.

Otra obra de gran importancia naturalista es la escrita por José Antonio Alzate, *Memorias sobre la Naturaleza, cultivo y beneficio de la grana* (1777) en la que figuran tres láminas coloreadas sobre el cultivo de la *Grana cochinilla*; de esta obra sólo existen cinco copias manuscritas con 10 láminas en acuarela a color en las que Alzate destaca la importancia de los estudios entomológicos y las grandes riquezas naturales de América (Rickards Guevara, 2000). A fines del siglo XVIII se produjo un herbario y 1400 láminas ilustradas de plantas y animales en el nuevo mundo, originadas por las expediciones de José Mariano Moziño y Martín Sessé, realizadas entre 1787 a 1803, tales dibujos fueron ejecutados magistralmente por los mexicanos Atanasio Echeverría y Juan de Dios Cerdá. Echeverría reconoció casi 4000 especímenes de organismos y realizó 1400 dibujos de plantas e ilustró diversas aves. El resultado de este esfuerzo expedicionario fue la publicación de *Flora Mexicana y Plantae Novae Hispanie* (Rickards Guevara, 2000).

En los siglos XVIII y XIX algunos botánicos, naturalistas y colectores de distintos países recorrieron gran parte de México para dar a conocer la amplia biodiversidad local. El barón Alexander von Humboldt, alemán, junto al botánico francés Aimé Bonpland, en 1805 recorrieron durante diez meses la Nueva España, principalmente las partes central y occidental de México. Estas expediciones y observaciones de la diversidad biológica sirvieron de base para estudios fitogeográficos e ilustrativos mediante imágenes detalladas empleando distintas técnicas gráficas. A principios del siglo XIX se produjo una obra de botánica ilustrada llamada *Historia Natural o Jardín americano*, hecha por el franciscano Juan Navarro. En esta obra de 1801 incluyó 70 páginas de ilustraciones de plantas de México, además de dividir taxonómicamente a las plantas en fanerógamas y criptógamas (Trabulse, 1992).

Durante y después de la guerra de independencia mexicana existió un estancamiento en la labor científica, lo que se refleja en la falta de ilustraciones científicas en este periodo de tiempo. En cambio, se comenzó a utilizar la litografía como medio de impresión en el cual se usa una superficie plana y ligera y tiene como principio la repulsión de la grasa y el agua. Aloys Senefelder, alemán descubridor de este método notó que si se hacía un dibujo sobre una piedra caliza plana con un lápiz graso, los trazos atraían y conservaban la tinta aceitosa o grasa cuando la piedra estaba húmeda, mientras que las demás zonas no absorbían la tinta. Después el dibujo se podía reproducir sobre un trozo de papel enrollado en contacto con la piedra (Biblioteca de Consulta Encarta®, 2002). La litografía se convirtió en uno de los principales métodos de impresión de obras de arte e ilustraciones en el siglo XIX, aunado al desarrollo de la imprenta. Sin embargo, a mitad del siglo destaca la obra de Andrés del Río como contribución a la paleontología, titulada *Manual de Geología*, en el que ilustra organismos extintos. Menciono también la *Historia Antigua de México* de Francisco Javier Clavijero, reeditado en 1853 y que incluyó diez copias de las ilustraciones botánicas originales del autor, realizadas por Antonio Cal y Bracho, además de

describir las plantas recomendables por sus flores y frutos; asimismo, cataloga a los animales en cuadrúpedos, aves, reptiles, peces e insectos (Trabulse, 1992).

A finales del siglo XIX y principios del XX se produjo una enciclopedia de 63 volúmenes totalmente ilustrada con bellas imágenes de alto valor taxonómico, detalladas en color y blanco y negro de la diversidad biológica de México y América central. La obra llamada *Biología Central-Americana; or contributions to the knowledge of the fauna and flora of Mexico and Central America (Prospectus): Zoology, Botany and Archaeology* (Fig. 8), fue un trabajo monumental y fundamental para el estudio de la flora y fauna de esa región en esa época. Esta obra fue realizada en entregas privadas entre 1879 y 1918 por Frederick DuCane Godman y Osbert Salvin del Museo de Historia Natural de Londres.

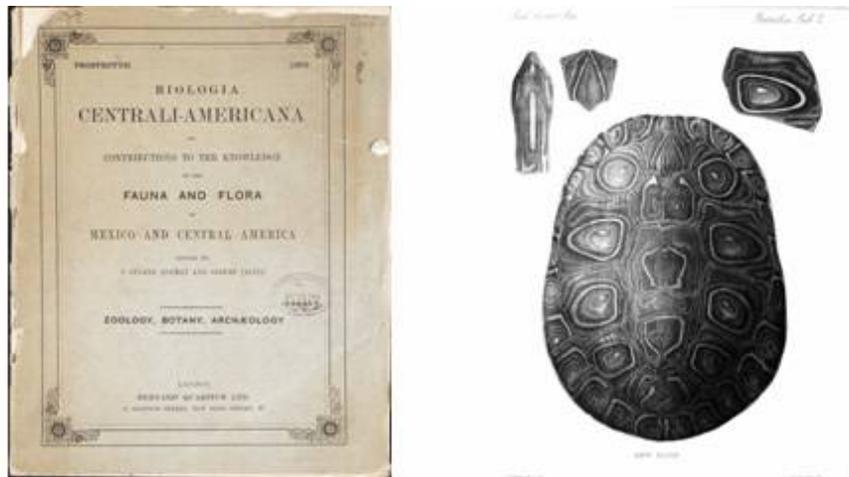


FIGURA 8. Detalles de *Biología Central-Americana*. *Izquierda:* Página introductoria de la obra. *Derecha:* Dibujo del caparazón y detalles morfológicos de *Emys salvini*.

El trabajo anterior consiste en 63 volúmenes que contienen 1677 láminas, de las cuales más de 900 son coloreadas, en éstas se representan 18,587 organismos. El número total de especies es de 50,263, de las que 19,263 fueron descritas por primera vez. El contenido de esta obra fue el producto de numerosas investigaciones científicas y exploraciones durante la última parte del siglo XIX y principios del XX. Mucha de la importancia que esta obra posee es que, en muchos casos,

las ilustraciones son las únicas existentes de la biota de la región. Los especímenes descritos han sido depositados en muchos lugares que incluyen el Museo de Historia Natural en Londres, los Jardines Botánicos Reales en Kew, Reino Unido, el Jardín Botánico de Missouri, el Museo Americano de Historia Natural; la Universidad de Harvard y el Museo Nacional de Historia Natural, mejor conocido como el Museo Smithsonian. Entre los organismos que se estudiaron e ilustraron en esta obra se encuentran mamíferos, aves, anfibios y reptiles, peces, moluscos, artrópodos y plantas. Debido a la gran diversidad existente de artrópodos en el mundo, el estudio de estos animales se dio en varios volúmenes y con respectivas menciones en cada uno, por eso fue la parte más extensa del trabajo, particularmente a lo que insectos se refiere. Es preciso mencionar que cada volumen abarca distintos organismos y por ende, fueron realizados por distintos autores. Entre los más mencionados se encuentran Otto Stoll, Reginald I. Pocock, David Sharp, George C. Champion, Henry W. Bates, William B. Hemsley y los ya mencionados compiladores de la obra Frederick DuCane Godman y Osbert Salvin ([Electronic](#) Biología Centrali-Americana, 2004).

En 1868 se fundó la Sociedad Mexicana de Historia Natural por eminentes científicos como Fernando Altamirano, Alfredo Dugés y Eugenio Dugés, Alfonso Herrera, José Ramírez, José Roviroso y Manuel Urbina, por mencionar a los representantes más importantes de la iconografía científica nacional. La fundación de esta Sociedad inyectó nuevos bríos a las ciencias biológicas en ese entonces, que prosperaron con una considerable fuerza, en gran parte por la publicación a cargo de la Sociedad, de trece volúmenes de la revista *La Naturaleza*, aparecida desde 1869 hasta 1914. En tal publicación se pueden mencionar a dos ilustradores: Rafael Montes de Oca, estudioso de los colibríes en México y a José María Velasco, mejor conocido como pintor del paisaje mexicano (Trabulse, 1997). Algunas obras de Velasco incluyen *Flora del Valle de México*, *Flora de los alrededores de México* y *Flora universal iconográfica*, además de un estudio ilustrado sobre

ajolotes de la laguna de Santa Isabel, en el estado de México. Montes de Oca colaboró como ilustrador en proyectos importantes como un estudio sobre colibríes y en la *Iconografía Botánica Mexicana* que incluye 57 acuarelas (Rickards Guevara, 2000). En esta misma época, los insectos de maguey fueron estudiados por Ignacio Blásquez y Manuel Payno, distinguiendo e ilustrando bellamente todas las etapas de su ciclo de vida, así como algunas propiedades medicinales (Trabulse, 1995).

Hablando de ilustradores mexicanos en la actualidad, se pueden mencionar a dos muy importantes: Elvia Esparza, ilustradora de las obras científicas del Instituto de Biología de la UNAM y de innumerables trabajos tanto nacionales como extranjeros. Aldi de Oyarzábal, biólogo y artista con experiencia en el Természettudományi Múzeum de Budapest, Hungría (1989), en el Museo de Historia Natural de Londres (1993-95) y en el Instituto de Investigaciones Christensen en Madang, Papúa, Nueva Guinea (1995-1997).

El avance vertiginoso de la tecnología en este siglo XXI ha hecho tambalear a la ilustración científica tradicional mediante el creciente uso de la cámara fotográfica y en mayor medida de la computadora. El uso cada vez mayor de estos aparatos para ilustrar ha venido a desplazar e incluso sustituir de alguna forma los métodos tradicionales de representación gráfica, pero nunca alcanzará ni igualará de alguna manera las características propias de un dibujo hecho por la mano humana. Por otro lado, un dibujo ofrece una imagen más clara que una fotografía, pero ésta es una referencia útil para juzgar la precisión y exactitud de la ilustración (Mendoza y Cerda, 1999); sin embargo, la ilustración científica sigue y seguirá proporcionando una mayor y más clara imagen informativa que una fotografía (Gaytán Ramírez, 2002).

Desde que el hombre apareció en el planeta hasta nuestros días, la ilustración científica ha evolucionado y se ha perfeccionado hasta tener un altísimo valor, de tal modo que es difícil imaginar cualquier trabajo de ciencia sin la inclusión de algún tipo de ilustración.

II. JUSTIFICACIÓN

Es conocido que existe un número limitado de dibujantes científicos mexicanos en comparación con los profesionales en países desarrollados, y por ende, en el mismo número de trabajos y de investigaciones en el campo de la ilustración científica. En este trabajo, se enfatiza la visión de la importancia del dibujo científico como herramienta descriptiva en dos disciplinas relevantes de la biología: la osteología y la entomología. Se escogió la primera como medio de expresión y difusión de los dibujos, por ser estéticamente atractiva y por su amplio uso en Anatomía Comparada. Asimismo, se incorporó a la entomología en el campo de expresión al ser de un elevado interés visual por la diversidad estructural externa, e implícitamente estudiar los organismos con la mayor diversidad existente en el mundo, y como es de pensarse, alberga una numerosa variedad de formas; sin embargo, por esta misma amplitud, se decidió concentrar la atención en solo un orden de insectos alados (Pterygota): Megaloptera. La elección del orden fue por que ha sido relativamente poco estudiado en comparación con otros grupos, además de su gran tamaño y aspecto primitivo que los hace atractivos como objeto de estudio.

La razón de utilizar dos subdisciplinas de la biología radica en poder aplicar, desarrollar y aumentar el conocimiento en dos ramas científicas, distintas entre sí y no particularizar la capacidad del ilustrador solamente en una vertiente. También se analizan las ventajas que el dibujo tiene sobre otro método ilustrativo, la fotografía especializada en ilustración científica.

Este estudio se limita a crear y difundir una visión distinta del gran apoyo y complemento que el dibujo científico ha significado en el desarrollo de estas disciplinas.

III. OBJETIVOS

Objetivo general.

Resaltar la importancia del dibujo científico en la biología, al considerarse como herramienta de apoyo para el entendimiento de la osteología y la entomología (Orden Megaloptera), por medio de sus aplicaciones prácticas en el trabajo descriptivo y comparativo de estas disciplinas.

Objetivos particulares.

Realizar un análisis comparativo del sistema esquelético de los grupos mayores de vertebrados mediante dos técnicas distintas de dibujo científico, con la descripción de funciones mecánicas de las estructuras óseas relacionadas con el desarrollo del organismo.

Realizar la ilustración de las estructuras anatómicas que poseen un alto valor diagnóstico en distintas especies de Megaloptera, como *genitalia*, alas, cabeza, pronoto y el hábito en general.

Realizar y difundir una síntesis del conocimiento histórico de la ilustración científica por medio de revisiones bibliográficas y ofrecer una fuente confiable de consulta.

IV. MATERIAL Y MÉTODOS

El material biológico a utilizar en esta investigación provino de distintas fuentes de origen. Por una parte existen diversos ejemplares óseos ilustrados en la bibliografía consultada, tales dibujos por su carácter informativo y descriptivo, convienen incluirse en el trabajo mediante modificaciones pertinentes que se consideraron adecuadas. El material óseo utilizado está bajo resguardo en la Colección Osteológica de Comparación del Museo de Paleontología de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo (UAEH) a cargo del M. en C. Miguel Ángel Cabral Perdomo, además se usó material privado del investigador Dr. Víctor Manuel Bravo Cuevas, así como material de recolectas personales. El material catalogado es el siguiente:

<i>Acinonyx jubatus</i> (cheetah o guepardo) -----	OCMP-040
<i>Allouatta palliata</i> (mono aullador) -----	OCMP-496
<i>Canis familiaris</i> (perro) -----	OCMP-497
<i>Canis latrans</i> (coyote) -----	OCMP-009
<i>Didelphys virginiana</i> (zarigüeya) -----	OCMP-464
<i>Felis domesticus</i> (gato) -----	OCMP-500
<i>Gallus</i> sp. (gallo) -----	OCMP-498
<i>Oryctolagus cuniculus</i> (conejo) -----	OCMP-508
<i>Ovis aries</i> (oveja) -----	OCMP-495
<i>Ovis canadensis</i> (borrego) -----	OCMP-493
<i>Ovis capra</i> (cabra) -----	OCMP-492
<i>Panthera tigris</i> (tigre) -----	OCMP-042
<i>Sus scrofa</i> (cerdo) -----	OCMP-494
<i>Urocyon cinereoargenteus</i> (zorro gris) -----	OCMP-509

Los ejemplares de megalópteros usados en este trabajo están en resguardo en la colección del Centro de Investigaciones Biológicas (CIB) de la UAEH, bajo el resguardo personal del Dr. Atilano Contreras Ramos, profesor investigador del Área Académica de Biología de la UAEH, los cuales por primera vez son ilustrados.

Por otro lado, el material no biológico utilizado fue numeroso, muy diverso y esencial en el desarrollo de esta investigación; sin embargo, al ser ésta una obra de índole biológica y científica, sólo se incluyeron listados de material artístico y el desarrollo de las distintas técnicas utilizadas.

Hay dos partes principales a considerar para realizar un dibujo: los instrumentos ilustradores y la superficie donde se plasma el dibujo. Respecto al primer orden se utilizaron lápices profesionales de grafito para dibujo, de distintas durezas, consistencia y purezas, principalmente HB y 2H de marca Staedtler y Turquoise, también sacapuntas de calidad y gomas de migajón Factic: esto para las ilustraciones a lápiz. En cuanto a las de tinta se usaron estilógrafos profesionales Staedtler de puntos 0.1, 0.2, 0.3 y 0.4, además de estilógrafos desechables Art Line y Micron Sakura de los mismos puntos junto con uno de 0.01, así como la tinta china negra Staedtler. En esta tesis sólo se incluyó un dibujo a color porque este tipo de ilustración es impráctica para ilustrar material óseo; aún así para este caso se utilizaron lápices profesionales de colores Prismacolor.

El papel utilizado fue de tres tipos: papel para impresión láser, papel Photo Glossy de grueso medio y en mayor medida papel de opalina (gruesa y delgada), este último ofrece una mejor fijación y definición tanto para el grafito como para la tinta, además de reflejar una blancura mayor en comparación a los demás papeles.

Un instrumento fundamental en la realización de ilustraciones de Megaloptera fue el microscopio estereoscópico y material adicional, como lámparas, pinzas especiales, alcohol como fijador entre otros aditamentos. El uso de la cámara lúcida o cámara clara (aunque reducido en la ejecución de este trabajo) es muy empleado en cualquier tipo de ilustración y consiste en un sistema de prismas, lentes y espejos en su interior que proyectan la imagen a través de un tubo con un pequeño cabezal, también con espejos y en donde todo el sistema es montado en un microscopio estereoscópico y/u óptico, según convenga.

Los métodos o técnicas empleadas en el dibujo científico son tan diversos como la capacidad creativa del ilustrador. En esta investigación se elaboraron algunos a línea simple con sombreado gradual para dibujos a lápiz, dibujo a línea y con sombreado tanto con líneas como por medio de

puntillismo. Otro modo de aplicar sombras fue trazar líneas de distinto grosor y con variaciones espaciales entre ellas en un área específica. Estas técnicas se utilizan para los dibujos a tinta, tanto para la parte osteológica como para la entomológica; sin embargo en ésta última el puntillismo fue predominante.

La ilustración del material osteológico fue por el método directo en donde el ilustrador se posa frente al elemento y lo dibuja, cuidando aspectos como iluminación, proporción, textura, volumen, entre otros. Por su parte, la ilustración de megalópteros fue indirecta, es decir, el material biológico estaba montado o preservado en alcohol y los modelos se trabajaron indirectamente mediante cámara lúcida, pantallas y principalmente microscopio estereoscópico. Toda esta información se detalla ampliamente en el subcapítulo: "Preparación de un dibujo científico".

Una etapa de vital importancia en el desarrollo de esta investigación fue la transferencia de las ilustraciones originales a la computadora, mediante un *scanner*. Se emplearon dos tipos de scanners: ScanJet 3200C de Hewlett Packard y Snapscan e25 de AGFA, y la transferencia electrónica se llevó a cabo mediante el programa AGFA ScanWise 1.60; el primero para dibujos a tinta por ofrecer una mejor resolución y el segundo para ilustraciones a lápiz por la escala de grises que maneja. Las imágenes ya digitalizadas se guardaron en formatos JPG (*Joint Photographic Experts Group*) y TIFF (*Tagged Image File Format*) de 300 a 600 dpi (*dots per inch* = puntos por pulgada) en escala de grises de 24 bits para los dibujos a lápiz, blanco y negro de 8 bits para los dibujos a tinta (en algunos casos también en escala de grises) y en color RGB (*Red, Green, Blue*) de 32 bits para la única ilustración a color; esto para ofrecer una alta y mejor resolución en pantalla y posterior impresión. La edición digital de las ilustraciones se llevó a cabo en dos programas especializados para manejo de imágenes: Corel Photo-Paint 8 y Adobe® Photoshop® Elements 2.0. Tal edición consistió en corregir pequeños errores propios del proceso de escaneado, borrado

y limpieza de la imagen, inclusión de flechas, líneas e indicaciones pertinentes que en las ilustraciones originales fueran inadecuadas o complicadas de incluir, agregar o suprimir elementos del dibujo original de una forma más sencilla, rellenar áreas en grises o negros, duplicación de elementos, colocación de etiquetas y reacomodo de componentes, entre otras. La impresión de las imágenes digitales y editadas se realizó en una impresora láser, modelo HP Laser Jet 1300 PCL 6 y posteriores.

Conceptos Técnicos

Escala

La escala es principalmente la relación en el tamaño de dos objetos. Hay distintos tipos de escalas pero en este trabajo se utiliza el de las artes gráficas, al ser las adecuadas y mayormente usadas al momento de representar un objeto tridimensional en una superficie determinada. Los dibujos para fines científicos deben respetar una escala respecto del natural, disminuyendo, aumentando o conservando el tamaño natural del objeto a ilustrar. Para realizar esto es común usar cuadrículas que abarquen todo el objeto a ilustrar y trasladar las medidas al papel en distinta medida, ya sea para disminuir o aumentar el tamaño final. Cuando los objetos son amplios puede dibujarse una cuadrícula en una superficie que se use en el fondo, las líneas se hacen con lápiz suave para poder eliminarlas fácilmente después o pueden usarse cuadrículas previamente diseñadas, colocando por encima un papel transparente donde se realizará el dibujo (Cocucci, 2000). Si no se desea emplear la cuadrícula se deben tomar medidas individuales y ampliarlas, reducirlas o conservarlas según la escala elegida para el diseño.

Proporción

La proporción es la relación entre dos números, matemáticamente hablando. Esto brinda una idea de cuantas veces cabe una cantidad en otra o también cuantas veces cabe un objeto en otro. Cuando se toman proporciones de un objeto distante se recurre a un método que consiste en extender un brazo, sosteniendo un lápiz en la línea de visión de uno de los ojos, haciendo luego una marca con el pulgar de la misma mano y así delimitando el segmento de lápiz que corresponde a la distancia angular entre los dos puntos deseados (Hodges, 1989). Ya que se han tomado las proporciones, éstas se trasladan al papel de diseño final. Las proporciones generales se

limitan con líneas auxiliares de boceto que se aproximan a las definitivas, con lo que se logra la silueta final del objeto y los posteriores detalles dependiendo el trabajo.

La Proporción Áurea es una proporción geométrica cuyo valor es 1.618 y presenta peculiares propiedades algebraicas y geométricas. Se le denomina con la letra f que se caracteriza por una progresión en una serie geométrica, $f_1, f_2, f_3 \dots f_n$, en el que cada término es igual a la suma de los dos precedentes, tal característica es geométrica y aditiva al mismo tiempo, y a ella se debe su conexión con los organismos en los aspectos de forma y crecimiento, es decir, crecimiento con conservación de la forma (Cocucci, 2000).

Su demostración más sencilla es la división de una línea recta en un punto tal que la parte más pequeña sea, con respecto a la parte más grande, como la parte más grande es al total. Si se construye un rectángulo con 2 segmentos que guardan entre sí la proporción áurea, obtenemos una figura que puede subdividirse en un cuadrado y un rectángulo que siempre guarda la proporción áurea (Fig. 9). La propiedad de producir por simple adición una sucesión de formas

similares se identifica con la morfología y el crecimiento de los seres vivos (Cocucci, 2000). El descubrimiento de esta proporción se proyecta como un hallazgo de proyecciones insospechadas, que se hace evidente no sólo en las proporciones, sino también en su organización molecular.

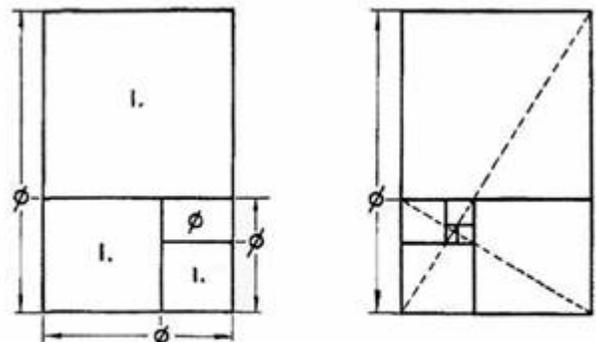


FIGURA 9. Subdivisión de un rectángulo en cuadrados, guardando proporción áurea.

Albrecht Dürer (Alberto Durero) y Leonardo da Vinci hallaron numerosas relaciones de la proporción en la naturaleza, por ejemplo, los huesos de la mano humana guardan entre sí la proporción áurea; asimismo, la altura de los pezones y el diámetro de la cintura presentan la proporción áurea, lo mismo que con la relación del diámetro de las caderas y la cintura. De la

misma forma, la mayoría de las dicotiledóneas cuyas flores son pentámeras, así como los equinodermos, al igual que las extremidades pentadáctilas de los vertebrados presentan la proporción áurea (Cocucci, 2000). Dicha proporción se manifiesta como una propiedad muy difundida en la materia viva. Por eso es que el hombre, basado en la naturaleza, haya asignado un papel preponderante a esta proporción a sus construcciones y formas armónicas.

Perspectiva

Es un método gráfico muy utilizado en el cual el espacio tridimensional de una imagen es plasmado en dos dimensiones sobre una superficie plana. Para representar la apariencia de un objeto tridimensional en un plano, necesariamente el objeto se tiene que deformar o sufrir algunas modificaciones. Existen ciertos aspectos de nomenclatura y conceptuales para comprender mejor las condiciones de la perspectiva. 1. Las líneas horizontales paralelas, inclinadas respecto del plano del cuadro convergen en un mismo punto de fuga en el horizonte (Fig. 10, en F y F₂). 2. El punto de fuga de un conjunto de líneas

horizontales y paralelas e inclinadas respecto del plano del cuadro es el punto de intersección de la línea del horizonte con una paralela a cualquiera de ellas que pasa por el punto de visión (Fig. 10, en F y F₂). 3. Una línea horizontal paralela al

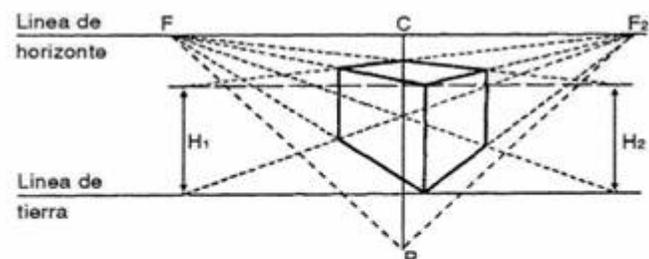


FIGURA 10. Modelo básico de perspectiva lineal. F y F₂: Puntos de fuga; P: Punto de visión. C: Punto de visión horizontal; H₁ y H₂: Altura del objeto en primer plano.

plano del cuadro tiene una perspectiva en la misma dirección (Fig. 10). Es cierto que en la naturaleza no es muy común que se presenten formas geométricas regulares, aun así los organismos se pueden englobar en varias combinaciones de cuerpos geométricos para tener una idea más clara de su perspectiva (Cocucci, 2000).

Lo mencionado anteriormente corresponde a la perspectiva lineal, pero también existe la perspectiva aérea. Ésta se refiere a la disminución de la transparencia de la atmósfera conforme aumenta la distancia respecto del observador; esto es, mientras un cuerpo se aleja los oscuros se aclaran y los claros se oscurecen. En el dibujo científico cuando se plasman objetos pequeños, regularmente se representan en primeros planos, mientras que al plasmar objetos grandes se pueden emplear numerosos planos, por ejemplo, en una representación de algún organismo en su hábitat natural o reconstrucciones de organismos extintos en vida silvestre.

Relieves

El relieve está íntimamente ligado al volumen. Al jugar correctamente con las sombras y luces de un cuerpo se producirá una mejor sensación del volumen. Al considerar las sombras se debe tener en cuenta aquellas que son propias del cuerpo y aquellas otras que son proyectadas sobre otras superficies (Loos, 2000). Al momento de ilustrar conviene que la fuente de luz (natural o artificial) provenga del lado contrario de la mano diestra, es decir, si se es zurdo la fuente luminosa deberá provenir de la derecha y viceversa. En el dibujo terminado la fuente luminosa deberá dar la impresión que proviene de arriba a la derecha en un ángulo de 45 grados, aunque esto es a consideración del ilustrador.

El sombreado, también llamado claroscuro, se aplica con distintos materiales, también se compone de las tintas o tonos oscuros, medias tintas y de los claros. Analizar las sombras de un objeto de aparentemente un solo color o tonalidad es sencillo, no así cuando el objeto es de varios colores o tonalidades, puesto que las sombras se pueden confundir con los tonos del objeto. En las ilustraciones en blanco y negro, los colores característicos de un objeto se representan como tonalidades de grises, procurando que las sombras no se confundan con los colores.

Textura

La textura se refiere a las características físicas de una superficie, por ejemplo si es lisa, rugosa, brillante, transparente o pilosa, entre otras. Algunos métodos empleados para dar textura a un dibujo son llamados *grafismos*. Por ejemplo, para representar el pelaje de un animal se recurre a un grafismo que consiste en dibujar pequeñas líneas terminadas en punta para dar la apariencia de pelo. Estas líneas se ubican siguiendo la dirección y abundancia del pelaje, empleándolas en conjunto para lograr un claroscuro (Hodges, 1989). Como es de suponerse en la naturaleza existen texturas como existen organismos y entre las más complicadas de ilustrar se encuentran el pelaje de algunos mamíferos, escamas de reptiles, organismos mucilaginosos y la iridiscencia de diversos animales.

Direcciones, Planos y Vistas

El cuerpo de los vertebrados y los insectos es de simetría bilateral, aunque hay excepciones a esta afirmación. Los órganos que en etapa temprana estaban situados en la línea media pueden ser desplazados, por ejemplo, el corazón. El cuerpo de un animal puede ser seccionado de distintas maneras, en direcciones y ángulos diversos. Si la línea de corte es vertical y longitudinal, de la región cefálica (anterior) hasta la caudal, el plano es sagital, que divide al cuerpo en una mitad izquierda y una derecha. Este nombre se aplica a cortes precisamente por la línea media -plano sagital medio- y los cortes semejantes paralelos se denominan parasagitales. Si se considera que el cuerpo es cortado perpendicularmente a lo largo de su superficie, el plano de corte se considera transversal. El plano axial se adjudica al eje simétrico del cuerpo del objeto de estudio, ventralmente, que lo divide en una mitad anterior y una posterior. (Fig. 11).

En la mayor parte de los vertebrados, los extremos cefálico y caudal indican el sentido de locomoción del animal, anterior y posterior son los nombres asignados a la posición, aunque también se usan los términos craneal y caudal como sinónimos. Para referirse a las extremidades anteriores y posteriores de vertebrados, se pueden usar los términos palmar y plantar, respectivamente. Es lógico que las superficies superior e inferior –dorso y vientre- se llamen dorsales y ventrales. La fijación en el plano transversal se relaciona con la línea media, en este caso medial o interno denota posición hacia la línea media, mientras que lateral o externo indica un sitio más alejado de la misma (Fig. 12).

Los nombres principales para denotar direcciones visuales (anterior, posterior, dorsal y ventral) se aplican con claridad en la mayoría de los vertebrados, exceptuando al hombre por tratarse de una forma aberrante al adoptar la posición erguida. La cabeza y la “cola” del ser humano erguido están arriba y abajo, y no adelante y atrás, y se llaman superior e inferior, y no

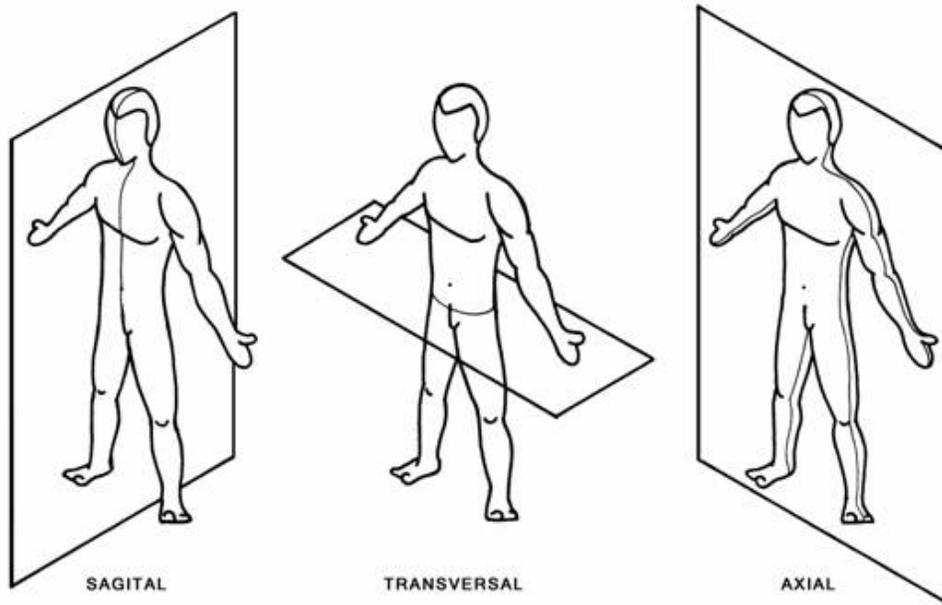


FIGURA 11. Planos principales utilizados en anatomía. El plano sagital divide al cuerpo en dos mitades, una izquierda y una derecha, ambas simétricas. El plano transversal divide al cuerpo en dos mitades, una superior y otra inferior. El plano axial, también divide el cuerpo en dos mitades, una anterior y otra posterior. Las líneas delgadas que dividen el cuerpo son las posiciones imaginarias en donde los planos cortan.

anterior y posterior. Superior e inferior a veces son utilizados como sinónimos de dorsal y ventral en la anatomía comparada. Sin embargo, se han utilizado los términos anterior y posterior en el ser humano en lugar de dorsal y ventral, de manera que la porción de la espalda del ser humano suele llamarse posterior y la superficie del vientre anterior (Romer y Parsons, 1984; Fig. 13).

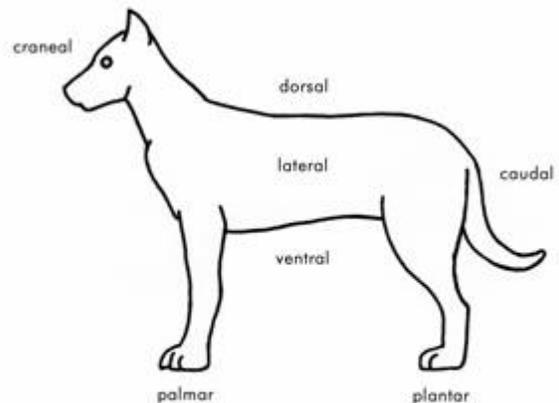


FIGURA 12. Posiciones principales usadas en anatomía. Los dibujos que constan de simples líneas son más fáciles de comprender.

Dos términos muy empleados para indicar distancias son proximal y distal. El primero denota una región o estructura más cerca del centro del cuerpo o de algún sitio importante de referencia, mientras que el segundo se aplica a

una estructura o región más alejada. Estos términos se usan con facilidad para referirse a las extremidades o la cola, o bien la región posterior (Fig. 14).

Los términos relacionados a dirección son fáciles de comprender si ya se está familiarizado con los adjetivos anteriores. Postero-anterior se refiere a una estructura o región que está dirigida de atrás hacia delante, cuando la dirección se invierte, el término también. De igual forma se usan como sinónimos cráneo-caudal o caudo-craneal, según sea el caso. En cambio, una región o estructura al dirigirse de arriba hacia abajo, según se use, se le atribuye el término de dirección supero-inferior, al cambiar la dirección el término se invertirá. La dirección oblicua hace mención al rango existente entre la línea vertical y la horizontal, por tanto, puede tener muchos ángulos de dirección. Se menciona de igual forma, por su importancia y constante uso en anatomía, dos términos que son región y cavidad, el primero se refiere a un espacio determinado en la superficie

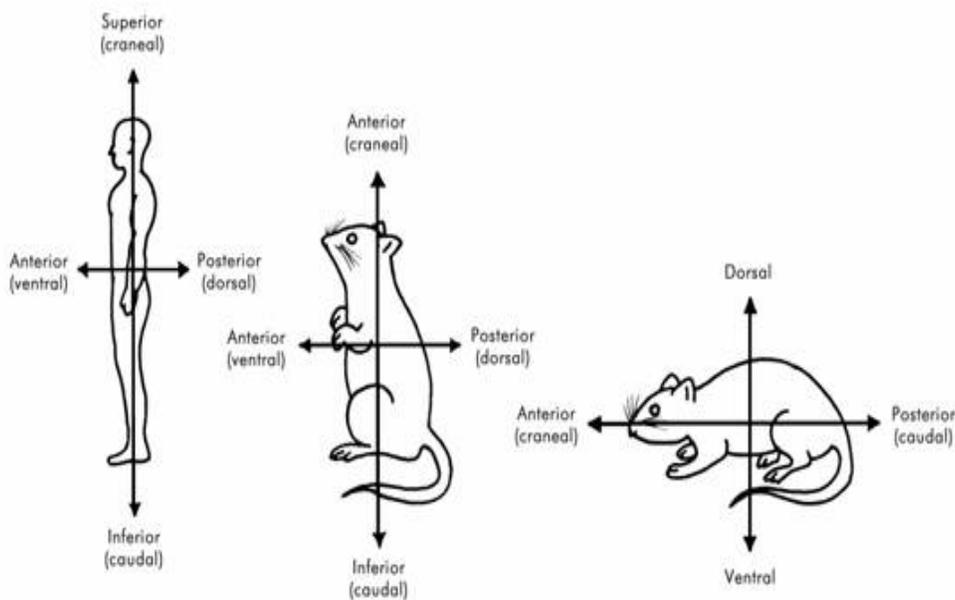


FIGURA 13. Esquema que muestra el contraste en la nomenclatura de posición entre el humano y vertebrados cuadrúpedos. Las lustraciones sin mucha complejidad muestran ideas o conceptos que son fáciles de asimilar, y partiendo de aquí, las ilustraciones aumentan su complejidad.

el cuerpo (e. g. región pectoral); y el segundo se usa al involucrar un hueco en un cuerpo sólido (e. g. cavidad ocular).

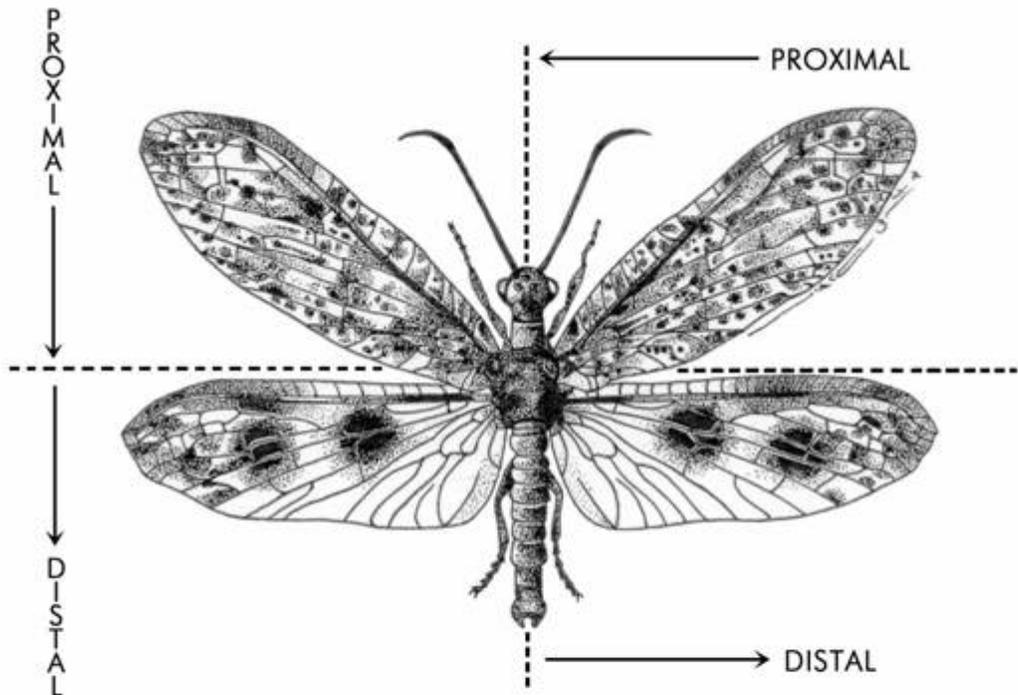


FIGURA 14. *Archichauliodes* sp. (Megaloptera: Corydalidae). Ejemplo para denotar distancias de regiones o estructuras respecto a otras. Las bases de las antenas son más cercanas al centro del cuerpo en comparación al extremo del primero o segundo par de alas o los tarsómeros, por lo tanto son proximales; en las extremidades los tarsómeros son distales en comparación con el trocánter, porque éste se ubica más cerca del centro del cuerpo. En insectos, el *hábito* es la ilustración de todo el cuerpo.

Una vista alude la posición de un cuerpo en el espacio, en donde un plano visual predomina sobre otro. Así, hay cinco vistas principales al estudiar un cuerpo determinado: frontal o anterior, caudal o posterior, superior o dorsal, inferior o ventral y lateral (derecha o izquierda). Pueden variar un poco dependiendo el propósito, por ejemplo puede haber una vista frontal en $\frac{3}{4}$ hacia la derecha, superior en $\frac{3}{4}$ hacia atrás, entre otras combinaciones; esto se logra rotando el cuerpo de estudio en la forma deseada (Fig. 15). El caso de los dientes, según la posición requerida, recibe distinta nomenclatura. Vista oclusal se aplica a la superficie de maceración del alimento. Vista lingual remite a la región del diente más cercana a la lengua; cabe mencionar que en dientes superiores el término puede cambiar por palatinal, en alusión al hueso palatino, próximo en esta

posición. Vista labial denota posición de la región más próxima a la parte externa de la boca o los labios, es decir, vista lingual es proximal y vista labial es distal (Fig. 16).

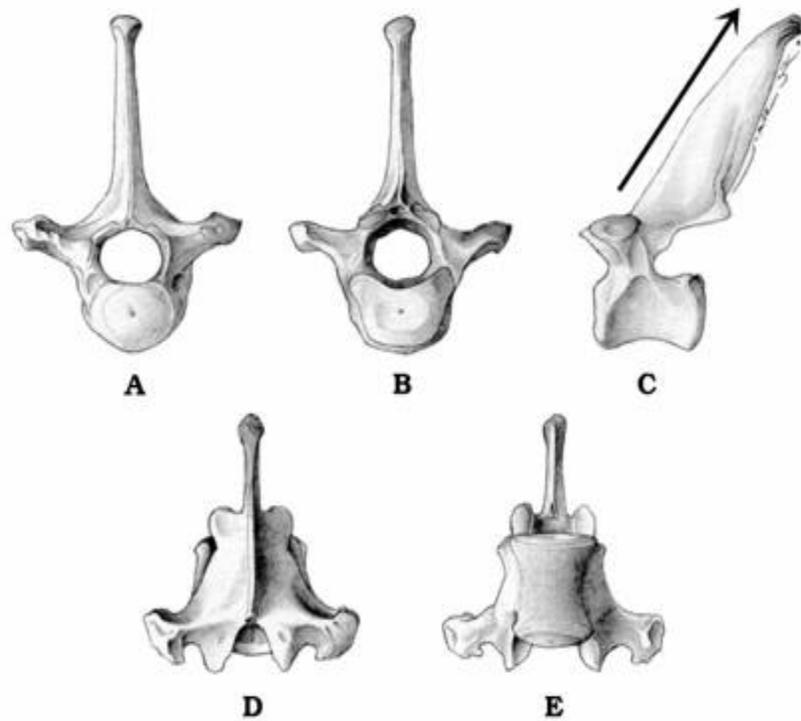


FIGURA 15. Vistas anatómicas de la quinta vértebra torácica de *Urocyon cinereoargenteus* (zorro gris). **A.** Vista frontal (o anterior); **B.** Vista caudal (o posterior); **C.** Vista lateral (derecha); **D.** Superior (o dorsal); **E.** Inferior (o ventral). Nótese la flecha sobre **C.** que indica la dirección de la apófisis vertebral, en este caso antero-posterior e infero-superior. El lápiz correctamente usado da como resultado una mejor sensación de volumen y textura, especialmente en huesos. Lápiz sobre opalina.

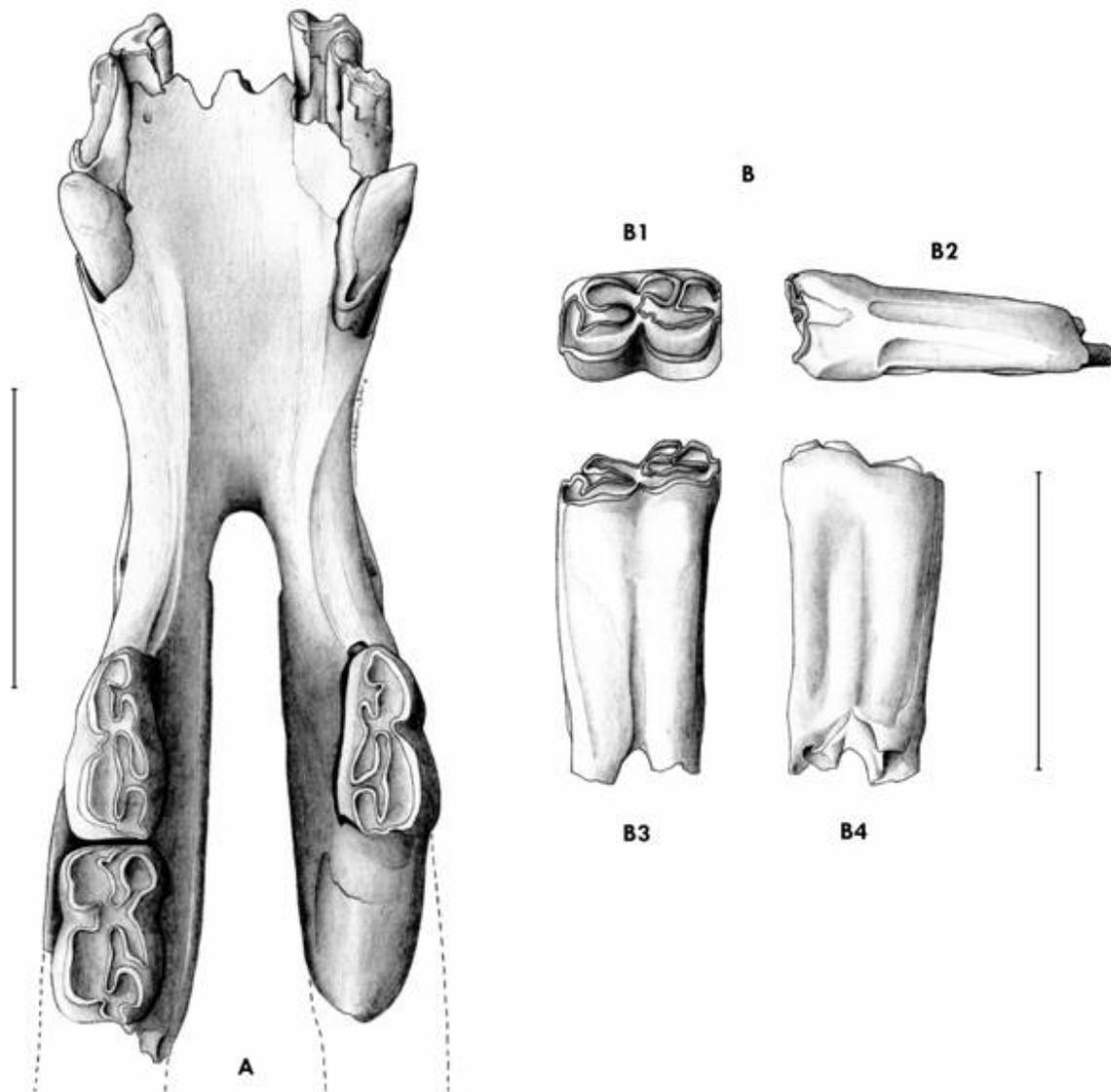


FIGURA 16. Vistas principales usadas en nomenclatura dental. **A.** Vista superior del fragmento mandibular de un ejemplar hembra de *Equus* sp. **B.** P₂ izquierdo de *Dinohippus mexicanus*. **B1.** Vista oclusal. **B2.** Vista lateral derecha (o proximal). **B3.** Vista labial. **B4.** Vista lingual. Líneas de escala = 5 cm. Es conveniente, aunque no obligatorio, colocar líneas de escala para comparar estructuras similares entre organismos cercanos. Las líneas punteadas generalmente se usan cuando una región o estructura se encuentra en un segundo plano, o bien, esta estructura continúa pero no es pertinente ilustrarla, debido a que no es de especial interés en la ilustración. Lápiz sobre opalina.

Preparación de un Dibujo Científico

Existen dos métodos principales para dibujar un espécimen biológico: el *método directo* y el *método indirecto*. El primero se caracteriza que el ilustrador se posa de frente al modelo y lo dibuja directamente. Generalmente se trata de material de herbario en seco, animales disecados, esqueletos, material preservado en alcohol, organismos en su hábitat natural, entre otros. En el método indirecto el ilustrador trabaja indirectamente su modelo mediante herramientas como pantallas, mesas de luz blanca con acrílico transparente o blanco, proyector de transparencias, megatiscopio, cámara clara o lúcida, fotocopias y/o fotografías, entre otras. El material utilizado puede estar montado o preservado.

