



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
IZTACALA

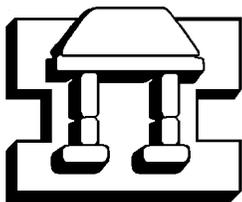
CONTRIBUCIÓN AL ESTUDIO ANATÓMICO
DE LA INERVACIÓN BRANQUIAL EN *Sphyrna*
lewini (SPHYRNIDAE: CARCHARHINIFORMES)

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE BIÓLOGO
PRESENTA:

ERICK CRISTÓBAL OÑATE GONZÁLEZ

DIRECTOR DE TESIS:

M. en C. JORGE R. GERSENOW IES RODRÍGUEZ



IZTACALA

LOS REYES IZTACALA, ESTADO DE MÉXICO 2005



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

PARA TI, QUE PESE A TODO Y

SOBRE TODO, SIEMPRE ESTÁS

AQUÍ. MIL GRACIAS POR TU
AMOR.

Agradecimientos

Para mis padres ENRIQUE y MARY, por el apoyo recibido, por el ánimo, por soportar conmigo las noches de vela, por apoyarme en los momentos difíciles y disfrutar conmigo las alegrías. Gracias Papa por enseñarme "Los gajes del oficio". Gracias M ama por decirme "Súbete a la moto". Los amo con todo mi corazón.

A mi brota MIRIAM por tu apoyo, tu amor y tu paciencia. Te amo. Gracias por todo.

A PERITA, PATY y MÓNICA, por siempre estar conmigo y apoyarme y enseñarme del gran amor de DIOS.

A JUANITO, ARTURITO, SERGIO, ARMANDO, PERLITA y ALEJANDRO (donde quiera que estés), por esos momentos de jolgorio, de risas, de llantos, de juegos y golpes. Son una parte muy importante en mi vida. Gracias.

A CINTHYA, por enseñarme lo que es el amor, y el saber dejarlo ir. Por darme algo para luchar. Siempre te amaré.

A mis mejores amigos CHAVA y MILO, o MILO y CHAVA (el orden es lo de menos), por estar conmigo en los momentos más difíciles por los que he pasado, por brindarme su amistad, por no juzgarme y aceptarme tal y como soy. Por esas grandes pedas, por esas prácticas tan chidas.. En fin, gracias.

A IC o ITZELITA, por ser mi primer gran amiga en la Universidad. Siempre llevaré el recuerdo de esos momentos en mi mente y corazón. Aunque te extraño, siempre estarás conmigo. Te quiero.

A MAGO, por estar siempre ahí, pese a tantas burradas. Gracias por saber ser mi amiga, y por aceptarme con todas mis chaquetas mentales.

A GABY, por mostrarme que puedo lograr lo que me propongo pese a mí mismo. Mil gracias. Te quiero mucho.

A DAVID, por enseñarme que hay amigos que vale la pena cuidar, aunque yo no pueda o quiera verlos. Muchas gracias.

A WINNY, por los momentos de risa, de confesiones y de duda. Te quiero mucho, y agradezco al cielo el haberte conocido.

A JANE, ADY, SERGIO, CHOLE, BETY, BOB, ALMA, ROSY, por los inicios, por los momentos felices, por esas divinas prácticas. Gracias por dejarme conocerlos.

A ALINA (perdón Gaby, pero así me gusta más), por enseñarme a disfrutar la vida, por dejarme conocerte tal y como eres, por dejarme amarte. Siempre te extrañaré. Mil + un gracias.

A ISAÍAS, AS, PRISCILLA, CHAMECO, MAYBEL, MATA, por mostrarme que la vida tiene diferentes matices y que se puede disfrutar de muchas maneras. Lástima que no se armó la bronca en Chacahua, pero ese cuadro nunca lo olvidaré. Gracias.

A TIMONY, por ser mi última ilusión y por ser tan grande amiga. Te quiero mucho, y estoy muy agradecido con la vida por ponerte en mi camino.

Al profe GERSE (perdón, Maestro en Ciencias Jorge Ricardo Gersenowies Rodríguez), por su asesoramiento, sus enseñanzas, su paciencia, y por no haberme corrido después de esa comida de fin de año. Gracias.

A mis compañeros de laboratorio MONY, KATYA, PAQUITO, OSCAR, CHIO, ARIELOS, AURORA, LILIA, GABY, ANA, CHELA, GÁRGOLA (donde sea que andes), ALFREDO SONRISAS, por permitirme entrar al círculo de los hijos de dios, y por alegrarme la vida.

A los profesores GABY, PATY, MARIO y ALBA, por fungir como mis sinodales y darme sus consejos para presentar la presente tesis de la mejor manera posible. Gracias.

A MANOLA, BETO y DANIEL, por siempre apoyarme y darme ánimos para seguir adelante. Gracias por confiar en mí.

A QUIQUE y OSCAR, por compartir muchos momentos en mi vida desde niños y por el apoyo brindado en momentos difíciles.

A la familia Saavedra (KATYA, JOSÉ LUIS, JACKY, JOSÉ LUIS y por supuesto CINTHYA), por el gran cariño que me han mostrado.

A JULIAN, por apoyarme siempre, y no alejarte de mí, aunque yo me aleje de tu mundo. Gracias.

A la gente del cine ERIKA, MABEL, VICKY, EURI, LUCERO, SANDRA, RICH, DON DIEGO, COCO, BETO, PELÓN, ARGE, RICARDO, ABRAHAM, ALEXIS, DULCE, IVETTE, ESTHER, NORMA, IVÁN, PEPE, TOÑO, ALE, ALEJANDRA, CINTHYA, DON JAVY, KARLA, KATA, CHECO, por ayudarme a distraerme de la escuela, por las grandes pedas, por compartir conmigo en el mejor trabajo que he tenido hasta ahora. Gracias.

A KAREN, por compartir conmigo, por saber escuchar y por saber platicar.

A la UNIVERSIDAD, y principalmente a IZTACALA, por permítame formarme aquí, por mostrarme lo hermoso del football americano sin las tecladas, por ser mi alma mater, por entrar en mi corazón, y conocer el sabor de un fabuloso GOYA.

Y por último, pero el más importante, al GRAN AMIGO por guiar mis pasos, por consolarme en los momentos difíciles, por ayudarme a entender lo hermoso de la vida, por tu gran amor, por todo. Gracias.

Índice

Tema	Página
Resumen	6
Introducción	7
Sistema nervioso	8
Sistema nervioso central	9
Sistema nervioso periférico	15
Fisiología branquial	21
Características de la especie	25
Generalidades de elasmobranchios	25
Orden Carcharhiniformes	26
Familia Sphyrnidae	26
<i>Sphyrna lewini</i> , Tiburón martillo	28
Antecedentes	30
Justificación	32
Objetivos	33
Material y método	34
Resultados	37
Discusión	45
Conclusiones	51
Apéndice I	53
Apéndice II	54
Apéndice III	55
Apéndice IV	56
Literatura citada	57

Resumen

En el presente trabajo se realizó la descripción de los nervios branquiales de *Sphyrna lewini*, especie que ha sido poco estudiada, y que por lo mismo no se encuentran investigaciones sobre su funcionamiento branquial.

El sistema nervioso es variado en la escala evolutiva, y comprendiendo las semejanzas y diferencias de su estructura y componentes se pueden inferir relaciones filogenéticas entre las distintas especies de elasmobranchios.

Este sistema tiene diferentes adaptaciones dependiendo el medio en que una especie se desenvuelva, y los hábitos que presente. Estas adaptaciones difieren en varios grados entre una especie y otra, lo que impulsa a la investigación en los diversos tipos de tiburones y rayas que hay en la naturaleza.