En lápiz

Se distinguen cuatro etapas principales al preparar y concluir un dibujo a lápiz. La primera etapa es, una vez seleccionado el material y el contexto descriptivo a ilustrar, identificar los patrones geométricos principales, trazarlos suavemente siguiendo las líneas guía del contorno natural del objeto a dibujar. Esto se llama *boceto* principal y es importante que las líneas trazadas sean delicadas para que el borrado posterior se facilite. La siguiente etapa es delimitar el contorno y las características más sobresalientes del material a dibujar, mediante líneas más marcadas y firmes que en el boceto; luego, con sumo cuidado se borran las líneas suaves del boceto que sobresalen de las líneas límites. Es muy probable que algunas secciones de las líneas del contorno desaparezcan por el borrado, por muy minucioso que éste sea. Si sucede esto hay que completar las líneas con la misma precisión y presión que cuando se marcaron por vez primera. La tercer etapa, que se considera la más laboriosa y de mayor cuidado, consiste en dar sombreado al dibujo lo más exacto posible, tomando en cuenta siempre el origen y la dirección de la fuente de luz. El claroscuro depende de la presión que se aplique al grafito, obteniendo así distintas tonalidades de

grises. El principal objetivo del sombreado es el traslado de un objeto tridimensional a una superficie plana mediante el juego de sombras y luces, para proporcionar la apariencia de volumen, relieve o textura. La última etapa es la definición de detalles que hayan pasado inadvertidos, redefinir o marcar sombras y crear detalles que acentúen la sensación de alguna textura determinada, además de estampar la firma del autor (Fig. 17). Se prosigue con un método de copiado que puede ser la transferencia por cuadrículas o grafito en reverso a la superficie de ejecución final, para finalmente utilizar la técnica más conveniente o que mejor domine el ilustrador (Mendoza y Cerdá, 1999).

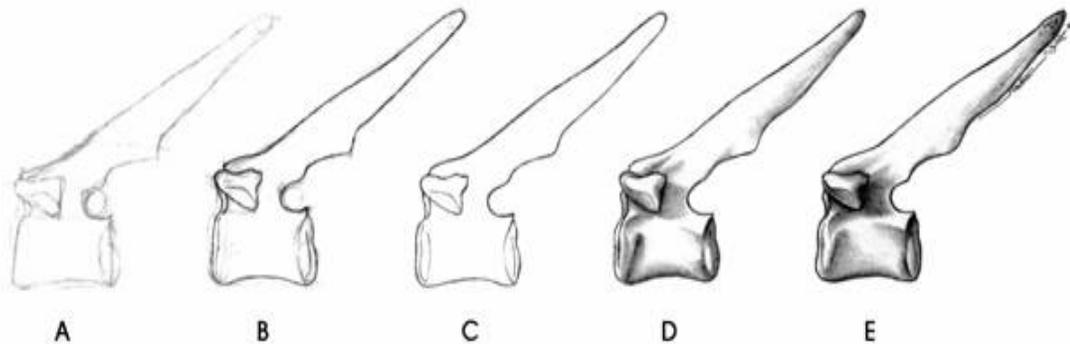


FIGURA 17. Séptima vértebra torácica de *Felis domesticus* en vista lateral derecha. **A.** Boceto principal. El primer esbozo se realiza de manera suave y siguiendo patrones propios del objeto a estudiar, una vez elegida la vista a ilustrar (primera etapa). **B.** Se remarcan las líneas que limitan la silueta del objeto, así como algunas líneas guías que ayuden a darle profundidad. Nótese que las líneas suaves de grafito, que posteriormente se borran, sobresalen de las líneas principales (segunda etapa). **C.** Boceto en el cual las líneas de trazo de los esbozos anteriores han sido borradas (segunda etapa). **D.** Trazo del clarooscuro. Se marcan los principales patrones de las distintas zonas de sombra para proporcionar sensación de textura y profundidad. La fuente de luz se origina a la izquierda de las ilustraciones y sigue una dirección horizontal (tercera etapa). **E.** Definición de detalles para acentuar el efecto de profundidad, relieve y textura, además de imprimir la firma del autor (última etapa). Lápiz sobre opalina.

En tinta

Referente a la creación de ilustraciones a tinta el proceso puede variar un poco, dependiendo del ilustrador y su técnica. Se comienza con un boceto a lápiz y seguido a esto puede haber varias formas de continuar: Una puede delimitar el contorno y las partes más sobresalientes del objeto mediante líneas de grafito continuas pero muy suaves. Es importante mencionar que en este

método para ilustrar no se realiza el claroscuro a lápiz porque no es necesario, debido a que el sombreado en tinta se realiza de distinta forma. Seguido de esto, las líneas de límite del boceto se entintan cuidadosamente y es posible que algunas líneas de lápiz sobresalgan de las líneas entintadas, por eso es conveniente borrar cuidadosamente el dibujo una vez seca la tinta. El sombreado en tinta se hace de distintas maneras; sin embargo, se consideraron dos métodos fundamentales: sombreado en línea continua y en puntos (puntillismo). El primero es logrado, independientemente de la habilidad del ilustrador, mediante líneas de distinto grosor o en donde la distancia entre ellas sea variable, dependiendo el nivel de sombra del objeto. El sombreado por puntillismo se logra mediante la acumulación de puntos de distinto diámetro en zonas específicas del dibujo, esto es, si una zona es oscura la cantidad de puntos será mayor, por el contrario, si una zona es bañada por la luz, carecerá de puntos de sombra o estos serán mínimos. En las dos técnicas de aplicación de sombras en tinta es importante poseer una habilidad muy precisa para imprimir detalles que den la apariencia de texturas, relieves o volumen en un objeto, además de que la tinta difícilmente se borra del papel y se debe tener cuidado en cada trazo aplicado (Fig. 18).

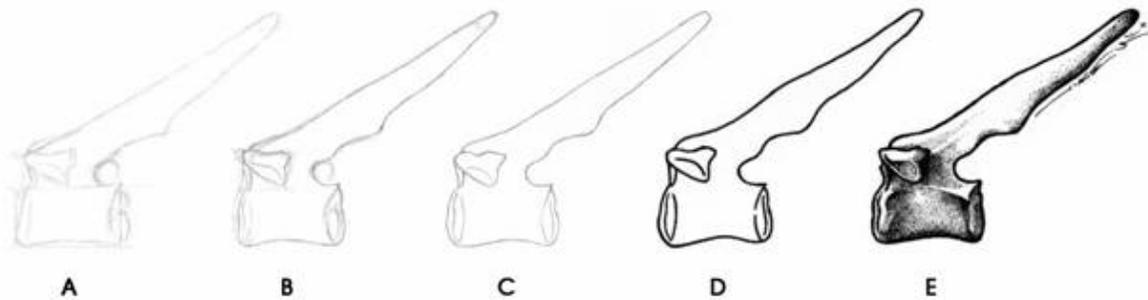


FIGURA 18. Séptima vértebra torácica de *Felis domesticus* en vista lateral derecha. **A.** Boceto principal. **B.** Trazado de líneas principales y líneas guías. **C.** Borrado de las líneas suaves del trazo de los bocetos anteriores. **D.** Traslado a tinta. Esta etapa puede ser realizada de dos maneras, principalmente. La primera consiste en que las líneas de grafito son cubiertas por tinta. Existen inconvenientes en este método, los cuales se explican en el texto. La segunda manera se efectúa trasladando la silueta en tinta y en otra superficie mediante la ayuda de un megatoscopio; el boceto puede ser utilizado para ilustraciones posteriores y como referencia. **E.** Sombreado (por puntos o por líneas) y creación de detalles para acentuar efectos de relieve, textura y profundidad, e impresión de la firma del autor. El sombreado es por puntillismo. Lápiz y tinta sobre opalina.

Cocucci (2000) menciona que antes de realizar un dibujo definitivo a tinta, es conveniente realizar dibujos a lápiz, completamente acabados que pueden servir como patrones para el dibujo final. Existen ventajas al trabajar con dibujos patrones, como la conservación del diseño original como referencia. Al considerar este aspecto se debe tomar en cuenta que el material biológico a ilustrar, es perecedero, que para los fines de investigación se tratan de conservar en una forma adecuada y por esto al tratarse de animales o plantas, es preferible basarse en especímenes vivos que exhiben su morfología y revelan actitudes características. Por tanto, el valor de una ilustración basada en estas condiciones es amplio.

Por otra parte, existen problemas técnicos que surgen al pasar tinta sobre un diseño a lápiz. En tal caso se encuentra que la superficie con la que se intenta trabajar en tinta, está ocupada con grafito, lo que hace difícil la adhesión de la tinta al papel, haciendo necesario repasar varias veces. Asimismo, cuando comienza a agregarse tinta a un dibujo a lápiz, los valores del claroscuro se pierden, en razón de que la tinta es un negro intenso que contrasta mucho con las tonalidades de grises del diseño original a lápiz. Cocucci (2000) concluye que por esto debe evitarse pasar tinta sobre un dibujo acabado a lápiz. Conviene, mejor, utilizar ese diseño como patrón y hacer un boceto especial para trasladarlo en tinta.

La libertad de composición en las ilustraciones definitivas es otra ventaja de tener dibujos guía o patrones para realizar un dibujo listo para impresión. Por ejemplo, se pueden utilizar los dibujos patrones para calcar todo el conjunto sobre el papel empleado para realizar el dibujo definitivo a tinta. El proceso de calcado se realiza con la ayuda de un megatoscopio, aparato como los que se emplean para analizar radiografías, o en cambio, de forma más limitada, se puede adaptar un vidrio transparente que funcione como mesa y debajo de este un foco potente. Al transferir el dibujo preliminar se trasladará solamente los contornos con un lápiz blando y suave o

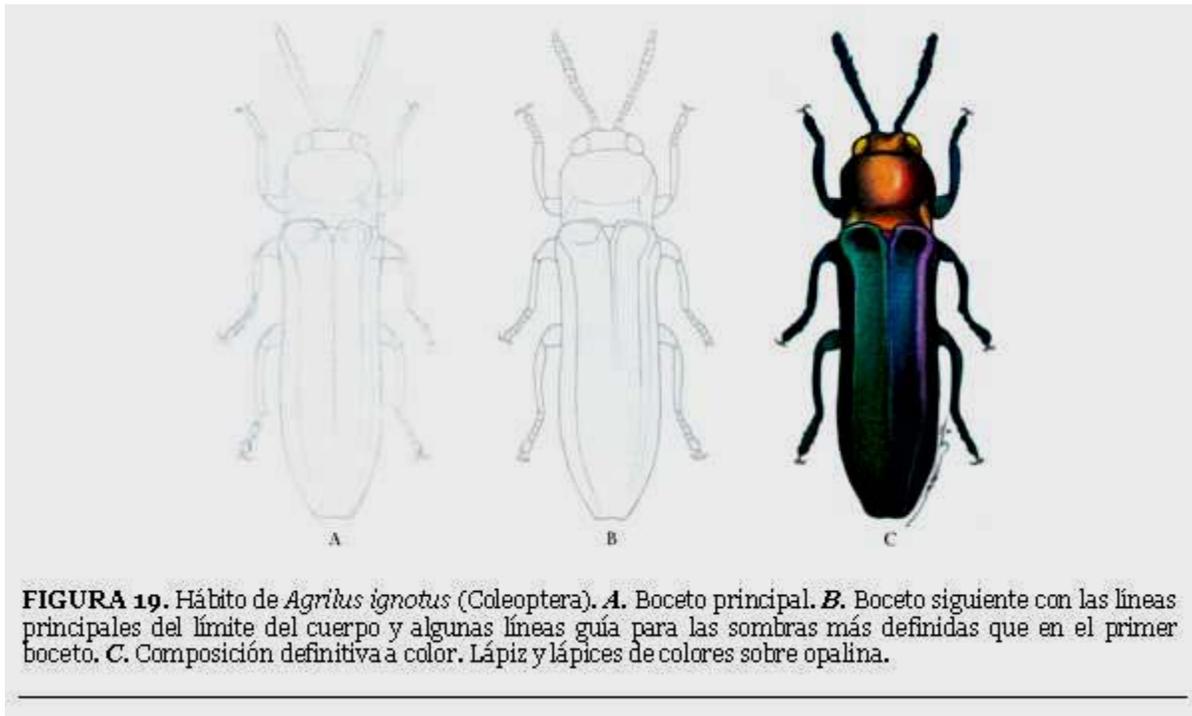
definitivamente con tinta. Los dibujos patrones se pueden utilizar en otras láminas con diferentes fines, de carácter más general o en estudios especiales.

A colores

Como se mencionó anteriormente, la aplicación del color en un dibujo científico depende de la finalidad de la ilustración y del espécimen a ilustrar. En el caso de la ilustración de material óseo es innecesario e impráctico ilustrar mediante colores, porque debido a la naturaleza cromática de los huesos, o sea su "color" original, siempre es conveniente ilustrar sólo en blanco y negro o en escalas de grises para producir volumen. Hay también ciertas limitaciones cuando se trata de ilustrar a color. No es en cuanto a la capacidad creativa o habilidad del ilustrador, sino al objetivo principal de la obra. Generalmente, las ilustraciones a color tienen un costo elevado de impresión y reproducción y no en todas las obras científicas se permiten este tipo de ilustraciones. Por ejemplo, las ilustraciones coloridas pueden ser bien recibidas en libros para público diverso y finalidad, carteles y portadas, revistas de divulgación, museos y otros espacios; sin embargo, muchas revistas científicas, algunas de circulación internacional, *journals* de distinta índole, entre otras obras, poseen ciertas reglas internas en las que el color casi siempre es marginado (tanto en dibujos como en fotografías).

El alto costo de publicar, imprimir, o reproducir ilustraciones a colores es la principal limitante de obras de esta naturaleza, aún así, la ilustración entomológica a color tiene un amplio valor, tanto artístico como científico. La creación de un dibujo de este tipo depende de la habilidad del ilustrador y de una amplia variedad de técnicas. Una de ellas consiste en dibujar directamente el espécimen o con ayuda de la cámara lúcida en una superficie dada; no es necesario plasmar completamente el objeto a ilustrar, sino solamente un bosquejo general y marcar algunas características principales mediante líneas guía. Como la tinta y el grafito tienen distinta composición, consistencia y demás características propias en comparación con el material para

aplicar color (gouache, acuarelas y pinturas de madera, principalmente) no conviene aplicar tinta o grafito en la ilustración final; conviene, si es sólo estrictamente necesario. En cambio, se utiliza el boceto previamente hecho como un diseño patrón el cual servirá de guía en la composición definitiva. Esto se logra mediante el traslado descrito anteriormente del dibujo patrón a la superficie en donde se aplicará el color mediante la ayuda de una pantalla o megatoscopio. Al trasladar el dibujo preliminar se pueden transferir sólo los contornos y líneas principales, ya sea en lápiz muy blando (HB) o definitivamente con el material de preferencia del ilustrador y, una vez hecho esto, se continúa el desarrollo de la ilustración mediante la técnica y medios que el dibujante considere adecuados (Fig. 19).



V. PREPARACIÓN DE LAS ILUSTRACIONES PARA REPRODUCCIÓN

Esta etapa anterior a la publicación es de suma importancia en una obra científica. Se considera que se debe tener la misma atención y cuidado que la creación de un dibujo ya que involucra el paso final hacia la divulgación de una ilustración específica. Cocucci (2000) menciona tres pasos en esta preparación: 1. Elección de los dibujos; 2. Composición; 3. Escala y otra referencias.

El primer paso consiste en elegir uno o varios dibujos para publicar tomando en cuenta una composición sencilla y evitando repeticiones de un elemento y mostrar siempre el mismo grado de detalle y la misma orientación. Sin embargo un mismo elemento sí puede repetirse cuando se le representa a distinta escala. Es de esperarse que los diseños destinados a una misma lámina para publicar correspondan a un mismo tema o temas relacionados. La composición tiene como regla primordial la distribución de tonos como de elementos. Teniendo este concepto presente, los dibujos patrones se distribuirán equilibradamente tratando de seguir el mismo orden que en el texto explicativo y en el correspondiente pie de figura. Hay casos, sobre todo en esquemas diagramáticos, donde el orden de los diseños individuales debe ajustarse rigurosamente al propósito de las explicaciones, en este caso la distribución de tonos pasa a un segundo término. Para componer una lámina se emplean los diseños patrones ubicándolos sobre el papel donde se ha marcado con lápiz el contorno general de la lámina, o sea, sus límites. Es conveniente ubicar los elementos de mayor tamaño en primer término y luego los más pequeños, para aprovechar los espacios entre los más grandes. Es preciso mencionar que dependiendo el ilustrador y el objetivo de la ilustración, la composición se hace de formas distintas. Se pueden realizar los dibujos patrones (cuando son varios elementos) en una superficie de manera balanceada, de forma que la lámina definitiva tenga esta misma distribución. Por el contrario, los dibujos patrones (cuando también, son varios elementos) pueden hacerse de tal forma que cada elemento ocupe una sola superficie, una hoja para cada elemento, una vez realizado esto se recorta cada diseño de forma

que no afecte el dibujo y se distribuye en la forma deseada sobre una lámina preliminar, para finalmente fijarlos con cinta adhesiva y proseguir con la ilustración definitiva. Por otro lado, cuando una lámina comprende diseños individuales donde hay distintos valores de claroscuro, los diseños donde predominan los oscuros deben colocarse preferentemente en la base de las láminas, de manera que se alcance un balance más uniforme en todas las zonas de la lámina. Se sugiere evitar elementos muy oscuros en la parte superior o en un costado para no distraer al espectador y provocar un efecto óptico sin balance. La lámina así lograda constituye el modelo sobre el cual se dibujará la composición definitiva, con los elementos en la posición elegida y, dependiendo el ilustrador, el contorno de estos marcado con lápiz muy blando, y luego, se terminará la lámina con la técnica y el material escogidos por el ilustrador, basándose en los diseños patrones.

En el tercer paso se colocan las escalas, letras, números y otros elementos de referencia necesarios (como flechas, líneas, cuadros, etc.). Estas referencias pueden hacerse a mano, por computadora con programas especiales de diseño gráfico o por medio de símbolos, letras y números autoadhesivos de distintos tamaños que se usan por su acabado perfecto. Las escalas se pueden indicar de manera directa sobre la lámina original. Este método tiene como ventaja evitar hacer cálculos cuando por efectos del sistema de reproducción se aumenta o disminuya el tamaño del dibujo original.

Generalmente un dibujo al ser reproducido y posteriormente publicado se enfrenta a una reducción de su tamaño original, como procedimiento técnico. Durante la reducción en la impresión los espacios entre líneas y estructuras se hacen más pequeños y la ilustración se ensombrece, y si el dibujo se hace por puntillismo los puntos deben ser lo suficientemente grandes para que en la reducción no se pierdan, además de estar bien espaciados para que no se fusionen y conviertan en un negro total (Loos, 2000).

La impresión y publicación de una ilustración además de su divulgación, es el punto culminante de cualquier trabajo de esta índole. Para lograr esto, el dibujo original se somete a una transferencia a otro medio. Actualmente el medio de transferencia más usado es la computadora por medio de un scanner y la liberación de la imagen transferida se produce por impresoras especializadas de alta calidad, por lo regular en papel para impresión láser, terminado mate o en papel libre de ácido (*free acid paper*). Sin embargo, para reproducciones e impresiones de alto volumen (libros o revistas) las normas de impresión suelen ser diversas, así como el equipo para su publicación.

Los medios en donde se publican las ilustraciones son distintos dependiendo el tipo de ilustración. Hodges (1989) distingue tres tipos principales de ilustraciones científicas: *Ilustración de ciencia natural*, las descripciones taxonómicas se representan con estas ilustraciones por lo cual se publican en artículos de investigación y libros especializados, así como en publicaciones populares, murales e incluso museos. *Ilustración de vida salvaje*, que generalmente posee un valor más artístico que científico por lo que estas obras aparecen en libros de texto, postales, museos, propaganda educativa, así como pudiendo venderse directamente. Por último, la *Ilustración médica* abarca publicaciones en investigaciones de tipo médico, establecimientos educativos y compañías farmacológicas.

VI. VENTAJAS DEL DIBUJO SOBRE LA FOTOGRAFÍA

Aunque una fotografía muchas veces es comparada con un dibujo para juzgar la precisión de éste último, no siempre es el medio ideal para representar un enfoque determinado en un espécimen, aunque es claro que la fotografía es un reflejo exacto de la realidad. Sin embargo, un dibujo científico adecuado posee ciertas ventajas que una fotografía convencional no podría alcanzar, las cuales se mencionarán a continuación.

Selección y sobreexposición de estructuras prioritarias. En algunos casos el objeto de estudio a ilustrar posee un gran tamaño o estructuras que carecen o son de importancia secundaria respecto al objetivo de la ilustración. Del mismo modo, una parte del objeto a dibujar puede cubrir o ser cubierta por otra, de tal modo que se indican por medio de líneas punteadas, simples trazos o con una explicación en el pie de figura. Por ejemplo, si sólo se describen las falanges terminales de alguna especie o la cabeza y tuberosidad de la costilla, no es necesario incluir todo el conjunto de la extremidad o el cuerpo total de la costilla respectivamente, por lo cual se puede omitir el resto del objeto (ver figura 59). Por otro lado, al cerrarse la mandíbula en un carnívoro los dientes inferiores quedan escondidos (en una vista lateral) por los superiores, de modo que los dientes inferiores pueden indicarse por líneas punteadas siguiendo su contorno (ver figura 71) y las demás estructuras pueden o no incluirse sólo como referencia.

Balance y libertad de composición. Se refiere a un equilibrio en la ilustración y un resultado estético agradable, en donde todos los componentes de una ilustración necesitan ser distribuidos y aunado a esto, tales componentes pueden ser colocados al gusto del ilustrador o el editor, dependiendo el enfoque de la ilustración. Por ejemplo, al analizar las vértebras de un mismo tipo en distintos grupos, tales unidades se distribuyen por todo el espacio destinado a la ilustración tomando en cuenta el espacio para las indicaciones o etiquetas (ver figura 50). Por otro lado, al ilustrar ciclos de vida de un insecto determinado, es casi imposible para una fotografía captar una imagen

adecuada del insecto en cada una de las etapas, así como estandarizar el tamaño de las imágenes en el ciclo.

Iluminación. Un objeto tridimensional que pueda ser dibujado debe ser tocado por la luz obligatoriamente en una fotografía, preferentemente que la fuente de luz provenga de la esquina superior izquierda del objeto. En un dibujo, el artista puede jugar con la fuente de luz (la vea o no) usando sombras y contrastes graduales, que le agregan profundidad y dimensión a la obra, y proyectando las mismas sombras o reflejos en cualquier dirección, asegurándose que la luz no esconda o exagere las estructuras a describir (como ejemplo, ver figura 33, en **A** la órbita ocular proyecta la sombra correctamente tomando en cuenta la fuente de luz, lo que le confiere realismo y profundidad al cráneo).

Tres dimensiones y enfoque de planos. Una fotografía es capaz de trasladar las tres dimensiones de un objeto (altura, anchura y profundidad) a las dos dimensiones de papel (altura y anchura), pero esta capacidad puede resultar impráctica al comunicar información específica, es decir, los objetos tienen volumen y al ser fotografiados sólo una parte de ellos muestra nitidez, según el enfoque del fotógrafo. En otras palabras, un objeto puede constar de varios planos por su volumen y si uno de ellos se enfoca correctamente y ofrece buena nitidez, el o los planos restantes quedan fuera de foco. Por ejemplo, si se hace un acercamiento (*close-up*) a la cara anterior de una vértebra lumbar el cuerpo y la región anterior de la apófisis vertebral serán claras las imágenes, no así su plano posterior, como las apófisis transversas, del mismo modo, si se fotografía dorsalmente la cabeza de un insecto sólo algunos detalles que estén más cerca del lente pueden ser claros, como los ojos, ocelos y en algunos casos los patrones de pigmentación (cuando se presentan), pero los planos posteriores como las mandíbulas y aparatos bucales generalmente se desenfocan. Un caso similar se presenta al tratar de fotografiar genitales, que debido a la aclaración de tejidos bajo KOH (Hidróxido de Potasio), las estructuras más blandas tienden a transparentarse mientras que las más

duras permanecen intactas, esto repercute en que al intentar enfocar un plano posterior o estructuras internas, el resto de los tejidos impiden una visualización nítida, a menos que paulatinamente (por medio del microscopio estereoscópico) se enfoque todo el ejemplar bajo el lente; sin embargo, los planos anteriores al enfocarse bien no sufren deformaciones. Para evitar esto es recomendable fotografiar el objeto por su eje más corto de frente al lente o en el mejor de los casos dibujarlo. El dibujo maneja dos dimensiones pero puede aparentar tres mediante un correcto manejo de las sombras y contrastes, de tal suerte que ninguno de los planos de un objeto lucirá desenfocado (ver figuras 88, 91 y 92).

Reconstrucción de estructuras. Un espécimen puede presentar partes destruidas o dañadas y el artista las puede reconstruir en la ilustración. Regularmente esto sucede cuando alguna parte de un espécimen es muy frágil y fácil de romper o dañar, como las alas membranosas de un insecto, el tallo o las hojas de una planta o los dientes de algún animal. Por ejemplo, las frágiles alas membranosas de un insecto cuando se trozan o dañan se reconstruyen perfectamente en el dibujo (ver figuras 89, B; 91, A; y 92, B.). Por otro lado, el artista recurre a herramientas como líneas punteadas, puntos, simples bosquejos o trazos y espacios en blanco para representar las partes afectadas, pero si ésta se reconstruye total y detalladamente el ilustrador debe recurrir a material de referencia (fotos, libros, ejemplares) para tener un apoyo visual confiable.

Mecanismos intrincados. Algunos procesos largos y complejos que pueden ocupar muchas páginas de texto logran simplificarse con una ilustración adecuada, por ejemplo, la forma en que actúan las mutaciones, ciertos enlaces moleculares, evolución y adaptación de ciertas estructuras (ver figura 75), cadenas tróficas o ciclos de vida en distintas especies. Estos largos procesos conviene ser ilustrados por etapas y componerlos de acuerdo al gusto del científico o del editor, con información simplificada en su respectivo pie de figura, además de ahorrar espacio en el texto.

VII. OSTEOLOGÍA

La osteología es la parte de la anatomía que estudia el sistema formado por los huesos. Desde el punto de vista fisiológico el esqueleto se considera a veces como un sistema relativamente inerte. Pero desde un punto de vista funcional, es de importancia fundamental. Filogenéticamente, el esqueleto procede de los tejidos conectivos y ontogenéticamente se desarrolla a partir de ellos. Las estructuras esqueléticas duras son de importancia vital, pues unen y protegen a los órganos blandos y permiten sostener el cuerpo, darle forma e involucrarse en el movimiento por unión de casi todos los músculos estriados (Romer y Parsons, 1984).

En los vertebrados se encuentran dos tejidos esqueléticos: cartílago y hueso, ambos derivados de tejidos conectivos. El cartílago es una sustancia esquelética interna, que rara vez se encuentra cerca de la superficie del cuerpo. Es abundante en el embrión y en el animal joven. En los vertebrados mayores actuales y en muchos fósiles de vertebrados menores, el esqueleto del adulto está formado en la mayor parte por hueso y existe poco cartílago. En algunos vertebrados actuales (ciclostomos, condrictios y pocos osteoictios) el cartílago es una sustancia esquelética importante en el adulto (Romer y Parsons, 1984).

El cartílago hialino es una sustancia flexible con aspecto traslúcido y vítreo. La matriz que es la sustancia de base es un polisacárido que forma un gel firme en donde se extiende una red de fibras de tejido conectivo. Por todo el cartílago se hallan esparcidos espacios con células cartilaginosas sin las ramificaciones características de los osteocitos. La superficie externa del cartílago está cubierta por una capa de tejido conectivo denso y rica en células, el pericondrio, cuyas células, los osteocitos pueden transformarse en cartílago (Romer y Parsons, 1984).

Existen muchas variantes de este cartílago hialino. En los peces cartilaginosos es frecuente encontrar cartílago calcificado, parecido a hueso, porque se depositan sales de calcio sobre la matriz extracelular. El cartílago elástico, como el del pabellón de la oreja del mamífero, se vuelve

flexible por la presencia de muchas fibras elásticas en la sustancia base. El fibrocartílago que se encuentra a menudo en las articulaciones y en las inserciones de músculos y tendones, es de composición intermedia entre el tejido conectivo denso y el cartílago.

El hueso es la principal sustancia esquelética en el adulto de casi todos los grupos de vertebrados. Está formado por células mesenquimatosas modificadas, encerradas en una sustancia de base que contiene fibras de tejido conectivo. La matriz ósea se transforma rápidamente en una sustancia dura y opaca que contiene fosfatos y carbonatos de calcio y, a diferencia del cartílago, el hueso posee vasos sanguíneos y no puede expandirse. La estructura microscópica del hueso es compleja: en su interior existe un tipo de hueso que se llama esponjoso, en el cual sólo la sustancia ósea sólo representa un armazón de sostén, también existen tejidos musculares o grasos formando una médula ósea en los intersticios. Una gran parte de la sustancia del hueso se produce embriológicamente, como capas sucesivas llamadas laminillas. El desgaste natural de los conductos tubulares de la sustancia ósea es frecuente y es producido por células llamadas osteoclastos. En estos conductos se vuelve a depositar hueso en capas concéntricas, dejando un pequeño hueco central por donde corren los vasos sanguíneos y los nervios (Hildebrand, 1974).

Desarrollo y Crecimiento de los Huesos

La osteogénesis u osificación es el conjunto de fenómenos histológicos, fisiológicos y anatómicos que conducen a la formación y crecimiento de los huesos hasta que alcanzan la morfología y constitución que presentan en el adulto (Quiroz Gutiérrez, 1959). En el embrión hay dos tipos totalmente diferentes de formación de hueso. Lo más sencillo es la formación de hueso membranoso, el cual se forma directamente a partir del mesénquima. Grupos de células formadoras de hueso, llamados osteoblastos, producen entre ellas una placa delgada de matriz densa, sobre la cual se depositan rápidamente sales óseas. Esta placa crece gradualmente a nivel de

sus bordes y se espesa por ambas superficies, mediante depósito de nuevas capas, y las células que quedan encerradas se transforman en células óseas definitivas llamadas osteocitos. Así, los huesos inician su formación de tres maneras: 1. en medio conjuntivo, 2. en medio cartilaginoso, y 3. en medio perióstico (Andrew y Hickman, 1974).

La regeneración del cartílago se produce cuando las células cartilaginosas se ensanchan y disponen en columnas, en tanto que la matriz situada entre ellos se calcifica, de tal forma que el cartílago de esta zona es destruido y reemplazado por hueso. De la zona central la sustitución avanza hacia los extremos formándose así la diáfisis o tallo del hueso. En vertebrados menores generalmente los hueso internos se osifican a partir de un centro único y los extremos de los huesos son cartilaginosos aun en el adulto. Pero en mamíferos y algunos reptiles se encuentran centros de osificación accesorios, las epífisis (Fig. 20).

En los cartílagos que han de originar los huesos largos la primera manifestación de la osificación se produce al formarse un anillo óseo superficial hacia la parte media de la diáfisis, que se va engrosando hasta alcanzar el centro del cartílago, al mismo tiempo que crece en dirección hacia ambos extremos. Después, en una epífisis del cartílago aparece un nuevo punto de osificación que

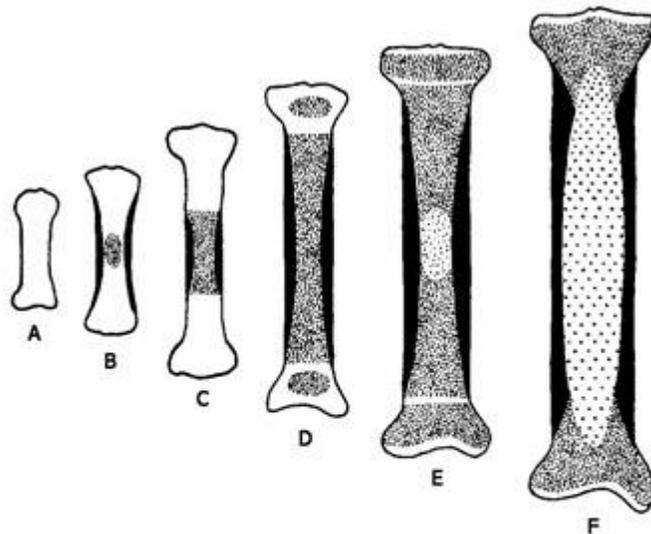


FIGURA 20. Desarrollo y osificación de un hueso. *A.* Fase cartilaginosa. *B* y *C.* Depósito de hueso endocondral y esponjoso (puntos) y pericondral (negro). *D.* Aparición de epífisis en los extremos. *E.* Desarrollo de cavidad medular (puntos ligeros). *F.* Unión de epífisis y diáfisis.

aumenta con mayor rapidez hacia la superficie; antes de alcanzarla, el proceso de osificación se detiene dejando en la superficie una capa delgada de cartílago primitivo. Más tarde se origina otro

punto de osificación en la epífisis restante que crece de manera análoga, las tres zonas óseas formadas, una diafisaria y dos casquetes epifisarios, permanecen separados por dos discos cartilagosos llamados *cartílagos de conjugación*. El papel fisiológico de los cartílagos de conjugación es muy importante, pues por un lado mantienen unidas diáfisis y epífisis y por otro lado su actividad produce el crecimiento en longitud de los huesos largos, por lo que se les llama también *cartílagos de crecimiento* (Quiroz Gutiérrez, 1959).

Entre las epífisis y la diáfisis persiste durante mucho tiempo una banda de cartílago, que es la zona de crecimiento; asimismo, es donde el cartílago crece y es sustituido por hueso procedente del tallo y la epífisis. Los huesos crecen en longitud a expensas de su cartílago de conjugación. Este fenómeno se realiza del lado diafisario, aunque del lado de la epífisis también hay cierto crecimiento, pero en menor proporción. Cuando esta banda desaparece, se fusionan la diáfisis y la epífisis, y el crecimiento se detiene. Cabe mencionar que los huesos y cartílagos se unen de distintas maneras por medio de articulaciones.

En los huesos del cráneo, el movimiento no es necesario y los elementos pueden unirse con firmeza, de tal suerte que en el adulto pueden seguir visibles las líneas de separación entre dos elementos, que son llamadas suturas, o bien, ambos elementos pueden confundirse. La articulación que no ofrece movimiento se llama sinartrosis, en cambio, una con movimiento se llama diartrosis (Romer y Parsons, 1984).

Al estudiar los huesos se debe distinguir su *dirección absoluta*, que es la que tienen aisladamente, sin relacionarlos con los planos del cuerpo. La tibia, la fíbula, el radio, el cúbito, la ulna son huesos rectilíneos, las costillas son curvilíneas que presentan una torsión en su eje longitudinal y su dirección relativa es la que presentan en el esqueleto cuando se coloca éste en una posición concreta. La conjugación exterior de los huesos se ha estudiado comparándolos a diversos

cuerpos con los que presentan semejanzas, por eso se cotejan con figuras geométricas y se clasifican atendiendo a su forma general, en tres grupos:

Huesos largos. En los que un eje, el longitudinal, predomina sobre los otros dos. Los huesos de esta clase están constituidos por un cuerpo o *diáfisis* que termina en ambas extremidades por formaciones más o menos voluminosas o *epífisis*, como el fémur, húmero y costillas, entre otros.

Huesos cortos, en los que las tres dimensiones son más o menos iguales, como sucede con las vértebras, los elementos carpales y tarsales.

Huesos planos, en los que dos de sus dimensiones predominan sobre la otra, presentando generalmente dos caras y dos o más bordes. Por tanto, su análisis y descripción comenzarán por su forma, sus caras, sus bordes y sus extremidades, tal es el caso de los huesos del cráneo, escápula y pelvis, entre otros (Quiroz Gutiérrez, 1959).

Cráneo

El cráneo de cualquier animal es la estructura esquelética más compleja debido a la gran cantidad de huesos que tiene, además de variar en extremo en cada clase de vertebrados, aunado a que en esta estructura se aloja el cerebro, sistema nervioso central que rige todas las funciones sensoriales del animal. Esta parte del esqueleto es un conjunto en el cual la caja craneana se distingue de la mandíbula, por esto, ésta última no forma parte del cráneo; no obstante estas dos piezas se revisarán en conjunto en este capítulo.

Romer y Parsons (1984) señalan que el cráneo primitivo se compone de tres unidades funcionales principales, una dérmica y las otras compuestas de esta forma:

A) Bóveda craneana dérmica. Huesos membranosos que cubre las partes superior y laterales de la cabeza, y se extiende hacia abajo donde los elementos laminares incluyen los dientes marginales, es continua salvo la presencia de aberturas para las fosas nasales, las órbitas oculares y un pequeño agujero parietal para el ojo medial (pineal).

B) Complejo palatino. Forma básicamente el techo de la boca. La parte anterior de este complejo forma una ancha placa palatina, con aberturas fronto-laterales para los orificios nasales internos o coanas. Posteriormente se separa a ambos lados del borde por las fosas subtemporales, por donde corren músculos aductores que permiten cerrar la mandíbula.

C) Caja craneana. Formada a partir de cartílago pero se osifica después. En cuadrúpedos primitivos y peces óseos, la región inferior de esta caja presenta una hoja de hueso dérmico formada en la región central del techo de la boca.

Cráneo en peces óseos

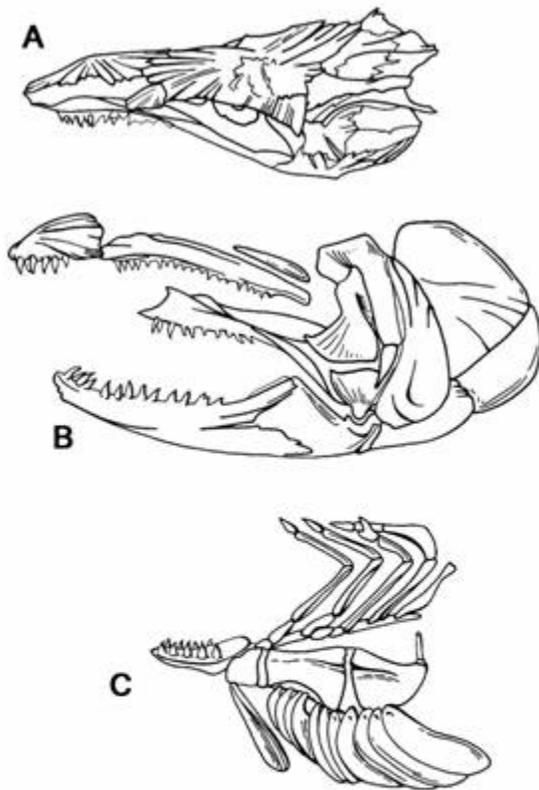


FIGURA 21. Huesos craneales de trucha (*Salmo gairdneri*). **A.** Neurocráneo. **B.** Mandíbula, suspensorio y opérculo. **C.** Aparato branquio-hioideo. Esta ilustración es para ejemplificar la necesidad de indicación de los componentes de una estructura, ya que como resultado estético es válido, no así para el informativo. Tinta en opalina.

El cráneo en los peces óseos consta de tres elementos principales: neurocráneo, un complejo que incluye mandíbulas suspensorio y serie opercular, y el aparato branquiohioideo (Fig. 21).

El grado de osificación del neurocráneo cartilaginoso en peces óseos varía demasiado, aunque en la mayoría el cartílago es sustituido por hueso, osificaciones que son denominadas *pericondrales* y/o *endocondrales*, según sea el caso. La

mayor parte de la región posterior del cráneo de un teleósteo consiste en cinco huesos endocondrales, en los cuales el proótico es el más grande, ubicado en el piso lateral del cráneo en muchas especies; este hueso contacta con el basioccipital y exoccipital. El hiomandibular sostiene la mandíbula y se articula con el

esfenótico. Las grandes crestas laterales son formadas por los pteróticos, el epiotico es un proceso entre el pterotico y el supraoccipital y es el punto que une el cráneo con la cintura pectoral, además el opistoótico se encuentran entre los exoccipitales y el pterótico, situados en la pared posterior del cráneo (Bond, 1979).

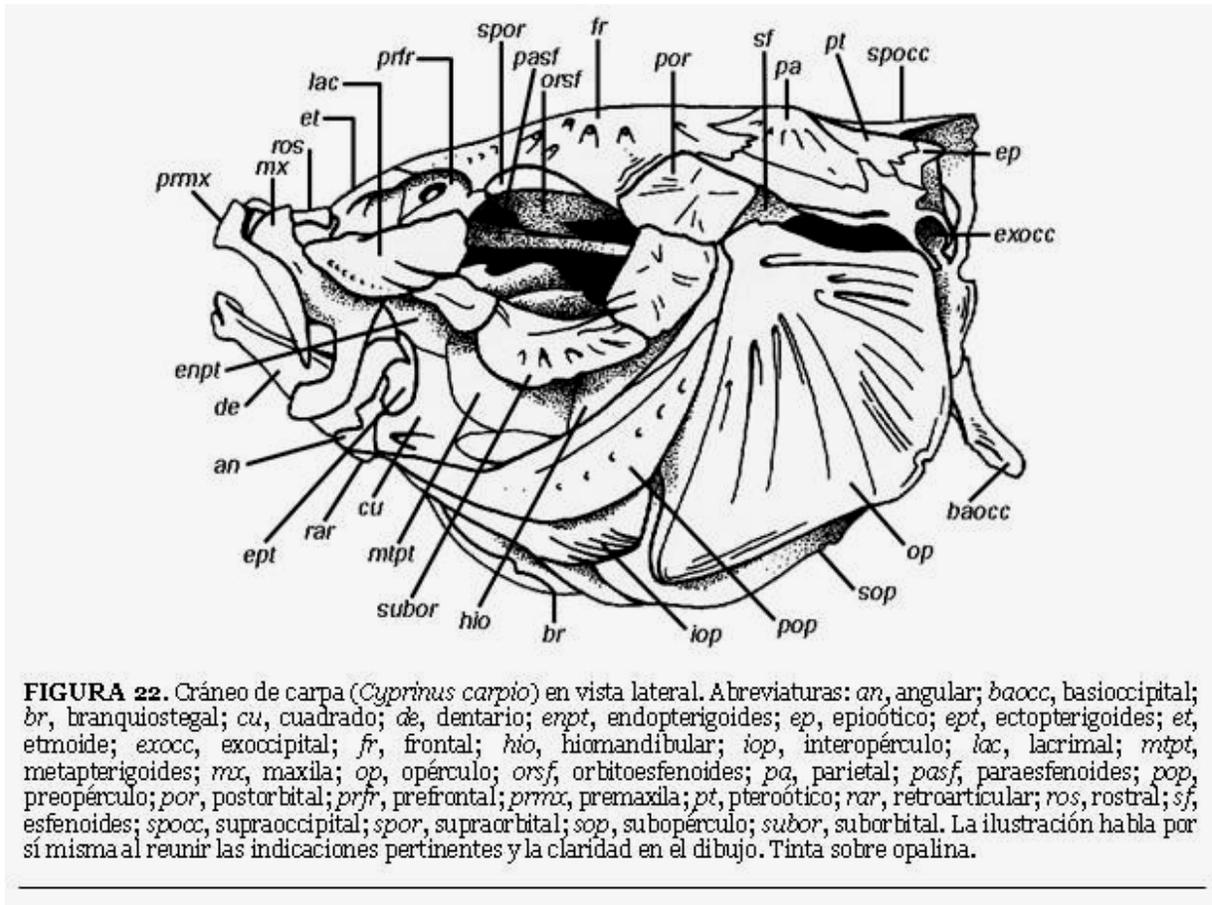
Existen también elementos de cartílago en el cráneo, entre los cuales se encuentran el alisfenoide que se conecta con el proótico, el orbitosfenoide que forma un septo (ausente en algunas especies) y el basisfenoide, rodean la órbita ocular en su parte posterior. Los huesos

dérmicos del cráneo (situados anteriormente) incluyen un par de frontales y un supraetmoides mediano, parietales y postparietales, ambos pareados. Anterior a estos se encuentran los frontales, anchos, que ocupan una gran parte del techo del cráneo. Rodeando la parte faltante de la órbita ocular existen los circumorbitales, que protegen la musculatura óptica y poseen canales de sensores.

Los elementos mandibulares incluyen tanto huesos como piezas dérmicas y endocondrales. Los bordes de la mandíbula son sostenidos por la premaxila, maxila y jugal (o yugal, castellanizado); el vomer y los palatinos, y en ocasiones el paraesfenoides, el ecto y endopterigoides pueden presentar dientes. La mandíbula inferior se articula con el cuadrado y este a su vez con el metapterigoides (osificación del cartílago palatocadrado); el dentario ocupa la mayor parte de esta mandíbula, junto con el hueso angular (igual llamado "articular") ubicado en el extremo posterior. La región hiomandibular se presenta en dos variantes: cartílago y hueso. La primera funciona como soporte principal en la mandíbula superior del adulto; la segunda variante se presenta desde una articulación con la cápsula oótica hasta la región superior del cuadrado, y ocupa la parte más alta del arco hioideo, y se articula de igual forma con la región oótica y actúa como suspensión para la mandíbula superior, inferior, el aparato hioideo y la serie opercular. El resto del arco hioideo presenta huesos llamados epi, cerato e hipohiales (superiores e inferiores) que soportan una larga lengua que puede incluir dientes. Los branquiostegales son importantes huesos dérmicos articulados con el epi y ceratohial, que generalmente protegen las branquias. La serie (o complejo) opercular se compone de cuatro pares de huesos dérmicos planos: opérculo, preopérculo, interopérculo y subopérculo; estos huesos en conjunto protegen las branquias y forman parte de la bomba branquial (Bond, 1979; Young, 1981). Los arcos branquiales constan de piezas endocondrales, los tres primeros se constituyen de dos secciones, una superior con los huesos faringeobranquial y epibranquial; la inferior con huesos ceratobranquial e hipobranquial.

El cuarto arco se fusiona habitualmente con el tercero o es reducido; el quinto arco es reducido y modificado para soportar dientes faríngeos (Bond, 1979).

La derivación de este complejo grupo de huesos, que por medio de las ilustraciones adecuadas mejoran la comprensión y abrevia la dificultad de asimilar tal información, es proveer al organismo un eficiente aparato de protección al cerebro, al sistema respiratorio y como soporte de las mandíbulas (Fig. 22); es importante mencionar que los dientes se encuentran en distintos huesos (vomer, palatinos, premaxila, maxila y dentario) y tienen forma de aguja, cuyo cuerpo es dirigido hacia atrás para mejor sujeción de la presa y evitar su escape, porque la forma dental no está diseñada para morder o masticar.



Cráneo en los Anfibios primitivos

Los anfibios primitivos del periodo Devónico tardío y Carbonífero temprano (aproximadamente 350 millones de años atrás; (Pough *et al.*, 2002) poseían un cráneo similar a los peces osteolepiformes respecto a la disposición de los huesos, pero la proporción espacial se modificó. Los nasales y frontales se alargaron en los Laberintodontos (subclase que se caracteriza por poseer la dentina y esmalte, en la base del diente plegados en un patrón de laberinto) y los parietales se reducen, mientras que los postparietales desaparecen en formas superiores. La principal modificación se relaciona con un cambio en las trompas de Eustaquio en conexión con el sentido del oído y la necesidad de resonancia sensitiva para recoger las vibraciones del aire y casi en todos los individuos las cubiertas operculares de las branquias se perdieron en el proceso evolutivo, por el cambio de un medio acuático a uno terrestre; por otra parte, un pequeño cambio en el cráneo fue el incremento en el tamaño del lacrimal que conlleva una mayor lubricación ocular (Young, 1981).

En cuadrúpedos primitivos, la bóveda craneana dérmica posee elementos, casi todos pareados, que desaparecen ya en cuadrúpedos modernos. Es complicado y casi innecesario mencionar todos los nombres, por lo que se indican en grupos subjetivos para facilitar su estudio, dependiendo su función y posición, a saber:

- Huesos portadores de dientes: premaxilar y maxilar.
- Huesos pares a lo largo de la línea media dorsal: nasales, frontales, parietales y postparietales.
- Huesos periorbitarios: prefrontal, postfrontal, postorbitario, jugal y lacrimal (en mamíferos sólo existen los dos últimos).
- Huesos de la mejilla: escamosos y cuadratojugal.

El complejo palatino comprende huesos originados en el cartílago palatoc cuadrado, que origina parte del paladar. En cuadrúpedos hay dos elementos de este tipo, el epipterigoides que se articula

en su base con la caja craneana; por detrás se encuentra el cuadrado que forma la articulación de la mandíbula (excepto en mamíferos), sin embargo en este complejo los elementos más importantes son los huesos dérmicos, los cuales reemplazan el cartílago. El elemento principal es el pterigoides que se articula con el vomer, el palatino y el ectopterigoides por delante y a los lados, aunque este último es casi siempre incipiente.

La caja craneana en casi todos los vertebrados posee un elemento dérmico llamado paraesfenoides, a veces difícil de distinguir. La caja craneana tiene distintos grados de osificación dependiendo el grupo y grado evolutivo, por ejemplo, en anfibios modernos es pobre la osificación. Delante de la región oótica, la caja craneana se estrecha hasta encontrar el basisfenoides; del mismo modo en formas primitivas existe un elemento medio en el extremo anterior de la caja, llamado esfenotmoides, el cual todavía es posible apreciar en algunos organismos (Romer y Parsons, 1984).