La respiración branquial es esencial para el desenvolvimiento de las especies, ya que se desarrollan en un hábitat acuático; por lo que el estudio de su funcionamiento es importante para acrecentar el conocimiento y comprensión de las distintas especies.

La inervación branquial de *Sphyrna lewini* se comparo con la de *Squalus acanthias* y *Urotrygon aspidorus* para establecer las semejanzas y diferencias que conlleven a un entendimiento de sus relaciones filogenéticas.

Se encontró que este es un sistema eficiente y permanente, ya que se ha mantenido a lo largo de la evolución, funcionando de la misma manera, y sin grandes modificaciones sin importar el paso del tiempo o los distintos desarrollos de los organismos.

Se espera que este estudio contribuya para impulsar la investigación en los tiburones, sus relaciones filogenéticas, así como implementar métodos para su protección y conservación.

Introducción

Los vertebrados responden a los estímulos ambientales a través de los órganos de los sentidos, el cerebro y/o la médula espinal, que envían las respuestas adecuadas a los músculos y/o glándulas. En peces, las respuestas musculares resultan frecuentemente en movimientos rítmicos de todo el cuerpo más que de un solo apéndice. Ciertos cambios lentos y cíclicos, como son las elevaciones de temperatura y los cambios en la duración del día según las estaciones del año, también afectan a una o más glándulas endocrinas, a través del sistema nervioso (Young, 1971).

El sistema nervioso adquiere la función esencial de asegurar comunicaciones o relaciones, tanto entre las diferentes partes de un organismo, como entre el organismo y su medio. Estas relaciones son intercambios en el sentido de que implican una recepción y una respuesta, o bien una información seguida de una adecuación. La importancia de las estructuras nerviosas en la evolución es muy grande, ya que, si ésta ha sido progresiva en cualquier sentido, este progreso ha debido implicar una mayor integración de las funciones del organismo, así como una emancipación de los factores que le rodean. Solamente gracias a estas condiciones el organismo ha podido hacer frente a la selección natural (Pirbt, 1976). Esto implica un mejoramiento en el progreso de cefalización conforme al curso de la evolución. El modelo básico del progreso de cefalización debido a la concentración de la recepción de estímulos y unidades de integración en la región cefálica puede ser seguido mediante el estudio de diferentes grupos que van de los mixínidos, pasando por los tiburones (Chondrichthyes), hasta llegar a los peces óseos (Osteichthyes) (Weichert, 1975).

El sistema nervioso de los tiburones ha sido poco estudiado, por lo que no se tiene un patrón morfológico perfectamente establecido. Se conoce menos aún el proceso de integración nerviosa de la respiración que se lleva a cabo en sus branquias, así como la inervación branquial, teniéndose sólo un patrón general muy básico (Pirbt, 1976). De las especies más estudiadas está *Squalus acanthias* (Tiburón galludo), el que se considera como prototipo. Pero el problema de generalizar es que no se toma muy en cuenta la evolución y las adaptaciones particulares de estos organismos; esto sin tomar en cuenta que *Squalus* es un tiburón primitivo en comparación con *Sphyrna lewini* (Cornuda chata), considerado más avanzado (Compagno, 1977).

Sistema nervioso

El sistema nervioso es el conjunto de elementos anatómicos encargados de regir el funcionamiento de los distintos sistemas del cuerpo de los animales (Quiroz, 1977). En los animales con un cierto grado de complejidad, la organización del sistema nervioso es mayor, posee núcleos y cordones nerviosos en donde los estímulos pasan de unas fibras a otras. En casi todos los grupos aparece un centro dominante, el cerebro (Figura 1). En los vertebrados al igual que en todos los animales bilateralmente simétricos, el cerebro tiene una posición cefálica, cerca de los principales órganos de exploración, y se extiende hacia la porción caudal en un tubo nervioso dorsal único, llamado médula espinal. Así, el cerebro y la médula espinal forman al Sistema Nervioso Central (SNC); de este emergen prolongaciones pares denominados nervios, que van a todas las porciones del organismo y en cuyo trayecto se pueden formar ganglios, y en algunos casos plexos, estos constituyen al Sistema Nervioso Periférico (SNP) (Romer y Parson, 1981).

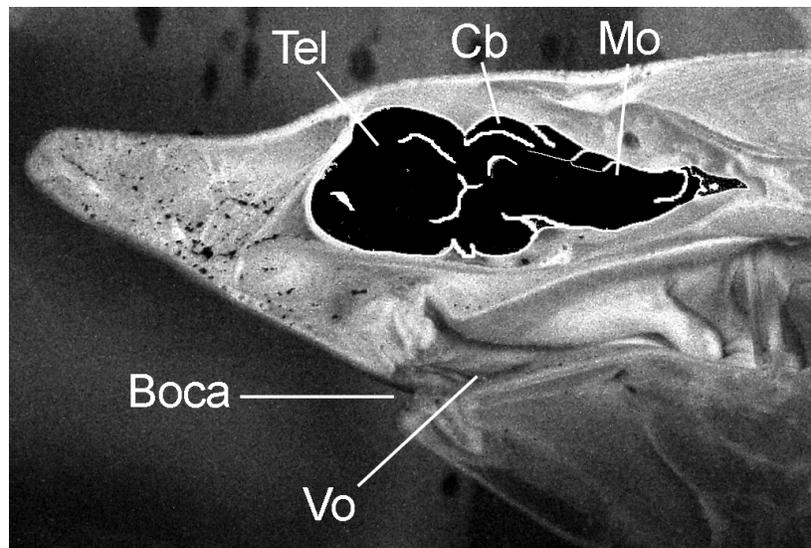


Figura 1. Vista lateral de la cabeza y cerebro de un tiburón. **Cb:** Cerebelo; **Mo:** Mesopterigio; **Tel:** Telencéfalo; **Vo:** Válvula oral. (Tomado de Cuéllar, 2003).

Todos los procesos centrales, respuestas durante el desarrollo de los organismos y la percepción sensorial, residen en dicho sistema. En el curso de la evolución, los componentes del sistema nervioso central y periférico han florecido dentro de una diversidad funcional de estructuras, formas y tamaños, que se comparan con pocos sistemas (Sistema de sostén, sistema endócrino). Esto nos sirve de indicativo directo para conocer el grado de

diversificación y adaptación de los diferentes organismos, porque según su arreglo, se pueden inferir muchas de las características, modos de vida, tipo de alimentación e incluso, si ya no poseen representantes actuales, como y porqué se extinguieron (Butler y Hodos, 1996; Kotrschal, et al, 1998).

El sistema nervioso presenta un desarrollo alométricamente negativo con relación al tamaño del cuerpo (Northcutt et al, 1978); los peces ontogenética y filogenéticamente pequeños tienden a poseer cerebros relativamente más grandes y viceversa (Bauchot et al, 1982; Brandstätter y Kotrschal, 1990; Ridet y Bauchot, 1990). En comparaciones intergrupales basadas únicamente en el índice de cefalización (indicado por el tamaño del cerebro con relación al tamaño de su cuerpo), puede sesgar las conclusiones cuando se excluye la información relacionada con el tamaño neuronal o el número real de neuronas y las conexiones entre ellas (Pagely Harvey, 1989).

La bóveda cerebral limita el tamaño del cerebro únicamente en algunos de los representantes más pequeños de los perciformes modernos. Sin embargo, en la mayoría de los peces, el cerebro es apreciablemente menor que el espacio de la bóveda craneal disponible y en algunos casos puede ocupar solamente alrededor del 6% de dicha cavidad en algunos elasmobranchios (Kruska, 1988); el espacio excedente se llena usualmente de tejido graso linfático.

Los condroictios, incluyendo tiburones, rayas y quimeras, poseen cerebros relativamente grandes con ventrículos espaciosos que se extienden hasta el cerebelo; los bulbos olfatorios se desarrollan bien en tiburones bentónicos, mientras que las especies pelágicas generalmente presentan grandes cerebelos (Kruska, 1988). Los engrosamientos sobresalientes de la pared dorsal romboencefálica resultan de la modalidad electrosensorial del grupo (Figura 2).

Sistema nervioso central

El cerebro del tiburón exhibe un rango de variación interespecífica muy bajo, pero se puede hablar de dos caracteres principales de desarrollo. Los tiburones hexanchiformes, esqualiformes y pristioforiformes: que poseen un cuerpo cerebeloso no convoluto, dorsalmente un tectum óptico muy bien desarrollado y un telencéfalo con pobre desarrollo; y los tiburones galeomorfos: poseen un cuerpo cerebeloso bien desarrollado con un cierto

grado de asimetría en muchas familias (orectolobiformes, lámnicos, carcharínidos y esfirínidos), el tectum óptico se encuentra por debajo del cerebelo y el telencéfalo se encuentra hipertrofiado. Los tiburones galeomorfos poseen un cuerpo cerebeloso bien desarrollado con un cierto grado de asimetría en muchas familias (orectolobiformes, lámnicos, caracarinidos y esfirínidos), el tectum óptico se encuentra por debajo del cerebelo y el telencéfalo se encuentra hipertrofiado. No obstante existen excepciones a estas tendencias; los sciliorhínidos poseen un complejo desarrollo del telencéfalo que es característico de los galeomorfos, pero su cerebelo no está evertido como en los escualomorfos (Smets, et al, 1997).

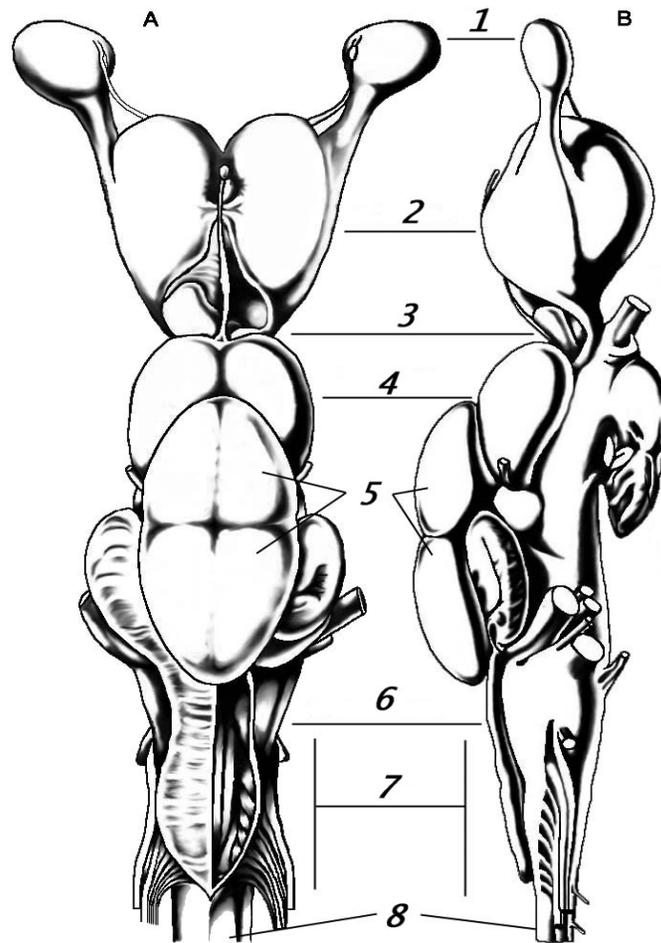


Figura 2. Esquema del cerebro de *Squalus acanthias*. **A:** vista dorsal, **B:** vista lateral izquierda. **1)** Bulbo olfatorio; **2)** Telencéfalo; **3)** Diencéfalo; **4)** Mesencéfalo; **5)** Cerebelo; **6)** Romboencéfalo; **7)** Médula oblongada; **8)** Metencéfalo. (Tomado de Smets et al, 1997).

Los heterodontos son un taxón problemático, su desarrollo general sugiere que está muy relacionado con los escualomorfos con el que frecuentemente se agrupa; sin embargo, Compagno (1973) asignó, a los

galeomorfos con base en caracteres craneales y de la aleta pectoral (Smeets, et al., 1997).

En los elasmobranquios los grandes cambios en la evolución del cerebro ocurren en los techos anterior, medio y posterior. La médula oblongada es una estructura un tanto más conservadora, y los núcleos sensitivos y motores son fácilmente reconocibles como en la mayoría de los vertebrados (Smeets et al., 1997).

El telencéfalo de los elasmobranquios consiste de hemisferios cerebrales pares formados por la evaginación del telencéfalo; la porción medialcaudal se caracteriza por no llevar lateralmente a los hemisferios. En los elasmobranquios los bulbos olfatorios salen por una evaginación secundaria de los hemisferios cerebrales; sin embargo los bulbos olfatorios y sus pedúnculos (tractos olfatorios) son más laterales. Estudios recientes en tiburones y rayas revelan que los centros olfatorios telencefálicos son exclusivos de estos y de los vertebrados terrestres. El núcleo central paleal recibe muchas proyecciones ascendentes provenientes del tálamo. En este centro se sabe que recibe entradas sensoriales de visión, línea lateral y trigémino, la topografía y las proyecciones talámicas ascendentes. Nada se conoce aun sobre sus conexiones pero la topografía de la formación del paleo sugiere que es homóloga al paleo medial (complejo del hipocampo) de vertebrados terrestres (Smeets et al., 1997).

El telencéfalo medio está formado por fibras ascendentes y descendentes del cerebro anterior, el área preóptica y un complejo celular conocido como el núcleo taeniae, el cual es posiblemente homólogo a porciones del complejo amigdaloides (Smeets et al., 1997).

El diencéfalo de los elasmobranquios consiste en tres divisiones: epitálamo, tálamo e hipotálamo. El epitálamo está formado por el núcleo habenular, la comisura habenular y una serie compleja de vías aferentes y eferentes (complejo estría medular) que llegan a dicho núcleo (Smeets et al., 1997).

El tálamo de elasmobranquios está dividido en una porción dorsal y otra ventral; el de tiburones escualomorfos es muy similar al de muchos otros vertebrados anamnióticos, en cambio el de los tiburones galeomorfos está caracterizado por una pared talámica imbricada y una considerable migración y diferenciación de su núcleo central. Las aferentes retinales y tectales constituyen las más grandes entradas para ambas divisiones:

ventral y dorsal, las más mediales a las zonas talámicas y retínicas, reciben vías ascendentes cerebelares y espinales. Entonces, el tálamo de tiburones recibe pocas vías ascendentes sensoriales y existe una considerable separación entre las modalidades sensoriales (Smeets et al., 1997).

Poco es lo que se sabe acerca de la tercera división del diencéfalo, el hipotálamo; comprende un área rostral preóptica al centro, incluyendo los lóbulos inferiores, y un área caudal o área posterior hipotalámica. Las proyecciones retínicas son conocidas como área preóptica rostro ventral, y las entradas al área preóptica y a los lóbulos inferiores son pocas, como se conoce sobre las vías hipotalámicas eferentes (Smeets et al., 1997).

El mesencéfalo de elasmobranchios consiste de dos áreas: dorsal (tectum óptico y torus semicircular) y ventral (tegmentum). El tectum óptico de tiburones consiste de múltiples láminas o zonas, se proyecta rostralmente al pretectum y tálamo, terminando en el núcleo que también recibe vías retínicas y caudalmente de la formación reticular medular contralateral e ipsilateral situado más caudalmente (Smeets et al., 1997).