Cráneo de los Anfibios modernos

Los anfibios actuales, o Lissamphibia, incluyen tres linajes distintos: Anura (ranas y sapos), Urodela (salamandras) y Gymnophiona (cecilias o apodos); estos grupos comparten características derivadas como la piel húmeda, la estructura del músculo *levator bulbis*, entre otras, aunque los anuros desarrollan diversos modos de locomoción a comparación de los otros grupos que mantienen la locomoción ancestral con base en ondulaciones laterales y movimientos de las extremidades (Pough *et al.*, 2002).

En los anfibios modernos el cráneo se comprime y es más plano, la osificación es pobre y se dejan espacios amplios; la reducción en el número de huesos y su peso le confieren ventajas al animal adulto en un ambiente terrestre. Hay rasgos craneales que anfibios actuales comparten entre sí que los distingue de los laberintodontos (Duellman y Trueb, 1994).

El cráneo de una rana es reducido en el número de elementos óseos y sólo se conserva una pequeña proporción de los componentes antiguos de la bóveda dérmica (Fig. 23). La mayor osificación ocurre en los exoccipitales que forman un par de cóndilos occipitales. La mayor parte de los huesos que cubren la parte dorsal del cráneo son los nasales y frontoparietales, el piso es

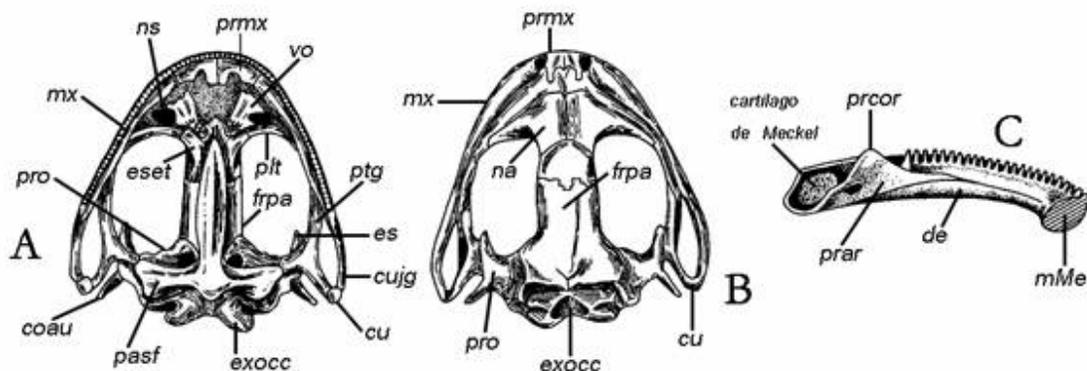


FIGURA 23. Cráneo y fragmento mandibular de *Rana*. **A.** Vista ventral. **B.** Vista dorsal. **C.** Fragmento mandibular interno. Abreviaturas como en figura 22, además de: *coau*, columella auris; *cujg*, cuadradojugal; *es*, escamoso; *eset*, esfenetmoides; *frpa*, frontoparietal; *mMe*, mento-Meckelianos; *na*, nasal; *ns*, nostrilo; *pasf*, paraesfenoides; *plt*, palatino; *prar*, prearticular; *prcor*, proceso coronoides; *ptg*, pterigoides; *vom*, vomer. Cuando se muestran dos partes de un todo en la misma ilustración, la comprensión total de ese todo es más completa. Tinta sobre opalina.

formado por el parasfenoide y el vomer, que presenta dientes. Poseen premaxilas y maxilas pareadas, éstas últimas se articulan con el cuadratojugal y a su vez con la mandíbula cuya región se completa con el pterigoides y escamoso, los palatinos, aunque membranosos forman las paredes de las órbitas; en la mandíbula el cartílago de Meckel se mantiene completo pero se osifica al frente en una pequeña sección que se denomina huesos mento-Meckelianos (Young, 1981). Estas características no son absolutas para todos los anuros, por ejemplo los cráneos de ciertos Bufónidos carecen de dientes como tales, así como también en Hyilidae, en donde los pseudodientes, que sólo son aserraciones de la mandíbula ocurren en el dentario y pre-acticular. De cualquier forma el cráneo de los anuros en general, se distingue de otros anfibios por la fusión de los frontales con los parietales (Duellman y Trueb, 1994), formando un nuevo hueso: frontoparietal.

En Urodela los frontales y parietales son pequeños y en pocas especies se presentan lacrimales junto con prefrontales y se caracterizan por el gran tamaño de unos huesos llamados prevomerianos (fusión de vomer y palatinos).

El cráneo en las cecilias (Fig. 24) es mucho más rígido y compacto por lo hábitos enterradores que desarrollan, aunque el número de huesos no es mayor que en los otros grupos. Esta rigidez está correlacionada con la expansión de los nasales y la reducción de elementos en la maxila (Young, 1981).

Cráneo de los Reptiles

En los reptiles actuales hay una serie de cambios relevantes en el cráneo, hay pérdida de elementos óseos y dérmicos, pero las modificaciones principales corresponden al desarrollo de aberturas o *fenestras* (ventana, en latín) en la región posterior (Fig. 25); estas modificaciones permiten clasificaciones artificiales y explican relaciones filogenéticas entre los grupos; tales aberturas están dispuestas en distintos lugares y su número puede variar. La disposición anápsida representa una condición primitiva que no presenta aberturas en el

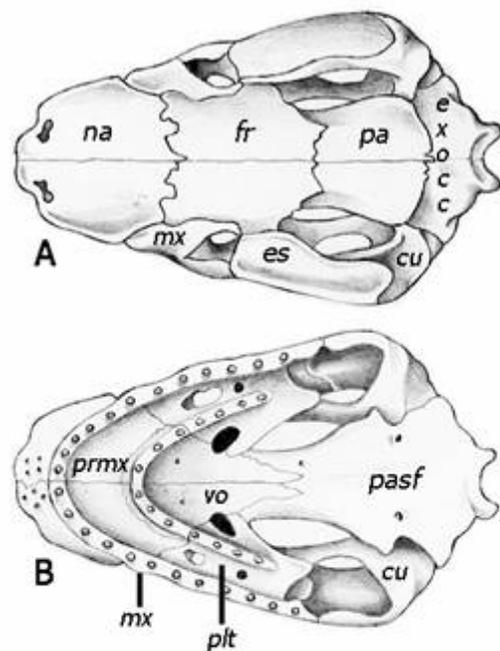


FIGURA 24. Cráneo de Gymnophiona, *Chthonerpeton*. **A.** Vista dorsal (o superior) y **B.** Vista ventral (o inferior). Abreviaturas como en figuras 42 y 43. La sombra en los lugares adecuados acrecienta el volumen y longitud de las estructuras. Lápiz sobre opalina.

cráneo y son las tortugas (*Chelonia*) las que muestran esta condición, que también ha sido nombrada como una subclase. Las aberturas tienen como función recibir los músculos aductores que cierran la mandíbula y cuando aparecen en la parte superior de la región temporal, así como en la inferior nos encontramos con la condición diápsida; esto es visto en *Lepidosauria* y

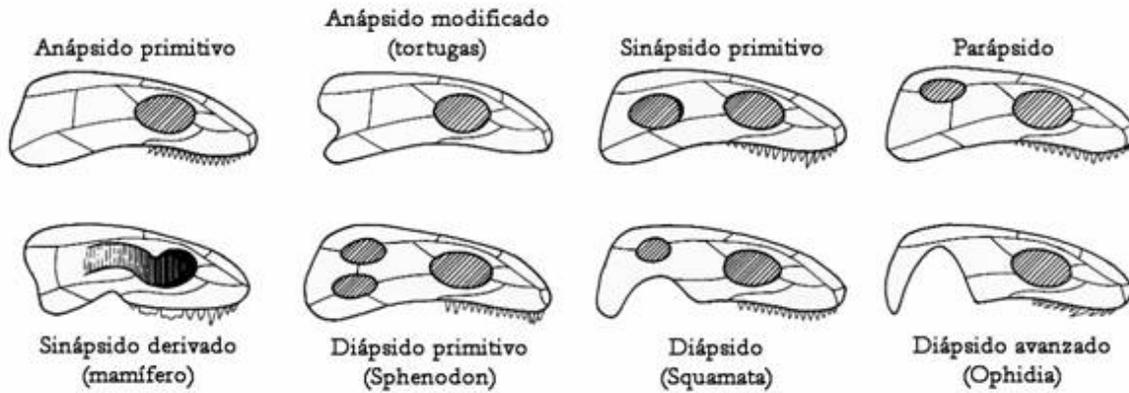


FIGURA 25. Modelos de fenestración craneal. Estos esquemas sencillos transmiten la suficiente información de acuerdo con el objetivo de tal ilustración que es sólo ubicar la posición de la(s) fenestra(s) en el cráneo de amniotas. Tinta sobre opalina.

Archosauria; en los lepidosaurios del orden Squamata el arco inferior del temporal es incompleto, sin cuadratojugal y el jugal está separado del escamoso. Cuando existe sólo una fenestra en el cráneo situada en la parte alta de la región temporal, se habla de una condición parápsida, que sólo representa una variación menor del patrón euryapsido, que enfrenta problemas de clasificación, principalmente por su origen, causa de debates. Parece ser que esta condición se modifica del cráneo diápsido, que apareció más de una vez. Los cráneos euryapsidos poseen una fenestra temporal superior rodeada por el parietal, postfrontal y escamoso (Laurin, 2005). Esta condición se encuentra en ichtyosaurios y plesiosaurios; en cambio, cuando existe una sola abertura en la parte media de la región temporal se conoce como condición sinápsida. Se considera la disposición anterior como una condición sinápsida primitiva, en tanto que una condición sinápsida derivada es propia de mamíferos y formas anteriores (reptiles mamiferoides) y se caracteriza porque las órbitas se han fusionado con la abertura temporal y los huesos dérmicos han disminuido y rodean la caja craneana (Pough *et al.*, 2002).

Cráneo de Chelonia

El cráneo de las tortugas (Fig. 26) aunque compacto es muy amplio en su región posterior y con una corta región facial, en donde no hay dientes y en su lugar se desarrolla un pico córneo (ranfoteca). Los prefrontales son muy expandidos y ocupan el lugar entre las órbitas y las narinas, así también no hay foramen en el lacrimal, los frontales son cortos y los parietales se elongan, no hay foramen en el parietal (condición Anápsida) y no existe tabular ni postparietal. El postorbital, jugal, cuadratojugal y escamoso forman la región temporal, lateral al parietal; el postorbital puede

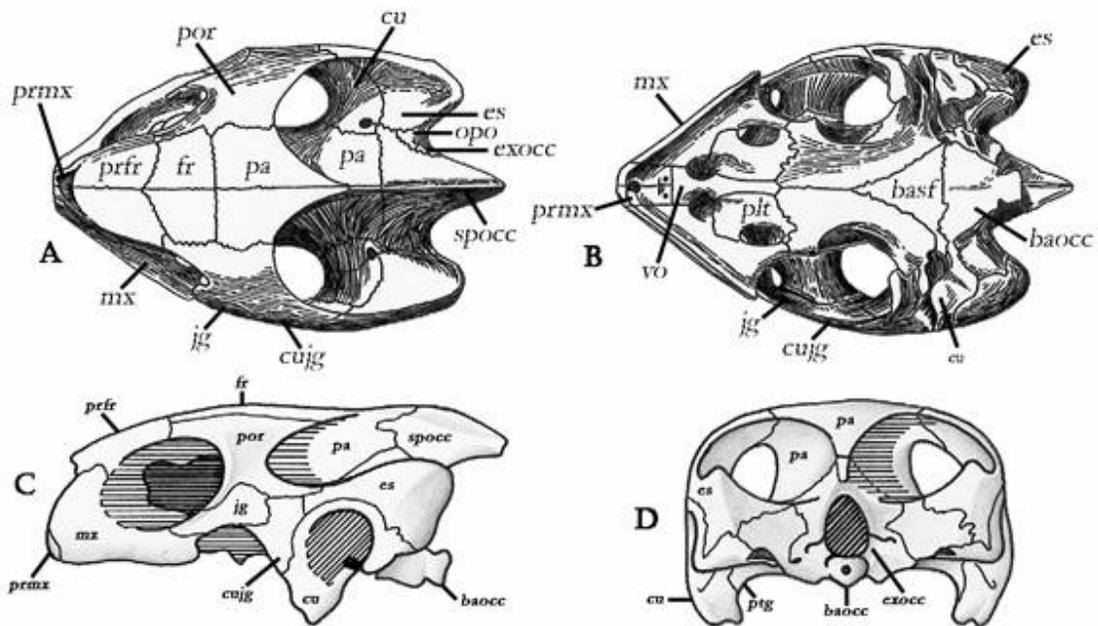


FIGURA 26. Cráneo de tortuga, *Emys*. **A.** Vista dorsal. **B.** Vista ventral. **C.** Vista lateral. **D.** Vista posterior. Abreviaturas como en figuras 22 y 23, además de: *basf*, basiesfenoides; *jg*, jugal; *opo*, opistoótico. Las zonas *asuradas* (zonas con sombra en líneas muy regulares) se emplean para denotar zonas oscuras, dependiendo la unión de éstas. Lápiz y tinta sobre opalina.

variar, desde tener una forma reducida hasta ser extendido hacia el área temporal, el jugal es regularmente reducido en el borde que articula con la abertura orbital, el cuadratojugal se extiende anteriormente para conectarse con la maxila debajo del jugal y en algunos individuos se expande hasta la región temporal. Los pterigoides están fusionados a la caja craneana y el cuadrado que es muy desarrollado se asegura a una expansión lateral de la cápsula oótica. La zona del paladar es un

poco arqueada dorsalmente y los huesos palatinos se separan por el vomer y forman parte de un par de coanas, y un foramen en este hueso se presenta justo en el margen posterior, y en algunos grupos es común que se forme una segunda cámara palatar. Los pterigoides se separan posteriormente por la exposición ventral del basi y paraesfenoides.

La región occipital posee huesos de distinta forma entre ellos y con aberturas postemporales, el supraoccipital ostenta una cresta medial para la inserción muscular. El cóndilo occipital (único, en reptiles y aves) es formado por los exoccipitales y basioccipitales y debajo de éstos hay depresiones para la inserción de los músculos del cuello. Una característica propia del cráneo de quelonios es una gran expansión lateral de la cápsula oótica formando parte del amplio proceso paraoccipital. El parietal se conecta con el supraoccipital y escamoso, y ventralmente presenta un borde que se articula con el pterigoides. En el extremo posterior de este borde existe una abertura en la pared, llamado *foramen esfenoidal* que corresponde a la caja craneana cartilaginosa (Romer, 1956).

Las tortugas carecen de dientes y por esto su mandíbula tiene un diseño especial (Fig. 27). Es corta y compacta en donde el elemento más prominente es el dentario, que puede empujar hacia abajo al surangular; regularmente el dentario presenta una total fusión en sus dos lados y en su extremo anterior presenta una superficie porosa en donde se conecta con la

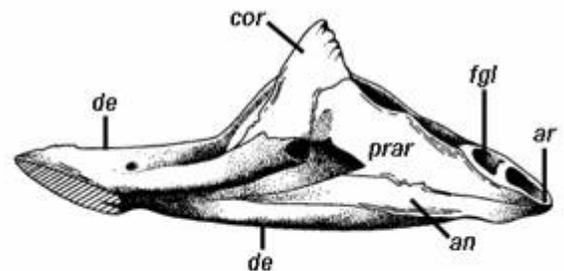


FIGURA 27. Fragmento mandibular de tortuga, *Trionyx*. Abreviaturas como en figuras 22 y 23, además de: *an*, angular; *ar*, articular; *cor*, coronoides; *fgl*, fosa glenoidea. Tinta sobre opalina.

ranfoteca. El hueso esplenio es rudimentario o no se presenta en formas modernas. En muchos casos la mayor parte de la región posterior es ocupada por un gran surangular y debajo de éste, el hueso angular. El coronoides se sitúa sobre la superficie interna del proceso coronoides y puede

presentar distintos grados de desarrollo; una parte de la región posterior es igualmente ocupado por un ancho prearticular y articular que, dependiendo el grupo, pueden ser cóncavos o convexos en su región distal (Romer, 1956).

Cráneo de Lepidosauria

Lepidosauria es la subclase hermana de Archosauria (cocodrilos y ancestros de las aves) e incluye a las serpientes (suborden Ophidia) y lagartijas (suborden Sauria, ambos incluidos en el orden Squamata), así como a la tuátara (orden Rhynchocephalia), el único sobreviviente de formas vivientes existentes similares en el Triásico (230 m.a.), y su morfología no ha cambiado mucho desde entonces. Es de pensar que las dos especies de tuátara sobrevivientes (*Sphenodon punctatus* y *S. guentheri*), habitantes ahora en islas de Nueva Zelanda posean características especiales y primitivas en el cráneo, particularmente (Fig. 28). En primer lugar tiene una gran extensión del premaxilar que ostenta dientes más grandes que el resto, la longitud craneal es más corta y una región temporal más expandida. Además carece de hueso lacrimal, el postparietal y tubular se pierde así como el supratemporal. Las fenestras postemporales son muy amplias, el basioccipital es corto, el supraoccipital es estrecho y tiene un gran septo interorbital; estas características dan como resultado una disminución en el peso del cráneo. El paladar sigue siendo primitivo y los dientes incluidos en éste son muy pequeños y dispersos entre sí; la mandíbula no posee esplenios y el dentario, grande, ocupa la mayor parte anteriormente y se expande en la parte de atrás hacia la superficie externa (Romer, 1956); así mismo posee un articular pequeño y el proceso coronoides mantiene la forma triangular, el angular complementa la mandíbula ventralmente y se articula al prearticular y este a su vez con el surangular, que es rugoso para la inserción muscular.

El orden Squamata como se mencionó anteriormente, agrupa a las serpientes (Ophidia) y las demás lagartijas (Sauria). En el cráneo de los saurios (o lagartijas) existentes (Fig. 29) los nasales

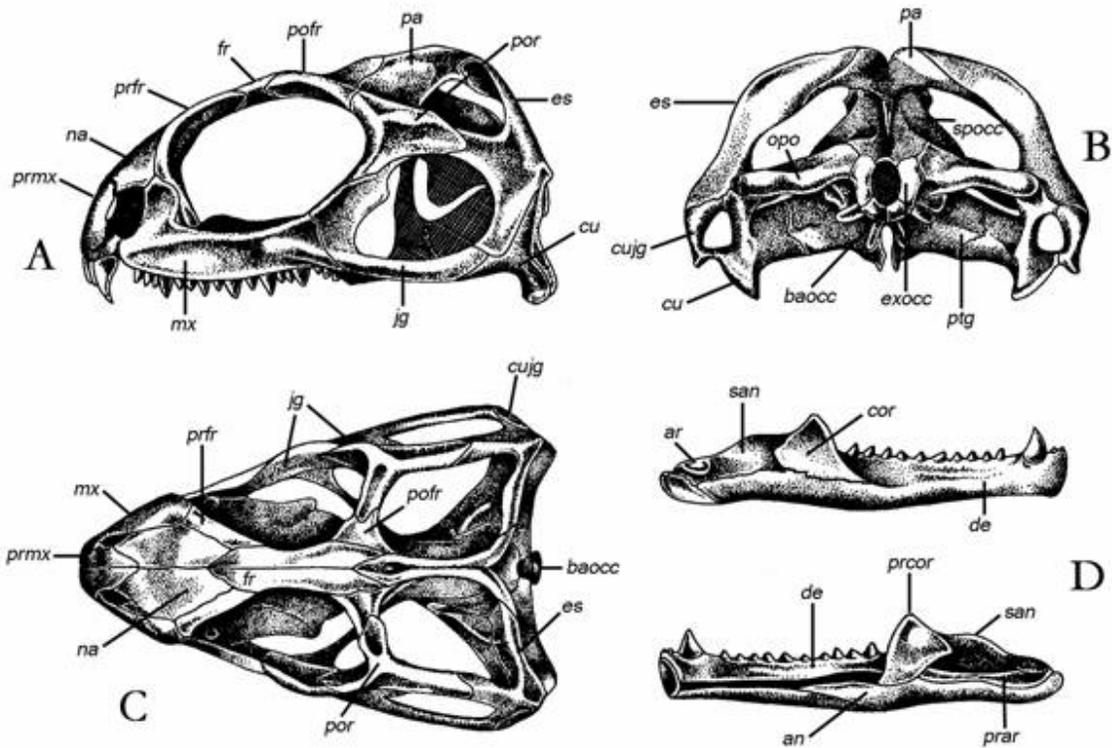


FIGURA 28. Cráneos y mandíbula de tuátara, *Sphenodon*. **A.** Vista lateral. **B.** Vista caudal o posterior. **C.** Vista dorsal. **D.** Mandíbula en vista externa e interna. Abreviaturas como en figuras 22, 23 y 27, además de: *pofr*, postfrontal; *san*, surangular. Tinta sobre opalina.

son pareados, pero la premaxila, frontales y parietales son fusionados en la mayoría. El prefrontal desciende a la parte anterior de la órbita y se conecta al palatino, el cuadratojugal se ha perdido junto con el arco temporal inferior, excepto en geckos, que sólo es una reminiscencia. Los elementos dérmicos (vomero, palatinos, ectopterigoides y pterigoides) se presentan. El cuadrado es de una característica particular: tiene libre movilidad, es largo y voluminoso, se articula sobre el escamoso, supratemporal y el proceso paraoccipital y por debajo, una doble superficie convexa forma un cóndilo para la mandíbula. El supraoccipital puede variar en el grado de osificación, corre hacia delante debajo del parietal, se sujeta en cualquiera de ambos lados por medio de un proceso; esta articulación tiene como particularidad que es flexible, es decir, tiene suturas relativamente sueltas o flojas entre parietales y frontales, o entre los nasales (Romer, 1956). Es

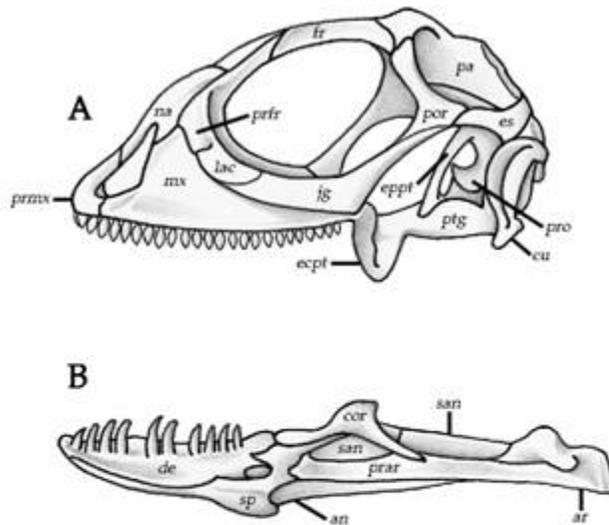


FIGURA 29. A. Cráneo de *Iguana* en vista lateral. **B.** Mandíbula de *Varanus* en vista lateral. Abreviaturas como en figuras 22, 23, 26, 27 y 28, además de: *acpt*, actinoptergoides; *pro*, proótico; *sp*, esplenio. En esta ilustración no fue necesaria tanta aplicación de sombra, al sólo indicar la posición de los huesos. Tinta y lápiz sobre opalina.

importante señalar que en muchos integrantes de la familia *Chamaeleonidae* sufren modificaciones en los huesos frontales, parietales y nasales, además de su región occipital, debido a que presentan cuernos, ornamentaciones óseas y proyecciones óseas, relacionados con su dimorfismo sexual y otros aspectos. Los procesos paraoccipitales son bien desarrollados y se forman por los opistoóticos, fusionados al exoccipital. La mandíbula no presenta gran complejidad

ni tiene patrones muy especializados, no obstante es moderadamente larga y delgada, todos los elementos óseos se presentan (dentario, prearticular, articular, coronoides, angular, surangular y, a veces, el esplenio) pero se modifican dependiendo el caso. Puede que el articular y prearticular se fusionen, el esplenio puede ser muy desarrollado o incluso ausente (en camaleones); en algunos contados casos el proceso retroarticular se reduce (Romer, 1956), pero en todos los individuos el hueso dentario es el elemento más prominente.

Por otra parte, tanto el cráneo y la mandíbula de las serpientes (Fig. 30) son altamente especializados y tal especialización está asociada a sus hábitos alimenticios muy particulares. En primera instancia el arco temporal ha desaparecido y esto trae como consecuencia una suspensión de la mandíbula con el cuadrado, solamente con el ligamento de este último ayudando así a una gran distensión mandibular para ingerir sus alimentos, mediante la asistencia de la musculatura asociada; así, el cuadrado se articula con el escamoso. Un gran incremento en la flexibilidad de las

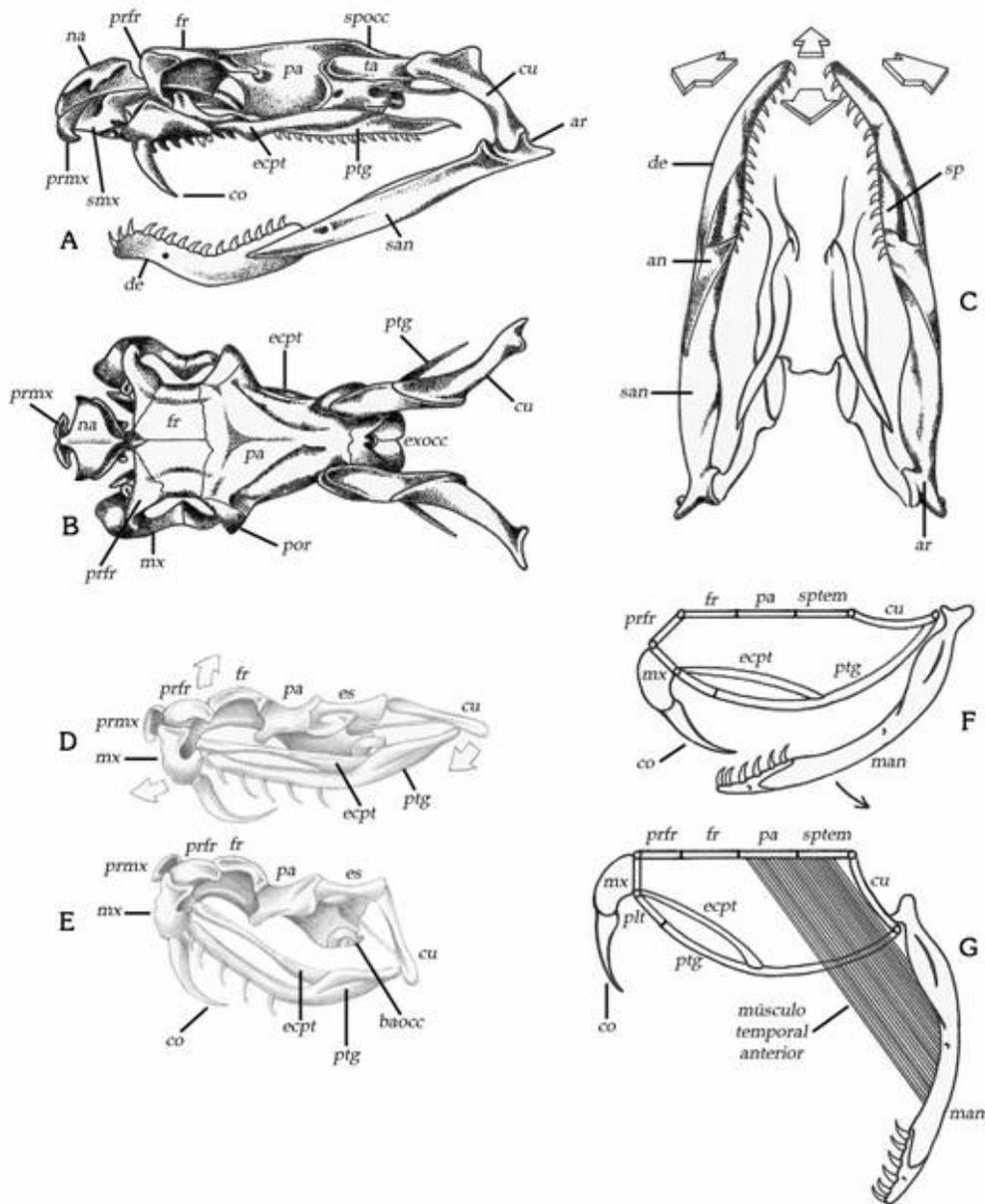


FIGURA 30. Cráneos y mandíbulas de serpientes. Cinesis y mecanismo de apertura mandibular. **A, B y C.** *Naja*. **A.** Vista lateral. **B.** Vista superior o dorsal (la mandíbula se ha omitido). **C.** Mandíbula en vista ventral (la caja craneana se indica sólo con líneas para denotar su posición). Debido a que la mandíbula no se une por sínfisis, cada parte de ella se mueve independiente a la otra. Las flechas tridimensionales permiten apreciar el rango de movimiento espacial de la mandíbula, principalmente al momento de alimentarse. **D y E.** *Crotalus*. **D.** Vista lateral y proceso de cinesis. El cuadrado empuja el complejo palatar hacia adelante, y como consecuencia el músculo protacto-pterigoideo (no ilustrado) empuja al pterigoide al frente, causando que el eptopterogide suba y rote la maxila hacia arriba y empuje el frontal hacia atrás. La maxila así, despliega los colmillos. **F y G.** Esquema generalizado de los componentes involucrados en la cinesis y en el mecanismo de apertura mandibular. En **F** la mandíbula está cerrada y el cuadrado permanece horizontal, y los colmillos semi-paralelos al complejo palatar. En **G** la mandíbula ya abierta y el cuadrado en distinta posición, casi vertical, permite que al complejo palatar avance y empuje tanto al prefrontal como a la maxila, que despliega los colmillos en posición vertical. El músculo temporal anterior restringe el nivel de apertura de la mandíbula, en cambio el músculo depresor (no ilustrado) se encarga de cerrar a ésta. Abreviaturas como en figuras 22-29, además de: co, colmillo; man, mandíbula; smx, septomaxila; sptem, supratemporal; ta, tabular. Lápiz y tinta sobre opalina.

Uniones de los huesos, por suturas irregulares o por sólo ligamentos ligeros, da como resultado un cráneo altamente *cinético*, es decir, un cráneo con la capacidad de que la mayoría de sus elementos óseos tengan movilidad independiente de cada uno, y produzca una flexibilidad amplia en el cráneo, asociada con los hábitos alimenticios de las serpientes, exceptuando unas pocas formas enterradoras. Existen uniones móviles entre los frontales, prefrontales y nasales, principalmente (Alexander, 1986); tales uniones carecen de ligamentos entre ellas, por eso el rango de movimiento en varias direcciones es relativamente amplio. Además la premaxila es pequeña y carece de dientes, su articulación con la maxila es primitiva y más bien se conjunta con el resto de cráneo (Romer, 1956). El lacrimal, postfrontal, jugal y cuadratojugal desaparecen, el supraoccipital no rodea el foramen magnum y los parietales casi siempre están fusionados (Young, 1981). La mandíbula, que consta de dos mitades, carece de una unión firme en su extremo anterior, que sólo son unidas por músculos y piel, y esto le permite separarse entre sí y moverse atrás o adelante independientemente, para que la ingestión de la presa se dé con más facilidad, aunado a que el hueso dentario tiene movilidad respecto a los elementos posteriores (articular, angular, surangular y esplenio) de la mandíbula.

Cráneo de Crocodylia

Los integrantes de la subclase Archosauria fueron los animales dominantes durante el Mesozoico. Los cocodrilos y las aves son los únicos linajes sobrevivientes de este grupo. El cráneo de los cocodrilos mantiene su forma de reptil archosaurio, pero con algunas modificaciones pertinentes como el desarrollo de un paladar secundario para la respiración bajo el agua, además de una rígida unión del pterigoides con el cuadrado (Romer, 1956). El cráneo del orden Crocodylia (Fig. 31) se distingue principalmente por la elongación del hocico, principalmente por la premaxila, maxila y nasales. En la articulación de la maxila con la premaxila existe regularmente una excavación en

donde se aloja un diente inferior al cerrarse la mandíbula, y esta excavación interrumpe la serie dental superior. Los prefrontales y lacrimales están presentes y los frontales y parietales se fusionan con sus complementos, pero no hay foramen parietal; un pequeño postparietal fusionado con el supraoccipital a veces se presenta. El margen posterior del cráneo es regularmente plano, el jugal se extiende hacia atrás cerca de la articulación con la mandíbula, el cuadradojugal es estrecho y se interpone entre el jugal y el cuadrado. La segunda cámara palatar se caracteriza porque la maxila y el palatino se envuelven entre sí, el eptopterigoides es grande y los pterigoides se fusionan uno con otro por debajo de la caja craneana; el epipterigoides no se presenta en formas adultas. Los elementos occipitales son reducidos, en particular el supraoccipital que no limita el foramen magnum, además de la fusión de los exoccipitales con los opistoócticos. La mandíbula en *Crocodylia* es elongada y existe una gran fenestra en su parte posterior junto con un buen desarrollado proceso retroarticular en donde se fija el músculo epresor mandibular, que se inserta desde la región posterior del cráneo. El dentario es el elemento más prominente y no existe el prearticular (Romer, 1956).

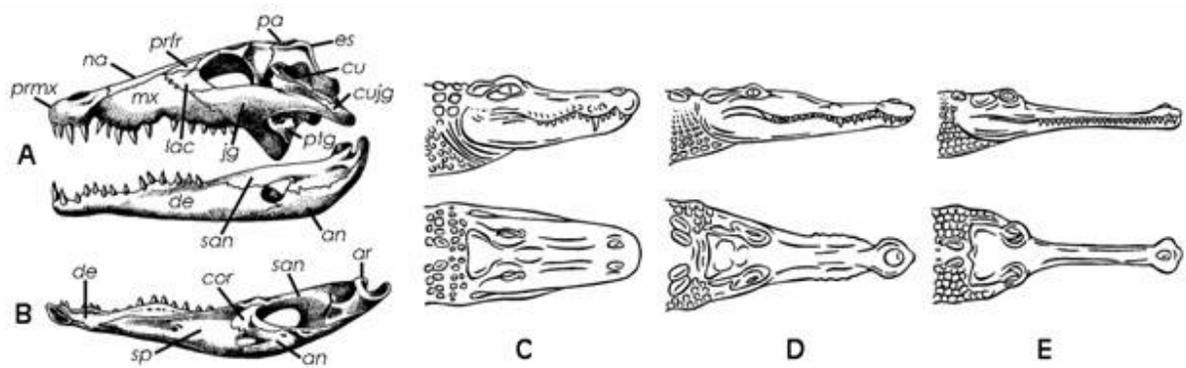


FIGURA 31. *Crocodylia*. **A.** Cráneo y mandíbula de *Crocodylus* en vista lateral. **B.** Mandíbula de *Alligator* en vista lateral. Aspecto de la cabeza en las tres familias de *Crocodylia*: **C.** Alligatoridae; **D.** Crocodylidae y **E.** Gavialidae. Abreviaturas como en figuras 22-29. La combinación de estilos en una misma ilustración la enriquece, porque por un lado los dibujos detallados (**A, B**) realzan la vista artística y científica; y por el otro lado los dibujos simplificados (**C, D, E**) se entienden a primera vista sin complicaciones. Tinta en opalina.

El orden Crocodylia agrupa tres familias que se caracterizan principalmente por sus diferencias y variaciones craneales. Así, la familia Alligatoridae (que contiene a los comúnmente llamados caimanes y aligatores) posee un cráneo corto aunque robusto, las órbitas oculares se proyectan hacia arriba, las fenestras craneales son pequeñas, no así la mandibular que es muy amplia; la premaxila no forma un morro (tabique nasal), o en este caso está embebida (Fig. 31-C). La familia Crocodylidae (los llamados cocodrilos, estrictamente) posee elementos craneales más proyectados que la familia anterior, aunque las órbitas oculares ya no sobresalen tanto, la mandíbula posee una pequeña fenestra y el morro, formado por la premaxila es visiblemente redondo (Fig. 31-D). La última familia, Gavialidae (gaviales) presenta un hocico muy estrecho, es decir, la maxila y parte de los nasales se alargan demasiado y se comprimen lateralmente, al igual que la mandíbula; esto trae como consecuencia que la disposición de las órbitas oculares sea casi lateral, además de que el morro es más notable (Fig. 31-E). Esta modificación permite al gavial alimentarse casi exclusivamente de peces, sin embargo el resto del cuerpo es muy robusto por tener grandes reservorios de grasa.

Cráneo de Mamíferos

La clase Mammalia representa un linaje de gran éxito reproductivo desde su aparición en el Triásico tardío hasta la actualidad, además de conjuntar una gran variedad de formas y tamaños (se puede comparar la talla de una musaraña con la de una ballena, hasta la morfología de un murciélago con la de una jirafa); los grandes grupos de mamíferos vivientes pertenecen a dos subclases: Prototheria (que agrupa a los monotremas) y Theria (todos los placentados). Mammalia comparte entre sus integrantes características únicas como la lactancia, el pelo, diversos tipos de glándulas y capacidad de termorregulación, el cráneo sufre modificaciones serias respecto a los reptiles y formas anteriores, como reducción, fusión o cambio de posición de algunos elementos

óseos, el desarrollo de un oído medio compuesto por tres pequeños huesos, modificación de la musculatura para la dentición y expresión facial, un paladar doble y la mandíbula es reducida a un solo hueso: el dentario.

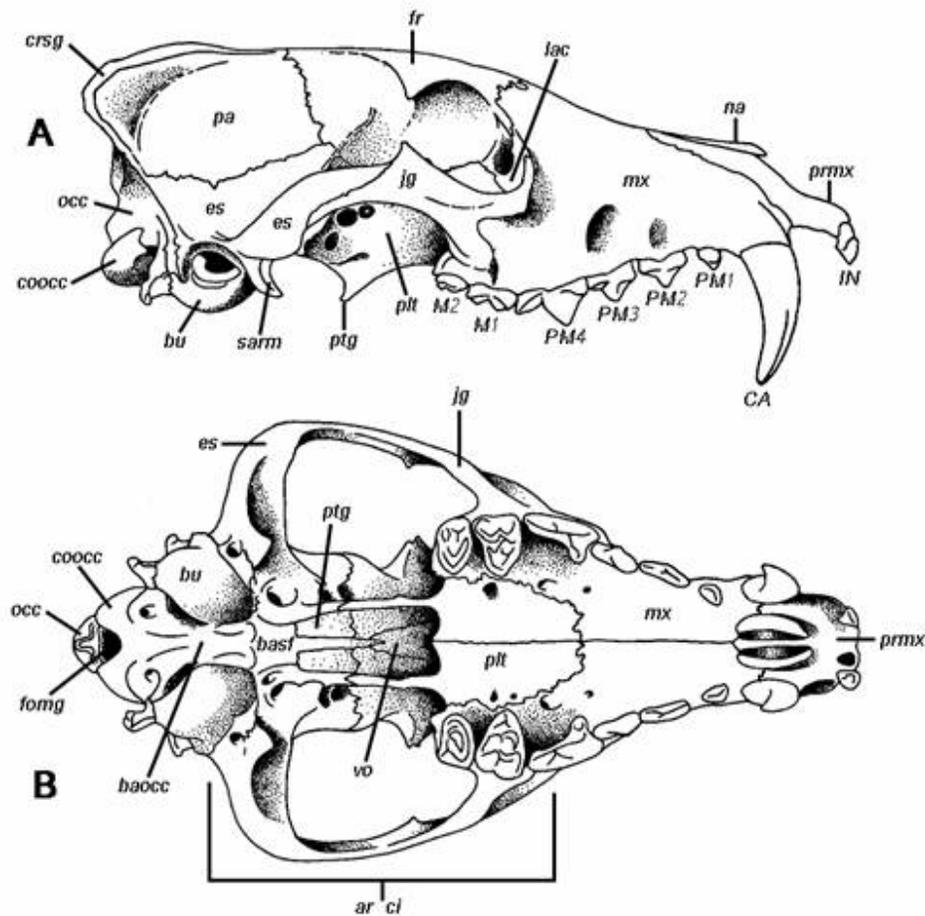


FIGURA 32. Cráneo de *Canis familiaris* (perro). **A.** Vista lateral. **B.** Vista Ventral o inferior (en algunas ocasiones, tratándose del cráneo se le puede llamar también vista palatar). Abreviaturas (se repiten para adecuarlas al cráneo de Mammalia, para fines prácticos): *ar*ci, arco cigomático; *baocc*, basioccipital; *basf*, basiesfenoides; *bu*, bulla auditiva; *coocc*, cóndilo occipital; *crsg*, cresta sagital; *es*, escamoso, *fr*, frontal; *fmg*, foramen magnum; *ig*, jugal; *lac*, lacrimal; *mx*, maxila; *na*, nasal; *occ*, occipital; *pa*, parietal; *plit*, palatino; *prmx*, premaxila; *ptg*, pterigoides; *sarm*, superficie articular para la mandíbula; *vo*, vómer. *IN*=incisivos; *CA*=caninos; *PM*=premolares; *M*=molares. En esta ilustración la sombra se aplica levemente y aún así se aprecia la profundidad en ciertas zonas craneales.

En el cráneo de los mamíferos (Fig. 32) se distingue un aumento de volumen en la caja encefálica que resguarda un cerebro de tamaño variable al depender el Orden. En la región posterior de esta zona los elementos occipitales se fusionaron y forman un hueso único: el

occipital, que puede ser desde redondeado y liso hasta presentar una cresta larga, rugosa y amplia para la inserción del ligamento nucal; en mamíferos "avanzados" varios elementos tienden a reducirse o desaparecer, tales como el septomaxilar, pre y postfrontales, supratemporal y cuadratojugal, además de los postparietales que se unen al occipital (Romer y Parsons, 1984). Los parietales son amplios y varían de forma en muchos individuos, pueden ser desde planos y lisos hasta redondeados y con una cresta sagital alta (principalmente en carnívoros y algunos primates) donde tiene lugar la inserción de los músculos temporales. Los huesos temporales presentan una variación importante, especialmente en su denominación, algunos autores los mencionan como escamosos (Romer y Parsons, 1984; Vaughan, 1988; Pough *et al.*, 2002), pero Schmid (1972) se refiere a estos huesos como temporales. Estos elementos son amplios en su base y se prolongan hacia fuera para formar, junto con el jugal, el arco cigomático que es una banda ósea que protege el globo ocular, es sitio de inserción de los músculos maseteros y corren dentro de él los músculos temporales que se dirigen a la mandíbula. El arco cigomático sobresale mucho del cráneo dependiendo el orden del que se hable, puede ser reducido o ausente en algunos insectívoros o cetáceos, o muy ancho y sobresaliente como en la mayoría de carnívoros (Fig. 33); el hueso temporal o escamoso forma bullas auditivas muy desarrolladas en Theria pero los marsupiales carecen de ella o cuando se presentan son muy reducidas y son formadas por otro hueso (Pough *et al.*, 2002), y en su borde inferior presenta una superficie cóncava y alargada para recibir el cóndilo de la mandíbula.

Los elementos anteriores del cráneo presentan gran variación entre grupos. Los frontales muchas veces se fusionan entre sí para originar un hueso único, el frontal. Generalmente son lisos y redondeados con extensiones laterales (apófisis orbitales) que forman parte de la órbita ocular.

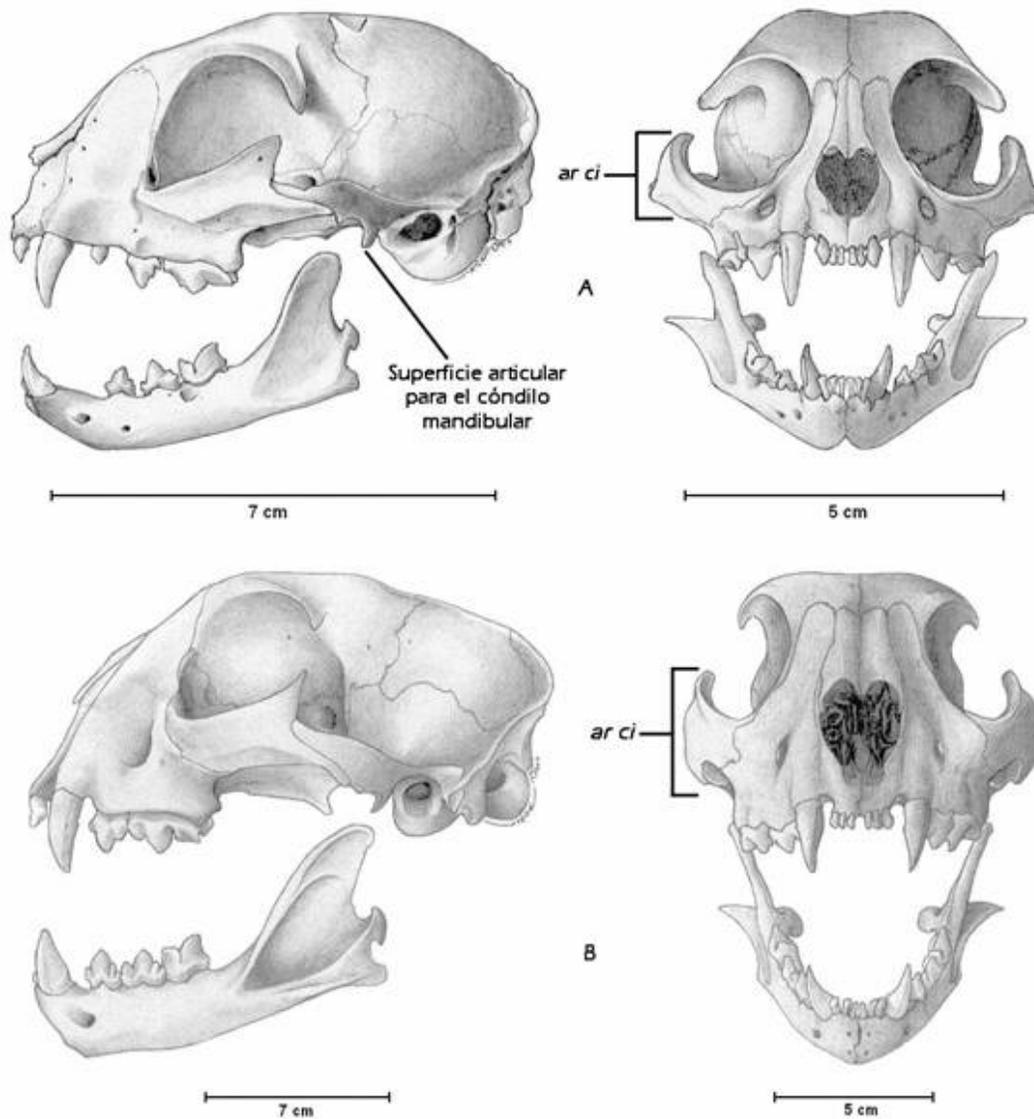


FIGURA 33. Cráneo y mandíbula en vista lateral y anterior de dos félidos, **A.** *Felis domesticus* (gato) y **B.** *Acinonyx jubatus* (cheetah). Abreviatura como en figura 32. Se compara la anchura y longitud del arco cigomático en las dos especies, ambas carnívoras pero con diferencia en su alimentación, al ser la primera domesticada y la segunda una especie silvestre. Lápiz sobre opalina.

Si bien las órbitas oculares no son huesos propiamente dichos, sí están formados por huesos (frontales, jugales, lacrimales, principalmente). La forma y el lugar en que se encuentren las apófisis orbitales de estos huesos (excepto lacrimales) así como el tamaño y su extensión influyen en la posición de los ojos en el cráneo y en los hábitos de vida del animal. La mayoría de animales herbívoros de gran talla poseen las órbitas oculares de manera semi frontal y lateral y esto hace

que los ojos apunten a direcciones distintas y el animal tenga una pobre y limitada percepción binocular y periférica; en cambio, los depredadores (de los órdenes Carnivora, Chiroptera y Primates, principalmente) tienen las órbitas dispuestas frontalmente y esto tiene una importancia primordial: cada ojo dispuesto al frente envía al cerebro una imagen ligeramente distinta una de otra en perspectiva y ángulo, entonces el cerebro al juntarlas percibe los objetos en tres dimensiones y se amplifica la imagen total y así se pueden estimar distancias y profundidades más exactas para atrapar la presa, maximizando la visión estereoscópica, observación periférica y el éxito en la caza (Fig. 34). Del mismo modo los frontales pueden ser cortos y horizontales o incluso tomar forma circular y dirigirse en un plano vertical. Debajo de estos huesos y colindando con el maxilar y jugal se encuentra el lacrimal, donde reposan las glándulas lacrimales.