El tegmentum consiste de muchos núcleos conspicuos; uno es, el núcleo óptico basal que forma al piso tegmental ventrolateral, este núcleo recibe fibras ópticas del ojo contralateral y sus eferentes aún son desconocidas. La región tegmental central está ocupada por el núcleo intercolicular que recibe vías espinales y sus eferentes también son desconocidas, en otros vertebrados este núcleo se proyecta rostralmente al tálamo formando una vía somatosensorial ascendente. En su posición mediodorsal el fascículo longitudinal medial, forma una importante vía del tallo cerebral involucrado con funciones oculares y vestibulares. Más caudalmente los núcleos oculomotor y troclear también están localizados en el tegmentum (Smeets et al., 1997).

El cerebelo de elasmobranchios consiste de un cuerpo central impar y con las aurículas situadas lateralmente, cada aurícula está dividida en la hoja dorsomedial y la hoja ventrolateral, continuándose con la región acusticolateral de la médula (Smeets et al., 1997).

Estudios previos han enfatizado en el sentido de que el tamaño del cuerpo cerebelar se correlaciona con el tamaño del cuerpo del organismo, y con la musculatura somática; pero animales de talla similar (como *Squalus acanthias*, *Mustelus canis* y *Sphyrna tiburo*) exhiben el arreglo cerebelar complejo visto en todos los tiburones. La distribución compleja de la

foliación cerebelar en todo el grupo sugiere que esta condición ha sido desarrollada independientemente en muchas ocasiones. Las quimeras y todos los tiburones escualomorfos examinados poseen un cuerpo dividido en lóbulos anterior y posterior, sugiriendo que esta condición es ancestral para todos los peces cartilagosos, un carácter similar se presenta en heterodóntidos y sciliorhinidos. No obstante, los lamniformes y los carcharhiniformes avanzados, poseen un cerebelo voluptuoso dividido en tres lóbulos (Smeets et al., 1997).

El significado funcional del incremento de volumen cerebelar en elasmobranchios es desconocida, pero puede ser muy similar al incremento en las vías sensoriales relacionadas con el control motor. Desafortunadamente es poca la información disponible acerca de las vías sensoriales que llegan al cerebelo; Se han demostrado tractos ascendentes espinocerebelosos, pero proyecciones directas laterales descritas en estudios previos no han sido confirmadas experimentalmente. Boord y Campbell (1977), demostraron que hay proyecciones directas de los nervios de la línea lateral a las aurículas del cerebelo, semejante a las fibras vestibulares. Las células de purkinje del cerebelo de tiburones terminan en un núcleo cerebelar profundo, el cual termina en la formación reticular medular tanto medial como lateral, el núcleo rojo del tegmentum, el núcleo troclear y oculomotor, y en el tálamo dorsal posterior. Así, el cerebelo posee proyecciones descendentes, modulando las vías de salida de la formación reticular al núcleo motor de los nervios craneales y a la médula espinal; y una ascendente del brazo conjuntivo (brachium conjunctivum) llega a niveles del tálamo dorsal, esta última proyección es particularmente interesante, ya que sugiere que el relevo tálamo-telencefálico de las vías aferentes cerebelares puede existir; en otros vertebrados las proyecciones tálamo-telencefálicas van a un área motora del isocortex. La demostración de esta vía en un futuro, puede reforzar la creencia que el telencéfalo está involucrado de manera directa en el control motor sugerido por la observación de Ebbesson y Campbell (1973) de la existencia de vías telencefálicas directas al núcleo medular (Smeets et al., 1997).

La médula espinal, mantiene una estructura muy similar a través de sus distintas regiones con la sustancia blanca, que consta de los funículos dorsales, ventrales y laterales, y se encuentra rodeando a la sustancia gris central la cual rodea a su vez al canal central. De la sustancia blanca, se encuentran salidas en ciertas zonas de los nervios espinales conocidas como raíces dorsal y ventral (Figuras 3 y 4), se encuentra en el canal raquídeo de la columna vertebral; está subdividida en segmentos denominados espinales

o neurón eros. En la mayoría de los peces, la médula se extiende a través de toda la longitud del canal vertebral (Kluge, 1977); siendo su función la de recibir los impulsos, integrar los, coordinarlos y transmitirlos a cualquier región que tengan que ir dentro del sistema nervioso central y dar las respuestas al sistema nervioso periférico (Hildebrand, 1988). Es soportada y protegida por una o más capas de tejido llamadas meninges.

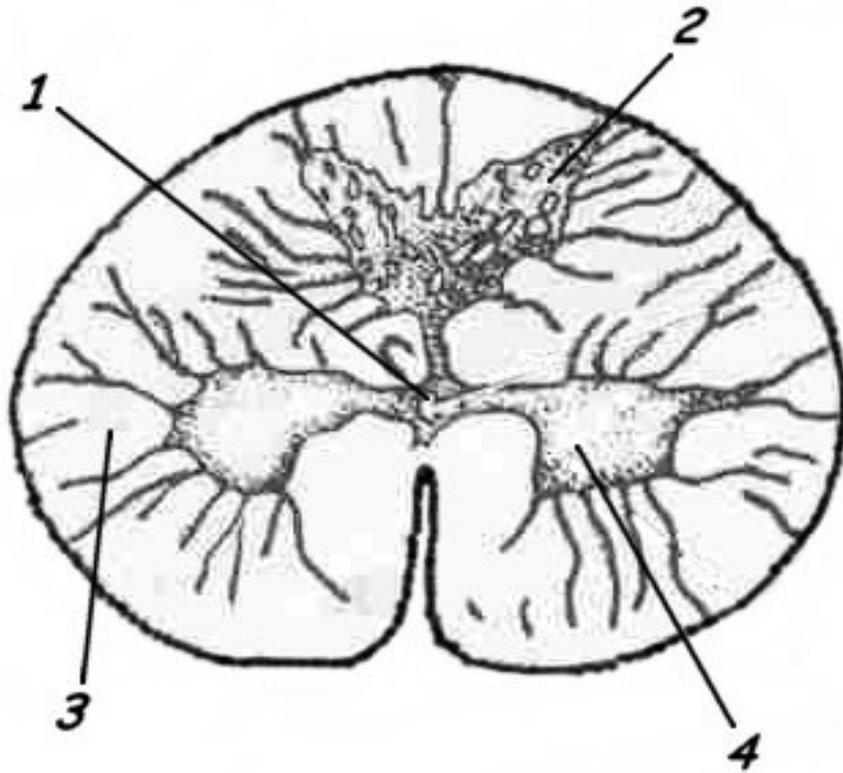


Figura 3. Sección transversal de la médula espinal de Tiburón. **1)** Canal central (ependimario); **2)** Cuerno dorsal; **3)** Materia blanca; **4)** Cuerno ventral (Tomado de Kardong, 1999).

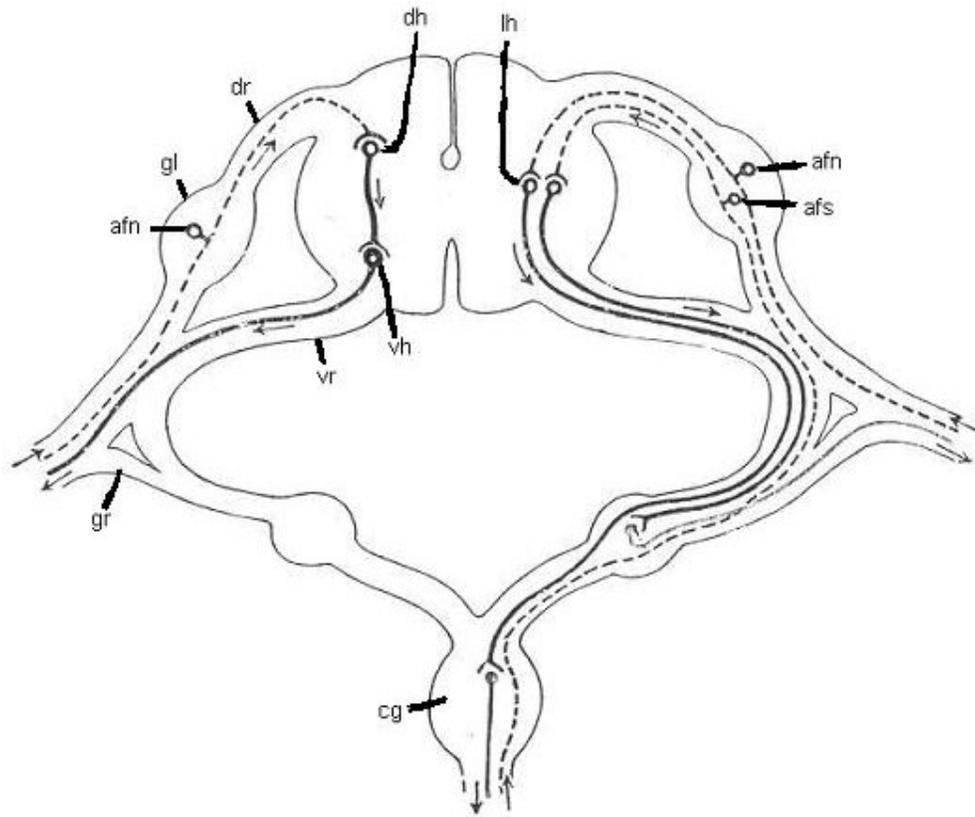


Figura 4. Esquema de corte transversal de médula espinal, mostrando las raíces dorsal y ventral. **afn:** neurona aferente; **afs:** neurona aferente somática; **cg:** cuerpo ganglionar; **dh:** interneurona dorsal; **dr:** raíz dorsal; **gl:** ganglio; **gr:** región ganglionar; **h:** interneurona; **vh:** interneurona ventral; **vr:** raíz ventral. (Tomado de Cuéllar, 2003).

Sistema nervioso periférico.

Los nervios y ganglios que forman conexiones con el sistema nervioso central y se distribuyen por todo el organismo, constituyen el sistema nervioso periférico. Estas conexiones se realizan a través de los nervios raquídeos o espinales y craneales. Los nervios raquídeos son metaméricos pares que forman conexiones con la médula espinal; mientras que los nervios craneales están conectados con el tallo cerebral, excepto los dos primeros que se unen al cerebro anterior (Weichert, 1975).

Los términos que se emplean para designar las distintas partes del sistema nervioso periférico hacen referencia a la posición anatómica relativa o a la función de cada nervio. Los nervios somáticos inervan tejidos somáticos y transportan información sensorial y motora. Los nervios somáticos van hasta los tejidos somáticos (los músculos esqueléticos, la piel y sus derivados) y regresan al encéfalo. Los nervios viscerales van hasta los

órganos internos (músculos involuntarios y glándulas), regresando también al encéfalo. Los nervios que llevan la información desde los tejidos hasta el sistema nervioso central (SNC) están formados por neuronas aferentes o sensoriales. Los nervios que transportan información desde el SNC hasta los efectores están constituidos por neuronas eferentes o motoras. Los componentes del sistema nervioso periférico (SNP) que controlan la actividad de los órganos internos forman el denominado Sistema Nervioso Autónomo (SNA) (Kardong, 1999).

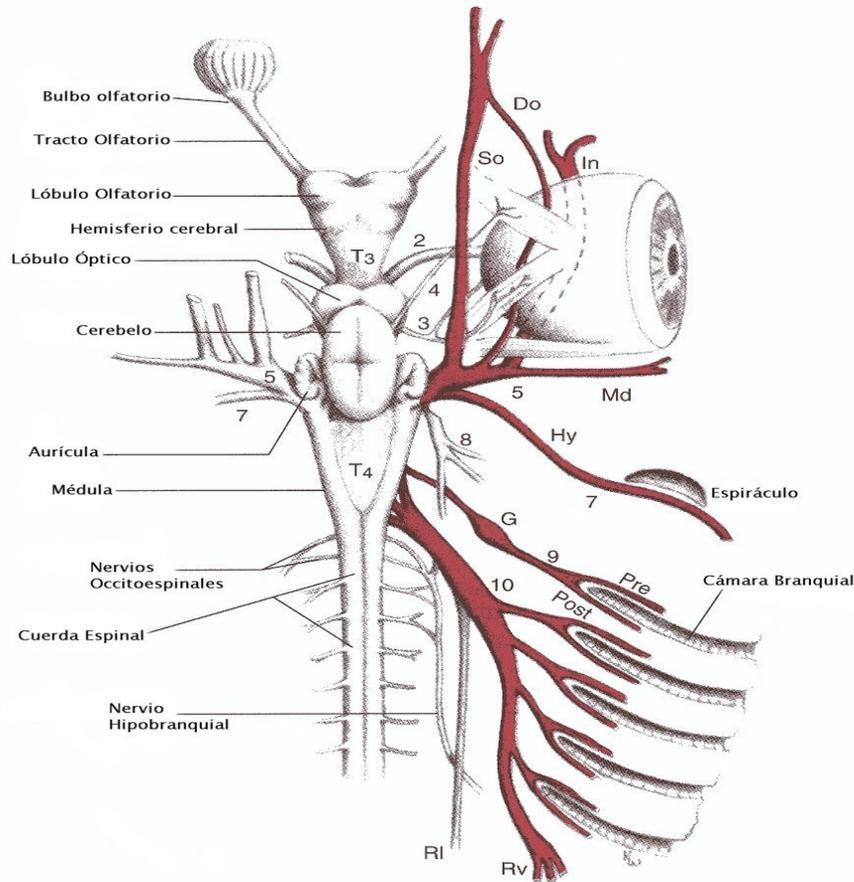


Figura 5. Vista dorsal del cerebro y nervios craneales del 2 al 10 (el 6 no es visible) de *Squalus acanthias*. **Do**: oftálmico profundo; **G**: ganglio rostral; **Hy**: hio mandibular; **In**: infraorbital; **Md**: mandibular; **Pre**: rama pretremática; **Post**: postremática; **So**: oftálmico superficial; **RI**: rama lateral del vago (nervio posterior de la línea lateral que viaja junto al vago); **Rv**: rama visceral del vago; **T₃** y **T₄**: tela coroidea del tercer y cuarto ventrículos. El cuerpo pineal ha sido removido. Los tres músculos oculares se muestran son, comenzando anteriormente, oblicuo superior, recto superior, y lateral. (Tomado de Kent y Carr, 2001).

Anatómicamente el sistema nervioso periférico puede dividirse en nervios espinales, que salen de la médula espinal, y nervios craneales, que salen del encéfalo (Figura 5) (Kardong, 1999).

Los nervios espinales se disponen secuencialmente en función de la porción de la columna vertebral con la que estén relacionados (torácica o caudal). Las fibras aferentes entran en la médula espinal a través de la raíz dorsal y las fibras eferentes salen de ella por la raíz ventral. Paralela a la médula espinal y unida a cada nervio espinal a través de los ramos comunicantes, hay una cadena simpática de ganglios (ganglios paravertebrales), que es una doble cadena de ganglios situada junto a la columna vertebral. Otros ganglios periféricos son los ganglios colaterales (ganglios prevertebrales). Los ganglios viscerales se encuentran en el interior de las paredes de los órganos internos efectores. Así, hay tres tipos de ganglios: simpáticos, colaterales y viscerales (Kardong, 1999).