Los huesos nasales, pareados, pueden alargarse demasiado (*Xenarthra*, *Insectivora*) o acortarse de manera radical (Primates superiores, principalmente); estos huesos tienen forma de rombo en *Metatheria* y son rectangulares en *Eutheria* (Pough *et al.*, 2002; Fig. 35). Los nasales en organismos depredadores terrestres, habitualmente son cortos y esto trae como consecuencia una amplitud mayor en las cavidades (o fosas) nasales para que el oxígeno entre en mayor cantidad en el proceso respiratorio y el animal optimice la velocidad en la captura de su presa, tal es el caso del cheetah o guepardo (Fig. 36), el mamífero más veloz que existe; usualmente existen huesos delgados llamados *turbinales* (mal llamados nasoturbinales porque los turbinales siempre se encuentran en la región nasal) destinados a una mejor distribución del aire y su calentamiento durante la respiración. Las fosas nasales pueden dirigirse hacia arriba y atrás en individuos con una trompa flexible, como tapires, cerdos hormigueros o elefantes.

La maxila es maciza y es sitio de inserción de los dientes caniniformes y la serie molar superiores, además de poseer un foramen amplio en su cuerpo (a veces llamado agujero

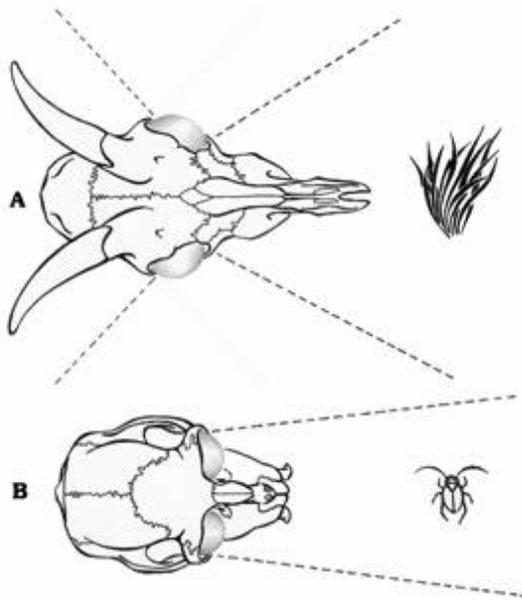


FIGURA 34. Estimación del campo visual entre un herbívoro y un carnívoro, vistos desde arriba. **A.** *Ovis capra* (cabra) **B.** *Allouatta palliata* (mono aullador). Para una mejor comprensión de la imagen, leer el texto correspondiente. Tinta con lápiz sobre opalina.

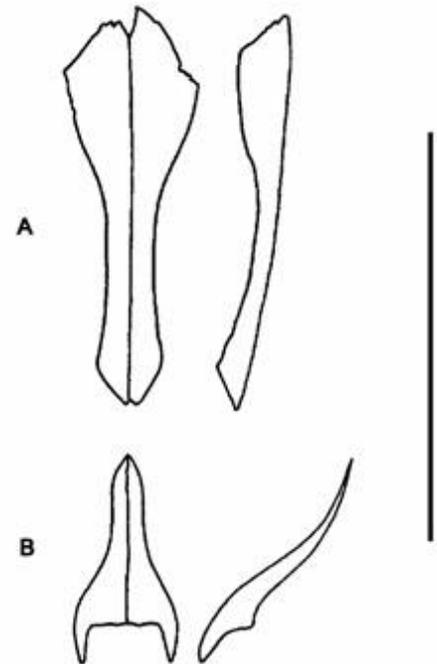


FIGURA 35. Huesos nasales en vista frontal y lateral de: **A.** *Didelphys virginiana* (zarigüeya, Metatheria) y **B.** *Felis domesticus* (Eutheria). Línea de escala=5 cm. Tinta sobre opalina.

infraorbital) en el cual pasa una rama del nervio trigémino que inerva los músculos maseteros (Vaughan, 1988). La premaxila suele ser pequeña, aunque en humanos no se presenta, y es donde se insertan los dientes incisivos superiores. El complejo palatino desarrolla un paladar secundario (derivado de Crocodylia), la premaxila y maxila, en su interior se pliegan hacia abajo formando la repisa situada debajo del paladar primitivo, los huesos vomerianos se fusionan y forman un solo hueso: el vomer; los pterigoides se reducen y proyectan hacia abajo, lateralmente a la región del esfenoides, los epipterigoides forman placas verticales a los lados de la cavidad craneal y forma parte de las alas del esfenoides (Romer y Parsons, 1984).

La mandíbula de los mamíferos tiene una historia evolutiva propia y por eso es de especial atención. En vertebrados anteriores (sinápsidos) la mandíbula presenta diversos huesos

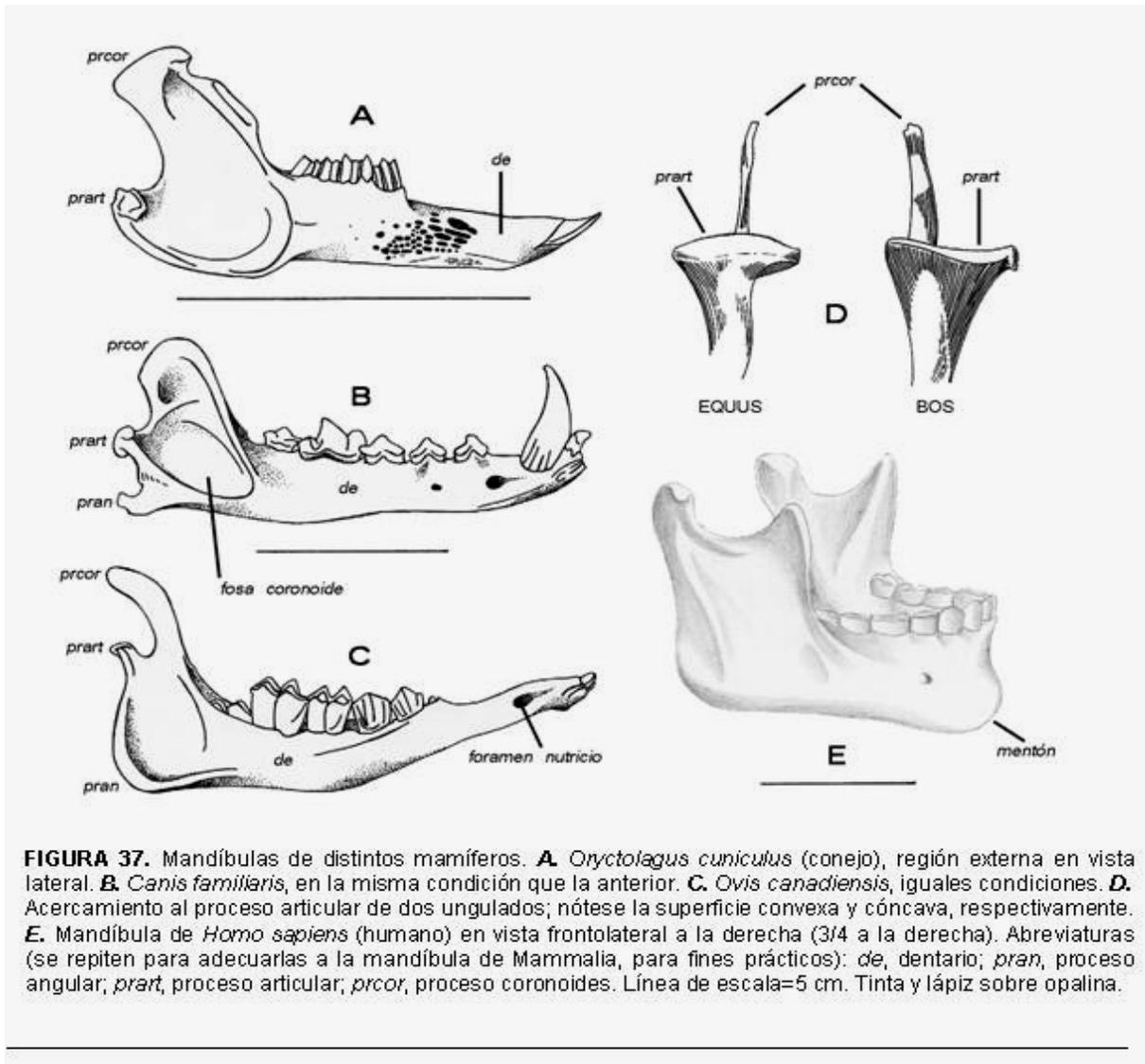
postdentarios en la región posterior principalmente en donde el dentario siempre ocupó la mayor parte, en cambio en Mammalia la mandíbula es formada sólo por el hueso dentario que, con el tiempo aumentó de tamaño y suprimió la función y talla de los demás elementos; los huesos postdentarios no desaparecieron del todo sino que pasaron a formar parte del oído medio interno en los mamíferos, modificados en tres huesecillos: el articular de la mandíbula se convirtió en el martillo, el proceso retroarticular del articular se modificó en el estribo y el cuadrado (del cráneo primitivo) es homólogo al yunque; todo este proceso de transformación y adecuación trajo como consecuencia



FIGURA 36. Cráneo y mandíbula de *Acinonyx jubatus*. Nótese la amplia fosa nasal. Lápiz sobre opalina.

una nueva articulación mandibular: anteriormente el articular (de la mandíbula) contactaba con el cuadrado (del cráneo), pero actualmente los mamíferos superiores articulan el dentario (mandíbula) con el escamoso (del cráneo) y los huesos de la antigua articulación formaron parte del sistema del oído interno (Romer y Parsons, 1984; Pough *et al.*, 2002).

En cuanto a la morfología de la mandíbula, a pesar de ser un hueso único presenta características de gran importancia (Fig. 37). El dentario varía en longitud y en anchura, rasgos que se identifican como una mandíbula esbelta (angosta) o profunda (ancha), según el individuo. A lo largo de su cuerpo puede presentar dos forámenes nutricios que irrigan los dientes y músculos correspondientes, un foramen anterior en su cara externa y uno posterior en su cara interna. La región posterior de la mandíbula ostenta tres principales procesos que la distingue de la mandíbula de otros amniotas: el *proceso coronoides* es el más notable y es donde se inserta el



músculo temporal, además de contar externamente con una excavación o fosa coronoide de profundidad variable dependiendo el grupo; esta excavación proporciona una mejor y más profunda inserción muscular de los maseteros para los animales que así lo requieran, como Carnivora y Rodentia, principalmente (Fig. 38); sin embargo en otros grupos se ausenta totalmente esta fosa. El cóndilo (mandibular) o *proceso articular* (también llamado estribo) es pequeño generalmente y se conecta al hueso escamosos en el cráneo, varía en su forma (puede ser cóncavo o convexo) pero siempre se presenta en todos los grupos. Por último, el *proceso angular* se muestra en grupos que involucran una gran actividad mandibular, como un apoyo adicional en la

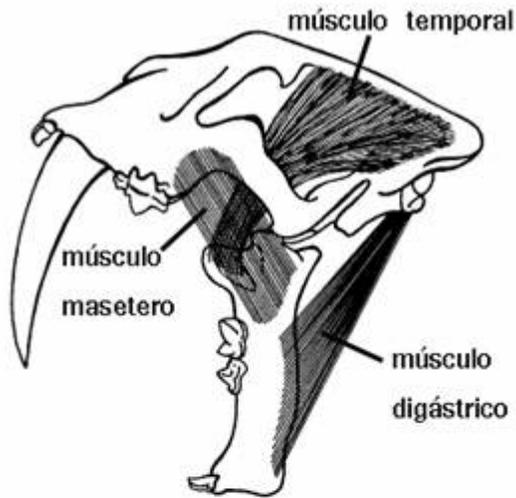


FIGURA 38. Cráneo y musculatura asociada en *Smilodon* (tigre dientes de sable). Nótese la amplia cresta sagital y extenso ángulo de apertura de la mandíbula. El ancho músculo temporal le confiere velocidad y mejor fijación a la mandíbula, al momento de cerrarse; el músculo digástrico permite aumentar la potencia en asociación con el músculo masetero. En este dibujo no se detallan los huesos del cráneo porque tienen una importancia secundaria en la ilustración. Tinta en opalina.

inserción muscular, tanto en potencia como en un uso constante, como Carnívora, Rodentia entre otros; en cambio en muchos Ungulados y en Primates superiores es totalmente ausente. Por otra parte la mandíbula consta de dos piezas separadas que se unen anteriormente mediante una *símfisis* mandibular, no así en Primates superiores en donde las dos partes se fusionan. En esta misma zona existe un rasgo presente únicamente en los homínidos actuales (*Homo sapiens*) que es el mentón (Fig. 37-E), una pequeña saliente dirigida hacia delante, también llamada barbilla. Este rasgo posiblemente se presenta como resultado de una reducción mandibular en la evolución humana

durante un periodo corto de tiempo, en donde el mentón es el lugar donde se acumuló o aglutinó tal reducción (Cabral-Perdomo, com. pers.).

Cráneo de Aves

El arreglo craneal en las aves (Fig. 39) es similar al de los reptiles archosaurios porque ambas clases comparten el mismo origen. Una característica en la mayoría de las aves es poseer huesos neumáticos (huecos o porosos, con cavidades que se llenan con aire) y su distribución varía mucho, se pueden encontrar cráneos neumáticos en casi todas las aves y se extiende hasta el resto del esqueleto apendicular, incluso en las falanges. En general la neumatización ósea es más desarrollada en las aves grandes que en las pequeñas (Pough *et al.*, 2002). La mayoría de individuos

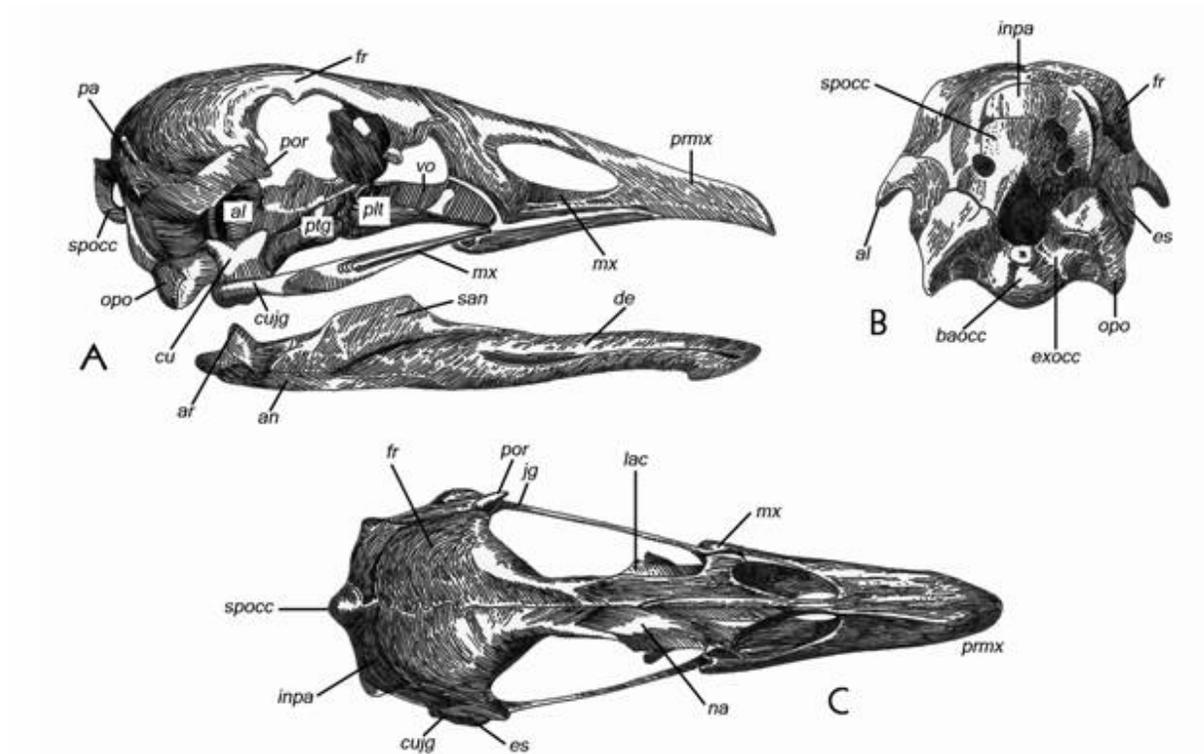


FIGURA 39. Cráneo y mandíbula de ansarino, *Anser*, en: **A.** Vista lateral, **B.** Posterior o caudal, **C.** Dorsal o superior. Abreviaturas como en figura 52 y 57, además de: *al*, alisfenoides; *an*, angular; *ar*, articular; *cu*, cuadrado; *cujg*, cuadradojugal; *exocc*, exoccipital; *inpa*, interparietal; *opo*, opistoótico; *pa*, parietal; *por*, postorbital; *san*, surangular; *spo*, supraoccipital. El sombreado por líneas produce un efecto similar al puntillismo pero no es tan definido como éste, sin embargo el efecto es satisfactorio. Tinta sobre opalina.

poseen fosas nasales simples y los turbinales son muy reducidos, a veces se presenta un paladar secundario completamente osificado, los frontales son redondeados por consecuencia del tamaño del cerebro y las órbitas oculares sobresalen a los lados del cráneo. La región basal posterior posee un basioccipital que ostenta un solo cóndilo occipital, rodeado por los exoccipitales, existe también un basisfenoides amplio cubierto ventralmente por un par de parasfenoides. La parte anterior del cráneo se compone de una premaxila alargada y los nasales son reducidos, los palatinos son largos y se fusionan hasta adelante con la maxila, el pterigoides es una larga barra ósea que tiene movilidad independiente, articulado al cuadrado y al septo orbital (Pough *et al.*, 2002). La parte posterior del pico óseo se compone de una maxila, cuadratojugal y jugal, que en conjunto tiene capacidad de movimiento (*cinesis*) sin llegar al nivel de algunas serpientes; al abrirse

la mandíbula el cuadrado se mueve hacia delante y empuja el pico superior hacia arriba y adelante (Fig. 40). Este mecanismo está mejor desarrollado en Psittaciformes (loros, papagayos) y se utiliza como característica para asignar superórdenes: Neognathae, y una modificación de este modelo pertenece al otro superorden, Paleognathae (Young, 1981). Por otra parte en la región temporal existe una fosa amplia conectando con la órbita ocular, a veces subdividida por procesos óseos que completan la órbita.

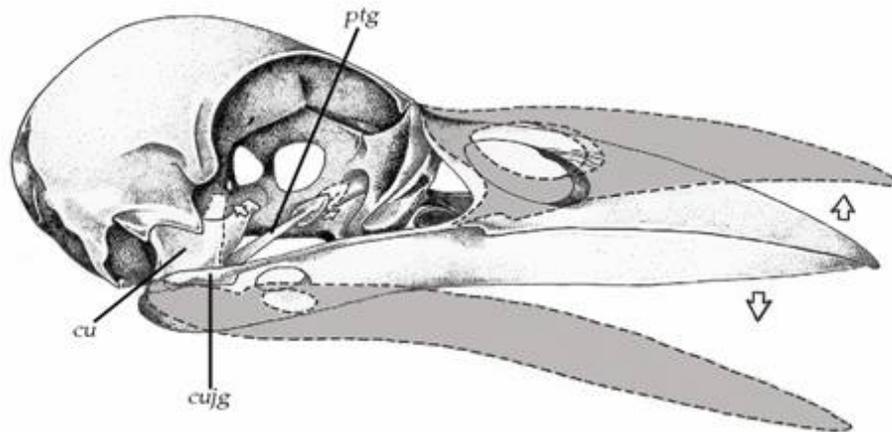


FIGURA 40. Cráneo y mandíbula de cuervo, *Corvus*, en vista lateral, mostrando el sistema móvil que permite la apertura del pico. El hueso cuadrado y pterigoides se mueven independientemente al abrirse el pico; el cuadrado se dirige hacia atrás para elevar la mandíbula, en tanto que el pterigoides se mueve hacia delante cuando el pico (premaxila y maxila) se eleva, como se muestra en la figura. Las zonas grises indican la posición del pico cuando éste se abre, y respecto a los huesos, las líneas punteadas revelan el lugar y dirección de los movimientos involucrados. El sombreado por puntillismo es más fino y resulta en una ilustración más definida. Abreviaturas como en figuras 32 y 39. Tinta sobre opalina, modificado en Adobe® Photoshop® Elements 2.0.

La mandíbula, al ser de origen archosauriomorfo presenta huesos representativos de esta subclase (ver figura 59). El dentario sigue siendo el elemento más prominente, el surangular existe y en la parte posterior se articula con el angular, siendo el hueso más pequeño el articular. Las aves actuales carecen de dientes y para disponer del alimento, en el pico cuentan con una cubierta córnea ligera pero suficientemente dura para su uso como herramienta al alimentarse, similar al que se presenta en Chelonia. La morfología del pico en las aves está plenamente asociada con los hábitos alimenticios especializados. La diversidad de picos es muy vasto (Fig. 41) y es el resultado de una alta especialización en la dieta, porque algunos individuos mantienen únicamente un tipo

de alimentación mientras que otros son capaces de adaptarse a la disponibilidad de otras fuentes de comida; estas modificaciones pueden ser un factor determinante en su éxito reproductivo y en su amplísima diversidad específica.

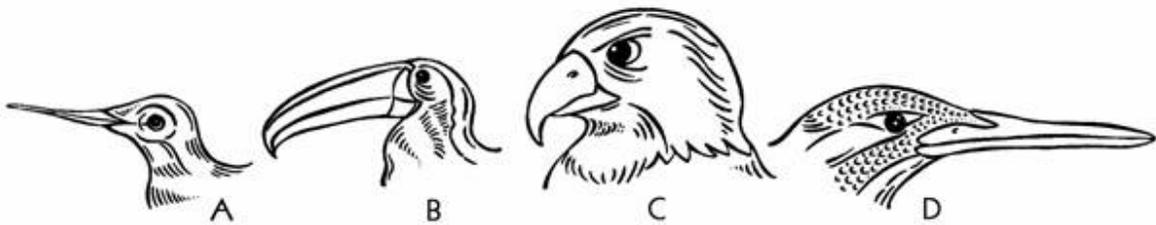


FIGURA 41. Variación en la forma de la cabeza en diversas aves. *A.* Colibrí. *B.* Tucán. *C.* Aguila. *D.* Martín pescador. Las ilustraciones simples cumplen el cometido de informar a primera vista, sin complicaciones. Tinta sobre opalina.

Esqueleto Axial

El esqueleto de un vertebrado puede ser dividido en dos regiones anatómicas principales para un mejor y más eficaz estudio, y que funcionan como sistemas coordinados: esqueleto axial y esqueleto apendicular. Las principales funciones del esqueleto axial, además de la protección a la médula, son proporcionar apoyo al animal, mantener el equilibrio en la locomoción y conservar el centro de gravedad en su posición natural respecto al plano de sustentación. La principal estructura axial es la columna vertebral, que generalmente reemplaza el notocordio en el adulto, se extiende hacia arriba en cada segmento para envolver y proteger la médula espinal; forma parte también, el cráneo, fundamental de este esqueleto. La columna está formada por vértebras. La estructura uniforme de las vértebras consta de un elemento fundamental: el centro o cuerpo vertebral que desempeña el papel de notocordio. Una vértebra típica consiste de: centrum (cuerpo), que rodea y a veces comprime el notocordio, arco neural que cubre la médula espinal conectado con otros arcos mediante ligamentos interneurales, arcos hemales sólo en la región caudal y como arcos neurales invertidos, así como procesos (proyecciones) en el cuerpo y entre ellos pueden estar *cigoapófisis*, *diapófisis* (proceso transversal), *parapófisis* e *hipoapófisis* (Alexander, 1986).

Para un mejor estudio la columna vertebral de los peces puede ser dividida en dos regiones principales: anterior (abdominal, torácica o precaudal) y posterior (caudal); sin embargo para expresar el número total de vértebras se utilizan tres regiones representando los elementos de la columna: cervical (o pretorácica), abdominal (o torácica) y caudal. La cantidad promedio de vértebras en cada región es de 4, 13-16 y 33-37 respectivamente (Rojo, 1991).

En los primeros reptiles y algunos actuales, los cuerpos vertebrales eran cóncavos en los extremos (condición anficélica). Si los cuerpos vertebrales tienen extremos planos entonces su condición será acélica; cuando la parte anterior es cóncava y la posterior convexa, la vértebra es

procélica y opistocélica cuando el caso es contrario. Entre cada una de las vértebras, hay un disco intervertebral, que es un cojín de cartílago fibroso que se deriva del notocordio (Fig. 42).

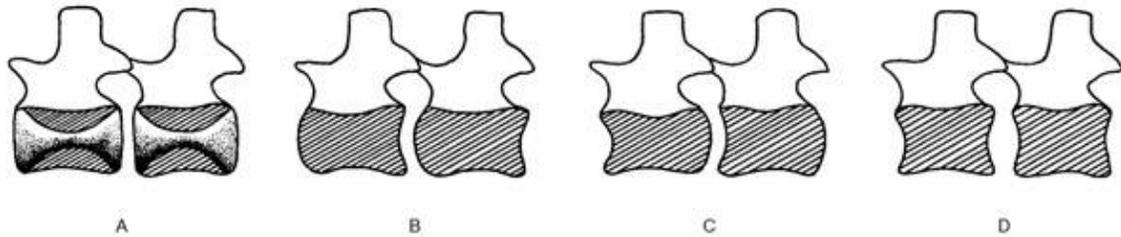


FIGURA 42. Secciones longitudinales de una vértebra típica. *A.* Vértebra acélica, *B.* Opistocélica, *C.* Procélica, *D.* Anficélica. Los dibujos simples como éstos por lo regular muestran un detalle generalizado de un aspecto determinado y no requieren información gráfica adicional para comprender el concepto a tratar. Tinta sobre opalina

En los vertebrados mayores se diferencian varias regiones vertebrales, reconocibles principalmente por la presencia o ausencia de costillas y la estructura propia de cada vértebra. Pero en los vertebrados menores puede haber costillas en todas las vértebras y sólo se distingue una serie posterior caudal en la cual la región ventral de la vértebra presenta arcos hemales.

En los vertebrados terrestres la relación de la cintura pélvica a la columna vertebral da por resultado una región sacra. En el cuello de los tetrápodos las costillas son todavía cortas o pueden unirse o faltar, así se establece una región cervical distinta de la dorsal correspondiente al tronco; de esta manera las vértebras dorsales pueden dividirse en torácicas con costillas y lumbares sin ellas (Romer y Parsons, 1984).

El total de vértebras en los peces es variable, pero los anfibios primitivos poseían unas 30 vértebras presacras (siete cervicales), una vértebra sacra, media centena de elementos caudales o más. En los anfibios modernos, los ápodos (*Gymnophyona*) pueden poseer 200 o más vértebras, mientras que las salamandras (*Urodela*) poseen una columna relativamente corta, las ranas (*Anura*) sólo tienen nueve vértebras más un urostilo que representa la fusión de las vértebras caudales (Fig. 43). Los reptiles primitivos tenían 27 vértebras presacras, dos vértebras sacras en la mayoría de los

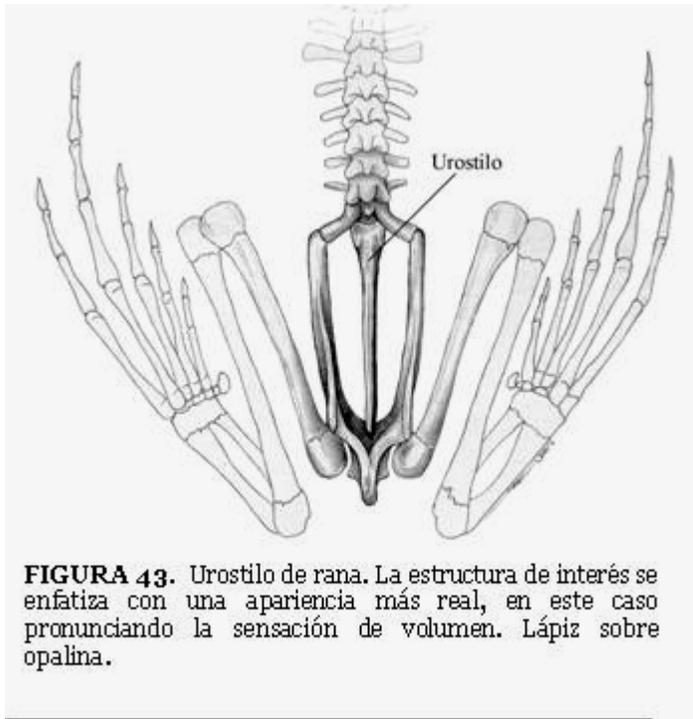


FIGURA 43. Urostyle de rana. La estructura de interés se enfatiza con una apariencia más real, en este caso pronunciando la sensación de volumen. Lápiz sobre opalina.

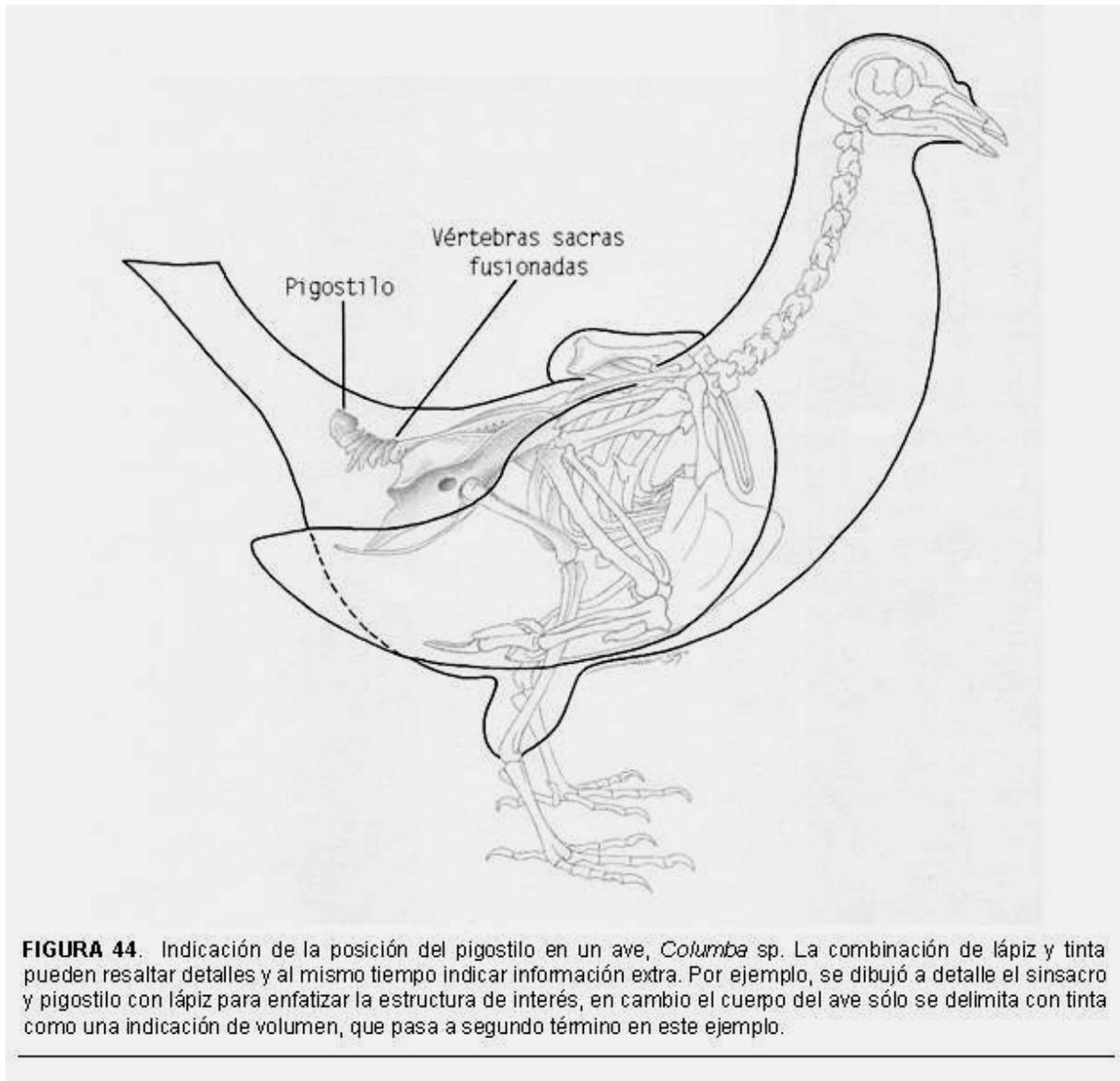
casos, y una cola muy larga, mientras que en serpientes (*Ophidia*) la columna es sumamente larga. En la cola de la tuátara (*Sphenodon*) y algunos saurios existe un *punto de ruptura* a la mitad de cada vértebra caudal, aquí, la cola puede ser desprendida (Romer, 1956).

Las tortugas existentes sólo tienen 18 vértebras presacras, 10 en el tronco y 8 en la región cervical, y en Cryptodira (suborden en que los individuos retraen

el cuello dentro el caparazón en forma de S vertical) las vértebras cervicales tienen articulaciones que permiten este tipo de plegamiento.

En las aves la región cervical es fácil de reconocer y es de longitud variable, las vértebras del tronco se fusionan, y en la región sacra las vértebras dorsales posteriores, caudales anteriores y el sacro forman un sinsacro alargado (Fig. 44). La cola corta ósea de un ave termina en un pigostilo formado por vértebras fusionadas, donde se fijan las plumas de la cola (Romer y Parsons, 1984).

La mayoría de mamíferos poseen siete vértebras cervicales, de 12 (13) a 30 vértebras dorsales (o torácicas), aunque el número de costillas varía bastante. Hay de 4 a 7 vértebras sacras (o lumbares) dependiendo el orden y la cola suele ser delgada y relativamente corta, teniendo desde cuatro vértebras caudales (fusionadas, en *Homo*) hasta más de 20 en algunas clases.



Independientemente a la región que una vértebra pertenezca, todas las vértebras tienen una serie de caracteres comunes, mientras otros caracteres presentes son particulares a las de cada región. Una vértebra posee una masa ósea o cuerpo y de su parte lateral se desprenden dos columnas llamadas *pedículos* que comunican al cuerpo con las apófisis transversas, apófisis articulares, apófisis espinosas y láminas vertebrales. Entre éstas últimas y el cuerpo vertebral se forma un orificio llamado agujero o *conducto vertebral*, en donde queda empaquetada la medula espinal (Quiroz Gutiérrez, 1959).

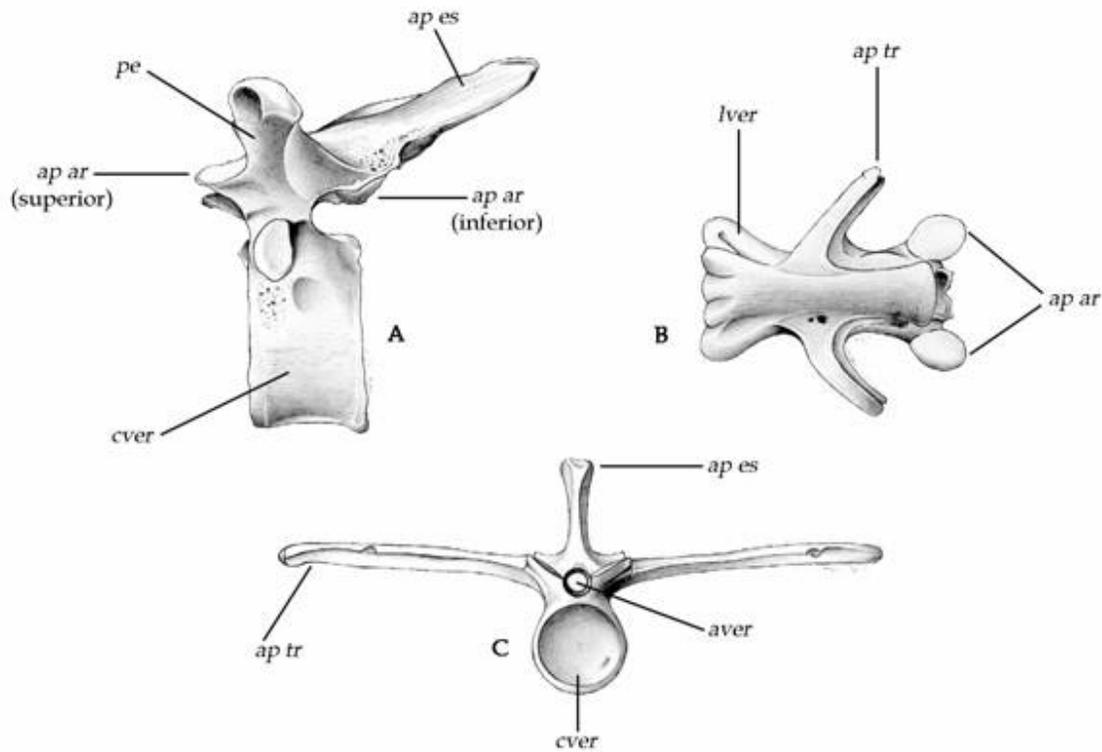


FIGURA 45. Morfología y nomenclatura básica de las vértebras. **A.** Vista lateral de vértebra dorsal de humano. **B.** Vista ventral de vértebra torácica de salamandra, *Ambystoma opacum*. **C.** Vista anterior de vértebra dorsal de *Alligator*. Abreviaturas: *ap es*, apófisis espinosa; *ap tr*, apófisis transversal; *ap ar*, apófisis articular; *pe*, pedículo; *cver*, cuerpo vertebral; *aver*, agujero vertebral. Las ilustraciones con detalle a lápiz acentúan la impresión de textura y volumen. Lápiz sobre papel Photo Glossy.

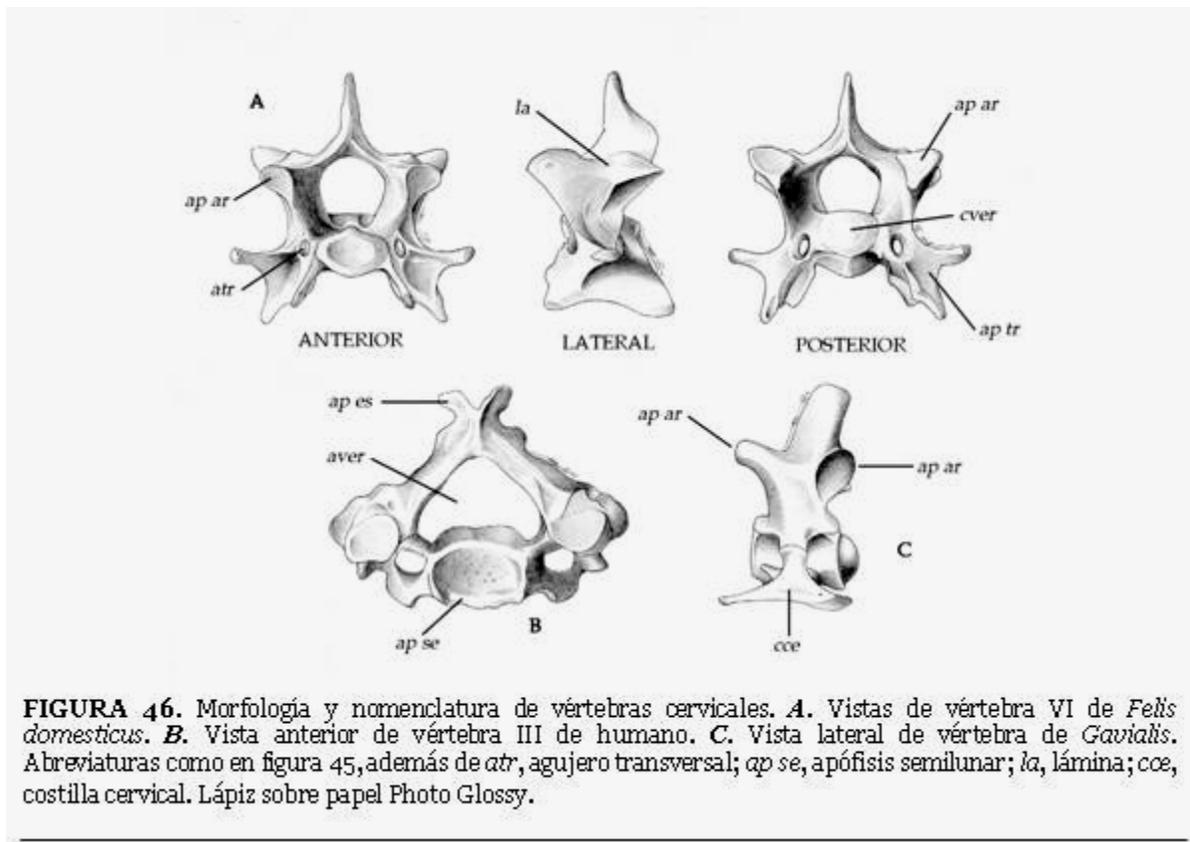
El cuerpo vertebral (Fig. 45) es relativamente cilíndrico con sus extremos excavados dependiendo del tipo de vértebra (anficclica, acélica, etc.). Las caras superior e inferior del cuerpo son horizontales y cóncavas pues la periferia es más saliente que el centro. El agujero vertebral es amplio y de forma subtriangular hasta circular, constituido por la cara dorsal del cuerpo vertebral y por la cara ventral de las láminas vertebrales. La apófisis espinosa, situada en la línea media, es una saliente ancha en su base y adelgaza progresivamente hacia el vértice; asimismo su cuerpo consta de dos caras laterales que contribuyen a formar el canal vertebral, un borde superior afilado y un borde inferior más ancho que el superior. Las apófisis transversas son dos y se sitúan a cada lado de la masa apofisaria, extendiéndose hacia fuera, se distinguen dos caras, una anterior y otra

posterior, dos bordes, superior e inferior, una base y un vértice. Las apófisis articulares son en número cuatro por cada vértebra, dos anteriores y dos posteriores. Las dos posteriores se articulan con las anteriores de la vértebra subyacente y las anteriores con las posteriores de la vértebra colocada por encima. Las láminas vertebrales son dos, derecha e izquierda y parten de la base de la apófisis espinosa hacia delante y afuera para unirse a las apófisis articulares y transversas. Tienen forma plana y cuadrangular con una cara anterior, una posterior, un borde superior y otro inferior y dos extremidades, interna y externa. Los pedículos vertebrales nacen de la parte anterolateral del cuerpo vertebral y limitando a los lados el conducto raquídeo. Con bordes superior e inferior que al conectarse en cada dos vértebras contiguas forman un *orificio de conjunción* (Quiroz Gutiérrez, 1959).

VÉRTEBRAS DE CADA REGIÓN

Los elementos que constituyen las vértebras de cada región poseen características particulares que permiten diferenciarlos de las demás. Es preciso mencionar que tales elementos pueden variar un poco dependiendo el grupo animal que se estudie, así como también en la presencia o ausencia de cierta región vertebral.

Vértebras cervicales (Fig. 46). El *cuerpo* es de forma elipsoidal y diámetro transversal regular que en su borde presenta *apófisis semilunares*. El *agujero vertebral* puede variar de subtriangular a circular y de diámetro amplio. La *apófisis espinosa* es corta y casi vertical, ancha en su base y en punta en su vértice, dependiendo el grupo animal puede presentar una bifurcación en el vértice (e.g. *Homo*). Las *apófisis transversas* están implantadas sobre el cuerpo vertebral y presentan un orificio en su base que es el *agujero transverso*, por donde pasa la arteria vertebral.



Por lo general, en la séptima vértebra los agujeros transversos son mínimos o definitivamente no se presentan. Las *apófisis articulares* superiores se dirigen postero-anteriormente de abajo hacia arriba y en algunos casos casi horizontal, las inferiores están dirigidas ligeramente de adelante hacia atrás y el borde de ambos es semicircular. Las *láminas* son más anchas que altas, dirigidas oblicuamente inferosuperiormente y hacia afuera. Por lo general, las primeras dos vértebras cervicales, el **atlas** y el **axis** respectivamente, tienen un diseño particular y, por lo tanto, una función específica.

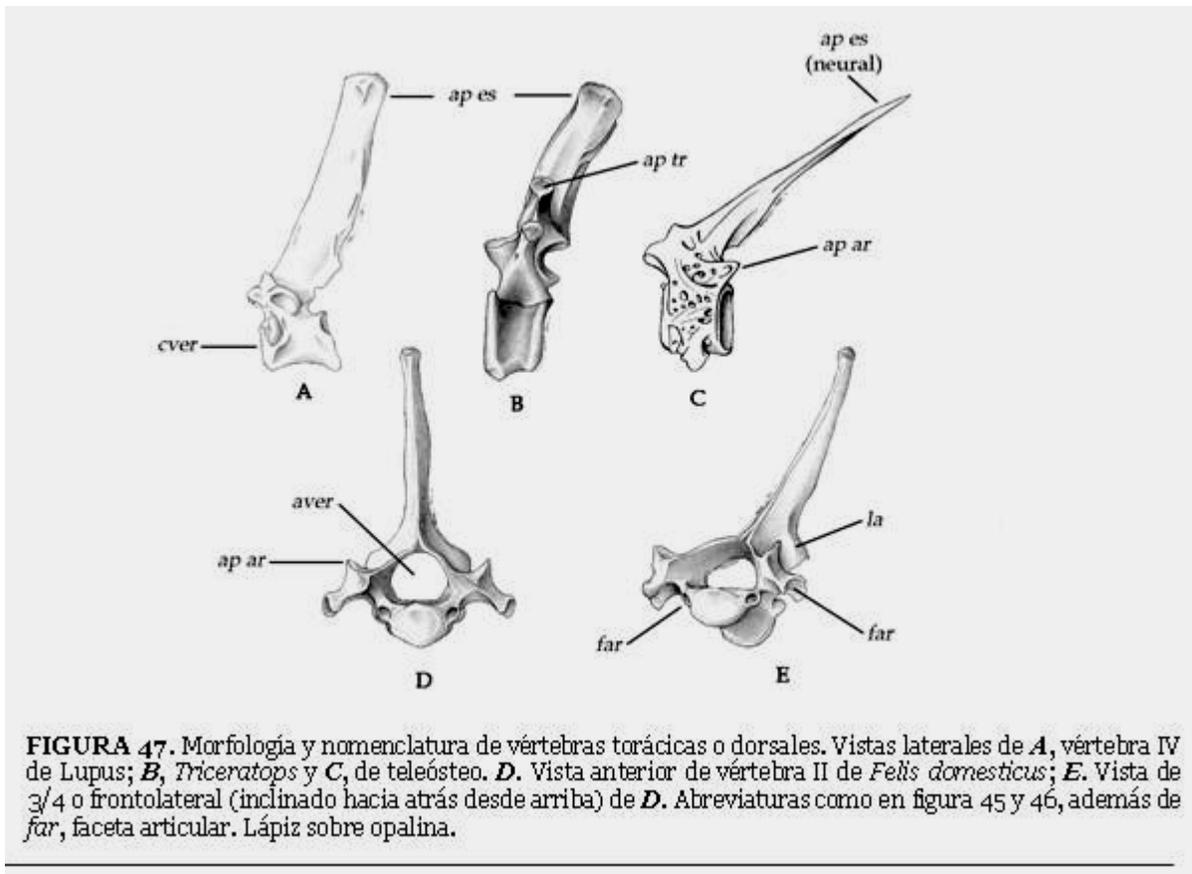


FIGURA 47. Morfología y nomenclatura de vértebras torácicas o dorsales. Vistas laterales de **A**, vértebra IV de *Lupus*; **B**, *Triceratops* y **C**, de teleósteo. **D**. Vista anterior de vértebra II de *Felis domesticus*; **E**. Vista de 3/4 o frontolateral (inclinado hacia atrás desde arriba) de **D**. Abreviaturas como en figura 45 y 46, además de *far*, faceta articular. Lápiz sobre opalina.

Vértebras torácicas o dorsales (Fig. 47). El *cuerpo* es casi cilíndrico con una excavación constante en su borde externo. Los bordes anterior y posterior de sus caras laterales presentan como característica pequeñas excavaciones llamadas *facetas* (o *caritas*) *articulares* donde se apoyan las tuberosidades de las costillas. El *agujero vertebral* tiene forma variable, dependiendo del número de vértebra que se trate, va desde subtriangular en las primeras, pasando por circular hasta llegar a una forma elipsoidal en las últimas. La *apófisis espinosa* es más larga que en todas las demás vértebras, generalmente tiene forma de pirámide triangular, ancha en la base y terminada en punta o con el vértice redondeado, aunque puede presentarse el caso que la apófisis sea rectangular. Se dirige infero-superiormente y de adelante hacia atrás, en las primeras vértebras la apófisis es casi vertical y se inclina hacia atrás gradualmente hasta las últimas vértebras, de igual forma, la longitud de la apófisis disminuye en las vértebras

posteriores. Las *apófisis transversas* son amplias, su dirección varía de paralela al eje medio a ligeramente antero-posterior, ostenta en la cara inferior del vértice una superficie articular redondeada para recibir la cabeza de la costilla correspondiente. Por último, las *apófisis articulares* son dos pares, uno anterior y otro posterior, las anteriores son rectangulares, pequeñas y planas, ligeramente convexas para contactar con las apófisis posteriores de la vértebra adyacente. Por esto, las apófisis articulares posteriores son casi del mismo tamaño y forma que las anteriores, sólo que un poco cóncavas para recibir las apófisis anteriores correspondientes, haciendo así una unión firme.

Vértebras lumbares (Fig. 48). El *cuerpo* es cilíndrico y más voluminoso que en las demás vértebras. El *agujero vertebral* es semicircular y menos amplio que en las otras vértebras. La *apófisis espinosa* está dirigida de adelante hacia atrás, es triangular y el vértice puede ser redondeado o plano; asimismo, en algunos casos es cuadrangular y amplia, pero no sobrepasa la longitud del cuerpo vertebral. Las *apófisis transversas* (o *proceso transverso*) son elementos

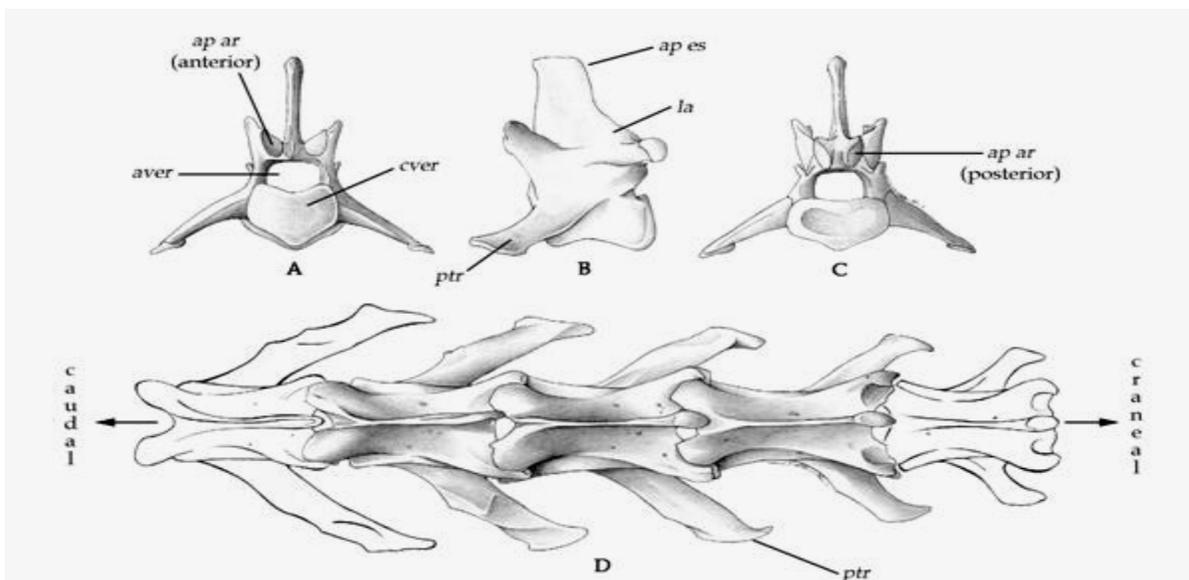
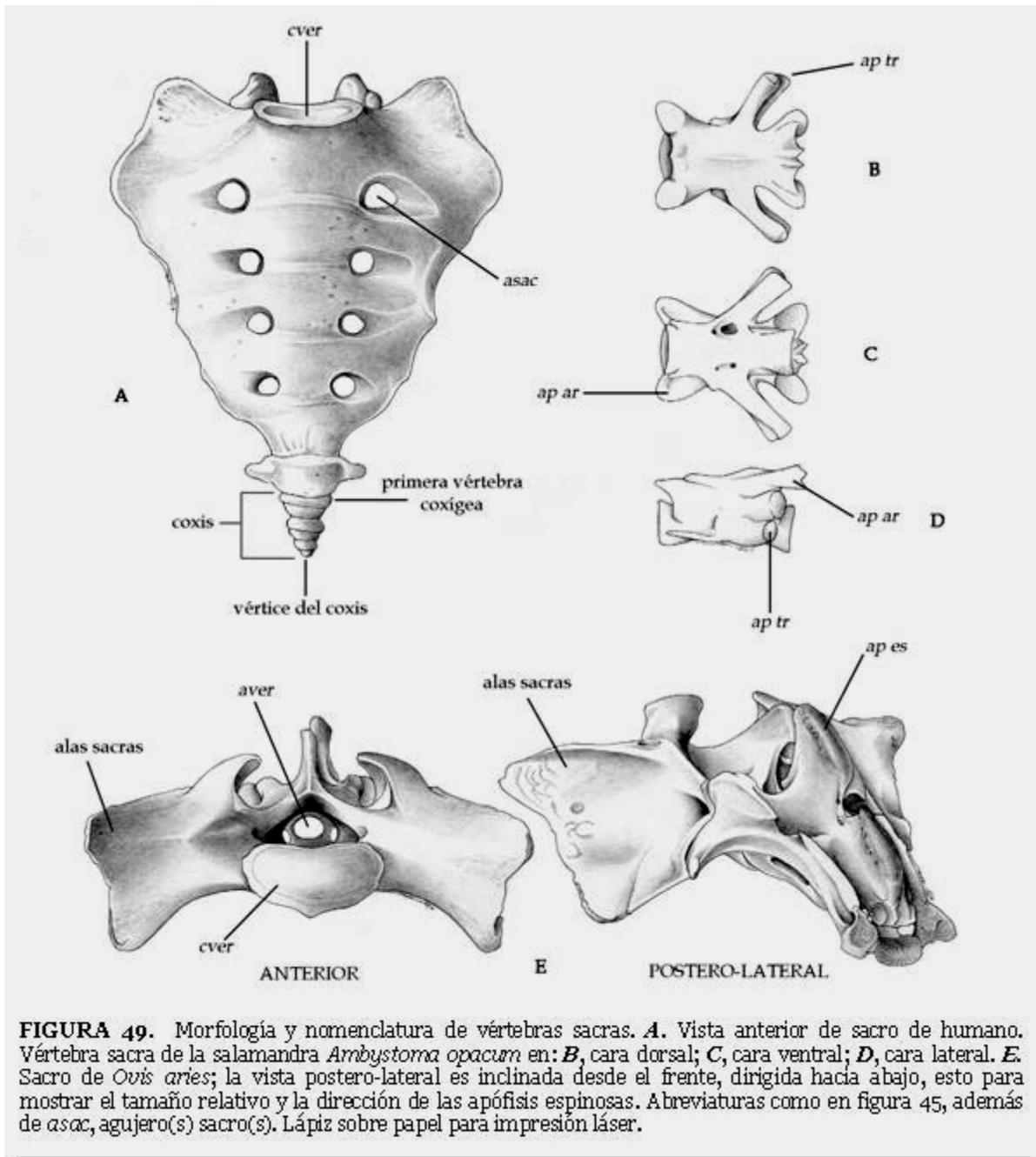


FIGURA 48. Morfología y nomenclatura de vértebras lumbares. Vértebra de *Lupus* en: **A**, vista anterior; **B**, lateral; **C**, posterior. **D**. Vértebras unidas de *Felis domesticus*. Abreviaturas como en figuras 45 y 46, además de *ptr*, proceso transverso. En **D**, las vértebras de cada extremo se delinean sin detalles para minimizar la jerarquía de las estructuras de estudio. Lápiz sobre opalina.

característicos de estas vértebras, comienzan en la parte media de los pedículos y están dirigidos postero-anteriormente y de arriba hacia abajo, tienen forma cuadrangular y varía en longitud dependiendo de la clase de animal. Las *apófisis articulares* posteriores describen una forma de canales de inserción horizontales dirigidos de adelante hacia atrás, en tanto que las anteriores son cóncavas y se dirigen postero-anteriormente. Las *láminas* son amplias, cuadrangulares y siguen la línea horizontal del cuerpo.

Vértebras sacras (Fig. 49). En vertebrados superiores estas vértebras están soldadas entre sí para formar un solo hueso, el sacro. Las características de estas vértebras en Amphibia y Reptilia ya se han mencionado. En Mammalia el sacro tiene forma triangular, el *cuerpo* vertebral es cilíndrico pero ligeramente comprimido dorso-ventralmente. Su región ventral es ligeramente cóncava, en su línea media se advierten los cuerpos de las vértebras fusionadas, se observan a sus lados los *agujeros sacros*, remanentes de las *apófisis transversas* de las vértebras. Su región dorsal es ligeramente convexa y sobresalen de su eje longitudinal las *apófisis espinosas*, en este caso muy pequeñas. El *agujero vertebral* es elipsoidal y va disminuyendo de tamaño hacia la región posterior del sacro. Las *apófisis articulares* sobresalen muy poco, al igual que las transversas; sin embargo, en la parte anterior del sacro se conservan amplias las apófisis articulares, adyacentes a la última vértebra lumbar. Del mismo modo en esta zona hay una modificación de las apófisis transversas de las vértebras más anteriores, originando unas apófisis amplias, circulares y dirigidas hacia fuera llamadas *alas sacras*, sitios que contactan la pelvis. En homínidos, junto con un solo hueso constituido por la fusión de las vértebras coxígeas (o caudales), el coxis, ocupa la parte más inferior de la columna vertebral. En las aves el sacro junto con las vértebras torácicas posteriores y caudales anteriores forma un sinsacro alargado.



Vértebras caudales (Fig. 50). Las vértebras caudales en peces varían demasiado al depender el grupo del que se hable, estas vértebras en algunos elasmobranquios presentan ventralmente *arcos hemales* y *espinas*, en teleósteos presentan *arcos hemales*, *neurales* y *espinas*, tanto *neurales* como *hemales*; en teleósteos avanzados la columna vertebral termina en un urostilo, que es una porción elevada del último centrum vertebral (Bond, 1979). En mamíferos, generalmente el

cuerpo es en las primeras vértebras semicircular y compacto, pero mientras se avanza a las últimas vértebras el cuerpo se va alargando hasta alcanzar una forma totalmente cilíndrica con los extremos más anchos que en su región media. De cualquier modo, las primeras vértebras

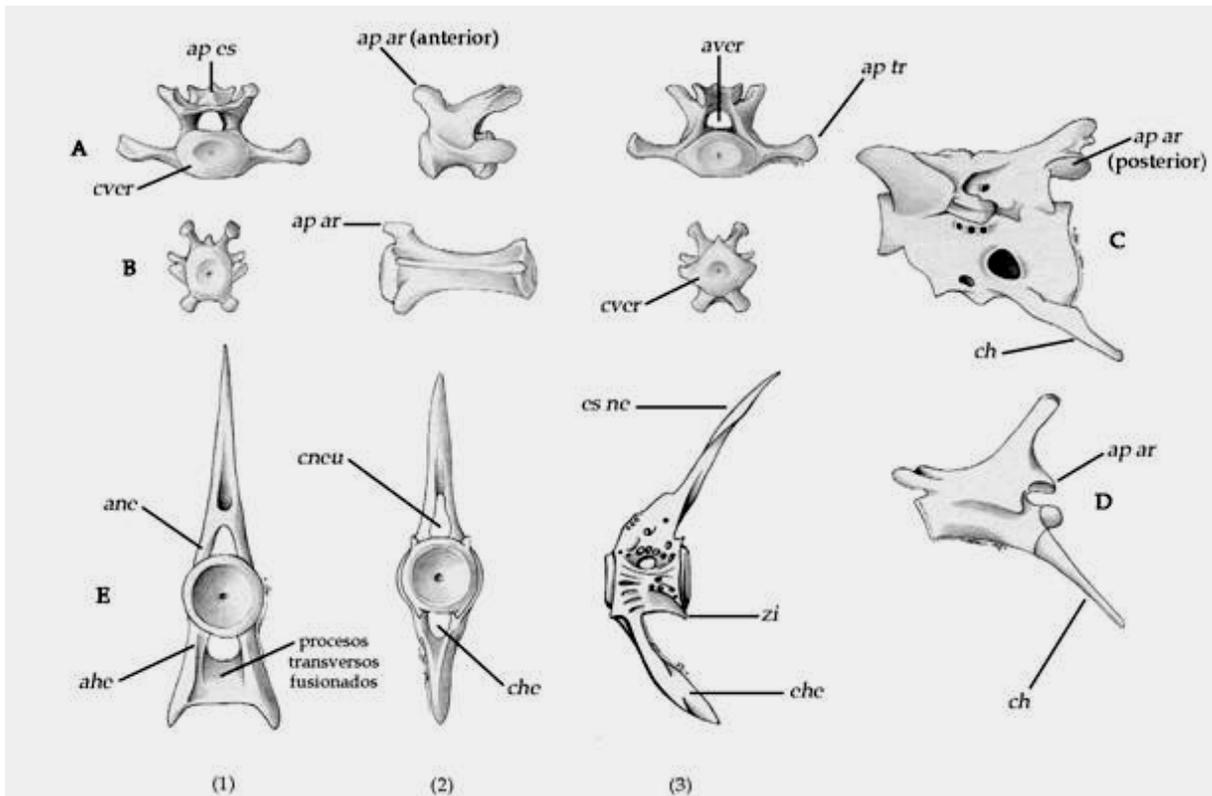


FIGURA 50. Morfología y nomenclatura de vértebras caudales. **A.** Vistas anterior, lateral y posterior de vértebra III de *Canis familiaris*. **B.** Vistas anterior, lateral y posterior de vértebra VIII de *Canis familiaris*. **C.** Vista lateral de primera vértebra caudal de salamandra, *Ambystoma opacum*. **D.** Cara lateral de vértebra de *Iguana*. **E.** Vértebras de teleosteo, vistas (1) anterior; (2) posterior y (3) lateral. Abreviaturas como en figura 45, además de *ch*, chevron; *ane*, arco neural; *ahe*, arco hemal; *cneu*, canal neural; *che*, canal hemal; *es ne*, espina neural (apófisis espinosa, igual); *ehe*, espina hemal; *zi*, cigoapófisis. Como información adicional el arco hemal se encuentra sólo en la región caudal, como un arco neural invertido. El arco hemal protege los vasos sanguíneos caudales. Los huesos llamados chevron en amniotas se consideran a veces reminiscencias de costillas primitivas. Las sombras utilizadas en estas ilustraciones acentúan la sensación de profundidad y le dan forma y textura al hueso dibujado. Lápiz sobre opalina.

(dependiendo el grupo) poseen una *apófisis espinosa* mínima y en algunos casos desaparece. Las *apófisis articulares* mantienen su forma aunque gradualmente van disminuyendo de tamaño hasta que sólo quedan remanencias. Lo mismo sucede con las *apófisis transversas*, en las primeras vértebras ya son delgadas, dirigidas hacia atrás horizontalmente, pero en las vértebras posteriores las apófisis terminan siendo incipientes o definitivamente ya no se presentan. En

el primer tercio del total de las vértebras, el *agujero vertebral* es elipsoidal y muy pequeño, pero en las restantes vértebras es suprimido totalmente. Es preciso mencionar que estas características están presentes en animales que tienen cola relativamente larga, como la mayoría de mamíferos, algunos reptiles y anfibios, aunque es obvio que pueden presentar ligeras deferencias inter e intraespecíficas. En aves el caso es muy distinto, ya que sus vértebras caudales se fusionan en dos grupos. Por un lado, de cuatro a seis vértebras caudales (anteriores) se fusionan para formar parte del sinsacro; las seis vértebras posteriores se unen en un corto hueso, el pigostilo, en donde se insertan las plumas de la cola.

Complejo Atlas-axis

En los peces, la cabeza y el tronco se mueven como unidad, pero en los vertebrados terrestres este movimiento es más elaborado; generalmente las dos primeras vértebras cervicales, atlas y axis respectivamente, son particularmente especiales para esta función (Fig. 51). En los anfibios, la superficie articular de la parte posterior del cráneo (el cóndilo occipital) se divide en dos

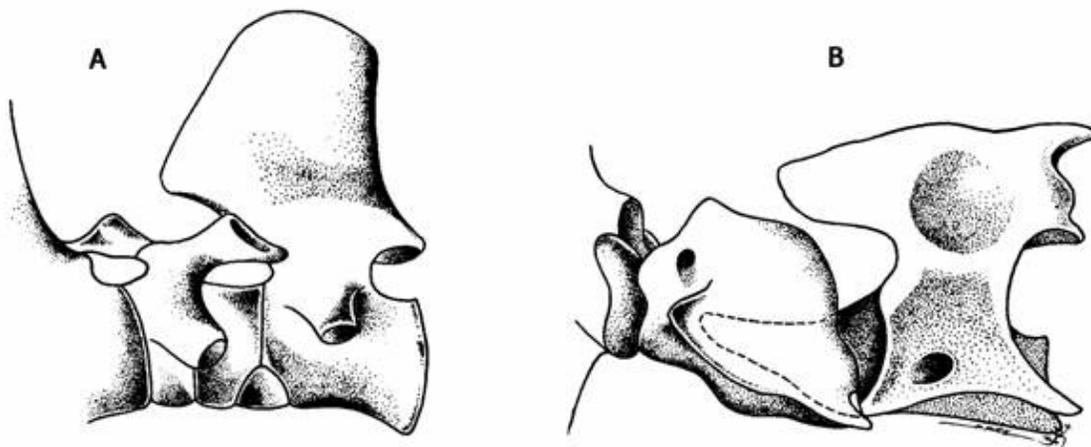


FIGURA 51. Comparación del complejo atlas-axis en **A**, reptil primitivo y **B**, mamífero. Las líneas punteadas en **B** indican que el proceso odontoides se encuentra insertado dentro del atlas. Tinta con sombra a puntillismo sobre opalina.

prominencias redondeadas, una en cada lado. El atlas presenta dos cavidades en situación correspondiente, de modo que la cabeza puede moverse hacia arriba y abajo con facilidad, aunque los movimientos laterales presentan dificultad. En la mayoría de los reptiles y las aves, el cóndilo es único pero el atlas y el axis se modifican para permitir mayor movimiento (Romer y Parsons, 1984).

El arco neural y el intercentrum del atlas forman un anillo sobre el cual la cabeza tiene límite de movimiento. En mamíferos con dos cóndilos el cuerpo del atlas se une con el axis en su apófisis o proceso odontoides, saliente que se aloja dentro del anillo del atlas y permite movimientos de rotación. Si se estudia embriológicamente el atlas y axis, se encuentra que el anillo del atlas se forma a partir del arco neural y el intercentrum de la primera vértebra. El axis, por el contrario, es más complejo; además de utilizar su propio arco y centrum en la formación de su cuerpo vertebral, el proceso odontoides incluye no sólo el segundo intercentrum, sino también el centrum de la primera vértebra (Romer, 1956). Generalmente, el axis tiene una apófisis neural o espinosa, modificada y bien desarrollada, donde se fijan los ligamentos que sostienen la cabeza, por lo que su superficie es rugosa.

La estructura típica del atlas y axis, al ser vértebras con especial diseño y función, puede diferir un poco dependiendo del animal de estudio. Aún así, comparten ciertas características en común todas las clases. Se describen con ayuda de ilustraciones la estructura de estas vértebras especializadas en cada clase de vertebrados principales.

Peces

La morfología propia de los peces no permite apreciar claramente una región cervical, es decir no se distingue un cuello, propiamente dicho; aún así, como se ha mencionado las regiones vertebrales de los peces se resumen en tres: cervical, abdominal y caudal. Existe un atlas y axis en

peces óseos (*Osteoichthyes*), no así en las dos clases restantes: *Cephalaspidomorphi* (*Agnatha*, peces sin mandíbula) y *Chondryhtyes* (peces cartilagosos; Lagler, *et al.*, 1977). El diseño de estas vértebras sigue un patrón que se repetirá en las demás categorías taxonómicas de vertebrados superiores. El atlas se acopla directamente en la región occipital del cráneo, tiene regularmente una fuerte espina neural que refuerza la unión de la columna con el cráneo (Fig. 52). La forma del atlas permite que el axis, en forma de anillo se articule en él y forme una unión rígida, para que el cráneo y en conjunto con la región anterior de la columna vertebral ejerzan una movilidad como unidad.

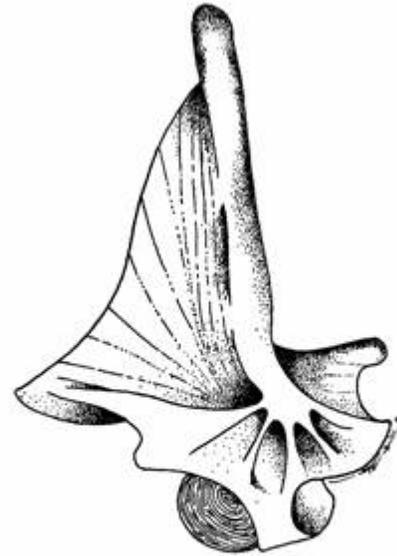


FIGURA 52. Atlas de bacalao, *Gadus* sp. Solo se muestra el ejemplar como medio de referencia. Tinta con sombra por líneas y puntos sobre opalina.

Amphibia

Los tres representantes (*Gymnophiona*, *Urodela* y *Anura*) de esta clase carecen de un axis, propiamente dicho, y la primer vértebra cervical, el atlas, ostenta la forma de anillo que comparte y mantienen las demás clases de animales. En las salamandras (*Urodela*) la región cervical consta de una sola vértebra, el atlas, que carece de costillas. Al contrario de otros anfibios, en este orden el atlas posee cuatro puntos de articulación con la región posterior del cráneo; hay dos facetas articulares que reciben al par de cóndilos occipitales. El proceso odontoides se proyecta dentro del foramen mágnium del cráneo y por medio de facetas articulares adicionales, que contactan las paredes internas del foramen, el atlas mantiene una mejor fijación al cráneo. En las cecalias (*Gymnophiona*), al igual que las salamandras la columna vertebral se diferencia en regiones para un mejor estudio. El atlas es incluido en la región cervical y posee grandes facetas articulares para

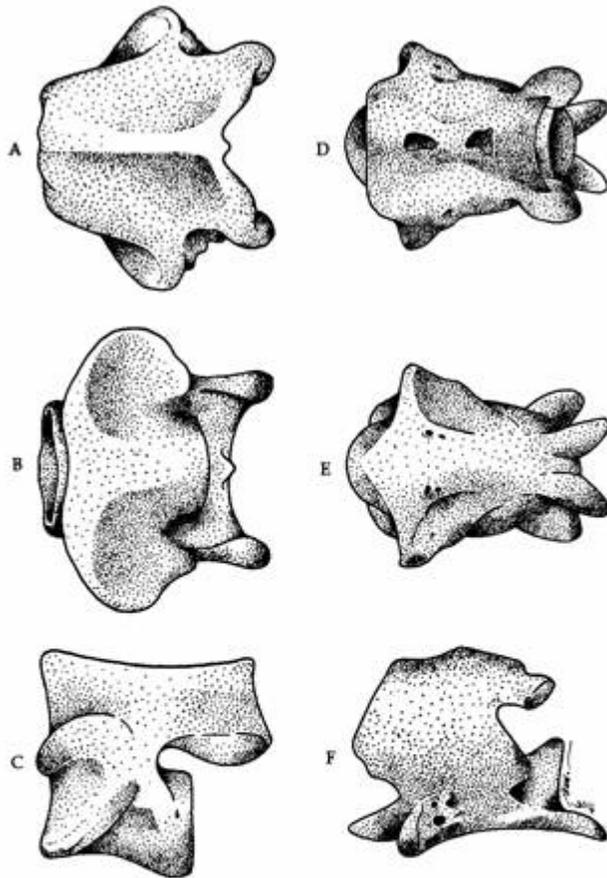


FIGURA 53. Atlas de anfibios. *A, B y C*, atlas de cecilia, *Dermophis mexicanus*, en vistas dorsal (o superior), ventral (o inferior) y lateral, respectivamente. *D, E y F*, atlas de salamandra, *Ambystoma opacum*, en iguales vistas, respectivamente. Ilustraciones simples cuya sombra es representada por puntos de diferente diámetro y en ciertas zonas. Tinta sobre papel de impresión láser.

ensamblarse a los cóndilos occipitales; estas facetas son denominadas *cotilos atlantales* (Duellman y Trueb, 1994). Esta vértebra carece de una apófisis nucal ventral, así como de procesos transversos y un proceso odontoides (Fig. 53). Por último, la columna vertebral de los anuros (ranas y sapos) se divide en tres regiones: presacral, sacral y postsacral. La primera región consta de cinco a ocho vértebras, en la cual el atlas es la más anterior, por esto también se le puede llamar vértebra *Presacra I*. El atlas posee, como los anteriores ejemplos, un par de cotilos atlantales, propios para los cóndilos occipitales, carecen de un proceso odontoides y de procesos transversos en la mayoría de anuros, aunque existe una

tendencia a fusionar las vértebras presacras y reducir su número, por esto en algunos casos la vértebra *Presacra I y II* se fusionan y el atlas puede presentar procesos transversos (Duellman y Trueb, 1994).

Reptilia

El complejo atlas-axis en esta clase es similar al presentado en mamíferos. El intercentrum del atlas y los arcos neurales forman un anillo con una depresión hueca para la recepción del cóndilo

occipital, usualmente esférico. El intercentrum es un semicírculo amplio y los dos arcos neurales modificados se reducen. El arco neural del atlas mantiene remanencias del desarrollo de una espina pero retiene un proceso cigoapofisario posterior delgado y facetas costales. El centrum del atlas es circular, corto y deprimido ventral, posterior y anteriormente para los intercentros adyacentes. Ventralmente puede alcanzar apenas el margen ventral de la columna. En el axis, el centrum y el arco están regularmente unidos con firmeza y es parecida a la vértebra posterior, excepto por la espina neural que es grande y alargada para soportar la cabeza. Dentro de Reptilia existen varias etapas en la fusión del centrum del atlas, el intercentrum y el centrum del axis, para formar el proceso odontoides, que son comparables a lo que ocurre con mamíferos. El axis es una masa ósea grande con arco y centrum fusionados y con una gran espina neural o apófisis espinosa (Fig. 54). La estructura general y función del complejo atlas-axis, en reptiles, como también en mamíferos, es común en todos los individuos; no obstante, existen diferencias significativas en distintas especies por su misma condición. En *Charettochebys* (Chelonia: Pleurodira), el proceso odontoides se fusiona casi completamente con el intercentrum del atlas y sus arcos; el axis en quelonios siempre mantienen muy desarrolladas las cigoapófisis posteriores. En *Sphenodon* (Rynchocephalia) hay una formación parcial del odontoides, por lo que el centrum del atlas se fusiona con el siguiente intercentrum y parcialmente con el centrum del axis. El complejo atlas-axis en serpientes se modifica de tal forma que los arcos neurales y el intercentrum del atlas tienden a fusionarse firmemente en un anillo, análogo en mamíferos; las cavidades del arco y odontoides son bien desarrolladas dentro del anillo y parcialmente separadas. En cocodrilos, el centrum del atlas e intercentrum del axis se fusionan en un solo elemento combinado; este puede permanecer libre o fusionarse con el centrum del axis para formar un odontoides (Romer, 1956).

En numerosos reptiles se encuentra una pequeña estructura como elemento adicional del complejo atlas-axis: el *proatlas*. Consiste en un par de unidades óseas con forma de **V** invertida, en

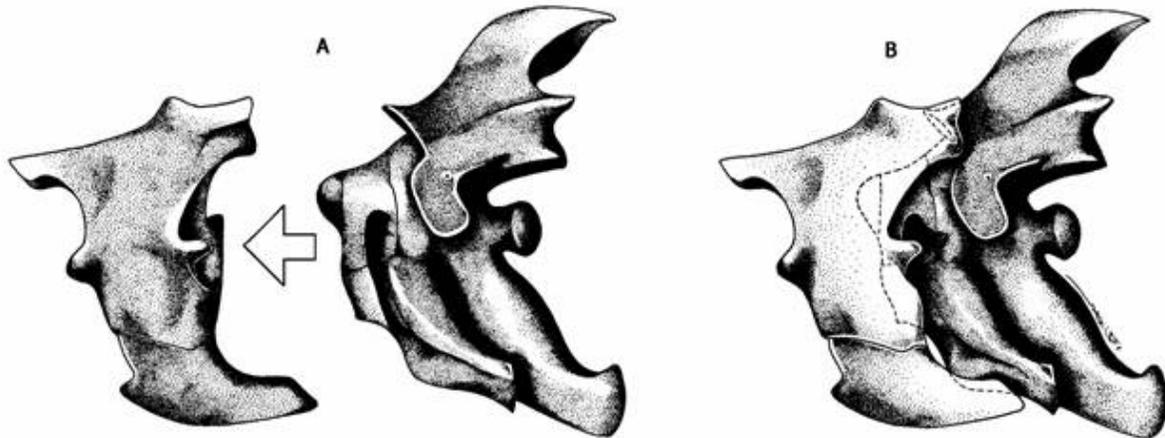


FIGURA 54. Vista lateral del atlas y axis de *Python*. **A.** Atlas (izquierda) y axis separados. **B.** Atlas y axis conectados. Las líneas punteadas en **B** señalan la región del axis que se conecta al atlas; al usarse dos planos de observación, las líneas punteadas revelan aspectos que se ocultan tras de un primer plano, y se percibe un efecto de profundidad. Tinta a detalle con sombra en puntos sobre opalina.

la posición de los arcos neurales, anterior a los elementos del arco neural del atlas. El extremo posterior de cada **V** se articula con el arco del atlas, el anterior se articula con el elemento exoccipital del cráneo. Es muy probable que la existencia de esta estructura fuera considerada más ampliamente en reptiles primitivos que en los actuales; las malas condiciones de preservación, colecta y preparación probablemente definan la rareza relativa de estos elementos en especímenes fósiles (Romer, 1956).

Mammalia

Las tres funciones del atlas en mamíferos, como en reptiles, son principalmente soportar el cráneo, permitir el movimiento de rotación y proteger la médula espinal, aunque en esta clase el movimiento de la cabeza es un poco más elaborado. El axis (antiguamente llamado *epistrofeo*) completa el sistema de amplio movimiento de la cabeza. Ambas vértebras carecen de cuerpo por tener un diseño distinto y especial que las diferencian de las demás. La estructura y delineación del atlas y axis es similar que en reptiles, con algunas pequeñas diferencias. El atlas (Fig. 55) tiene forma de anillo con dos pares de articulaciones anterior y posteriormente, las primeras son

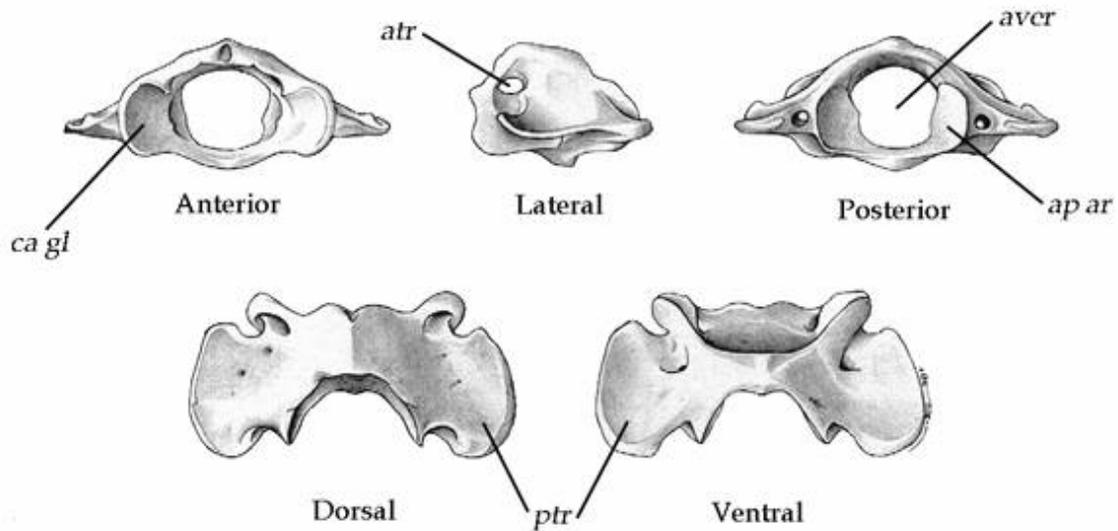


FIGURA 55. Atlas de *Felis domesticus*. Abreviaturas: *atr*, agujero transversal; *aver*, agujero vertebral; *ca gl*, cavidad glenoidea; *ptr*, proceso transverso. Estas ilustraciones realizadas con lápiz permiten apreciar el volumen, textura y dimensiones del objeto de estudio. Lápiz sobre opalina.

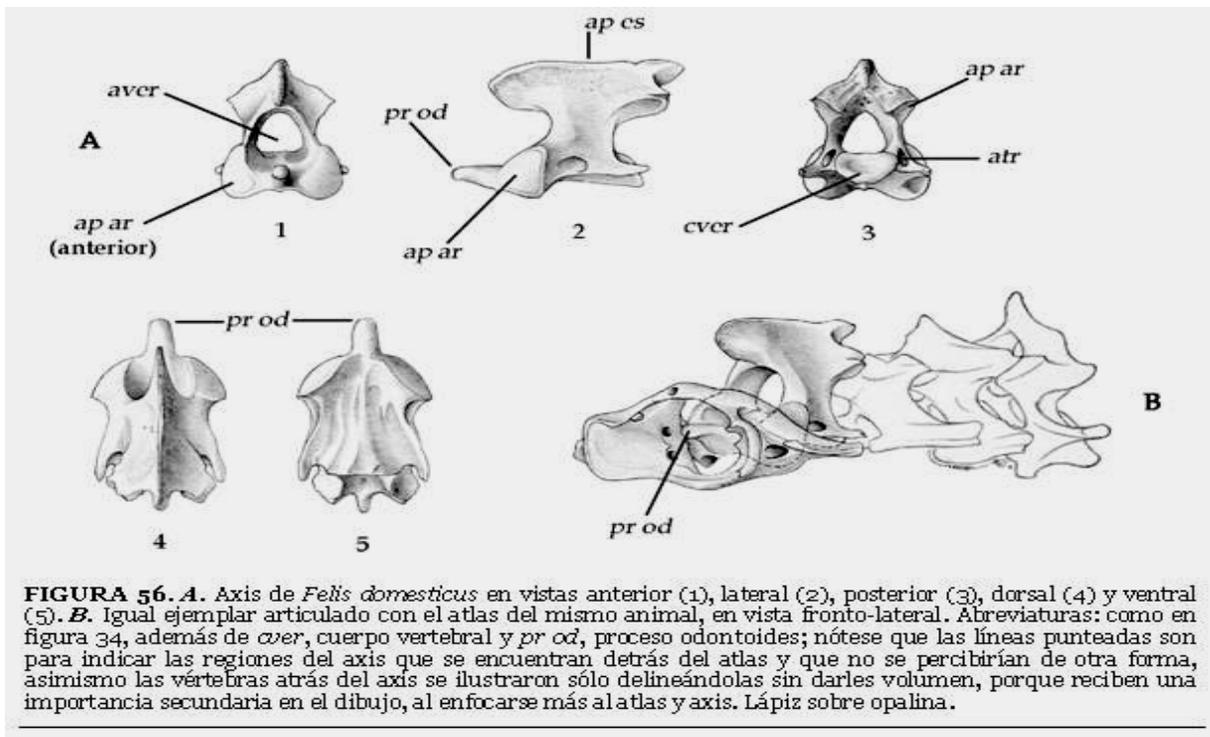
semicirculares y totalmente convexas para recibir los cóndilos occipitales, en este caso dos y unirse con absoluta firmeza; estas articulaciones reciben el nombre de *cavidades glenoideas*; las posteriores son circulares y menos cóncavas, esto es para adoptar la superficie articular del axis y permitir un mayor rango de movimiento. El agujero vertebral es extenso y casi siempre circular, por la cercanía con el foramen mágnum del cráneo, donde sale la médula espinal. A cada lado de su masa ósea se presentan procesos transversos que varían de forma dependiendo el orden y los hábitos vitales del animal en cuestión. Por ejemplo, en Carnivora los procesos transversos son cuadrangulares, amplios y casi paralelos al plano de sustentación; esta amplitud y la superficie rugosa están ligadas a la actividad depredadora de este orden, por lo que se ve involucrada gran cantidad de músculos y ligamentos craneales que se insertan en los procesos transversos para resistir el peso del cráneo y sus potentes movimientos. Sin embargo, en *Homo*, el arreglo de esta vértebra se modifica: es muy angosta, parecida a un anillo delgado, ambos pares de superficies articulares son amplias (comparadas con otros órdenes), los procesos transversos se reducen bastante; estas modificaciones obedecen a la postura erguida que adoptó el ser humano, para

tolerar mejor el peso del cráneo tener un dominante control del movimiento craneal. En otros animales con casi nula actividad depredadora (*Artiodactyla*, *Perissodactyla* entre otros) la amplitud y forma de los procesos generalmente disminuye y el diseño de la vértebra se hace más compacto y los forámenes transversales se vuelven más anchos.

Por otro lado el axis (Fig. 56) como parte complementaria del sistema de soporte de la cabeza completa el empaquetamiento de la primera porción de la médula espinal al acabar en un anillo sólido. El proceso odontoides varía de forma según el orden, al igual que la apófisis vertebral. Ostenta dos pares de superficies articulares, anterior y posterior; el primer par es amplio y semicircular para acoplarse a las carillas articulares posteriores del atlas, aunque con pequeñas diferencias entre órdenes, mientras que las articulaciones posteriores se encuentran en la región superior del agujero vertebral y dispuestas en un ángulo oblicuo y simétricamente contrario una de otra. Se empieza a apreciar el cuerpo vertebral y los agujeros transversos. La apófisis espinosa es la estructura que más varía en mamíferos respecto a ésta vértebra. Puede ser cuadrangular de forma piramidal, semicircular, ovalada, plana, mínima, delgada entre otras formas, pero la característica común es que la superficie es rugosa y ligeramente cóncava en ambos lados, esto para una mejor inserción y sujeción de músculos y ligamentos.

El proceso odontoides en el caballo y la cebra (*Equus*) es amplio, convexo y es notoriamente visible una forma cilíndrica terminada en punta, al igual que *Lupus*, *Lepus*, *Canis*, *Felis* entre otros géneros. En muchos artiodáctilos y perisodáctilos el proceso odontoides tiene forma semicircular y ancho para un mejor contención en el anillo del atlas, pero no es muy largo; por el contrario en algunos carnívoros y roedores este proceso, si bien es diminuto y angosto, sobresale mucho del cuerpo vertebral (Schmid, 1972).

Por otra parte en *Equus* las superficies articulares son amplias y convexas, en *Bos*, *Cervus*, *Ovis* y otros, tales carillas articulares son casi rectas, dan la apariencia de estar fusionadas y abarcan en



semicírculo casi la mitad de la altura del axis, dependiendo el orden del que se hable (Fig. 57). En cuanto a la longitud total, se considera que es proporcional al tamaño del cráneo; mientras un cráneo es más grande, el axis será más largo, esto para aminorar el peso de la cabeza y distribuirlo por la superficie vertebral. Por ejemplo *Equus* con un prominente y largo cráneo, corresponderá un vértebra larga, toda proporción guardada y con sus rigurosas excepciones como la jirafa (*Giraffa camelopardalis*), que si bien tiene un cráneo relativamente pequeño, sus vértebras cervicales son muy alargadas.

Aves

El complejo atlas-axis en las aves está diseñado para soportar el cráneo y darle movilidad, lo mismo que en las demás clases; el cráneo de las aves tiene un solo cóndilo occipital y en consecuencia el atlas y axis tienen un diseño particular. La primera vértebra forma un anillo rígido y compacto, en este caso de forma subtriangular, en donde las cavidades glenoideas se modifican

para recibir un solo cóndilo; el axis varía en forma al depender la especie, y es morfológicamente más pequeño que en cualquier otro vertebrado, a excepción de las ranas o algunas tortugas

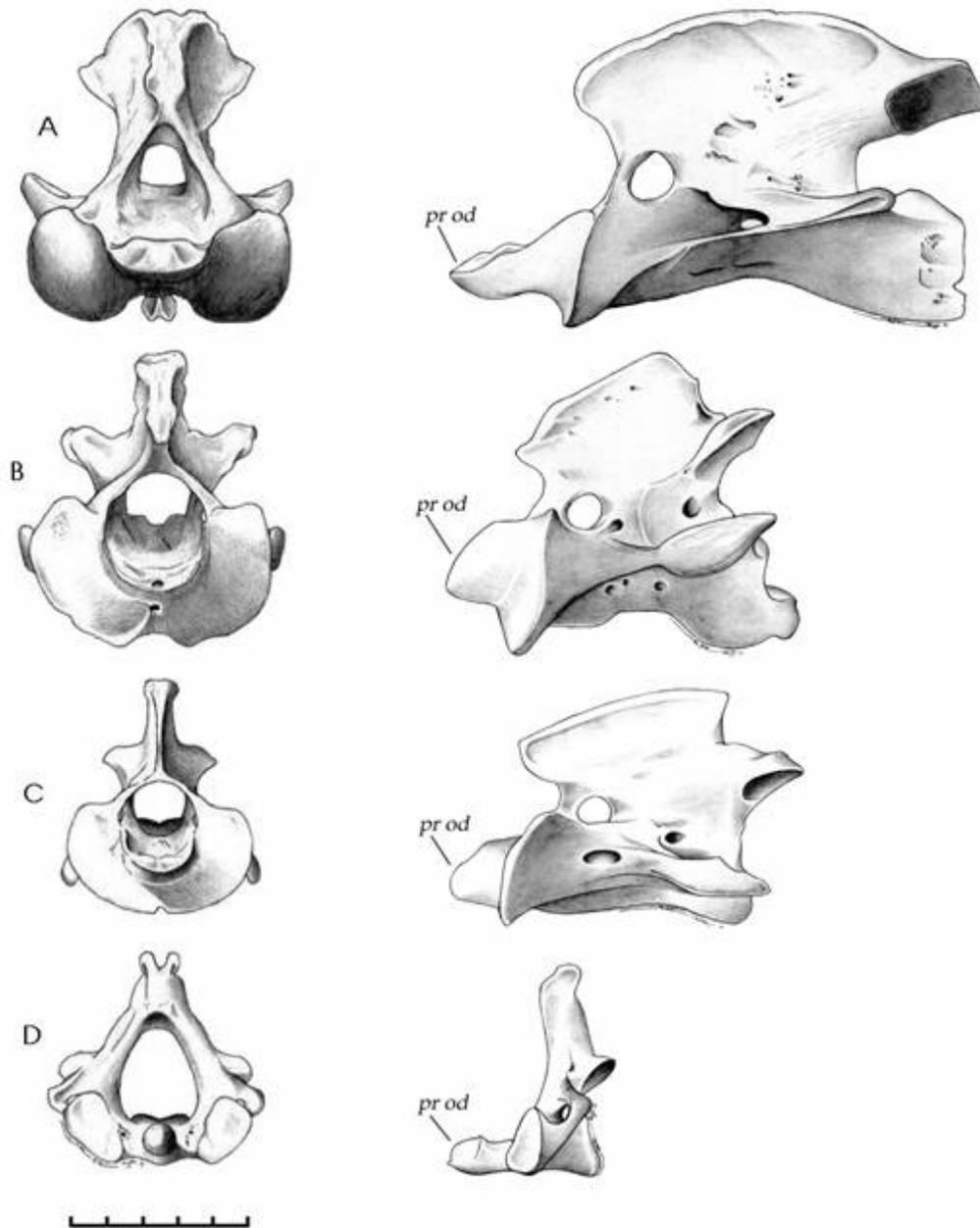


FIGURA 57. Axis de mamíferos. *A. Equus*, *B. Bos*, *C. Cervus*, *D. Homo*, en vistas anterior y lateral. Nótese la forma y longitud del proceso odontoides (*pr od*) en la vista lateral. La sombra y correcta iluminación de los ejemplares ilustrados acentúan la sensación de volumen y textura propios de un hueso. Línea de escala=5 cm. Lápiz sobre opalina.

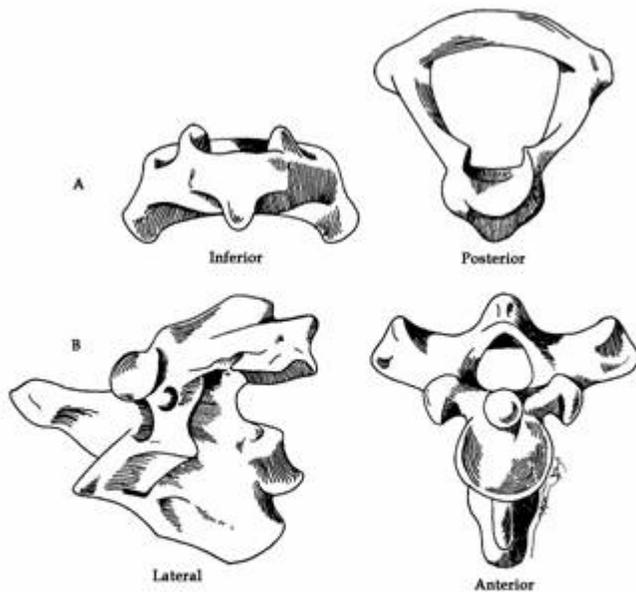


FIGURA 58. *A.* Atlas de ave (*Gallus*). *B.* Axis del mismo ejemplar. La sombra por medio de líneas da el mismo resultado que con puntos, aunque el detalle es menor y es menos laborioso ilustrar por medio de este procedimiento. Tinta sobre papel Photo Glossy.

(Young, 1981); aún así posee caracteres comunes, como una apófisis vertebral no muy amplia y semiredondeada, un proceso odontoides moderado en longitud y cilíndrico, un agujero vertebral

de subtriangular hasta redondeado y unas apófisis transversas dirigidas oblicuamente hacia afuera y arriba (Fig. 58). En los búhos (Orden Strigiformes)

las primeras dos vértebras cervicales se

modifican un poco, y junto con el tamaño disminuido del cóndilo occipital, permite una rotación del cráneo de hasta $\frac{3}{4}$ de círculo (270°) sin mover el cuerpo. Los pájaros carpinteros (*Campephilus* y *Dendrocopos*, entre otros) al perforar los árboles y alimentarse de insectos dentro de ellos, realizan un constante movimiento frontal que involucra las vértebras cervicales y su musculatura asociada, por lo que el complejo atlas-axis mantiene una rugosidad constante en su superficie para una mejor inserción muscular y para soportar el peso del cráneo, aún siendo muy liviano.