Los nervios craneales están más especializados que los raquídeos y presentan poca similitud en cuanto a su origen y distribución con estos últimos. Los nervios craneales poseen raíces que se encuentran en el interior del cráneo. Se nombran y numeran con números romanos desde el más anterior hasta el más posterior. Filogenéticamente, se piensa que los nervios craneales han evolucionado a partir de las raíces dorsales y ventrales de unos pocos nervios espinales anteriores que se han incorporado al interior del cráneo. Igual que los nervios espinales, los craneales inervan tejidos somáticos y viscerales y transportan información general sensorial y motora. Algunos nervios craneales están formados sólo por fibras sensoriales o motoras. Otros nervios son mixtos y contienen fibras de ambos tipos (Kardong, 1999).

Los primeros especialistas en anatomía humana, ignorando las características funcionales de los diversos pares craneales y su homología con los otros grupos de vertebrados, asignaron números en orden cefálico-caudal (Weichert, 1975). La siguiente es la lista de nervios craneales presentes en tiburones: (0) terminal, (I) olfatorio, (II) óptico, (III) motor ocular común, (IV) patético, (V) trigémino, (VI) motor ocular externo, (VII) facial, (VIII) auditivo, (IX) glosofaríngeo, (X) vago (Figuras 6 y 7) (Torrey, 1983). Se anota la descripción basada en Kardong (1999) y Kent y Carr (2001).

Nervio terminal (0). El nervio terminal es un nervio, o quizá un complejo de nervios, que posiblemente derivan del bulbo olfatorio. Va hasta los vasos sanguíneos del epitelio olfativo de los sacos olfativos y está formado por fibras sensoriales viscerales y motoras. En tiburones está muy desarrollado.

Nervio olfatorio (I). Es un nervio sensorial relacionado con el sentido del olfato. Las células olfativas se encuentran en la membrana mucosa del saco olfativo. Desde cada una de estas células sale un corto axón que va hasta el bulbo olfatorio. Cada axón forma una fibra olfativa y en conjunto forman el nervio.

Nervio óptico (II). En sentido estricto no es un nervio sino una vía o tracto sensorial. Es decir, no se trata de un grupo de axones periféricos sino de un grupo de fibras del SNC. Sus fibras conectan con el tálamo y con el cerebro medio.

Nervio motor ocular común (III). Inerva fundamentalmente los músculos extrínsecos del ojo (músculos recto superior, recto mediano, recto inferior y oblicuo inferior) que derivan de los motomeros preóticos. Se trata de un nervio motor que también lleva algunas fibras viscerales motoras hasta el iris y el cuerpo ciliar del ojo. Las fibras derivan del núcleo motor ocular situado en la zona inferior del cerebro medio.

Nervio patético (IV). También conocido como troclear, es un nervio motor que inerva el músculo oblicuo superior extrínseco del ojo. Sus fibras salen del núcleo troclear del cerebro medio.

Nervio trigémino (V). Se denomina así debido a que en los amniotas está formado por tres ramas: Oftálmica profunda (V_1), maxilar (V_2) y mandibular (V_3). El nervio oftálmico generalmente se mezcla con las otras dos ramas. Éstas, la rama maxilar (V_2) que va hacia la mandíbula superior, y la rama mandibular (V_3) que va hasta la mandíbula inferior, es posible que se correspondan con las ramas pretremática y posttremática de un nervio branquial típico, que va hasta el arco mandibular. El trigémino contiene fibras sensoriales que vienen desde la piel de la cabeza y desde algunas áreas de la boca y fibras motoras que van hasta las estructuras derivadas del primer arco branquial.

Nervio motor ocular externo (VI). O abducens, es el tercero de los tres nervios craneales que inervan los músculos que controlan los movimientos del globo ocular. Es un nervio motor que va hasta el músculo recto lateral extrínseco del ojo. Sus fibras parten desde el núcleo abducens que se encuentra localizado en la médula oblongada.

Nervio facial (VII). Está formado por fibras procedentes de la línea lateral de la cabeza, las ampollas de Lorenzini y las papilas gustativas, así

como por fibras motoras que se originan en el segundo arco branquial (hiideo).

Nervio octavo lateral (VIII). El nervio octavo lateral está formado por fibras sensoriales que proceden del oído interno y está relacionado con el equilibrio y con el oído. En tiburones inerva el sistema de línea lateral. Este nervio va hasta varias regiones de la médula oblonga.

Nervio glosofaríngeo (IX). Es el relacionado con el tercer arco branquial. Es un nervio mixto que está formado por fibras sensoriales, que vienen desde las papilas gustativas, la primera bolsa branquial, el epitelio de la faringe y la línea lateral, y las fibras motoras que inervan los músculos del tercer arco branquial.

Nervio vago (X). Se trata de un nervio muy "serpenteante" que está relacionado con áreas de la boca, la faringe y la mayor parte de los órganos internos; así como los últimos cuatro arcos branquiales. Está formado por la unión de varias raíces que atraviesan varios segmentos cefálicos.

Estos son los nervios craneales que se encuentran en los vertebrados en general. En cada una de las clases, las funciones cambian de acuerdo al medio en que se desenvuelven y al medio que los rodea. En los tiburones, el nervio espinal accesorio (XI) y el hipogloso (XII) no están presentes (Figuras 5, 6 y 7) (Kent y Carr, 2001).

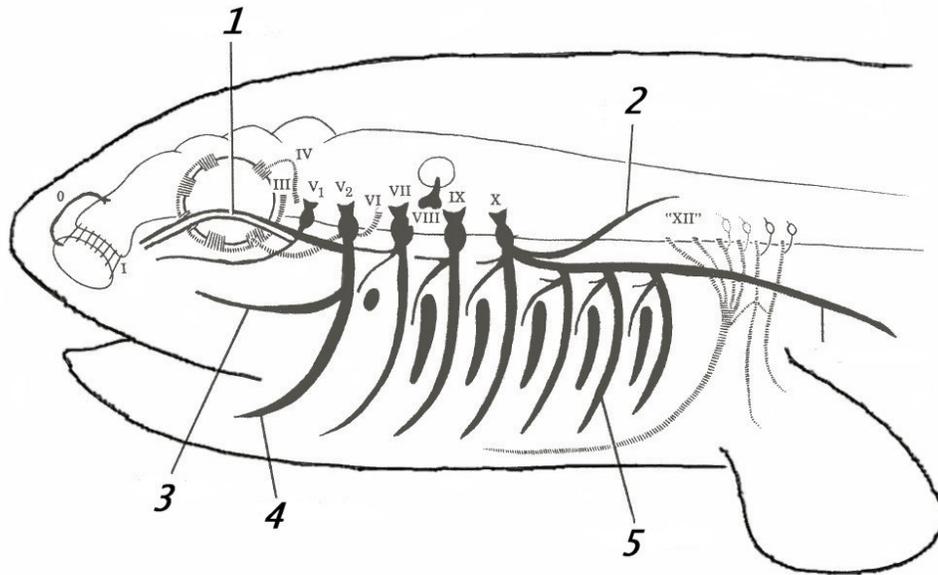


Figura 6. Generalización para la ubicación de los nervios craneales (en números romanos) marcados en negro. 1) O ftálmico; 2) Lateral X; 3) M axilar; 4) M andibular; 5) Branquial X.