Costillas

Las costillas son huesos pareados, planos y alargados situados en las partes laterales del tórax, entre la columna vertebral y el esternón, cuando llega a presentarse. Su cuerpo es curvado formando un arco y ligeramente aplanado dorsoventralmente, anchos en su extremo proximal y disminuyen de volumen progresivamente hasta llegar al extremo distal que es plano. En el

extremo proximal existen dos facetas articulares correspondientes a las propias de las vértebras torácicas. La cabeza es una saliente convexa y junto a esta se encuentra la tuberosidad, que es una sección ligeramente cóncava y semicircular (Fig. 59). Estas dos estructuras hacen contacto con las caritas articulares inferior y superior, respectivamente, de las vértebras torácicas. El *cuello* de la

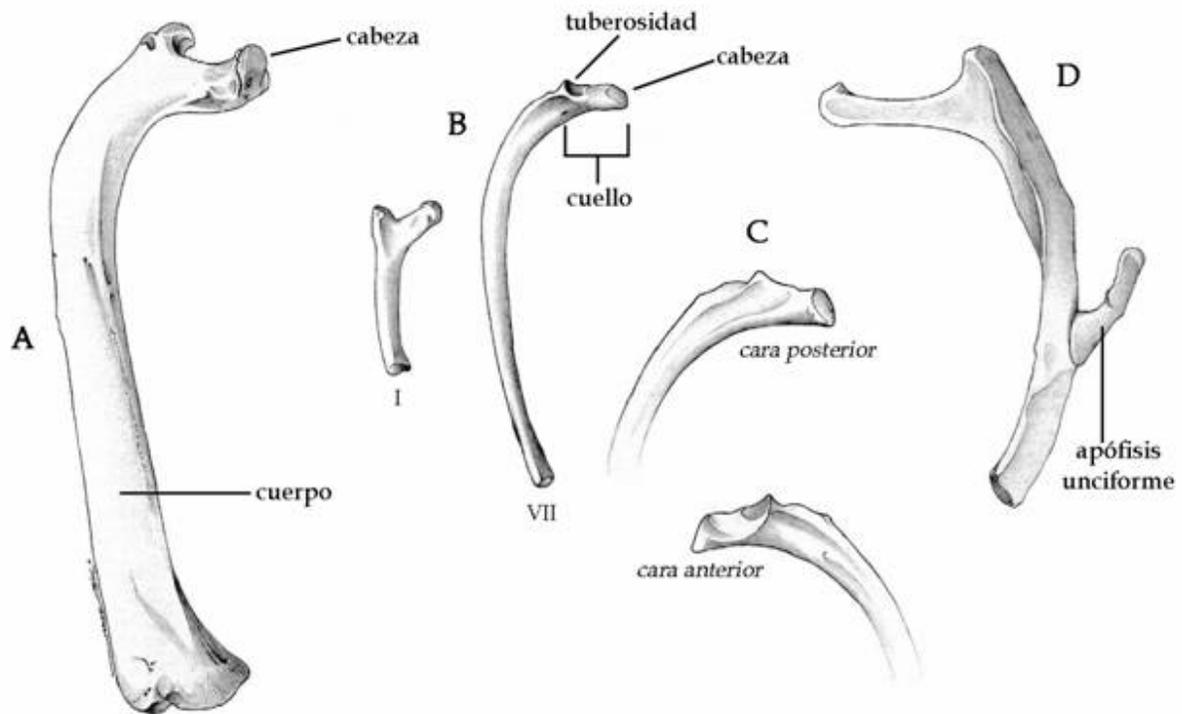


FIGURA 59. Morfología y partes principales de las costillas. **A.** Cuarta costilla derecha de *Sus scrofa* en vista anterior. **B.** Primera y cuarta costilla izquierda de *Felis domesticus*. **C.** Séptima costilla derecha del mismo ejemplar. **D.** Séptima costilla izquierda de ave (*Gallus*). Las ilustraciones no están hechas a escala. Adviértase en **B** el tamaño y forma relativos de las costillas conforme progresan hacia atrás, y en **C** no es necesario ilustrar la totalidad de la costilla, si la región de interés principal es predominante en un cierto estudio, por eso es que se difumina el resto de la costilla. Lápiz sobre opalina.

costilla es una región entre la cabeza y la tuberosidad y en la cara posterior del cuerpo nace una pequeña excavación longitudinal a partir del cuello, en donde se insertan los ligamentos costales (Fig. 60). En los tetrápodos terrestres y las aves la longitud de las costillas varía dependiendo de su posición, son cortas las primeras y aumentan de tamaño en la parte media del total de las costillas para, generalmente, acortarse en el último tercio; en esta última clase muchos individuos presentan apófisis unciformes, que son prolongaciones óseas en la región media de la

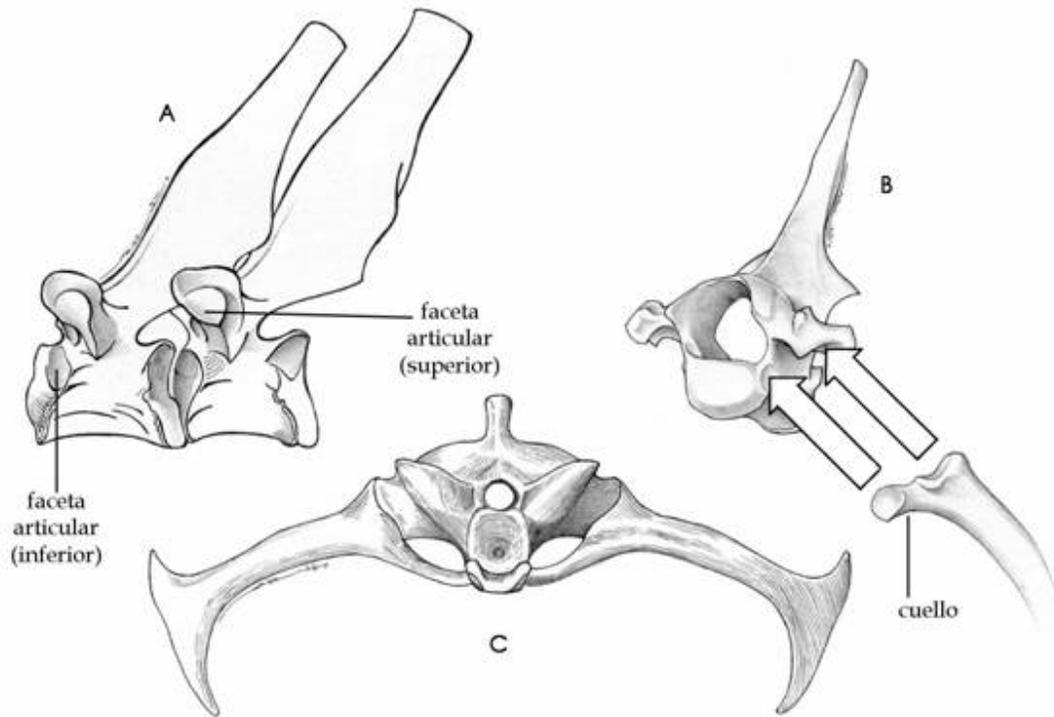


FIGURA 60. Estructuras involucradas en la conexión de costillas en las vértebras. **A.** Vértebras V y VI unidas, de *Canis latrans*. **B.** Tercera vértebra torácica de *Felis domesticus* y su correspondiente costilla (izquierda); las flechas indican el sitio de unión de la cabeza y la tuberosidad con las facetas (o caritas) articulares que corresponden. **C.** Vista anterior de vértebra cervical de *Kotlassia* (Reptilia), para mostrar la forma de unión de las costillas. Las flechas en **B** ayudan a una mejor orientación en ciertas estructuras que se unen a otras, y las sombras adecuadamente utilizadas aumentan la sensación de textura. Lápiz sobre opalina.

costilla para reforzar la cavidad torácica por medio de la musculatura asociada. Existen excepciones en lo que a la longitud de las costillas se refiere, como en las cecilias (Amphibia), los ápodos y las serpientes (Reptilia) en donde casi todas sus costillas son de la misma longitud. En los reptiles primitivos las costillas se pueden presentar en cada segmento, desde el atlas hasta la región proximal de la cola; por esto se pueden distinguir costillas cervicales, dorsales, sacrales y caudales (Romer, 1956).

En los tetrápodos, las costillas aparecieron igual que en los peces, sobre todas las vértebras. En aquellos menos derivados las costillas cervicales son muy cortas por el desarrollo de un cuello flexible; en cambio, las costillas torácicas son las más largas de todo el cuerpo y, por lo general, tienen unión con una estructura ventral llamada esternón (Fig. 61). Después de la pelvis pueden

presentarse en la región basal de la cola costillas cortas cuyo tamaño disminuye conforme se progresa hacia atrás.

Las costillas disminuyen en los anfibios modernos en los cuales no alcanzan el esternón; en anuros sólo existe una costilla sacra. En Chelonia hay pocas costillas y ocho de ellas están unidas al caparazón. En serpientes, las costillas están muy bien desarrolladas y tienen gran importancia en la locomoción. En los mamíferos existen costillas cervicales en el embrión, pero en el adulto quedan unidas a las vértebras torácicas; no hay costillas flotantes en la región lumbar y caudal. En las aves, las costillas cervicales se han unido a las vértebras; sólo hay costillas libres en la región torácica, corta, y la cintura pélvica está sostenida por un serie larga sacra (Romer y Parsons, 1984).



FIGURA 61. Esquema que muestra la posición del esternón en humanos. Se enfatiza la estructura de interés por medio de sombras sencillas y se complementa la ilustración con la técnica que el ilustrador considere adecuada; las estructuras, en este caso los brazos y la columna vertebral se difuminan e indican que estas estructuras continúan. Tinta a trazos sencillos, sin sombras sobre opalina.

Dientes

Los dientes han mantenido una importancia fundamental en el desarrollo de los vertebrados y sus respectivas líneas evolutivas, al adecuarse el animal a ciertas presiones ambientales que repercutieron directamente en sus dietas tan diversas como las formas de las piezas dentales que se desarrollaron. Así, un diente puede ser tan sencillo como un cono hasta modificarse por completo y adquirir formas y tamaños variables con una función en específico, que representa un alto grado de especialización dental, principalmente en serpientes y mamíferos. Los vertebrados sin mandíbula, las aves actuales y tortugas carecen absolutamente de dientes por lo que presentan adaptaciones diversas para alimentarse.

Los dientes son modificaciones de las sustancias esqueléticas dérmicas y óseas y debido a esto muchas veces no se consideran como huesos propiamente dichos (Fig. 62). Los tipos más complejos de dientes muestran cambios en su superficie superior formando una corona que golpea el alimento y lo aplasta. La pulpa es interna y consta de tejido blando con vasos sanguíneos y nervios, la raíz (pueden

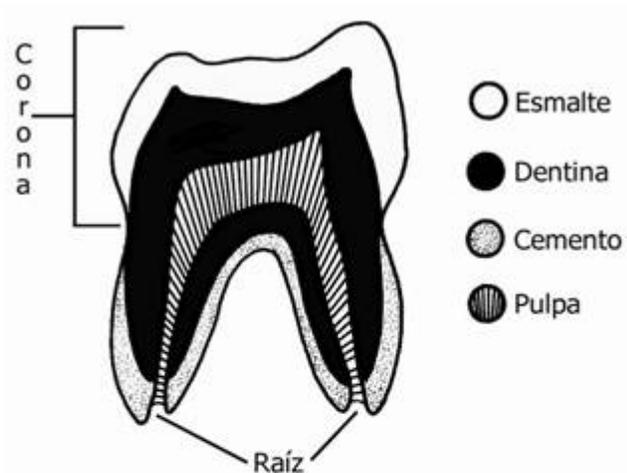


FIGURA 62. Corte generalizado de un diente de mamífero, mostrando sus partes y componentes. Estos dibujos se toman como modelos de identificación simplificada, al diferenciar cada zona en particular con un patrón gráfico distinto. Tinta sobre opalina, modificado en Adobe® Photoshop® Elements 2.0.

ser una o varias) forma la base y es sitio de implante en el hueso. El material interno de un diente consta de una capa de esmalte que cubre otra sustancia, muy dura y que ocupa la mayor parte del diente: la dentina. Esta sustancia se forma por *hidroxiapatita* $[3(\text{Ca}_3\text{PO}_4)_2\text{Ca}(\text{OH})_2]$ en su mayoría,

fibra orgánica en 30% y su dureza es mayor que el hueso, aunque el esmalte, que es un tejido orgánico, es el de mayor dureza en todos los vertebrados (Andrew y Hickman, 1974).

La inserción de los dientes al hueso (Fig. 63) generalmente se ayuda de una sustancia de apoyo llamada cemento y puede ser de distintas maneras. A una animal se le llama tecodonto cuando sus dientes se implantan en alvéolos, como ocurre en muchos reptiles y todos los mamíferos. Los acrodontos fijan sus dientes a la superficie del hueso, casi fusionándose como en *Sphenodon* y teleósteos; la mayoría de saurios fijan sus dientes por su cara lateral en la región interna de la premaxila, maxila o dentario, por lo cual los animales que posean esta condición se le nombra

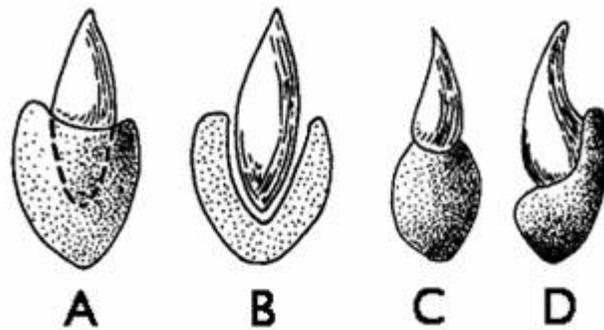


FIGURA 63. Tipos de inserción dental. **A** y **B.** Tecodonto. **C.** Acrodonto. **D.** Pleurodonto. Las líneas puntuadas en **A** indican que el diente está incrustado en su alveolo y por ende, se encuentra en un plano posterior. Tinta sobre papel photo glossy.

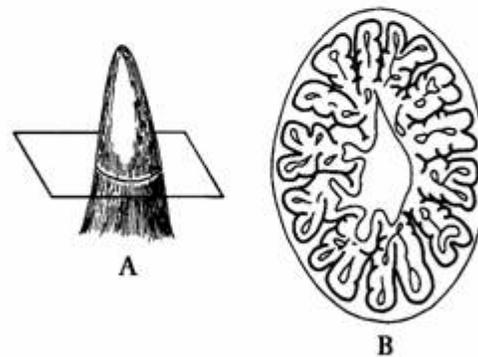


FIGURA 64. Diente laberintodonto. **A.** Se indica el lugar de corte transversal para que en **B.** se aprecie el patrón característico de estos dientes, en una vista superior del corte; el esmalte es representado por la línea más gruesa. El óvalo en B. representa la superficie cónica externa del diente. Tinta sobre opalina.

pleurodontos (Romer y Parsons, 1984). Los dientes no sólo se encuentran en el borde de la mandíbula y los maxilares. En anfibios modernos los dientes son pequeños y de estructura sencilla, no sobresalen de la boca, aunque muchos urodelos poseen hileras de dientes sujetas en el paladar, al igual que alguna cecilias que presentan dientes vomerianos; sin embargo algunos otros anfibios carecen de dientes propiamente dichos, es decir que sólo cuentan con pequeñas serraciones en la

maxila y mandíbula, y ciertos sapos carecen totalmente de serraciones o dientes en sí. En crossopterigios y cuadrúpedos primitivos existió una característica peculiar que se trataba de plegamientos de dentina hacia dentro del esmalte en patrones complicados, y cuando el diente se cortaba transversalmente tales pliegues daban el aspecto de un laberinto (Fig. 64), de aquí el nombre de la subclase Laberintodontia.

Los peces poseen distintos tipos y tamaños de dientes que se asocian a sus adaptaciones alimenticias y a la morfología de su cabeza. Muchos tiburones poseen dientes grandes y triangulares, con serraciones en los bordes (Fig. 65) para perforar, cortar y rasgar, aunque el tamaño y la forma de los dientes no inciden en la capacidad depredadora; las pirañas y barracudas tienen dientes delgados y en forma de aguja dirigidos hacia atrás para no dejar escapar la presa. En cambio muchas anguilas poseen diferenciación dental para sujetar y aplastar su presa (Fig. 66), generalmente moluscos de concha dura (Bond, 1979). No obstante la regla es que la mayoría de peces presentan dientes delgados y cónicos dirigidos hacia atrás, muchas veces con modificaciones convenientes en aquellos individuos que se alimentan de corales o algas.

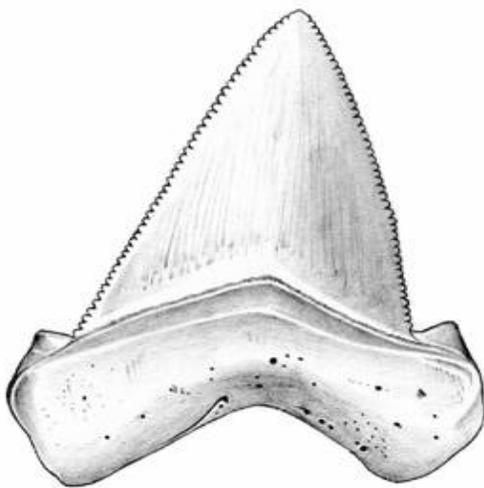


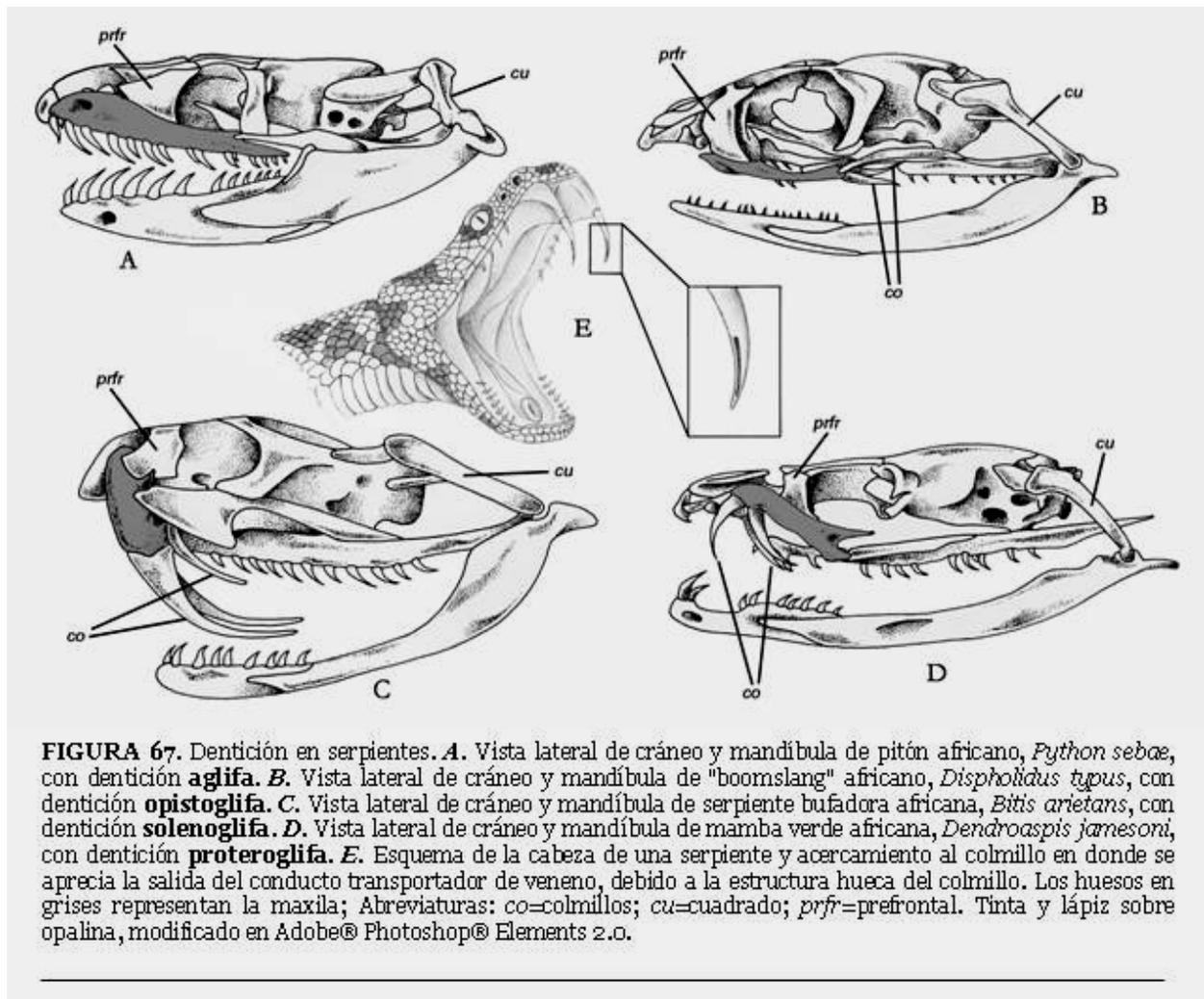
FIGURA 65. Diente de tiburón. Nótese el borde serrado que tiene, además de su textura. La imagen se explica por sí sola. Lápiz sobre opalina.



FIGURA 66. Fragmento mandibular de anguila, *Anarrhichthys*. Los dientes posteriores son macizos para fragmentar la concha de ciertos moluscos, su alimento principal. Tinta en opalina.

En la mayoría de los integrantes de la clase Reptilia persiste un tipo sencillo de diente cónico y no existe mucha diferenciación entre cada uno, aún así hay dientes palatinos en *Sphenodon*, algunas serpientes y en muchos saurios, pero Crocodylia carece de dientes en el paladar; la fijación dental al hueso puede ser de la tres formas. Esta clase ha desarrollado modificaciones y adaptaciones interespecíficas en cuanto a dentición se refiere. Mientras que las tortugas (Chelonia) careen de dientes y su función se sustituye por a ranfoteca, las serpientes presentan altas especializaciones dentales asociadas íntegramente al modo de capturar su presa y alimentarse de ella.

El suborden Ophidia (todas las serpientes) presenta cuatro tipos de dentición (Fig. 67) basados en la presencia de largos colmillos en la maxila y su función al matar la presa. La dentición Aglifa no presenta colmillos, todos los dientes son de tamaño regular y dirigidos hacia atrás; esta dentición se limita a boas y pitones y algunos pocos colúbridos cuyo método de predación es la constricción. Los tres restantes tipos de dentadura se exhiben en serpientes venenosas. La dentición Opistoglifa es aquella en que las serpientes tienen uno o más cerca del fondo de la maxila con dientes más pequeños al frente; los colmillos pueden ser sólidos o huecos con un pequeño surco en su superficie para conducir el veneno. La categoría Proteroglifa pertenece a cobras, mambas, coralillos y serpientes acuáticas (presentes en la familia Elaphidae); se caracteriza por tener pequeños dientes sólidos detrás de los colmillos huecos al frente de la maxila que permanecen siempre en posición erecta. Por último la dentición Solenoglifa (presente en la familia Viperidae) es muy elaborada y en este tipo los colmillos, únicos dientes en la maxila, son muy largos y huecos, rodeados de piel y se pliegan hacia el paladar cuando la boca está cerrada. Al momento de abrirla para cazar la presa o escupir veneno (en serpientes escupidoras) los colmillos fijos en la maxila se despliegan hacia delante a causa de movimientos en algunos huesos del cráneo (ver fig. 50, en D, E, F y G) y este mecanismo permite clavar los colmillos más profundamente en la víctima e inyectarle su veneno para matarla (Pough *et al.*, 2002).



Por otra parte los mamíferos presentan la más amplia variedad dental entre los vertebrados debido a su alta especialización en la dieta, que puede abarcar desde alimentos blandos (frutas, insectos) hasta alimentos muy duros (semillas, huesos) pasando también por ciertas hierbas difíciles de asimilar y muy abrasivas que por su alto contenido en celulosa y sílice requieren una maceración constante para adquirir todos sus nutrientes. El número de dientes varía en las familias de mamíferos y por eso se estableció una fórmula dental para su nomenclatura y cantidad. Se utilizan las letras I, C, P y M, seguidas de un número superior o inferior para referirse a los dientes de la maxila y mandíbula, respectivamente. Así, la fórmula de la dentición en mamíferos para la mitad derecha (o izquierda, indistintamente) se escribe $I^3 C^1 P^4 M^3 / I_3 C_1 P_4 M_3$. Esta fórmula corresponde a los dientes superiores e

inferiores de un solo lado, así que el número total de dientes de este animal (en este caso perteneciente a la familia Suidae) es de 44. Los dientes (ver fig. 52) más anteriores, los incisivos son especiales para cortar o dividir el alimento y presentan algunas características notables, como en algunos rumiantes que carecen de incisivos superiores o el enorme crecimiento de éstos en los proboscídeos; los roedores poseen incisivos superiores e inferiores especialmente diseñados con la punta en cincel para roer, la mayor parte de los dientes está implantada en un nivel muy profundo del

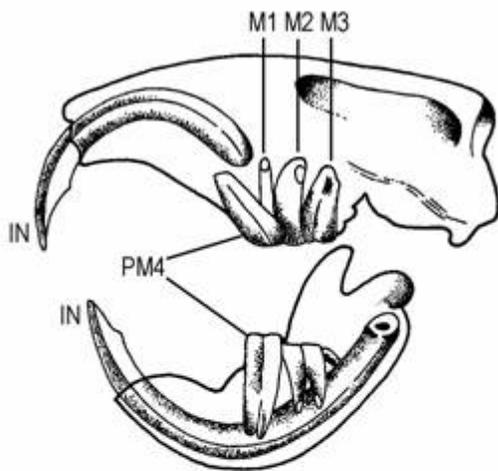


FIGURA 68. Esquema del cráneo y mandíbula de roedor mostrando posición dental y la profundidad de inserción de los incisivos y su longitud. En esta ilustración los dientes adquieren una importancia mayor que el cráneo y mandíbula, por esto estas dos estructuras sólo se delinear y somborean poco. Abreviaturas como en figura 52. Tinta sobre papel photo glossy.

cráneo y el dentario, respectivamente; además crecen constantemente a nivel de raíz por el gran desgaste al que se enfrentan (Fig. 68). Los caninos perforan, sujetan el alimento y lo dividen. Son fundamentales en carnívoros y tuvieron un desarrollo extremo en *Smilodon* (ver fig. 58) y aún se presenta, si bien en menor medida, en cerdos salvajes y morsas. En otros mamíferos los caninos sirven como armas en la defensa del territorio, peleas entre machos, entre otras interacciones sociales. La mayoría de mamíferos herbívoros carecen de estos dientes. Los dientes postcaninos, premolares y molares están diseñados

para macerar, romper o disminuir la masa del alimento y prepararlo para la digestión. Por esto, la mayoría de mamíferos presenta una dentición *heterodonta*, es decir que cada tipo de diente es diferente y tiene una función particular; muchos cetáceos poseen dentición *homodonta* en donde sus dientes son similares o iguales, debido a que se alimentan por medio de filtración en la mayoría de los individuos. La serie molariforme difiere en forma a los demás dientes (triangular y cuadrangular básicamente en

incisivos, cónico o en cuchillo en caninos) para adecuarse a la amplia variedad de dietas entre mamíferos, y por esto es de especial interés.

En mamíferos primitivos los premolares eran unicuspidados (una sola cúspide) mientras que los molares poseían tres cúspides (molar *tribosfénico*) o más para un mejor procesamiento del alimento, aunque en el transcurso de la evolución las cúspides se han modificado de diversas maneras para originar una amplia variedad de dientes postcaninos; sin embargo algunos marsupiales vivos (en especial la zarigüeya *Didelphys virginiana*) poseen dientes parecidos a los de los mamíferos del Mesozoico (Fig. 69). La forma de los componentes de la corona del diente varía dependiendo de la demanda de la dieta. Los omnívoros y frugívoros sufrieron modificaciones y redujeron sus cúspides a una forma redondeada y lisa, adecuadas para aplastar y moler, además de que se añadió una cuarta cúspide y en consecuencia el diente toma una forma cuadrangular. A este tipo de diente se le llama bunodonto. Los dientes de la mayoría de herbívoros han modificado las cúspides para originar

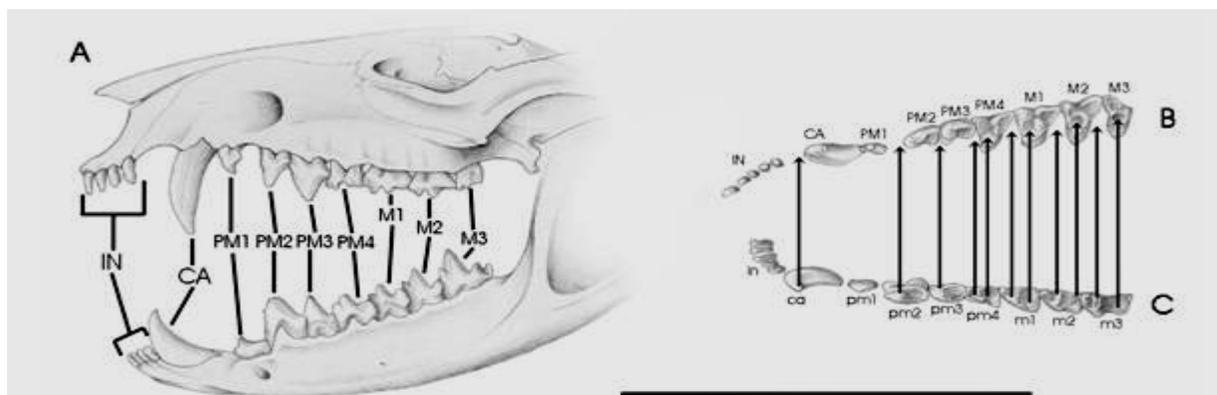
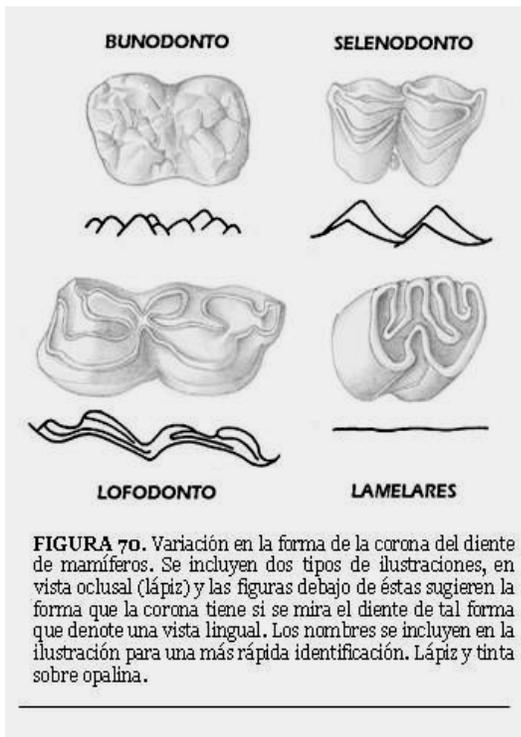


FIGURA 69. Dientes de mamífero placentario, *Didelphys virginiana*. **A.** Vista lateral de la dentición craneal y mandibular. Adviértase las distintas cúspides de los molares. **B.** Vista oclusal de la mitad izquierda superior (maxila). **C.** Vista oclusal de la mitad izquierda inferior (mandíbula). Las flechas en **B** y **C** indican la posición que toma cada diente al cerrarse la mandíbula de tal forma que para cada cúspide dental existe un hueco en el diente complementario en el cual se aloja, así la mandíbula se cierra perfectamente. En **A**, el resto del cráneo y mandíbula no se dibuja por completo o se difumina al tener éstas una nula importancia en la ilustración. Leyendas como en figura 52; Línea de escala=5 cm. Lápiz sobre opalina, posteriormente modificado con Adobe® Photoshop® Elements 2.0.

pliegues o crestas llamados lofos. Los perisodáctilos tienen lofos rectos o con modelos curvos incluidos en el diente lofodonto; una variación en artiodáctilos rumiantes es el desarrollo de las mismas crestas pero modificados en esquemas de media luna, por lo cual se llama diente selenodonto. Estos dos tipos de dientes son similares en cuanto a función, aunque muchas veces los pliegues cambian de forma y en número. Los roedores, elefantes y wombats poseen en sus molariformes plegamientos complejos que se denominan multilofos o lamelares (Pough *et al.*, 2002), esto es producido porque los herbívoros presentan una dificultad al alimentarse de ciertos vegetales altamente abrasivos que necesitan una constante y poderosa maceración para liberar la mayor cantidad de elementos nutritivos, ocasionado por el alto contenido en sílice y celulosa, además de partículas del suelo que se llegan a impregnar en la hierba. Los caballos y otros perisodáctilos (recientes y extintos) también desarrollan crestas que forman modelos complicados, y muchas veces

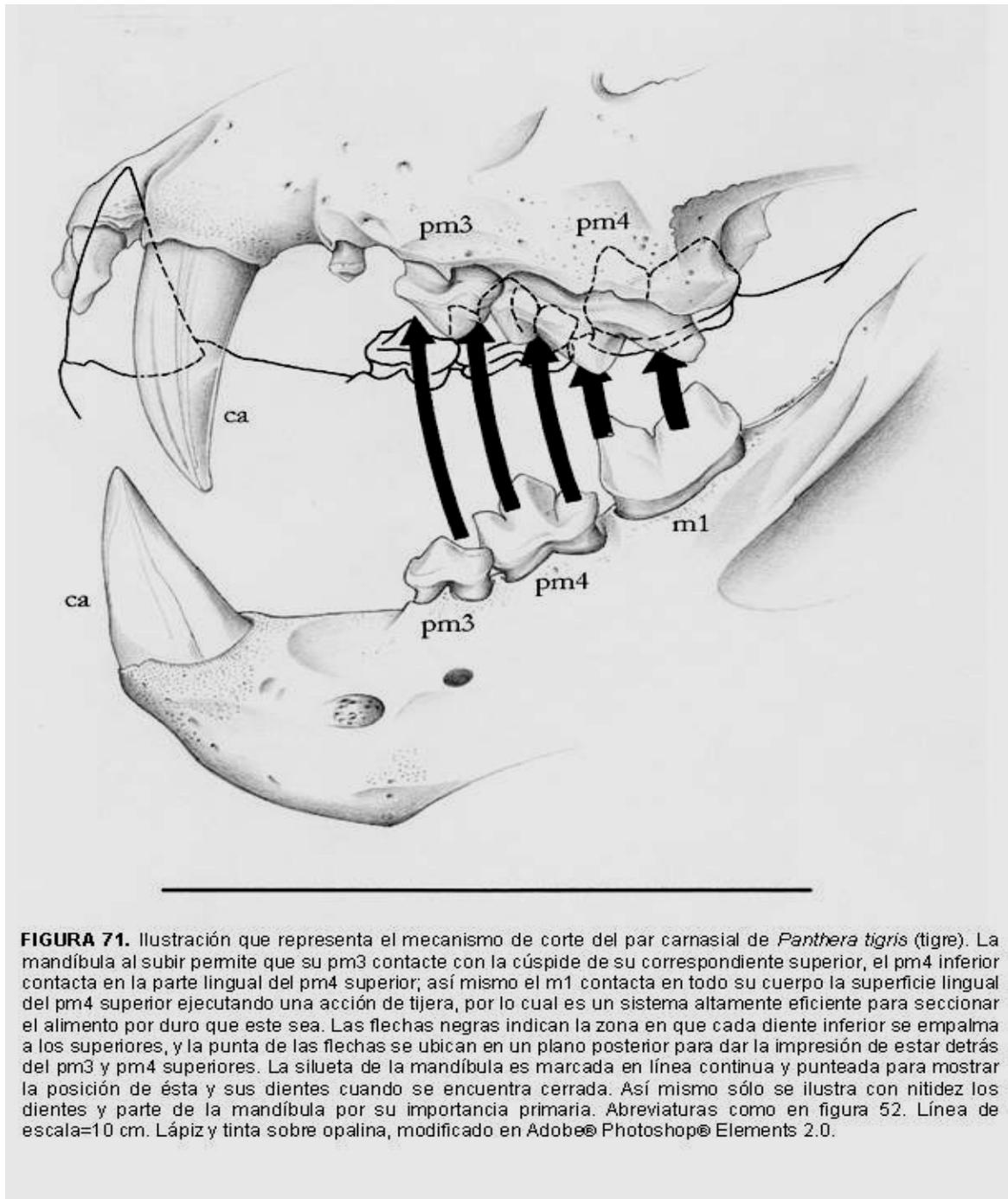


se utilizan como datos diagnósticos para identificar individuos a nivel de especie, primordialmente fósiles. Por otra parte el desgaste de los dientes es mayor en herbívoros que en carnívoros por las razones antes mencionadas, y para aminorar el deterioro existen dientes hipsodontos que se caracterizan por tener una corona muy alta y crecer continuamente (Hickman, *et al.*, 1984) y como es de pensarse se desarrollan principalmente en roedores y muchos ungulados. Los de corona baja, braquiodontos se usan en la dieta que no requiere una constante masticación (Fig. 70); algunos

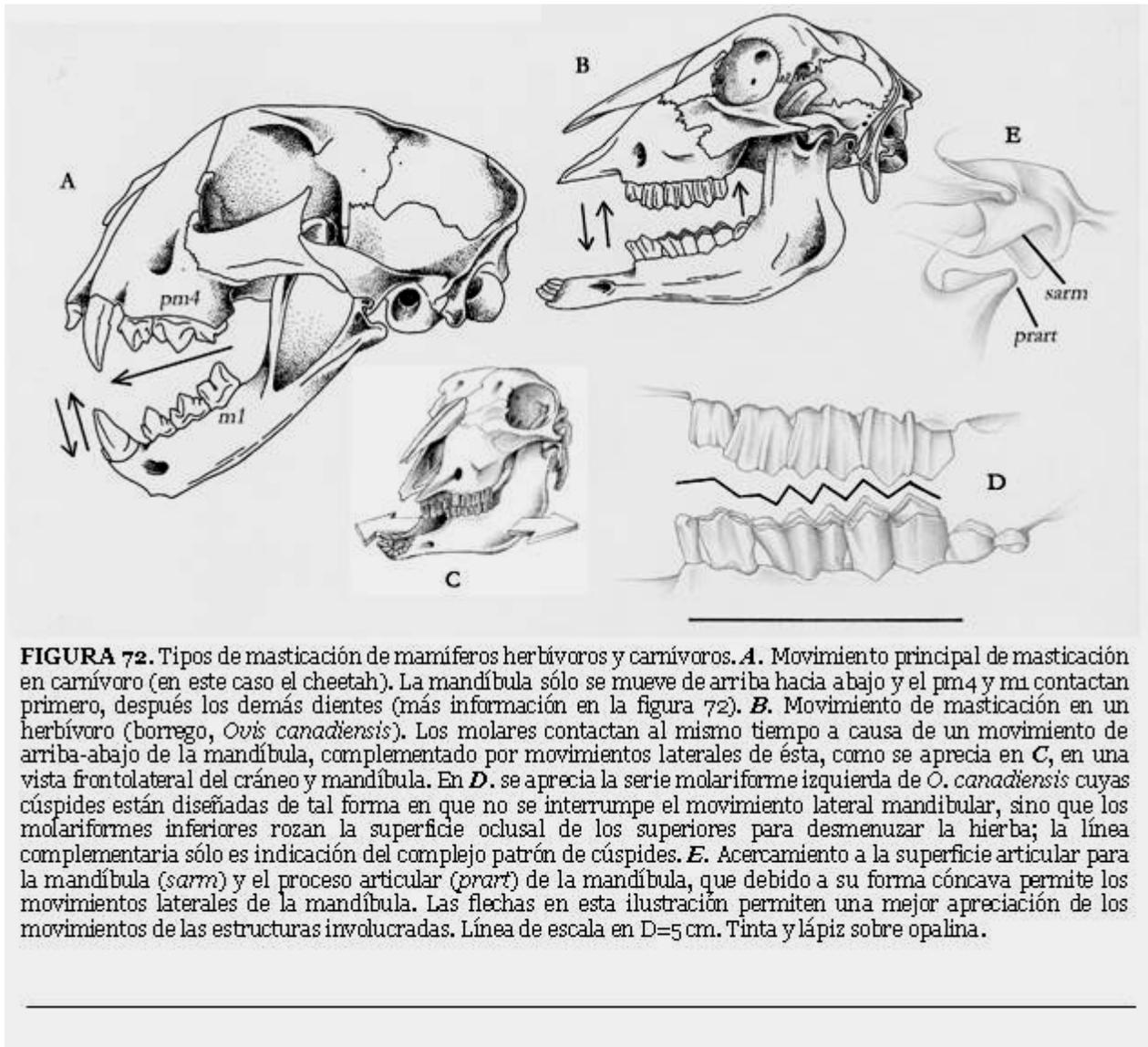
mamíferos (conejos, liebres) tienen molares cuyas raíces no cierran y el diente es de crecimiento perpetuo, o hipselodonto (Pough *et al.*, 2002).

Los mamíferos carnívoros tienen una dentición distintiva, fundamentalmente la postcanina. El cuarto premolar superior y el primer molar inferior se modifican en forma de gruesas hojas cortantes, los carnasiales (Fig. 71), que mediante una acción de tijera son capaces de romper el más duro tejido, como el hueso; todos los grandes felinos (familia Felidae) al tener la presa a su merced y ya muerta la devoran principalmente con sus molares (par carnasial) y debido a esto realizan un movimiento con la mandíbula en donde la fuerza de corte se concentra en los carnasiales y por esto es común ver a un felino comer con la cabeza de lado.

Tanto mamíferos carnívoros como herbívoros mantienen diferencias craneales, mandibulares y musculares debido a que la dieta basada en carne necesita un procesamiento distinto a la hierba. Las principales diferencias radican en los músculos maseteros, temporales pterigoideo y digástrico, las regiones dorsal y occipital del cráneo, los distintos procesos del dentario, los movimientos de masticación y, por supuesto, los dientes (Fig. 72). Los carnívoros tienen el músculo temporal bastante largo y ancho, la fosa temporal es ancha y comúnmente existe una alta cresta sagital que incrementa el área de inserción muscular. Esta cresta suele extenderse hacia atrás y originar una mayor región occipital que se extiende como una zona para la musculatura de la cabeza con el cuello, asociada con el ligamento nucal; este arreglo es importante para soportar los movimientos defensivos de la presa cuando se le tiene sujeta (Pough *et al.*, 2002). El músculo masetero y pterigoideo son de tamaño moderado. El dentario ostenta una profunda excavación en el proceso coronoides para recibir con mayor firmeza al músculo temporal y proceso articular está al mismo nivel que los dientes. La combinación mecánica de la forma de los músculos, el cráneo y la mandíbula resulta en un movimiento de masticación de arriba hacia abajo en donde los dientes contactan entre sí secuencialmente (postero-anteriormente), y por esto el para carnasial puede romper o rebanar



material muy duro, como el hueso, por la gran potencia que imprime el cierre de la mandíbula. El músculo temporal es largo y ejerce una fuerza adicional al cerrar la mandíbula, pero los músculos cortos (en este caso masetero y pterigoideo) siempre tendrán una potencia mayor que un músculo largo, al tener menor rango de estiramiento.



El cráneo, mandíbula y músculos implicados en la masticación de los herbívoros se modifican respecto a carnívoros para triturar por largo tiempo grandes cantidades de material fibroso (ver fig. 72). Los mamíferos herbívoros incrementan el tamaño del músculo masetero y reduce el tamaño del músculo temporal. La fosa temporal es mínima y no existe una cresta sagital, así mismo la región occipital es muy reducida. El proceso coronoides es pequeño y la excavación es mínima, el proceso articular está por encima del nivel de los dientes y el proceso angular es largo, lo que le confiere a la mandíbula un cuerpo muy profundo. La longitud del músculo masetero y la forma casi vertical del

espacio entre el último molar y el proceso coronoides permiten que los molariformes inferiores ocluyen con los superiores casi simultáneamente. Esta disposición muscular y ósea origina un movimiento lateral de la mandíbula por lo que el mecanismo de masticación se lleva a cabo en dos tiempos: primero se abre y cierra la mandíbula (aplastando el alimento, primer tiempo) para que luego la mandíbula se mueva hacia los lados (segundo tiempo) y complete el ciclo para iniciar uno nuevo (ver fig. 72). Los movimientos laterales trituran y reducen el vegetal mediante una efectiva fricción de los molariformes, en donde los lófos de distinto tipo juegan un papel decisivo.

Muchos roedores modifican aún más los elementos involucrados en la masticación (Fig. 73). Los molariformes superiores e inferiores se encuentran a la misma distancia y están prácticamente pegados unos con otros, además de que el proceso articular es casi esférico y el músculo masetero, muy

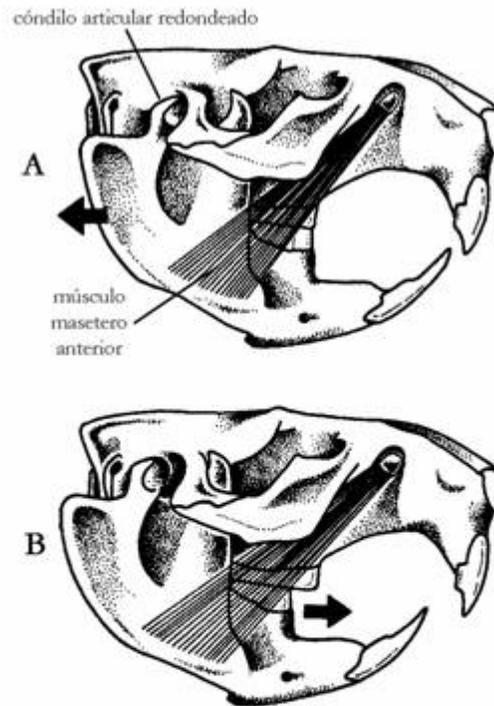


FIGURA 73. Movimiento de masticación en roedor. **A.** La mandíbula puede moverse de atrás hacia delante por poseer un cóndilo articular redondeado, y el músculo masetero anterior es el facultado de limitar ese movimiento. **B.** Posición de la mandíbula después de dirigirse hacia atrás. Tinta sobre opalina.

largo, se inserta por un extremo en la región antero orbital del cráneo y por el otro a una amplia excavación en el dentario. Esta morfología permite (además de apertura y cierre) que la mandíbula realice movimientos de atrás-adelante y viceversa (Alexander, 1986). Este modo tan efectivo de procesamiento es plausible de realizar por aquellos animales cuyos molariformes sean de tipo lamelar, ya que dientes con altos pliegues impedirían el libre movimiento.

Por último existen mamíferos que dependiendo su dieta modifican en extremo su dentición. Aquellos mamíferos piscívoros pueden tener dientes unicuspidados en toda su larga maxila y mandíbula, pero careciendo de piezas dentales anteriores; muchas ballenas reemplazan sus dientes con láminas epidérmicas, córneas, conocidas como barbillas y las usan como filtradores de plancton. La reducción de dientes se aprecia en aquellos en que su dieta es a base de néctar (murciélagos nectarívoros) y especialmente en los mirmecófagos (que se alimentan de termitas y hormigas), en donde sus extremadamente largas mandíbula y maxila (además de nasales) no presentan diente alguno, como los osos hormigueros, pangolines, tamandúas y cerdos hormigueros (Pough *et al.*, 2002).

Esqueleto Apendicular

El esqueleto apendicular (Fig. 74) se refiere al conjunto de elementos óseos que sobresalen a ambos lados del esqueleto axial, anterior y posteriormente, y se forma por los tres tipos de huesos (planos, largos y cortos). Estos elementos forman apéndices que pueden ser de dos tipos: aletas pareadas en peces y miembros también pareados en cuadrúpedos, cuyos orígenes y posteriores modificaciones corresponden directamente a una transición de un medio acuático a unos terrestre en donde las demandas vitales son totalmente distintas (Fig. 75). Tal transición pudo haber obedecido a un cambio climático cuando a mitad del Devónico hubo sequías severas y los peces dejaron sus charcas secas para buscar nuevas fuentes de agua, o tierras húmedas en el margen de lagos o estuarios; estas condiciones hicieron que el desarrollo de extremidades fuera una

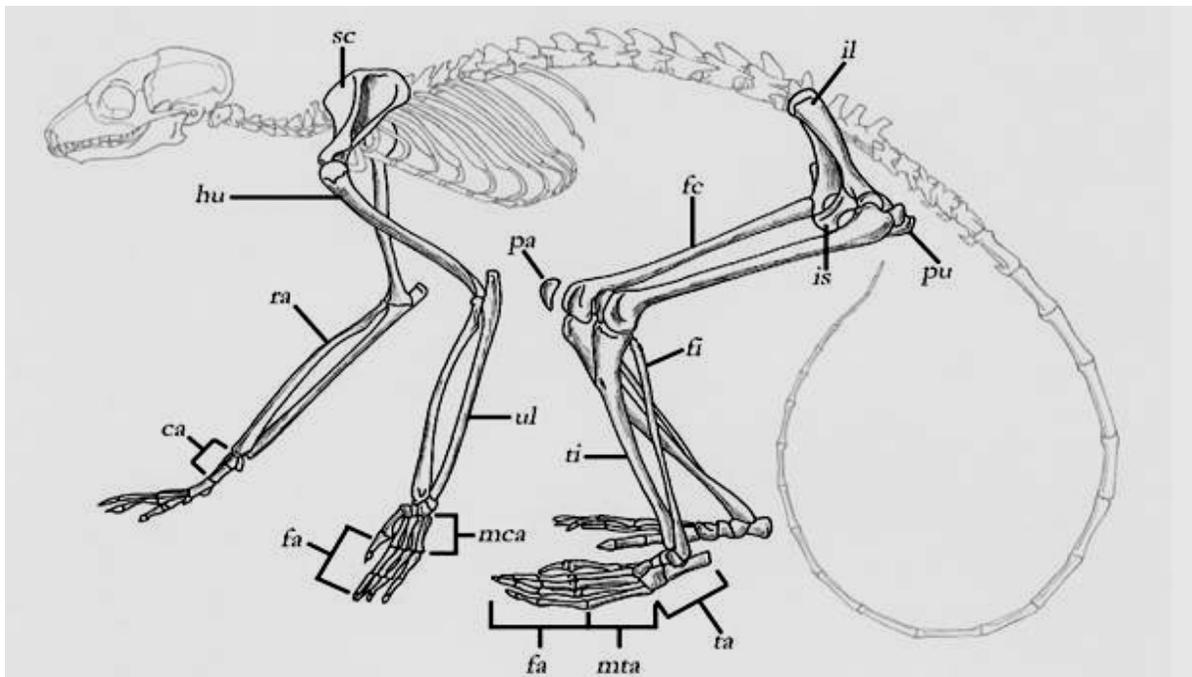


FIGURA 74. Esqueleto de Lemur. En lápiz el esqueleto axial y en tinta el apendicular con su nomenclatura. Abreviaturas: *ca*, carpales; *fa*, falanges; *fe*, fémur; *fi*, fíbula; *hu*, húmero; *il*, ilion; *is*, isquion; *mca*, metacarpales; *mta*, metatarsales; *pa*, patela; *pu*, pubis; *ra*, radio; *sc*, escápula; *ta*, tarsales; *ti*, tibia; *ul*, ulna. El dibujo con dos técnicas en una misma ilustración se usa para enfatizar ciertos detalles o estructuras; en este caso, el esqueleto axial, ya revisado, es de importancia secundaria respecto al esqueleto apendicular, por lo cual este último se detalla mejor y es más definido. Lápiz y tinta sobre opalina.

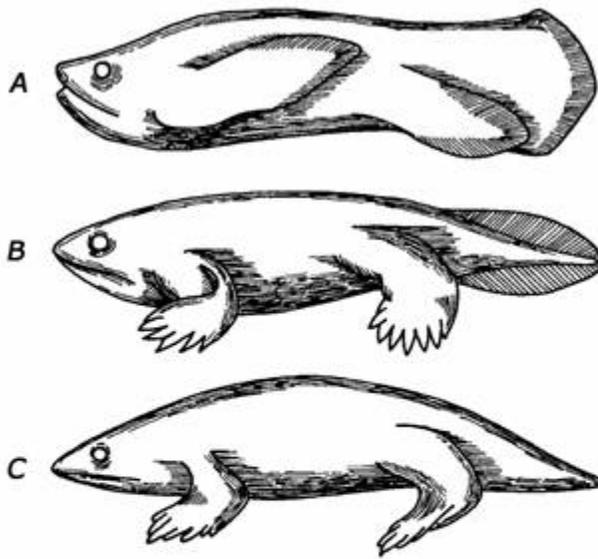


FIGURA 75. Transición de medio acuático a terrestre. **A.** Forma generalizada de pez primitivo. **B.** Forma hipotética de un protetrapodo, con caracteres de *Acanthostega* e *Ichtyostega*, entre crossopterigio y laberintodonto. **C.** Tetrapodo primitivo, con extremidades ya formadas, aunque probablemente vivía en áreas fangosas. Tinta sobre opalina.

adaptación para moverse en aguas poco profundas donde los anfibios adquirieron ventajas graduales (Thompson, 1993). La gravedad es el factor determinante al cual se enfrenta un vertebrado terrestre, no así un pez al ejercer un esfuerzo menor para mantenerse a flote, al tener la resistencia y arrastre del agua un efecto que contrarresta la gravedad, aunado a los movimientos coordinados de su esqueleto y las fuerzas asociadas al movimiento. Por esto los tetrapodos terrestres desarrollaron un

sistema esquelético distinto a los peces, especialmente en sus apéndices, diseñados para soportar su propio peso y mostrar una locomoción distinta (Fig. 76).

La adaptación de un cuadrúpedo primitivo en un medio acuático y posteriormente en tierra no sólo fue en la locomoción, sino que también tuvo que modificar hábitos en la alimentación, respiración, órganos sensoriales y reproducción; además diversas estructuras óseas cambiaron lentamente y de forma irregular, como los huesos craneales, al contrario de las extremidades primitivas y las costillas que se modificaron temprana y rápidamente (Carroll, 2001). El camino más importante en la transición agua-tierra fue la creación de dos cinturas (pectoral y pélvica) que agrupan huesos especializados y diseñados principalmente para la locomoción, postura y soporte en tetrapodos.

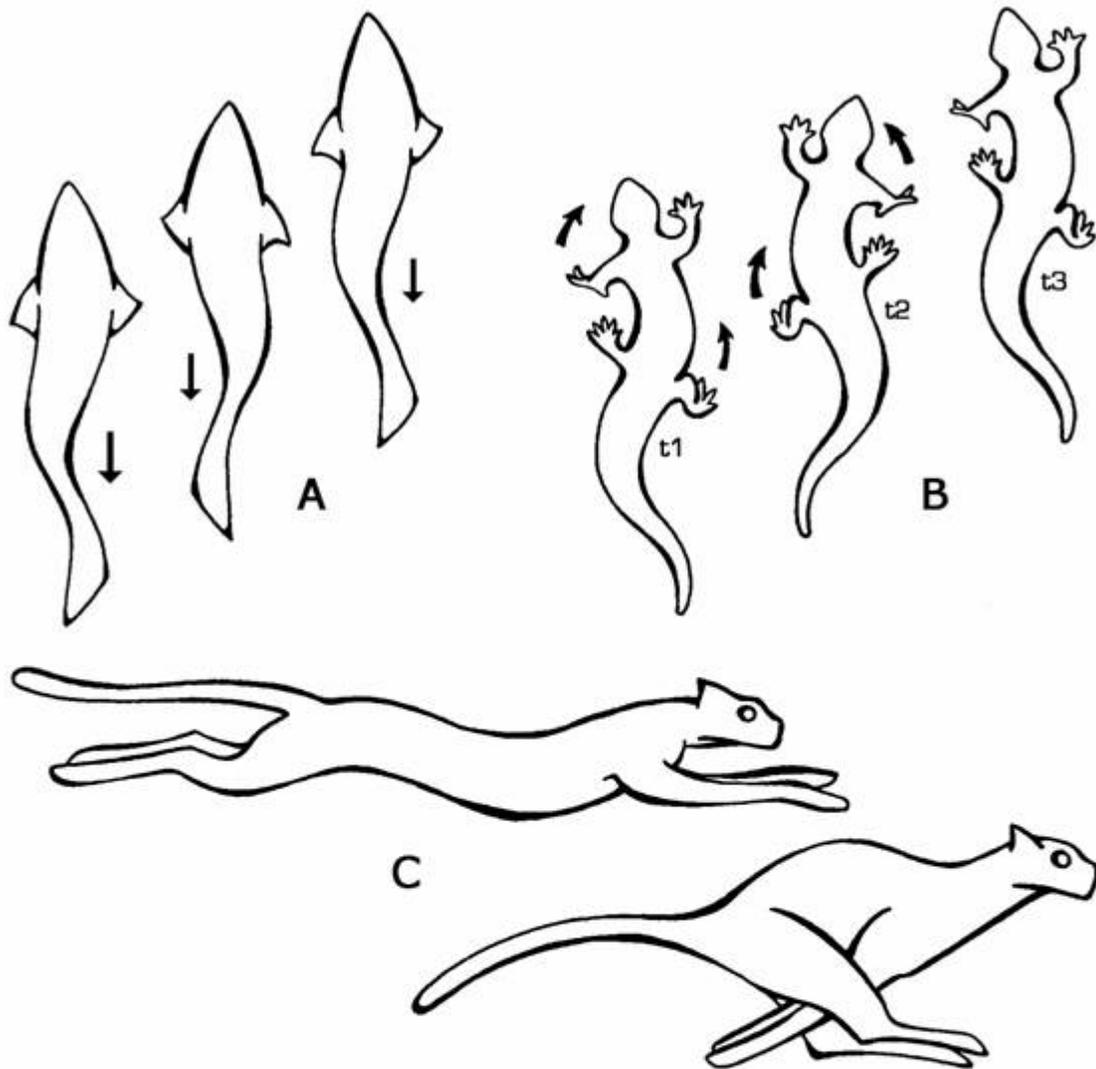


FIGURA 76. Distintas locomociones en vertebrados. **A.** Natación de pez. La parte posterior del cuerpo ejerce presión sobre el agua en ondas sucesivas que recorren el tronco y la cola. Así el movimiento se transmite de arriba hacia abajo en la ilustración, y el empuje de las ondas sucesivas empuja al pez hacia delante, y se repite el ciclo. **B.** Locomoción en salamandra. En el primer tiempo (t1) contactan con el suelo las extremidades anterior izquierda y posterior derecha y se levantan las otras dos; en el segundo tiempo (t2) las extremidades libres contactan el sustrato y llevan hacia delante las otras dos. En el tercer tiempo (t3) el ciclo se repite por ondulaciones inversas del cuerpo, permitiéndole dar otro paso. Este movimiento es básicamente derivado de la natación en peces. **C.** Locomoción básica de mamíferos cuadrúpedos. En este ejemplo un felino en carrera impulsa su cuerpo con el empuje de sus extremidades traseras en el sustrato y estira las delanteras, que contactan el suelo. Una vez hecho esto el cuerpo se apoya en ellas y se dirige hacia adelante con ayuda del empuje extra de las extremidades traseras, y como se ilustra, las extremidades anteriores se dirigen atrás, en medio del cuerpo mientras que las posteriores son llevadas hacia delante para contactar el sustrato otra vez y así, comenzar un nuevo ciclo. En Felidae la cola actúa como timón y ayuda a mantener el equilibrio del cuerpo en los bruscos cambios de dirección al perseguir la presa. Véase la flexibilidad de la columna vertebral, en la locomoción, característica de mamíferos cuadrúpedos. Tinta en papel photo glossy.

Cintura Escapular (o pectoral)

Se encuentra en la región anterior del cuerpo (Fig. 77) y sostiene las extremidades pareadas anteriores, y se une al esqueleto axial mediante conexiones musculares. Primitivamente los tetrápodos tuvieron una interclavícula junto con una clavícula y cleitro que se conservó desde los peces. La interclavícula es un elemento medio que se pierde en Amphibia, Aves y la mayoría de mamíferos. La presencia de la clavícula varía entre los grupos de tetrápodos, en aves se fusionan y forman una fúrcula (o "hueso de los deseos"), se reducen en mamíferos carnívoros y se pierde en ungulados y cursorios. La clavícula conecta la escápula con el esternón o la interclavícula, si existe; el cleitro es un elemento mayor y se presenta en peces y está por encima de la clavícula (Romer y Parsons, 1984).

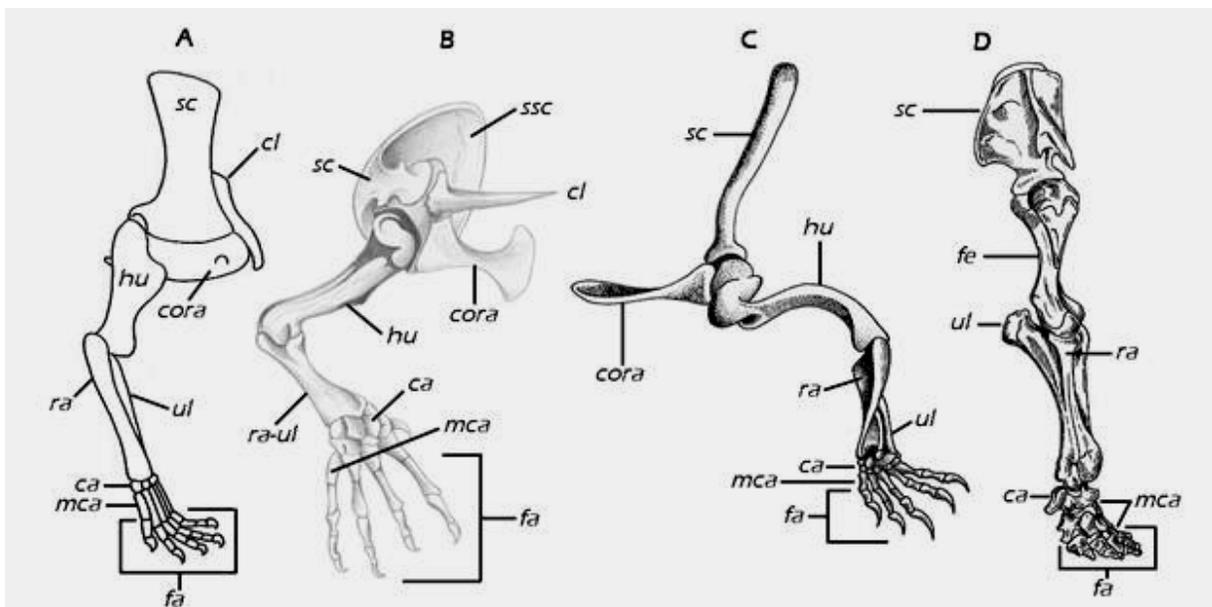


FIGURA 77. Cintura escapular y extremidad anterior derechas de varios grupos de vertebrados. **A.** Mamífero primitivo, delineado sólo a tinta donde no se aprecia ni relieve o volumen. **B.** Anfibio (rana). Dibujado a lápiz con detalle y sombreado avanzado. **C.** Reptil (tortuga). Sombreado por puntillismo. **D.** Mamífero (elefante). Sombreado por líneas. Abreviaturas como en figura 74, además de: *cl*, clavícula; *cora*, coracoides; *ra ul*, radioulna (fusión de radio y ulna, en la rana). Tinta y lápiz sobre opalina.

En tetrápodos primitivos los elementos endocondrales eran la escápula y coracoides y se fusionaban en un escapulocoracoides, presente todavía en salamandras y separados en anuros y

amniotas. La escápula (llamada también omóplato en humanos) es un amplio hueso plano y es el más prominente de la cintura escapular (de ahí el nombre de la cintura anterior) y en mamíferos adultos desarrolla una espina escapular alta y curvada para dividir la inserción de los músculos infra y supraespinosos. Este mismo hueso presenta una excavación pronunciada en su región distal llamada fosa glenoidea (o cavidad glenoidea) y se articula con el húmero; esta fosa se forma en conjunto con la escápula y coracoides en la mayoría de vertebrados. Antiguamente el linaje sinápsido tenía dos coracoides, el posterior desplazó al anterior de su articulación con el húmero, y el coracoides anterior se pierde (Pough *et al.*, 2002).

En la cintura escapular de tetrápodos se identifican tres unidades óseas que le dan forma a la extremidad anterior (Fig. 78). La más proximal se llama *esilopodio* (o propodio) que contiene al húmero, el hueso más largo de esta cintura y se articula proximalmente a la fosa glenoidea y distalmente al radio y ulna. El húmero ha cambiado su disposición general y el punto de inserción con la escápula a través del tiempo; en tetrápodos primitivos y muchos reptiles, mantiene una posición paralela (tendida) respecto al sustrato y se modificó posteriormente en cuadrúpedos superiores, de tal manera que adquirió una figura perpendicular (erecta) respecto al suelo (Fig. 79). El *cigopodio* (o epipodio) es la unidad ósea medial y reúne el radio y ulna (llamada a veces cúbito). Ambos huesos son largos y en Anuros actuales se fusionan en un solo hueso. El radio se articula distalmente con los carpales, grupo de huesos cortos, siempre del lado del dedo pulgar, proximal al eje axial del cuerpo.

En tetrápodos que pueden torcer la mano (primates, principalmente) la articulación proximal no se une firmemente al húmero, permitiendo así moverse sobre su eje. La ulna generalmente es más larga que el radio y en su extremo proximal presenta un *proceso olécrano* que es el que forma el codo, Y en este mismo extremo hay una articulación en media luna (incisura semilunaris) que se une al húmero. En mamíferos cursorios el húmero presenta una amplia y larga excavación en su

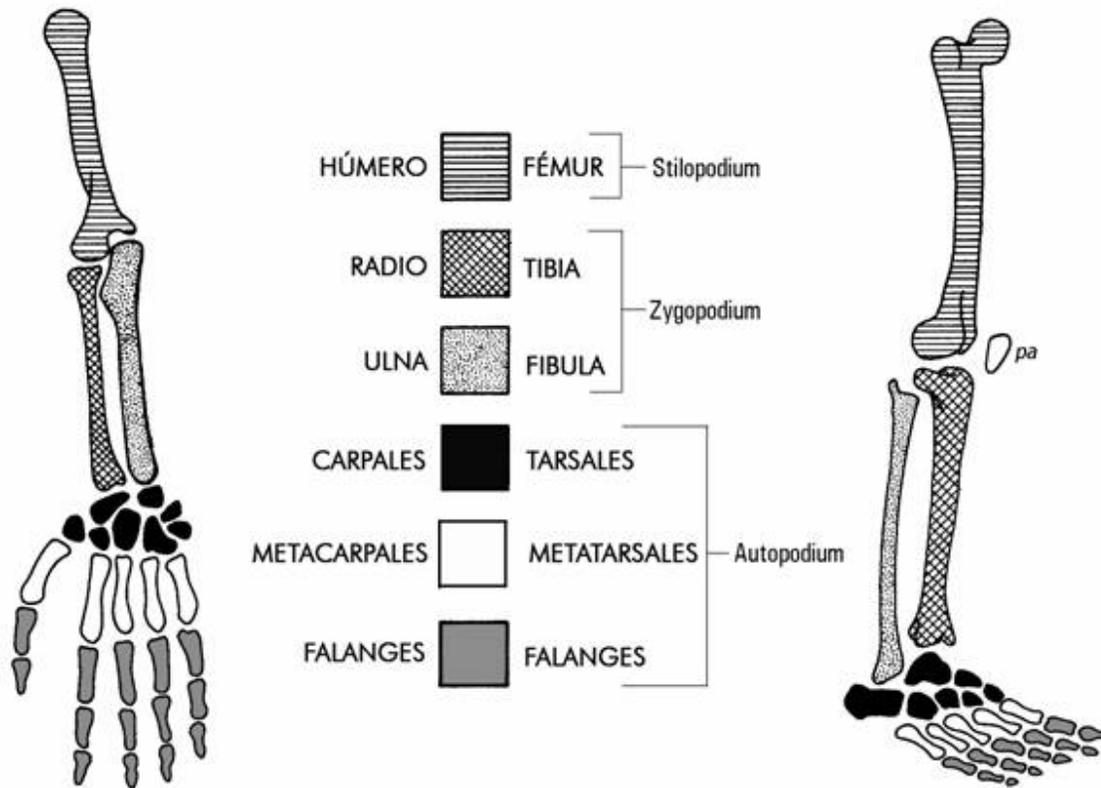


FIGURA 78. Nomenclatura e identificación de extremidades anteriores y posteriores. De forma similar a la figura 62, ciertas regiones de un todo pueden identificarse y diferenciarse mediante patrones gráficos determinados, de forma que es más rápida la identificación de cada parte. Se ilustran de forma esquematizada los huesos de la extremidad anterior izquierda y posterior derecha de un humano. Abreviatura: *pa*, patela. Para uniformizar el tamaño de las regiones, éstas no se muestran en escala correspondiente a la realidad. Tinta sobre opalina, modificado en Adobe® Photoshop® Elements 2.0.

región distal para recibir el pronunciado proceso olécrano (*processus olecrani*, latinizado); esto proporciona un rango de movimiento adicional en la locomoción, cubriendo mayor distancia en menor tiempo (Fig. 80). La unidad ósea más distal, el *autopodio* es compuesta por huesos cortos y agrupa todos los elementos de las "manos" (muñeca, palma y dedos); a su vez el autopodio es formado por tres subunidades: el *mesopodio* incluye elementos carpales formadores del conjunto de la muñeca, el *metapodio* reúne elementos metacarcales que corresponden a la "palma" de la mano,

en igual número que los dedos; el *acropodio* contienen las falanges que forman los dígitos (Schmid, 1972), generalmente 5 aunque varía muy poco dependiendo la posición del miembro, así como la clase u orden al que pertenezca el vertebrado, como los anuros actuales. En el Devónico superior los anfibios fueron diversos y los más conocidos, *Acanthostega* e *Ichtyostega* tuvieron más dígitos que cualquier tetrápodo posterior, luciendo de 6 a 8 dígitos en cada extremidad (Carroll, 2001).

Los apéndices anteriores de las Aves y murciélagos (Mammalia: Chiroptera) representan un alto grado de especialización en su estructura ósea, debido a que se modificaron para originar alas (Fig. 81) mediante la fusión o alargamiento de ciertos huesos. La superficie de las alas en las alas se cubren de piel y plumas y sólo se presentan tres dígitos: los únicos distintos elementos carpales son los radiales y lunares, mientras que los metacarpales se fusionan y forman el carpometacarpo (Alexander, 1986); en

cambio, las alas del murciélago son membranas de piel soportadas por los últimos cuatro dedos extremadamente alargados y el dígito 1 es independiente del ala y forma un pequeño gancho.

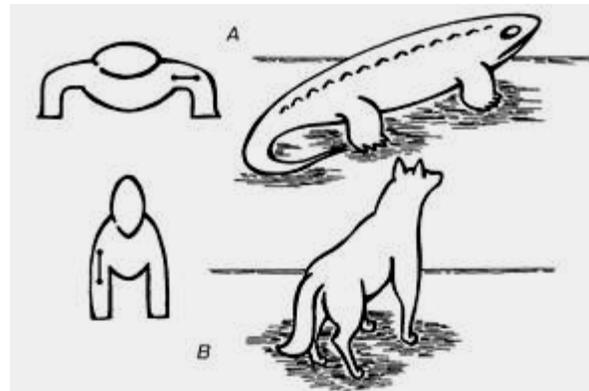


FIGURA 79. Posición del cuerpo en el sustrato. **A.** Postura tendida, característica de anfibios primitivos y reptiles, en donde generalmente el húmero mantiene una disposición paralela al sustrato. **B.** Postura erecta, característica en mamíferos y aves, en donde el húmero es semi-perpendicular o totalmente perpendicular al suelo. Tinta en opalina.

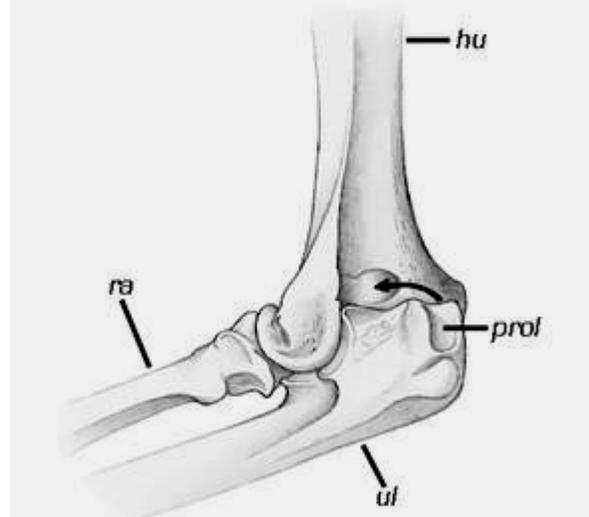


FIGURA 80. Proceso olécranon y huesos asociados de extremidad anterior derecha de *Felis domesticus*. La flecha señala hacia donde se mueve y aloja el proceso olécranon (*prof*), en una excavación en la región distal del húmero; en este dibujo se aprecia una vista postero-lateral del sistema. Abreviaturas como en figura 75. Lápiz y tinta sobre opalina.

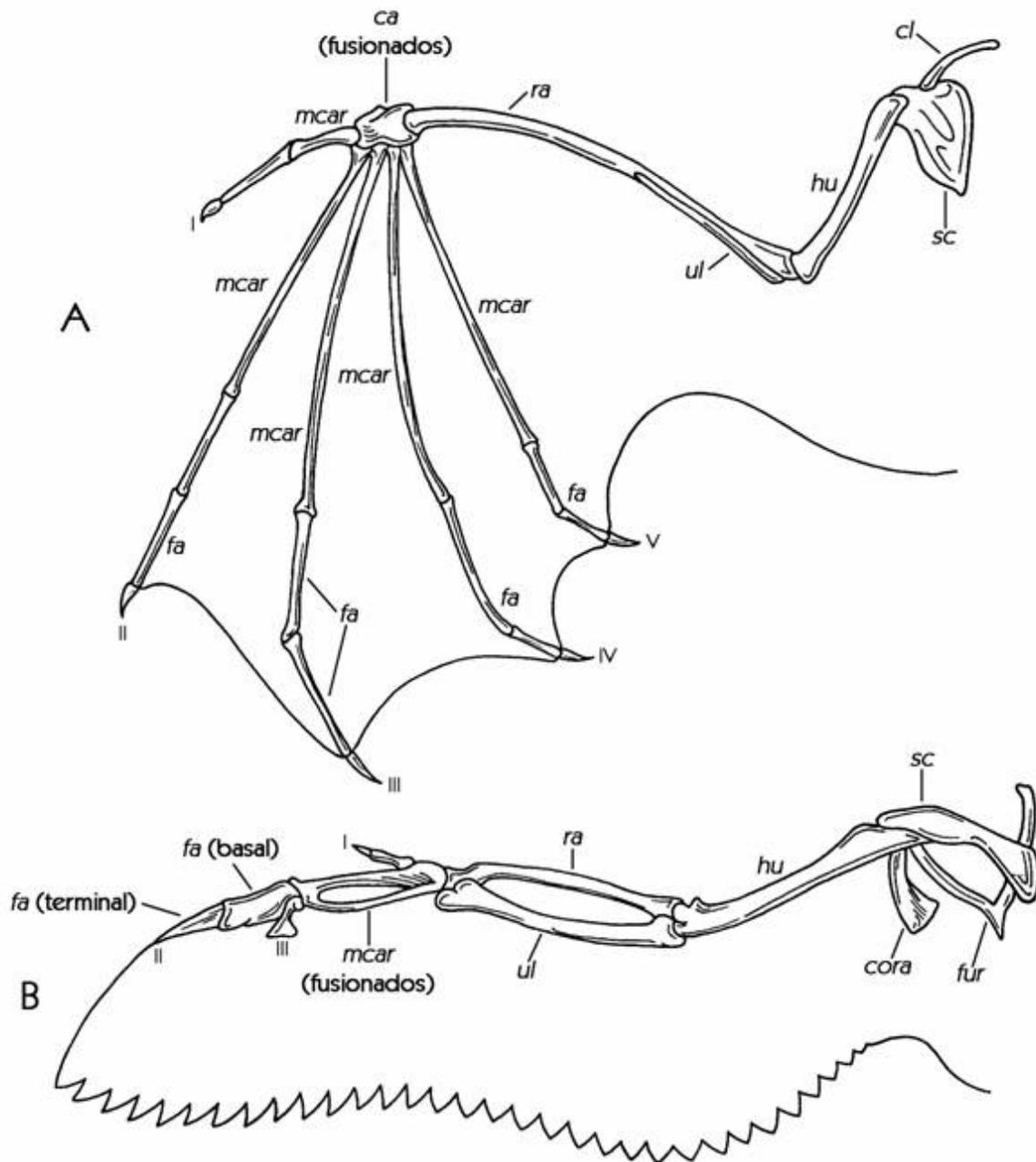


FIGURA 81. Comparación de elementos óseos formadores de alas en murciélagos y aves. **A.** Forma generalizada del brazo de murciélago. **B.** Forma generalizada del brazo de ave. Las líneas que simulan las alas en ambas figuras denotan posición y extensión en cada esquema. Abreviaturas: *ca*, carpal(es); *cl*, clavícula; *cora*, coracoides; *fa*, falanges; *fur*, fúrcula; *hu*, húmero; *mcar*, metacarpales; *ra*, radio; *sc*, escápula; *ul*, ulna. Los números romanos indican el dígito correspondiente en cada extremidad. Tinta en opalina.

Por otro lado los tetrápodos marinos que regresaron secundariamente al agua convirtieron sus extremidades en aletas (Fig. 82), generalmente por hiperfalangia, como en los extintos plesiosaurios, y por hiperdactilia como en los, también extintos ichtyosaurios así como en las ballenas actuales (Hickman, *et al.*, 1984).

Cintura Pélvica

Esta cintura se sitúa en la región posterior del cuerpo complementando la cintura escapular como parte del sistema de locomoción de la mayoría de los vertebrados. En los peces la cintura pélvica es muy pequeña y no cuenta con los elementos característicos. Cada mitad de su cintura es pequeño hueso alargado en forma de cuña, muchas veces cartilagosos denominado placa isquiopúbica (o pélvica) que se articula ventralmente en una sínfisis púbica; todo el complejo está embebido en la musculatura del tronco (Romer y Parsons, 1984).

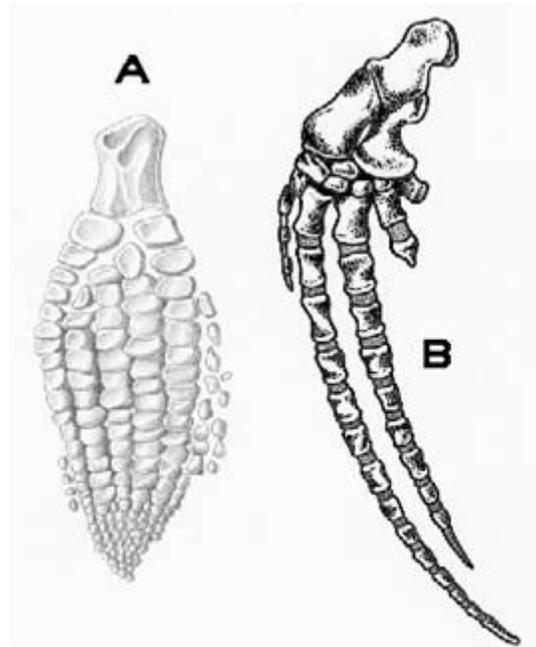
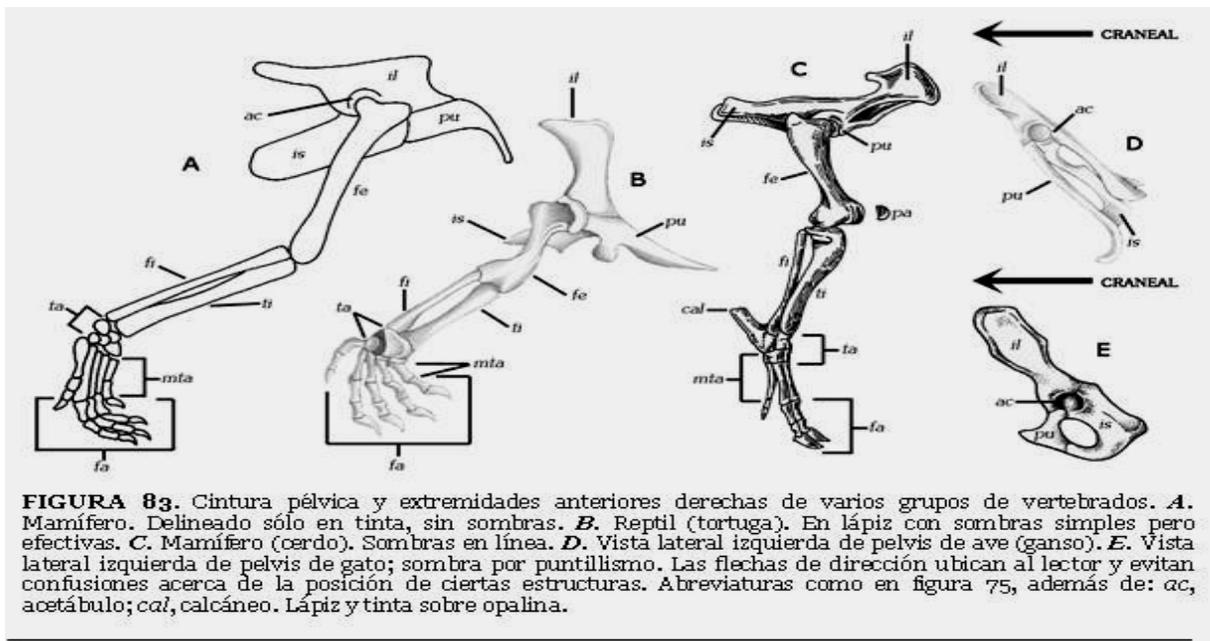


FIGURA 82. Apéndices de **A.** Ichtyosaurio. **B.** Ballena. Se muestran ejemplos de hiperdactilia e hiperfalangia, respectivamente. El uso de dos técnicas distintas en una misma ilustración amplía la belleza estética total. Lápiz y tinta sobre opalina.

En tetrápodos la cintura pélvica se articula con la columna vertebral mediante una unión sacroiliaca, en donde las vértebras sacras se fusionan. Esta cintura (Fig. 83) se compone de tres huesos planos: íleon, isquion y pubis. El íleon es el elemento que se une a las vértebras sacras y generalmente el más grande, se encuentra en la parte superior de la cintura y su forma varía, desde aplanada y circular hasta delgada y alargada. El isquion forma la parte posterior de la cintura y casi siempre es dirigida antero-posteriormente y de arriba hacia abajo; igualmente varía de forma. El tercer componente, el pubis, forma la parte anterior de esta cintura, su forma y tamaño es similar

al del isquion en tetrápodos primitivos y en anfibios actuales, pero se reduce considerablemente en mamíferos y aves. Estos tres huesos forman conjuntamente una cavidad articular llamada acetábulo que articula el fémur. En la evolución de los mamíferos se desarrolló un foramen obturador amplio que deja pasar nervios y músculos que mantienen unida la pelvis, mientras que en anfibios y reptiles se reduce significativamente. En mamíferos la los elementos de la cintura pélvica se fusionan casi en su totalidad, mientras que en aves se fusionan al sinsacro originando una región corporal muy rígida, asociada a un mejor equilibrio en la postura.



Al igual que en la cintura pectoral todos los elementos formadores de las extremidades posteriores son agrupadas en las misma tres unidades óseas (ver Fig. 78), y en muchos casos estos elementos pueden modificarse en gran medida para ejecutar diversas tareas y funciones, principalmente porque en la mayoría de vertebrados terrestres las extremidades posteriores producen la principal fuerza de propulsión en la locomoción. El fémur (perteneciente al estilopodio) es el hueso más largo de todo el esqueleto (Fig. 84) y es casi recto, salvo alguna curvaturas menores en su cuerpo; desarrolla en su epífisis proximal una gran articulación esférica llamada trocánter mayor que se inserta en el acetábulo y esta misma conformación, sumada a la

profundidad del acetábulo permite una mayor libertad de movimiento. Agrupados en el cigopodio están la tibia y la fibula, ambos huesos largos, aunque la tibia es un poco más larga que la fibula. La tibia se encuentra situada anteriormente y detrás de ella está la fibula (peroné, en humanos) que tiende a reducirse y fusionarse a la tibia en algunos grupos de mamíferos y anfibios, como una zona adicional de inserción muscular (Hildebrand, 1974).

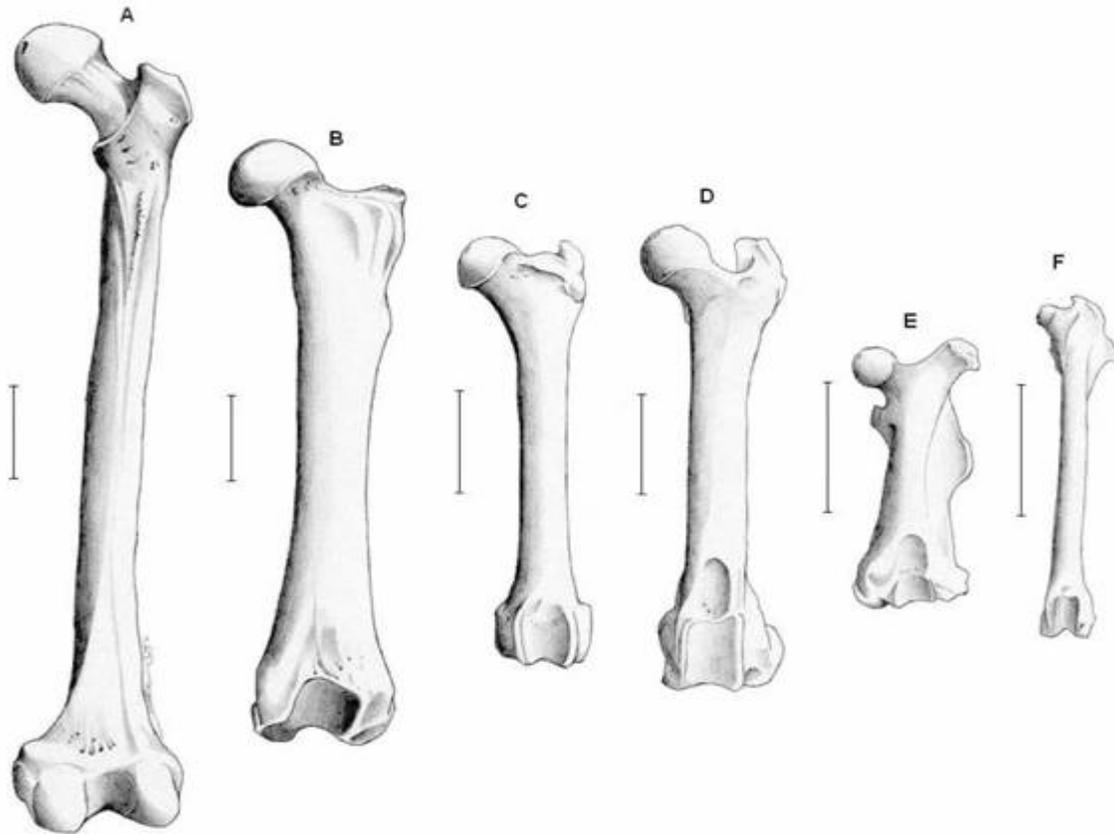


FIGURA 84. Comparación del fémur izquierdo (en vista frontal) de distintos grupos de mamíferos **A.** Humano (*Homo*). **B.** Oso (*Ursus*). **C.** Lobo (*Lupus*). **D.** Cerdo (*Sus*). **E.** Castor (*Castor*). **F.** Liebre (*Lepus*). La correcta utilización de la sombra acentúa la sensación de volumen, textura y rasgos característicos del hueso. Líneas de escala=5 cm. Lápiz en opalina.

En mamíferos existe un pequeño hueso sesamoideo (huesos pequeños generalmente embebidos en tendones o músculos) entre el fémur y la tibia llamado patela (o rótula) embebido en el tendón patelar y el músculo femorotibial, diseñado para reforzar y limitar el movimiento de la rodilla, además de proteger la membrana y líquido sinovial encargados de lubricar la unión de la

articulación. No obstante en pocos saurios se desarrolla un elemento sesamoideo comparable a la patela de mamíferos en el tendón del músculo extensor del muslo proximal con su unión a la tibia, por eso recibe el nombre de *patella tibialis*; también se puede desarrollar en algunos otros lagartos una patela ulnar en la unión el codo, equivalente al de la rodilla (Romer, 1956).

Todos los elementos de los "pies" (tobillo, planta y dedos) se agrupan también en el autopodio, subdividido en las mismas tres unidades mencionadas antes: el *mesopodio* reúne los huesos tarsales componentes del tobillo, el *metapodio* agrupa los metatarsales que forman la planta del pie; en mamíferos los huesos mas prominentes son el astrágalo y calcáneo, que sufren diversas modificaciones principalmente en su posición, dependiendo de los hábitos del animal, relacionados con su postura. Por último, los dedos (en el *acropodio*) son falanges que conservan los 5 dígitos primitivos en casi todos los reptiles y anfibios, aunque en dinosaurios y aves hubo una tendencia a desarrollar un pie con tres dedos (Hildebrand, 1974); en mamíferos la reducción digital se observa principalmente en Ungulados (Fig. 85) y es una modificación equivalente a la pérdida del dedo pulgar en la extremidad anterior de algunos grupos.

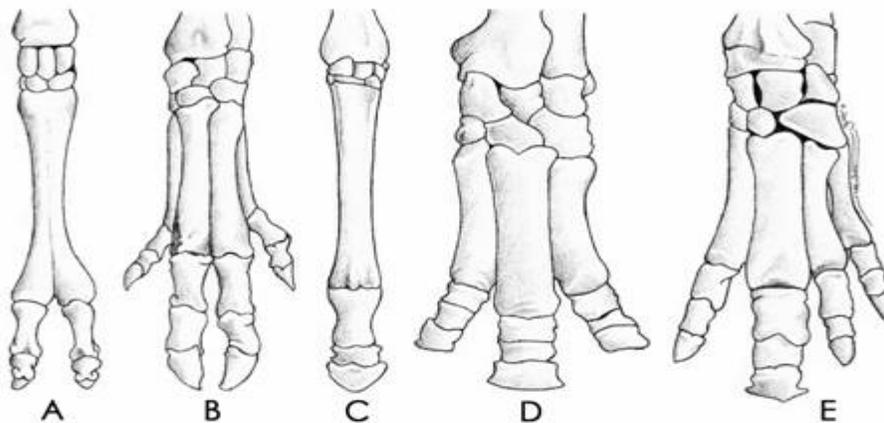


FIGURA 85. Pie anterior izquierdo de ungulados. **A.** Camello. **B.** Cerdo. **C.** Caballo. **D.** Rinoceronte. **E.** Tapir. **A** y **B** son Artiodáctilos, es decir el eje de simetría pasa entre el tercer y cuarto dígito. En **B** los dedos laterales son completos pero pequeños. En **A** los dos metapodiales se fusionan para originar un hueso único y largo. Las formas restantes son Perisodáctilos, en donde el eje pasa por el tercer dedo. En **E** se ha perdido el pulgar pero le restan cuatro dedos; en **D** desaparece el quinto dígito y en **C** el segundo y cuarto dígito son vestigiales. Lápiz sobre papel photo glossy.

Los mamíferos terrestres modifican sus extremidades para adoptar distintas posturas y formas de locomoción mediante la elongación de ciertas porciones de los apéndices, como los elementos carpales y tarsales, principalmente los metacarpales y metatarsales (Fig. 86). Los mamíferos que caminan sobre la palma/planta de sus extremidades adquieren una postura plantígrada, como los úrsidos, roedores y primates. La postura digitígrada libera del contacto con el suelo al talón y tobillo, y el peso del animal al caminar se apoya sobre la superficie inferior de los dedos, tal como lo hacen los cánidos y félidos. La postura unguigrada es usada por la mayoría de los Ungulados (del latín *unguis*, *ungula*=garra, pezuña, uña) que caminan sobre la región terminal de sus dígitos, en donde la última falange forma la base ósea de la pezuña.

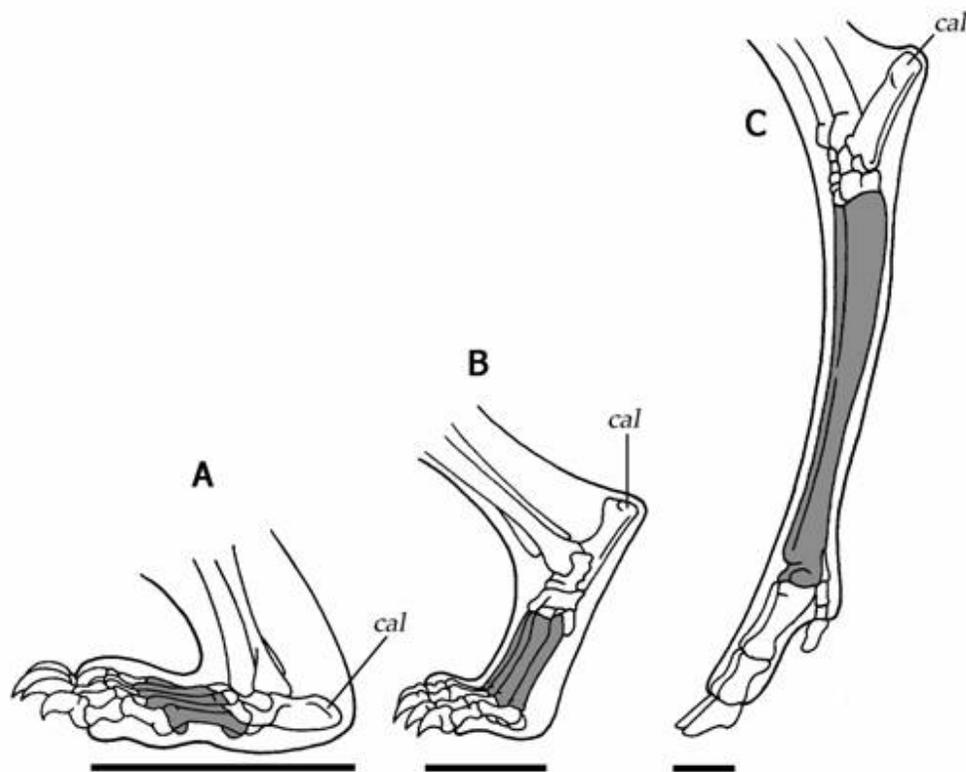


FIGURA 86. Postura del pie en mamíferos. **A.** Postura plantígrada (como en osos y humanos). **B.** Postura digitígrada (como en félidos y cánidos). **C.** Postura unguigrada (como en ungulados). Los huesos en gris representan los metatarsales; nótese que el hueso calcáneo (*ca*) cambia de posición según la postura y la conformación de los huesos asociados. Las líneas debajo de cada dibujo representa la superficie relativa de contacto en el sustrato. Tinta sobre opalina, modificado en Adobe® Photoshop® Elements 2.0.

VIII. ENTOMOLOGÍA

La entomología es la rama de la zoología que se encarga de estudiar los insectos. La clase Insecta está comprendida en el subphylum Hexapoda (*hexa*= seis, *podo*= pie, pata), contenida en el Phylum Artropoda (Borror *et al.*, 1989) y fueron los primeros organismos en desarrollar un vuelo efectivo, por lo cual son los únicos invertebrados con alas. Esta clase se divide en órdenes basados en diferencias (o semejanzas) de la estructura de las alas, de las partes bucales y de la metamorfosis, principalmente. Los insectos han vivido en la Tierra por 350 millones de años y han evolucionado en distintas direcciones para adaptarse a casi cualquier ambiente, por lo cual superan a cualquier otro organismo en cuanto al número de especies se refiere, además de que su distribución es cosmopolita.

Los insectos, en su estado adulto, desarrollan tres regiones corporales principales: cabeza, tórax y abdomen, en las que se localizan tres pares de extremidades torácicas y un par de antenas cefálicas; además, poseen dos pares de alas en el tórax, las cuales pueden ser de distinta naturaleza (membranosas, élitros, hemiélitros y escamosas) y/o modificarse según las necesidades de cada especie, además de partes bucales especializadas para la alimentación. Diversos órdenes de insectos presentan estructuras sociales altamente complejas y desarrolladas.

El tegumento de un insecto adulto se compone de tres capas: epidermis, membrana basal y la cutícula; esta última provee al organismo de un exoesqueleto duro, que básicamente es una capa química compleja hecha de cadenas de un polisacárido (quitina), aunque puede variar su composición entre especies (Gullan y Cranston, 1994). Dicho exoesqueleto se muda periódicamente en un proceso denominado *ecdysis*. Por otro lado estos organismos alcanzan su etapa adulta mediante una metamorfosis, que puede ser de varios tipos.

En los más primitivos, los insectos sin alas o apterigotos, los cambios corporales internos y externos son imperceptibles después de cada muda, por lo cual su desarrollo se denomina *Ametábolo*, aunque en la gran mayoría de insectos los cambios son significativos. En otras clasificaciones (Elzinga, 2000), el grupo de insectos con alas visibles en sus etapas inmaduras se denomina *Exopterygota*, y las especies con desarrollo interno de las alas desde la etapa de larva se nombran *Endopterygota*.

Hay dos tipos básicos de metamorfosis: gradual (o incompleta) y completa. La primera agrupa organismos *paurometábolos* (aquellos que se desarrollan en un mismo ambiente, terrestre o acuático, tanto en sus estados inmaduros como adultos) y *hemimetábolos* (cuyas etapas inmaduras se desarrollan en el medio acuático, mientras que los adultos son terrestres). Ambos grupos presentan los estados de huevo, ninfa y adulto en su desarrollo. En la metamorfosis completa se muestra un tipo más avanzado de desarrollo y en ésta se agrupan los insectos *holometábolos*, cuyos estados son: huevo, larva, pupa y adulto. Las diferencias en esta metamorfosis, entre larvas y adultos son extremas (McCafferty, 1981).

La clase Insecta agrupa 29 órdenes conocidos (Gullan y Cranston, 1994; Elzinga, 2000), aunque Daly y colaboradores (1998) consideran 32 órdenes existentes. Estos órdenes están congregados en dos subclases: Apteriygota, aquellos que carecen de alas (tres órdenes: Protura, Collembola y Diplura) y Pterygota, aquellos que poseen alas o han sufrido pérdida secundaria de ellas. La principal característica de los insectos alados es la presencia de alas con venas en el segundo y tercer segmento torácico (Contreras-Ramos, 1997), sin embargo muchos han perdido la capacidad de volar, como los piojos y pulgas.

Orden Megaloptera

Este orden es considerado el más primitivo entre los insectos con un avanzado tipo de metamorfosis (McCafferty, 1981), o metamorfosis completa. Se conocen aproximadamente 300 especies y la mayoría de ellas posee una larva acuática depredadora con partes bucales muy desarrolladas (Elzinga, 2000) y con apéndices abdominales laterales; las demás etapas de vida son terrestres. Su desarrollo toma de uno a tres años, por 10-12 estadios larvales, al término de los cuales la larva deja el agua y pupa en un corto periodo en una cámara debajo de rocas o troncos. Los adultos emergen en dos a cuatro semanas, generalmente en primavera y verano (Merritt y Cummins, 1978).

Los adultos de Megaloptera llegan a medir de 10 a 75 mm de largo (Daly *et al.*, 1998), poseen en su mayoría antenas filiformes, grandes ojos compuestos dispuestos lateralmente, partes bucales masticadoras (a pesar de que rara vez se alimentan en estado natural), un pronoto grande, subrectangular o trapezoidal y llegan a vivir pocos días en la mayoría de las especies. Se caracterizan también por la larga y plegable área anal en sus alas posteriores (Contreras-Ramos, 1997), las cuales suelen ser oscuras o pardas junto con las anteriores, que son largas y con muchas venaciones y se pliegan una sobre otra en el abdomen; poseen también largas extremidades cursorias con cinco segmentos tarsales cada una, con uñas apicales pareadas (New y Theischinger, 1993).