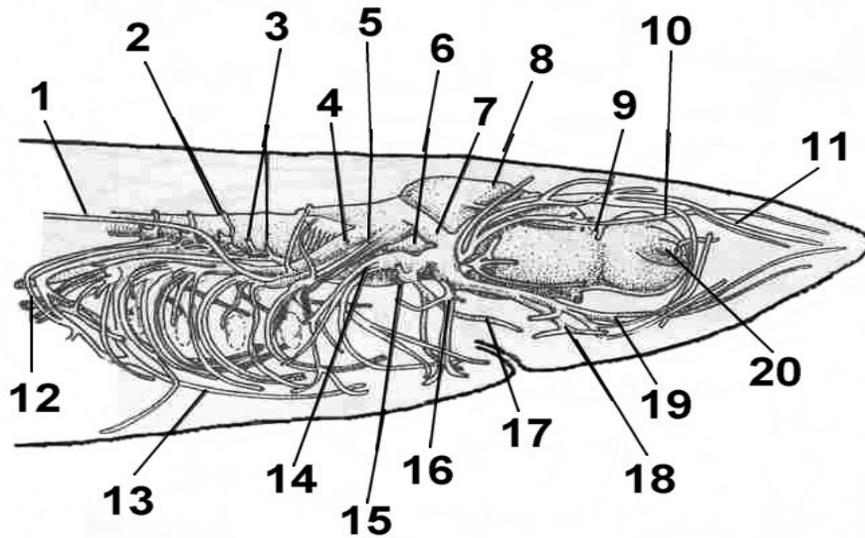


Figura 7. Vista lateral de los nervios craneales de *Squalus acanthias*. 1) Nervio de la línea sensorial dorsal; 2) 1er. Nervio espinal; 3) Nervios occitospinales; 4) Nervio vago (X); 5) Nervio glossofaríngeo (IX); 6) Nervio auditivo (VIII); 7) Nervio facial (VII); 8) Cerebelo; 9) Pedúnculo epifisiario; 10) O ftálmico profundo V₁; 11) O ftálmico superficial del VII; 12) Visceral X; 13) Nervio hipogloso (XII); 14) Rama mandibular del VII; 15) Nervio abducens (VI); 16) Rama mandibular V₃; 17) Rama palatina del VII; 18) Rama bucal del VII; 19) Rama maxilar V₂; 20) Tracto olfativo procedente del bulbo (Tomado de Kardong, 1999).

Fisiología branquial

Cuatro de los nervios craneales, los denominados *nervios branquiales*, inervan la región branquial con fibras sensitivas y motoras. Cada uno está relacionado con un arco visceral: el nervio trigémino (V) está relacionado con el arco mandibular; el facial (VII) inerva el arco hioideo; el glosofaríngeo (IX) está asociado con el tercer arco; y el vago (X) se encarga de inervar los restantes (Weichert, 1975). Este último, como vía que inerva los cuatro últimos arcos branquiales, las vísceras y los órganos sensitivos de la piel, es uno de los más largos y versátil de los nervios craneales. Su *división lateral* desaparece con la pérdida del sistema de la línea lateral del tegumento de los amniotas, y la *división branquial* se adapta a la modificación sufrida por los arcos branquiales (Torrey, 1983).

Los músculos branquiales que son inervados por estos nervios, a pesar de ser estriados y voluntarios, se consideran como músculos viscerales, debido a que derivan del mesodermo esplácnico. Los nervios motores que los inervan se componen de fibras motoras viscerales, que no son preganglionares. Las fibras sensitivas de estos nervios son principalmente del tipo sensitivo visceral. Puede haber algunas fibras sensitivas somáticas que proceden de la piel de la región dorsal. Los ganglios de los nervios branquiales se encuentran próximos al sistema de la línea lateral (Weichert, 1975; Pirbt, 1976).

Los septos interbranquiales de tiburones y rayas se extienden más allá de la pared corporal, por los que cada cámara branquial está separada de las otras, y cada una se abre independientemente al exterior (Bond, 1979). Cinco, más raramente seis o siete, son las aberturas branquiales externas que presentan en series laterales en los tiburones (Figuras 8 y 9). A esta serie de aberturas se le agrega otra por delante, el espiráculo, el cual corresponde a los vestigios de una abertura branquial, la primera de la serie. Dentro de la cavidad del espiráculo puede persistir un grupo de laminitas branquiales formando una pseudobranquia hioidea que recibe sangre oxigenada, y cuya disposición celular sugiere que no pueden tener función respiratoria, pero sí secretora, sensitiva o puede tomar parte en la hematopoyesis. En los tiburones, el agua respirable penetra a través de la boca o por el espiráculo (Lagler, et al., 1977).

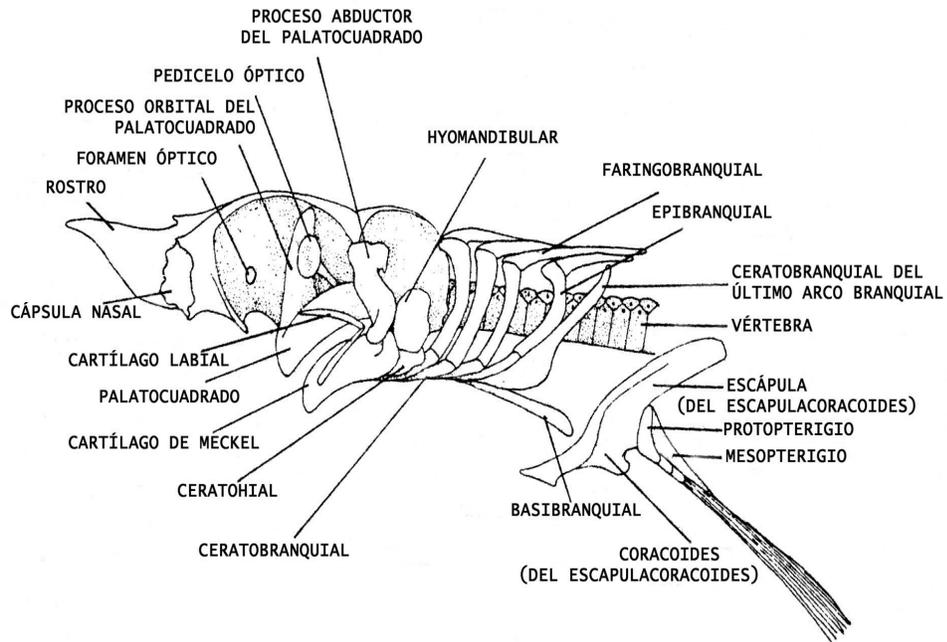


Figura 8. Vista lateral del esqueleto branquial de un tiburón (Modificado de Pirlet, 1976).