En cuanto a su clasificación, el orden Megaloptera se divide en dos familias. La familia Corydalidae (*dobsonflies*) agrupa especies distribuidas ampliamente, cuya larva se caracteriza por poseer 8 pares de filamentos abdominales laterales (Daly *et al.*, 1998) y permanece en corrientes rápidas de agua. En su etapa adulta miden de 40-75 mm de largo, con alas anteriores largas cuyo despliegue puede superar los 180 mm (Contreras-Ramos, 1997). Sus cuerpos tienen tonalidades oscuras y pardas aunque, sus alas varían de coloración y suelen ser moteadas; suelen ser

nocturnos. Los adultos de Corydalidae se identifican por tener 3 ocelos y el cuarto segmento tarsal simple o cilíndrico (Merritt y Cummins, 1978; Daly *et al.*, 1998).

Corydalidae contiene dos subfamilias: Corydalinae y Chauliodinae. La primera se distribuye al Norte y Sur de América, Sureste de África y región oriental y comprende 9 géneros y aproximadamente 100 especies; Chauliodinae se distribuye en el Norte de América, Chile, Sureste de África, Madagascar, Sureste de Asia, Australia y Nueva Zelanda. Esta subfamilia agrupa 15 géneros con cerca de 90 especies; algunos géneros son similares entre sí, aunque entre especies la diferencia es mayor (New y Theischinger, 1993).

Por otra parte, la familia Sialidae (*alderflies*) se distribuye ampliamente al Norte y Sur de América, especialmente en el trópico. Posee cerca de 60 especies distribuidas dentro de 7 géneros (New y Theischinger, 1993); su larva, al igual que en Corydalidae, permanece en charcas y corrientes rápidas de agua y se caracteriza por poseer 7 pares de filamentos abdominales sin segmentación y un filamento terminal en el último segmento abdominal (Daly *et al.*, 1998). Como adultos miden de 10 a 20 mm de largo y la envergadura de sus alas puede alcanzar hasta 40 mm; su cuerpo tiene tonalidades pardas, oscuras y muchas veces anaranjadas y sus alas, la misma tonalidad, muchas veces más oscura. Esta familia se caracteriza porque la cabeza de los adultos carece de ocelos y en las patas el cuarto segmento tarsal es dilatado o bilobulado (Contreras-Ramos, 1997; Daly *et al.*, 1998). Además, son fundamentalmente diurnos y malos voladores, pero corren con efectividad. Las hembras y machos de Sialidae son difíciles de distinguir, aunque generalmente las hembras son de mayor tamaño, pero el principal dimorfismo sexual se halla en diferencias en estructuras genitales; los machos de *Sialis* tienen mandíbulas más elaboradas que las hembras, y en machos de *Protosialis* las antenas son más hirsutas que en hembras (New y Theischinger, 1993).

Para este trabajo, se ilustraron cuatro aspectos fundamentales en la identificación y clasificación de especies en este orden de insectos: cabeza y pronoto (en conjunto), alas, *genitalia* externa y hábito. El tórax de un insecto consiste en tres segmentos: protórax, mesotórax y metatórax; el pronoto es una placa dorsal del tergo del segmento protorácico y funciona como soporte en la unión de los músculos del primer par de patas (Champan, 1998). La cabeza y el pronoto reúnen características que en muchas ocasiones permiten diferenciar familias, género o especie (presencia de ocelos, coloración en antenas, patrones de pigmentación, forma en general). Las alas poseen un particular patrón en su venación además de patrones de coloración que pueden ser diagnósticos para las especies.

La *genitalia* consiste en los órganos genitales colectivos externos. Los principales órganos de sujeción en el ♂ son generalmente estructuras apendiculares móviles del 9º segmento que actúan como un par de ganchos; la genitalia externa en ♀ consiste en adaptaciones estructurales para conectarse con el ♂ y para la ovoposición (Snodgrass, 1993). La morfología de la *genitalia* externa permite (entre otros aspectos) identificar especies, distinguir distintos géneros y familias o apreciar su dimorfismo sexual, por lo cual estas estructuras proveen mucha información relevante. Por último, el hábito se ilustra para apreciar las proporciones de todas las partes del insecto y su aspecto en general. Respecto a Corydalidae se ilustró la cabeza, el pronoto y la *genitalia* externa de *Chloronia* sp., un género distribuido en América Central y América del Sur. Para Sialidae, la ilustración fue más variada en lo que a especies y estructuras se refiere, y en esta última variante, se ilustraron alas y hábito. Todas las ilustraciones de Megaloptera son originales, aunque algunas se han utilizado en publicaciones recientes.

La figura 87 muestra una comparación entre integrantes de las dos familias de Megaloptera, la cual hace evidente la diferencia entre ellas, en la cabeza y pronoto. Por otro lado, para *Chloronia yungas* (Contreras-Ramos, 2006a) se ilustró parte de su genitalia (Fig. 88) teniendo como objetivo mostrar un aspecto general de ella.

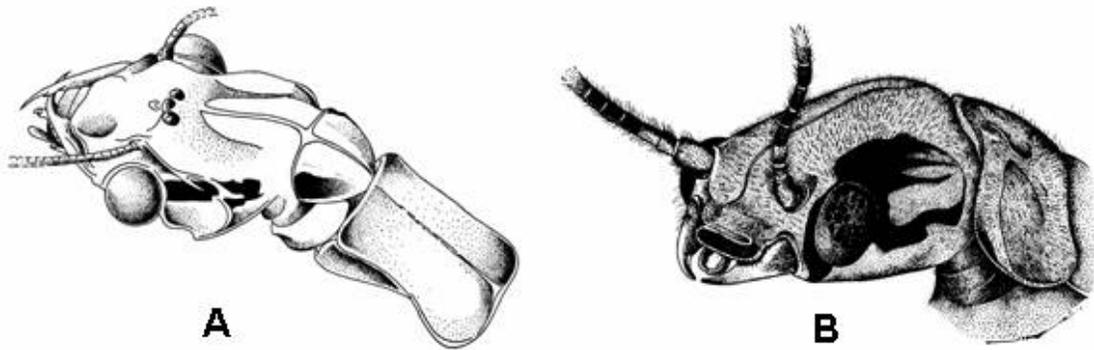


FIGURA 87. **A.** *Chloronia yungas* (Contreras-Ramos, 2006a). **B.** *Protosialis mexicana*. Cabeza y pronoto para ambos casos. Nótese en *C. yungas* los ocelos en el dorso de la cabeza y la pigmentación detrás del ojo. En cambio, en *P. mexicana* la cabeza carece de ocelos pero alrededor de sus ojos presenta pigmentación característica. Tinta sobre opalina.

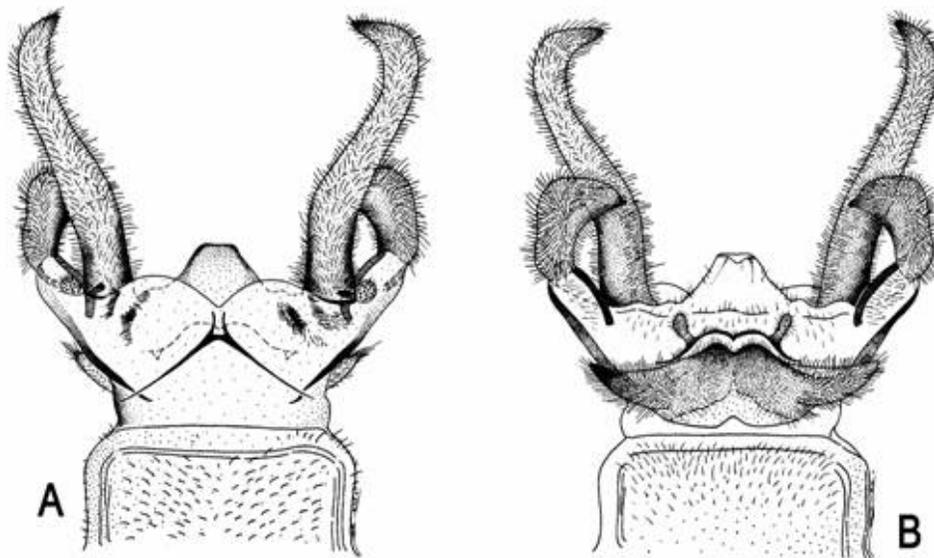


FIGURA 88. *Chloronia yungas* (Contreras-Ramos, 2006a). Genitalia de ♂. **A.** Vista dorsal. **B.** Vista ventral. Obsérvese las estructuras (paraprocto y epiprocto) elongadas y elaboradas, características en la mayoría de ♂; tinta sobre opalina.

En Sialidae, se seleccionaron 15 ilustraciones (una mostrada); sin embargo, otros dibujos se destinaron para proyectos diferentes y no fueron incluidos. Para *Protosialis mexicana* (Fig. 89), especie restringida al sureste mexicano y Centroamérica, se muestra el aspecto general de un individuo adulto macho, así como la venación de su ala anterior izquierda.

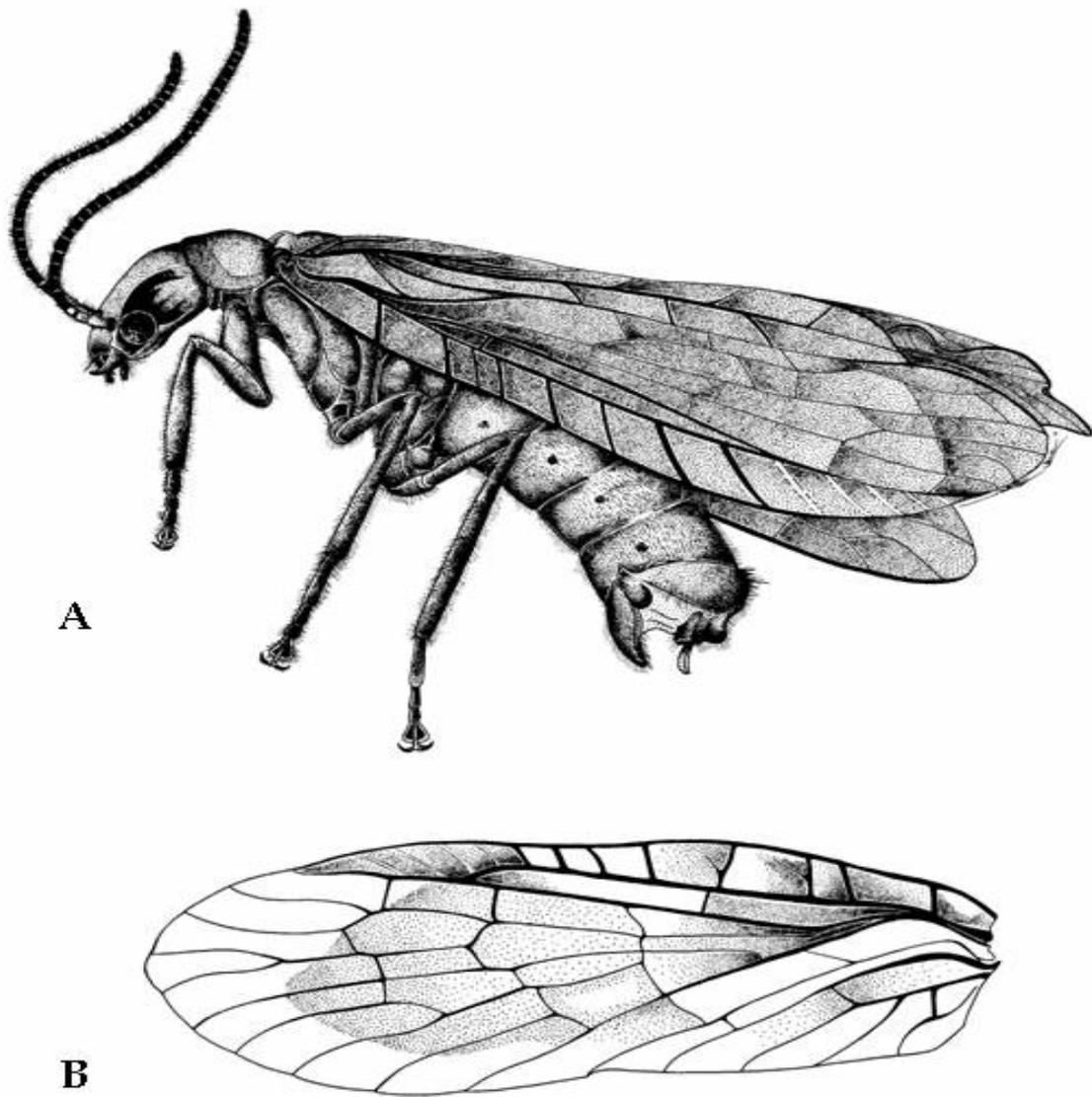


FIGURA 89. *Protosialis mexicana*, ♂. **A.** Hábito. **B.** Ala anterior izquierda. El hábito se muestra en una posición atípica pero plena de información. Por ejemplo, además de notar la extensión de antenas y extremidades entre sí, se percibe la forma y longitud del abdomen y las alas levemente plegadas al cuerpo. En **B** se representa la venación y pigmentación del ala; regularmente el ala, si está dañada, se ilustra en intactas condiciones como en este caso. Tinta sobre opalina.

Protosialis ranchograndis (Contreras-Ramos, 2006b; Fig. 90), por su parte es representada aquí por medio de su hábito en una posición atípica, pero muy informativa a la vez. Asimismo, se ilustra el ala anterior derecha de un ejemplar macho de *Sialis ranchograndis* con la nomenclatura principal de la venación y genitalia para ambos sexos (Fig. 91).

Por último, *Protosialis hauseri*, recientemente descrita de Brasil (Fig. 92), constituye un caso especial al haberse utilizado las ilustraciones en la descripción original (Contreras-Ramos *et al.*, 2005).

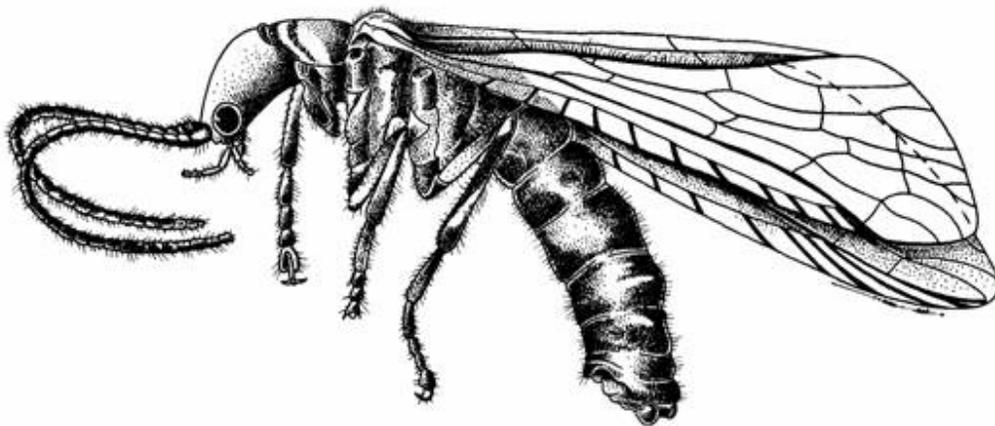


FIGURA 90. *Protosialis ranchograndis* Contreras-Ramos ♀ (2006b). Hábito. Al igual que en la figura 89 A, la posición del hábito trasmite información adicional, las líneas punteadas en las alas indican el límite del ala posterior al plegarse al cuerpo, por lo cual se encuentra en un segundo plano visual. Tinta sobre opalina.

Es preciso mencionar, que la descripción de insectos es ardua y compleja, por lo cual en esta parte del trabajo está reducida. Por esto sólo se incluyen aspectos generales y de importancia suficiente para el correcto curso de esta sección, de acuerdo con los lineamientos planteados para esta investigación, en la cual el dibujo como método de comunicación es aplicado a las diferencias más informativas entre estos organismos.

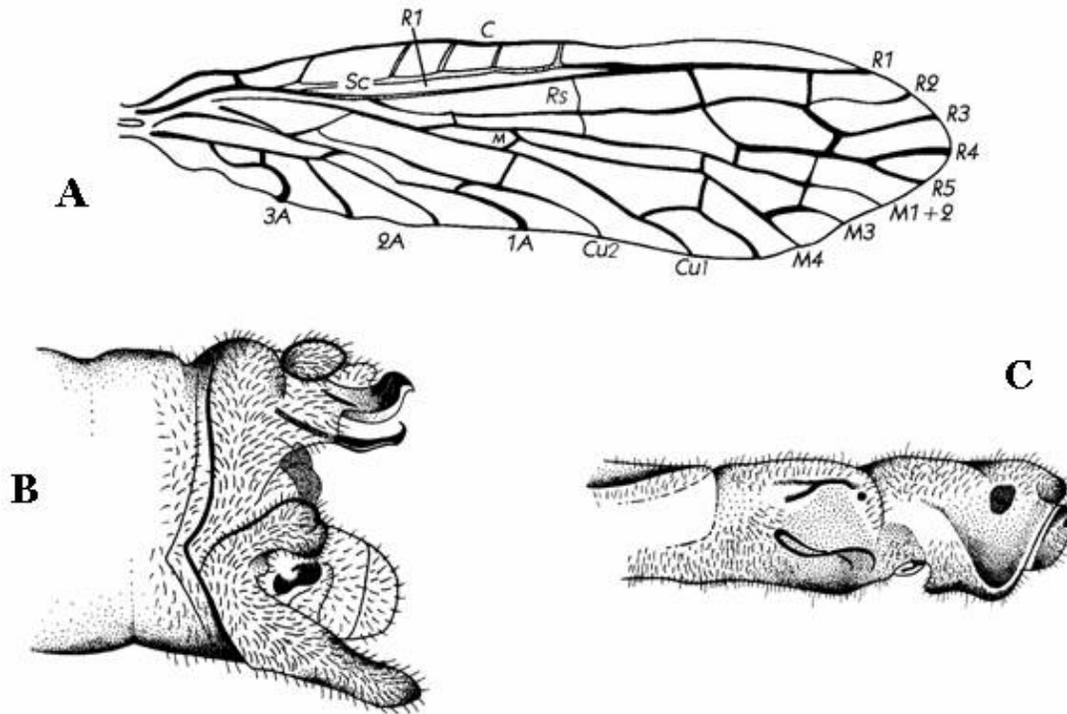


FIGURA 91. *Sialis ranchograndis*. **A.** Ala anterior derecha del macho y su nomenclatura respecto a las principales (longitudinales) venas alares, de acuerdo a New y Theischinger (1993). Abreviaturas: A, anales; C, costal; Cu, cubital (proximal y distal); M, mediales; R, radial o radio; Sc, subcostal; Rs, sector radial. Las cifras indican el número de cada tipo de vena. **B.** Genitalia de ♂ en vista lateral. **C.** Genitalia de ♀ en vista lateral. Las genitalias se ilustran a distinta escala cada una. Tinta sobre opalina, abreviaturas con Adobe® Photoshop® Elements 2.0.

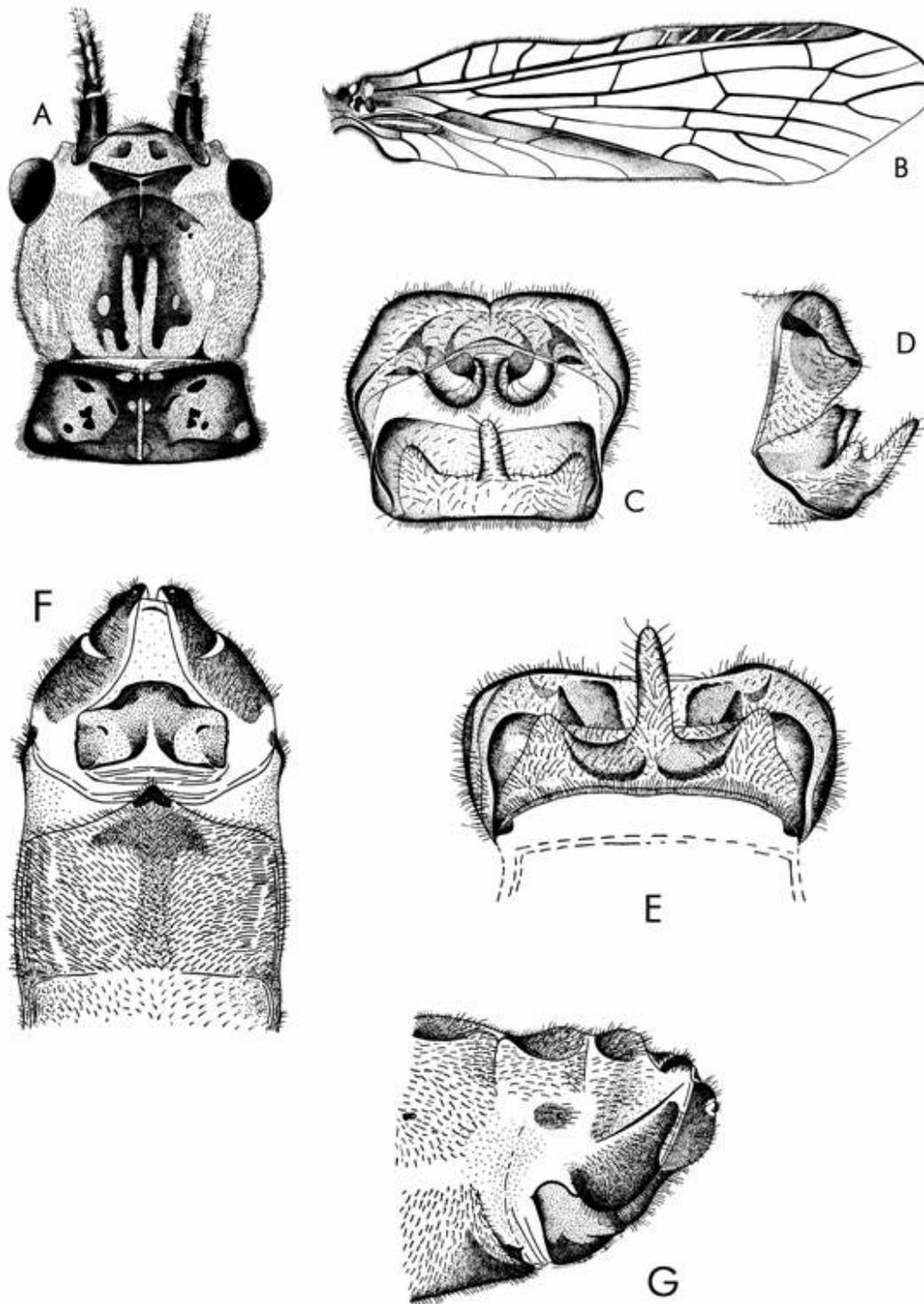


FIGURA 92. *Protosialis hauseri* Contreras, Fiorentin y Urakami. **A.** Cabeza y pronoto, holotipo. **B.** Ala anterior derecha, paratipo. **C.** Genitalia ♂, vista caudal, **D.** Vista lateral de genitalia del macho. **E.** Vista ventral de genitalia del macho. **F.** Genitalia ♀, vista ventral, **G.** Vista lateral de la genitalia de hembra. Tinta sobre opalina.

IX. DISCUSIÓN

Las imágenes presentadas en este trabajo en cuanto a su tonalidad fueron de tres tipos: blanco y negro, escalas de grises y en color, enfocadas todas a ofrecer una buena calidad estética y de impresión. En el desarrollo del dibujo científico y específicamente en este estudio, los tres tipos de dibujo, ya sea a lápiz o tinta se han utilizado para diversas finalidades informativas.

Los dibujos correspondientes a escala de grises mayoritariamente fueron hechos con lápiz y ofrecen un nivel de detalle alto, gracias principalmente al juego de sombras y texturas aplicadas en los dibujos osteológicos, aunque un insecto puede ser favorablemente ilustrado bajo esta técnica. Hodges (1989) considera que un ejemplar entomológico conviene ilustrarlo con lápiz (o carboncillo, o con polvo de carbón y sus variantes) para ofrecer detalles que se ajusten perfectamente a las numerosas estructuras que presentan los insectos (sedas, espinas, omatidias, uñas, entre otras), sin embargo un insecto bien puede ilustrarse a tinta dependiendo directamente de la habilidad del ilustrador y el objetivo de tal ilustración.

En cuanto a los dibujos en blanco y negro, todos realizados en tinta se distinguieron dos variantes importantes: dibujos muy detallados y dibujos sencillos, diagramáticos. Así como Romer (1956) presenta en su trabajo imágenes en blanco y negro con alto detalle, en esta investigación se incluyeron ilustraciones detalladas de forma similar, con sus respectivas diferencias sin descuidar el aspecto informativo de cada imagen; asimismo en cuanto a dibujos entomológicos se siguió un patrón enfocado a realzar detalles diagnósticos de la anatomía externa; en cambio Snodgrass (1993) se ocupa de detalles anatómicos internos a gran detalle, aspecto no contemplado en el presente trabajo. Por otro lado en los dibujos sencillos la presencia de mayores datos no fue necesaria al considerar tales imágenes como suficientes para transmitir una información en específico. Schmid (1972) en ocasiones presenta imágenes delineadas solamente, pero la mayoría posee pocas indicaciones de sombras o límites propios del hueso; los dibujos diagramáticos en la

presente investigación se ocuparon de explicar mecanismos intrincados y funciones mecánicas, así como mostrar límites, simples formas e indicaciones de regiones del objeto de estudio, entre otros aspectos.

Las ilustraciones en color (una en este trabajo) persiguen un fin ligeramente distinto a las otras tonalidades del dibujo, es decir, por lo regular se utilizan para mostrar simplemente al ejemplar, sin profundizar en aspectos más informativos, sin embargo son ampliamente apreciados como obras artísticas, publicitarias y sumamente utilizadas en guías de campo (McCafferty, 1981) para identificar o localizar organismos de las distintas clases; existen igualmente imágenes coloreadas bajo distintos propósitos como mostrar cortes, órganos internos o ciclos de vida, entre otros, como se pueden apreciar en Hickman *et al* (1984), aunque las imágenes en color sean mayoritariamente apreciadas y usadas en las distintas ramas de la medicina. Por tanto, las ilustraciones más elaboradas siguieron el propósito de realzar las dimensiones del objeto analizado como parte del realismo conferido a éste, para que el lector tenga un enfoque más cercano y certero de la apariencia real del objeto.

La importancia de un dibujo científico radica principalmente en el traslado a través de medios gráficos de un objeto tridimensional de interés científico, a la superficie bidimensional del papel, esto con la finalidad de contar con un estudio más práctico del objeto en cuestión. Además mediante la correcta aplicación de sombras y detalles, independientemente la técnica utilizada se obtiene cercanamente las tres dimensiones del objeto real; así, se cuenta con una adecuada y correcta visualización y descripción del cuerpo de estudio en el momento requerido. Del mismo modo, un dibujo científico no estaría completo sin referencias auxiliares útiles como indicaciones de escala, numeraciones, líneas o flechas, posición espacial, certeros pies de figura, entre otros, aunque tales referencias siempre son vinculadas al objetivo principal de un proyecto científico determinado. Por otro lado, la aplicación del dibujo científico abarca casi todas las disciplinas de la

biología en las cuales el o los objetos primarios de estudio sean tangibles y factibles para ilustrar, sin embargo su correcta aplicación depende de muchos factores, entre los cuales se pueden mencionar la disposición de lugares o medios en donde publicar, aprobación del titular del proyecto científico y/o editorial, seguimiento correcto de lineamientos para publicar, divulgación en los medios determinados, entre otros.

En este trabajo las ilustraciones se enfocaron en sólo dos disciplinas biológicas: osteología y entomología. Para la primera los dibujos fueron expuestos bajo diversos propósitos, por eso es posible ver ilustraciones sencillas y diagramáticas en diversos ángulos para obtener una idea más clara del aspecto general de algún hueso, y dibujos más elaborados y complejos en los cuales ciertos mecanismos y estructuras se muestran bajo un análisis funcional en el organismo, así como también aspectos importantes en la función mecánica de éstos. Para la segunda, los dibujos siguieron un patrón de causa menos exhaustivo al ilustrar sólo aspectos diagnósticos de su anatomía externa pero que aún así permiten diferenciar individuos, incluso especies. Para tener la más clara idea y la mejor referencia de alguna estructura, morfología o rasgo diagnóstico de un organismo o cualquiera de sus componentes, es importante siempre tener un apoyo visual e informativo que es el dibujo científico aplicado bajo las normas mencionadas antes.

Finalmente, se consideró como capítulos principales, junto con Introducción a los de Osteología y Entomología (Orden Megaloptera). Osteología agrupó la mayor parte de las ilustraciones debido a la facilidad de acceso al material óseo clasificado y bibliografía especializada. En cambio, la sección Entomología (Orden Megaloptera) sólo presentó 17 dibujos distribuidos en 6 figuras, debido en parte a que la información disponible de este orden es poca en comparación con la de osteología, además de que el tiempo invertido en este trabajo se prolongó más de lo planeado y hubiera sido complicado profundizar en estructuras específicas, historias de vida,

aspectos ecológicos, entre otros. A pesar de esto, los dibujos aparecidos en definitiva alcanzaron una calidad adecuada para este trabajo y reunieron los requisitos tanto informativos como estéticos, para complementar satisfactoriamente la información investigada y desarrollada en este manuscrito y en consecuencia cumplir los objetivos planteados al principio.

X. CONCLUSIONES

A lo largo de este trabajo se mostraron ochenta y dos figuras hechas por el autor, de las cuales 42, en su totalidad o en algún elemento, son totalmente originales. Sólo una ilustración a color fue incluida debido principalmente a dificultades técnicas y prácticas que representa la intercalación de una imagen a color entre figuras en blanco y negro o tonos de grises, conjuntamente con problemas relacionados a una impresión de calidad.

El análisis ilustrado del sistema esquelético de los grupos mayores de vertebrados presentado se desarrolló bajo dos técnicas de dibujo: a lápiz y tinta; sin embargo, estas dos técnicas no presentaron una gran diferencia en cuanto al nivel de detalle y exactitud en la descripción de piezas se refiere, por lo cual en algunos casos se pudieron apreciar en una misma ilustración las dos técnicas, y por lo tanto es válido ilustrar material osteológico con cualquiera de estas dos modalidades para comprender satisfactoriamente las funciones básicas del esqueleto de vertebrados.

Por otra parte las ilustraciones entomológicas se generaron en su totalidad con tinta para adecuar en una sola técnica todos los ejemplares de insectos, además de ofrecer una buena calidad de impresión y ajustarse a la mayoría de estándares establecidos de publicación; no obstante, esto no quiere decir que sea inadecuado ilustrar insectos con lápiz. Aún así, las ilustraciones de Megaloptera cumplen el propósito establecido al principio, aun al sujetarse a menor detalle.

También se ofrece una lista de referencias bibliográficas, útil y confiable respecto a la historia de la ilustración científica a través de varias revisiones y que, para fines prácticos, tal reseña aparece en un solo volumen.

El campo de aplicación de una ilustración científica es muy extenso y va, desde sencillos dibujos diagramáticos, hasta complejas reconstrucciones pictográficas. La ilustración científica es básica en descripciones de algún órgano o estructura de un organismo, la representación de

movimientos o mecanismos complejos, las reconstrucciones de organismos fósiles, el mejoramiento de la definición de la descripción de especies o la identificación de las ya existentes por medio de claves de identificación, los estudios de anatomía comparada, obras destinadas para museos o publicidad comercial, entre muchos otros campos. No obstante, el dibujo científico como ilustración en cualquiera de sus variantes, en cuanto a tecnología, ha de ser siempre necesario en la investigación científica, no sólo como un complemento, sino como parte imprescindible e incluyente en cualquier proyecto.

Finalmente, se espera que este trabajo marque un punto de partida para generar futuras investigaciones y un desarrollo más extenso en el campo de la ilustración científica, en cualquier disciplina biológica. Asimismo, es una referencia importante para valorar el dibujo científico y alentar a futuras generaciones de investigadores a profundizar en el tema y redefinirlo como herramienta incluyente en la investigación científica.

XI. CRÉDITOS DE LAS ILUSTRACIONES

FIGURA 1. Imágenes tomadas de www.desordre.net/bloc/oeuvres/lascaux.htm (izquierda) y www.mexicodesconocido.com (derecha). **FIGURA 2.** Imágenes tomadas de www.visi.com/~reverter/leonardo.html. **FIGURA 3.** Imagen tomada de faculty.fullerton.edu/cmconnell/302/Anatomy.html. **FIGURA 4.** Imagen tomada de folk.uio.no/klaush/leeuwenh.htm. **FIGURA 5.** Imagen tomada de royalsoc.ac.uk/library/hsc/htm. **FIGURA 6.** Imagen tomada de www.linnaeus.nu. **FIGURA 7.** Imágenes tomadas de www.mexicodesconocido.com.mx. **FIGURA 8.** Imágenes tomadas de *Electronic Biologia Centrali-Americana*. Disponibles en: <http://www.sil.si.edu/digitalcollections/bca>. **FIGURA 9.** Imagen modificada de Cocucci, 2000. **FIGURA 10.** *Ibidem*. **FIGURA 11.** Ilustración original. **FIGURA 12.** Ilustración original. **FIGURA 13.** Modificada de Romer y Parsons, 1984. **FIGURA 14.** Ilustración original. **FIGURA 15.** Ilustración original. **FIGURA 16.** Ilustración original. **FIGURA 17.** Ilustración original. **FIGURA 18.** Ilustración original. **FIGURA 19.** Ilustración original, excepto C, modificada de *Electronic Biologia Centrali-Americana*. Disponible en: <http://www.sil.si.edu/digitalcollections/bca>. **FIGURA 20.** Modificada de Quiroz Gutierrez, 1959, y Romer y Parsons, 1984. **FIGURA 21.** Modificada de Romer, 1956. **FIGURA 22.** Ilustración original, en parte adaptada de Young, 1981. **FIGURA 23.** Modificada de Young, 1981. **FIGURA 24.** (A) Modificada de Quiroz Gutierrez, 1959; (B) Duellman y Trueb, 1994 y (C) Romer, 1956. **FIGURA 25.** (A) Ilustración original, (B) modificada de Quiroz Gutierrez, 1959 y (C) Romer, 1956. **FIGURA 26.** Modificada y adaptada de: (A) Schmid, 1972, (B) Romer, 1956 y (C) Bond, 1979; (D y E) ilustraciones originales. **FIGURA 27.** (A, B y C) Modificada y adaptada de Schmid, 1972; (D) ilustración original. **FIGURA 28.** (A) Modificada de Quiroz Gutierrez, 1959; (B, C y D) Duellman y Trueb, 1994; (E) ilustración original. **FIGURA 29.** (A y B) originales; (C) modificadas de Duellman y Trueb, 1994; (D) Romer, 1956; (E, 1) Lagler, 1977, (E, 2 y 3) Bond, 1979. **FIGURA 30.** Modificada de Romer, 1956, y Romer y Parsons, 1984. **FIGURA 31.** Modificada de Rojo, 1991. **FIGURA 32.** Basada en Duellman y Trueb, 1994. **FIGURA 33.** Composición basada en Romer, 1956. **FIGURA 34.** Ilustración original. **FIGURA 35.** Ilustración original. **FIGURA 36.** Modificada de Schmid, 1972. **FIGURA 37.** *Ibidem*. **FIGURA 38.** Ilustración original. **FIGURA 39.** Ilustración original, excepto (C) modificada de Romer, 1956. **FIGURA 40.** Ilustración original, basada en diversas fuentes. **FIGURA 41.** Modificada de Bond, 1979. **FIGURA 42.** *Ibidem*. **FIGURA 43.** Basada en parte en Young, 1981, y Romer y Parsons, 1984. **FIGURA 44.** Modificada de Romer y Parsons, 1984. **FIGURA 45.** Composición original basada en diversas fuentes. **FIGURA 46.** Modificada y basada en Romer, 1956. **FIGURA 47.** Modificada de Romer, 1956. **FIGURA 48.** Modificada de Romer, 1956 y Young, 1981. **FIGURA 49.** Modificada de Romer, 1956 y Romer y Parsons, 1984. **FIGURA 50.** Composición basada, principalmente, en Romer, 1956 y Young, 1981. **FIGURA 51.** (A y B) Modificadas de Romer, 1956; (C, D y E) basadas en diversas fuentes. **FIGURA 52.** Ilustración original. **FIGURA 53.** Ilustración original. **FIGURA 54.** Ilustración original. **FIGURA 55.** Ilustración original. **FIGURA 56.** Ilustración original. **FIGURA 57.** Ilustración original, excepto D, modificada de Schmid, 1972. **FIGURA 58.** Modificada de Young, 1981. **FIGURA 59.** *Ibidem*. **FIGURA 60.** Composición basada en Young, 1981. **FIGURA 61.** Ilustración original, basada en fotografías y otras fuentes. **FIGURA 62.** Modificada de Schmid, 1972. **FIGURA 63.** Modificada de Romer y Parsons, 1984 y Pough, 2002. **FIGURA 64.** Modificada de Romer y Parsons, 1984. **FIGURA 65.** Ilustración inédita. **FIGURA 66.** Modificada de Bond, 1979. **FIGURA 67.** Composición basada en Hickman, *et al.*, 1984 y Pough, 2002. **FIGURA 68.** Modificada de Pough, 2002. **FIGURA 69.** Ilustración original. **FIGURA 70.** Ilustración original. **FIGURA 71.** Ilustración original. **FIGURA 72.** Ilustración original. **FIGURA 73.** Basada y modificada de Pough, 2002. **FIGURA 74.** Modificada de Young, 1981. **FIGURA 75.** Ilustración original, basada en diferentes fuentes. **FIGURA 76.** Modificada de Romer y Parsons, 1984; (C) ilustración original. **FIGURA 77.** (A) Modificada de diferentes fuentes; (B) Young, 1981 y Romer y Parsons, 1984; (C) Romer, 1956; (D) Young, 1981. **FIGURA 78.** Ilustración original. **FIGURA 79.** Ilustración original. **FIGURA 80.** Ilustración original. **FIGURA 81.** Composición basada en diferentes fuentes, entre ellas Hildebrand, 1974; Young, 1981; Hickman, *et al.*, 1984; Alexander, 1986 y Pough, 2002. **FIGURA 82.** Modificada de Romer y Parsons, 1984. **FIGURA**

83. (A) Modificada de diversas fuentes; (B) Romer, 1956; (C) Young, 1981; (D y E) Romer y Parsons, 1984. **FIGURA 84.** Composición basada en Schmid, 1972. **FIGURA 85.** Modificada de Romer y Parsons, 1984. **FIGURA 86.** Basada y modificada principalmente de Pough, 2002 y otras fuentes. **FIGURA 87.** Ilustraciones originales. **FIGURA 88.** Ilustraciones originales. **FIGURA 89.** Ilustraciones originales. **FIGURA 90.** Ilustración original. **FIGURA 91.** Ilustraciones originales. **FIGURA 92.** Ilustraciones originales, incluidas en Contreras-Ramos *et al.*, 2005.

NOTA: A partir de la Figura 11, todos los dibujos fueron enteramente realizados por el autor con sus debidas modificaciones; las ilustraciones originales son creaciones inéditas y se presentan por primera vez. Por otra parte, las modificaciones se refieren a cambios en las ilustraciones tomadas como base y reproducidas en este trabajo, por ejemplo, inclusión de nuevos elementos o eliminación de otros, cambio en la técnica utilizada, entre otros. Asimismo, las figuras compuestas de otras fuentes se refieren a la inclusión de dibujos de diversas fuentes relacionados entre sí que convino reunir en una sola figura con algunos cambios pertinentes. Por último, las imágenes de las diversas fuentes se toman como base o referencia para establecer ideas nuevas para crear distintas ilustraciones, basadas en tales imágenes, por lo cual, las ilustraciones finales no son totalmente originales.

XII. BIBLIOGRAFÍA CITADA

- Alexander, R. 1986. *Animal mechanics*. Cuarta edición. University of Washington Press. Seattle, Estados Unidos de América. 346 p.
- Andrew, W. y Hickman, C. P. 1974. *Histology of the vertebrates. A comparative text*. C. V. Mosby Company. Estados Unidos de América. 447 p.
- Biblioteca de Consulta Microsoft® Encarta® 2002. © 1993-2001 Microsoft Corporation.
- Bond, C. E. 1979. *Biology of fishes*. W. B. Saunders Company. Estados Unidos de América. 514 p.
- Borror, D. J., Triplehorn, C. A., y Johnson, N. F. 1989. *An introduction to the study of insects*. Sexta edición. Saunders College Publishing. Estados Unidos de América. 875 p.
- Cárdenas, N. 1989. *La Ilustración al servicio de las Ciencias Naturales*. En: Ciencias. Revista de difusión. Número especial 3. Llorente, B. (comp.). Grupo de Difusión de la Ciencia del Departamento de Física, Matemáticas y Biología de la Facultad de Ciencias. UNAM.
- Carroll, R. L. 2001. *The origin and early radiation of terrestrial vertebrates*. Journal of Paleontology. 75(6):1202-1213.
- Chapman, R. F. 1998. *The insects. Structure and function*. Cuarta edición. Cambridge University Press. Reino Unido. 770 p.
- Cocucci, A. E. 2000. *Dibujo Científico. Manual para Biólogos que no son dibujantes y dibujantes que no son Biólogos*. Sociedad Argentina de Botánica. Córdoba, Argentina. 53 p.
- Contreras-Ramos, A. 1997. *Megaloptera. Alderflies, dobsonflies, fishflies*. The Tree of Life Web Project (Internet). ©1995-2005 (Consultado: Septiembre 2005). Disponible en: <http://tolweb.org/Megaloptera/8218/1997.10.14>
- Contreras-Ramos, A., Fiorentin, G. L. y Urakami, Y. 2005. *A new species of alderfly (Megaloptera: Sialidae) from Rio Grande do Sul, Brazil*. Amazoniana. XVIII (3/4): 267-272.
- Contreras-Ramos, A. 2006. *A new species of Chlornia Banks (Megaloptera: Corydalidae) from Bolivia and Peru*. Proceedings of the Entomological Society of Washington 108: 808-813.
- Contreras-Ramos, A. 2006. *Protosialis ranchograndis, a new species of alderfly from Venezuela, with a redescription of P. brasiliensis Navás (Megaloptera: Sialidae)*. Proceedings of the Entomological Society of Washington 108: 977-984.
- Daly, H. V., Doyen, J. T., y Purcell, A. H. 1998. *Introduction to insect biology and diversity*. Segunda edición. Oxford University Press. Estados Unidos de América. 680 p.
- Dance, S. P. 1978. *The Art of Natural History: Animal Illustrators and their work*. The Overlook Press. New York. 224 p.
- Duellman, W. E. y Trueb, L. 1994. *Biology of Amphibians*. The John Hopkins University Press. Estados Unidos de América. 670 p.

- Electronic Biologia Centrali-Americana (Internet). Digital Edition 2004. Smithsonian Institution Libraries Washington, D.C. (Consultado: Agosto-Diciembre 2004). Disponible en: <http://www.sil.si.edu/digitalcollections/bca>
- Elzinga, R. J. 2000. *Fundamentals of entomology*. Quinta edición. Prentice-Hall. Estados Unidos de América. 495 p.
- Esparza, A. E. 1981. *Historia de la ilustración científico-biológica en México*. Manuscrito presentado en el Simposio de la Historia de la Ciencia y la Tecnología en México II: Plantas y Animales.
- Ford, B. J. 1996. *Images Imperfect, the Legacy of Scientific Illustration* (Chapter in) Yearbook of Science and the Future: 134-157, Chicago: Encyclopedia Britannica.
- Gaytán Ramírez, E. 2002. *Ilustración Paleontológica*. Resumen de Ponencias del VIII Congreso Nacional de Paleontología. Noviembre de 2002. México.
- Glorioso, M. J. 1981. *Systematics of the dobsonfly subfamily Corydalinae (Megaloptera: Corydalidae)*. Systematic Entomology, Oxford. 6: 253-290.
- Gullan, P. J., y Cranston, P. S. 1994. *The insects: an outline of entomology*. Chapman & Hall. Gran Bretaña. 491 p.
- Hickman, C. P., Roberts, L. S., Hickman, F. M. 1984. *Integrated principles of zoology*. Séptima edición. Times Mirror/Mosby College Publishing. Estados Unidos de América. 1065 p.
- Hildebrand, M. 1974. *Analysis of vertebrate structure*. John Wiley and sons. New York, Estados Unidos de América. 349 p.
- Hodges, E. R. S. 1989. *The Guild Book of Scientific Illustration*. Segunda edición. Van Nostrand Reinhold Books. New York. 350 p.
- Lagler, K. F.; Bardach, J. E.; Miller, R. R. y May Passino, D. R. 1977. *Ictiología*. Primera edición en español. AGT Editor, S. A. México. 489 p.
- Laurin, M. 2000. *Temporal Fenestration and the Classification of Amniotes*. The Tree of Life Web Project (Internet). ©1995-2005 (Consultado: Marzo 7, 2006). Disponible en: http://tolweb.org/notes/?note_id=463
- Loos, E. M. 2000. *Evaluating Scientific Illustrations: Basics for Editors*. Council of Science Editors (Internet). ©2006 (Consultado: Febrero 2, 2006) Julio-Agosto 2000, 3(4): (2 pp.). Disponible en: <http://www.councilscienceeditors.org/publications>
- McCafferty, W. P. 1981. *Aquatic Entomology. The fishermen's and ecologists' illustrated guide to insects and their relatives*. Jones and Bartlett Publishers, Inc. Estados Unidos de América. 448 p.
- Mendoza Trejo, R., y Cerda Ardura, A. 1999. *Dibujos e Ilustración*. En: Papavero, N., y Llorente, J. (comps.). Herramientas prácticas para el ejercicio de la taxonomía zoológica. Ediciones Científicas Universitarias. Fondo de Cultura Económica. México. 326 p.

- Merritt, R. W., y Cummins, K. W. 1978. *An introduction to the aquatic insects of North America*. Tercera edición. Kendall / Hunt Publishing Company. Estados Unidos de América. 862 p.
- New, T. R., y Theischinger, G. 1993. *Megaloptera (Alderflies, Dobsonflies)*. En: Fischer, M. (ed.). *Handbook of Zoology, a natural History of the Phyla of the Animal Kingdom*. Volumen IV, Arthropoda: Insecta, Parte 33. Walter de Gruyter & Co. Berlin. 97 p.
- Patrias, K. 2002. *Citations to the Internet* (Internet). © 2006 (Consultado: Febrero 3, 2006). Mayo-Junio 2002, 25(3) :(3 pp.). Disponible en: <http://www.coucilscienceeditors.org/publications>
- Pough, F. H., Janis, C. M. y Heiser, J. B. 2002. *Vertebrate life*. Sexta edición. Prentice Hall. Estados Unidos de América. 699 p.
- Quiroz Gutiérrez, F. 1959. *Tratado de Anatomía Humana*. Tomo I. Tercera edición. Editorial Porrúa S. A. México. 213 p.
- Rickards Guevara, J. A. 2000. *La Ilustración Científica como herramienta para el conocimiento de los lepidópteros del Jardín Botánico del Instituto de Biología de la Universidad Nacional Autónoma de México*. Tesis de Licenciatura (Biología). Facultad de Ciencias. UNAM. 146 p.
- Rojo, A. L. 1991. *Dictionary of evolutionary fish osteology*. CRC Press. Estados Unidos de América. 273 p.
- Romer, A. 1956. *Osteology of the reptiles*. The University of Chicago Press, Ltd., Londres. 772 p.
- Romer, A. S., y Parsons, T. S. 1984. *Anatomía Comparada*. Quinta edición. Nueva Editorial Interamericana, S. A. de C. V. México. 428 p.
- Schmid, E. 1972. *Atlas of Animal Bones for Prehistorians, Archaeologists and Quaternary Geologists*. Elsevier Publishing Company. Amsterdam, Holanda. 159 p.
- Snodgrass, R. E. 1993. *Principles of insects morphology*. Cornell University Press. Estados Unidos de América. 667 p.
- The Tree of Life Web Project (Internet). Maddison, D. R. y Schultz, K. S. (eds.) ©1995-2005 Tree of Life Web Project (Consultado: Febrero 2004-Mayo 2006). University of Arizona. College of Agriculture and Life Sciences; University of Arizona Library. Disponible en: <http://tolweb.org>
- Thompson, K. S. 1993. *The origin of the tetrapods*. American Journal of Science. 293: 33-62.
- Trabulse, E. 1992. *Historia de la ciencia en México. Estudios y Textos Siglo XVI*. Segunda reimpresión. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología/Fondo de Cultura Económica. México. 466 p.
- Trabulse, E. 1995. *Arte y Ciencia en la Historia de México*. Fomento Cultural Banamex. México. 269 p.
- Trabulse, E. 1997. *Historia de la ciencia en México* (Versión abreviada). Primera reimpresión. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología/Fondo de Cultura Económica. México. 542 p.
- Vaughan, T. A. 1988. *Mamíferos*. Tercera edición. Interamericana Mc. Graw-Hill. México. 587 p.
- Young, J. Z. 1981. *The life of vertebrates*. Tercera edición. Clarendon Press. Gran Bretaña. 645 p.
- Zug, G. R. 1993. *Herpetology: An Introductory Biology of Amphibians and Reptiles*. Academic Press. Estados Unidos de América. 527 p.