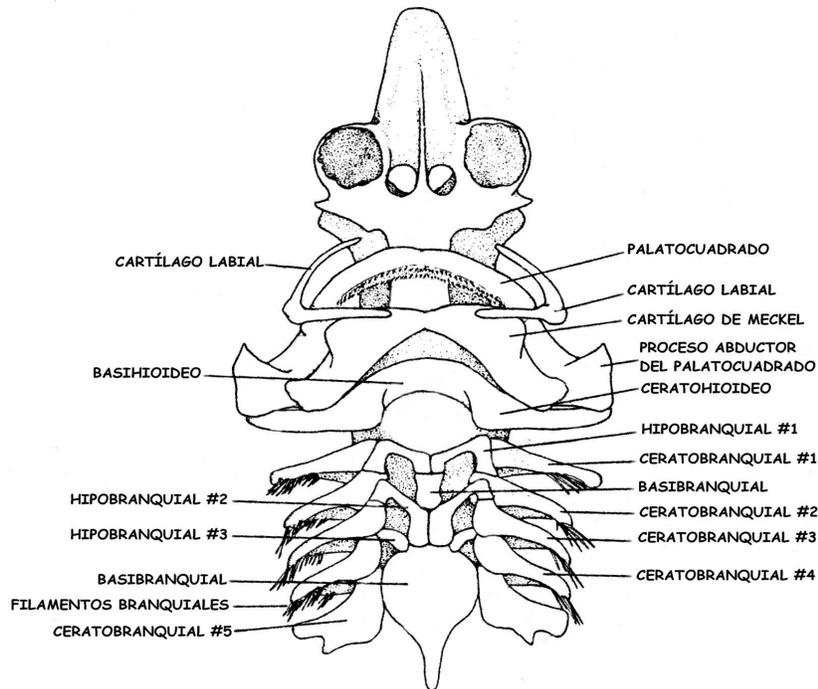


Figura 9. Vista ventral de esqueleto de tiburón, donde se muestran los cartílagos branquiales (Modificado de Pirlet, 1976).

Cada holobranquia (Figura 10) está caracterizada por tener septos bien desarrollados provistos de soportes cartilagosos y músculos de los arcos branquiales individuales; a cada lado oral y aboral de los septos se presenta una hemibranchia compuesta del tejido respiratorio. Los filamentos branquiales primarios y secundarios están presentes en cada hemibranchia. Los extremos distales de los filamentos branquiales primarios se desprenden del septo de tal manera que las dos hemibranchias en oposición pueden formar una barrera efectiva que obliga al agua a pasar entre todos los filamentos, cuando busca su salida, como resultado de la succión y presión que ocasionan los movimientos respiratorios (Lagler, et al, 1977).

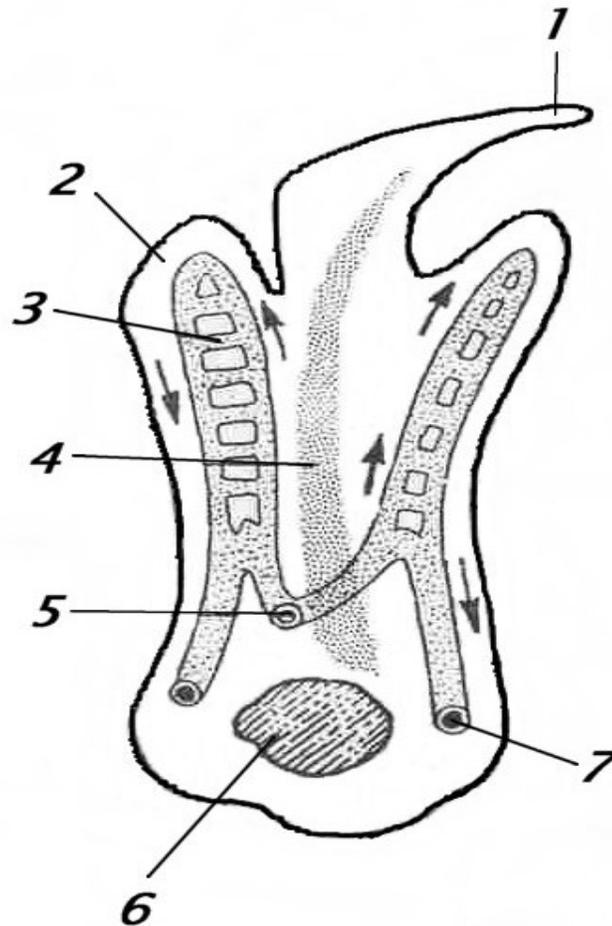


Figura 10. Diagrama de sección horizontal de una branquia de tiburón. Las flechas señalan la dirección del flujo sanguíneo. **1)** Septo; **2)** Filamentos branquiales; **3)** Capilares en las laminillas branquiales; **4)** Soporte branquial cartilaginoso; **5)** Vaso sanguíneo aferente (desde la aorta ventral); **6)** Arco branquial cartilaginoso; **7)** Vaso sanguíneo eferente (desde la aorta dorsal. (Tomado de Lagler, et al, 1977).

En el ciclo respiratorio, los músculos coracohibideos y coracoarcuales se contraen y amplían el ángulo formado por los arcos branquiales, agrandando la cavidad orofaríngea (Figura 11); el agua penetra mediante succión a

través de la cavidad bucal y/o por el espiráculo; durante esta fase, los septos branquiales son adosados a la piel por la presión exterior del agua; por lo tanto, las aberturas branquiales exteriores permanecen cerradas. Después, los músculos abductores de la mandíbula y constrictores de los arcos branquiales se contraen junto con los músculos aductores (aductores interarcuales) ubicados entre las porciones superior e inferior de cada arco branquial, se contraen, y la cavidad bucal comienza a funcionar como una bomba de presión. Mientras la válvula oral impide el reflujo del agua la boca, el agua es enviada hacia atrás, a las hendiduras branquiales internas. La contracción de los músculos aductores interarcuales hace que la porción oral de los espacios interseptales se expanda; la presión hidrostática en las superficies branquiales internas es entonces reducida y el agua es desviada hacia las cavidades branquiales, las que aún permanecen cerradas al exterior. Posteriormente, los músculos aductores interarcuales se relajan, otro grupo de músculos se contrae para estrechar las aberturas branquiales internas y el agua es forzada hacia y a través de las lamínicas branquiales. Entonces, las solapas de las aberturas branquiales externas se abren pasivamente y permiten que el agua fluya al exterior (Weichert, 1975).

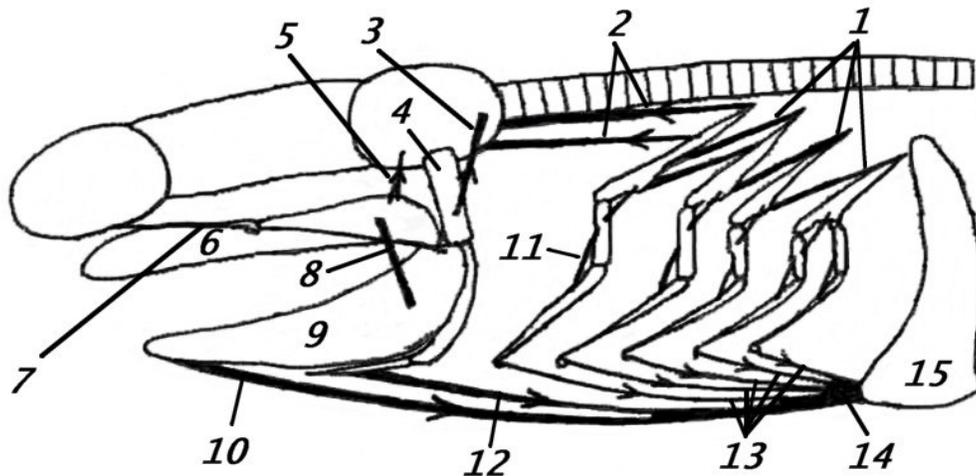


Figura 11. Vista lateral del esqueleto, esqueleto visceral, y varios músculos respiratorios de *Squalus acanthias*. 1) Dorsales; 2) Subespinales; 3) Elevador del hiomandibular; 4) Hiomandibular; 5) Elevador del palatocuadrado; 6) Palato-pterigoideo; 7) Preorbital; 8) Abductor mandibular; 9) Mandíbula inferior; 10) Coracomandibular; 11) Abductor branquial; 12) Coracohioideo; 13) Coracobranquiales; 14) Arcual común; 15) Cintura pectoral (Tomado de Hoar y Randall, 1970).

Características de la especie

Clasificación taxonómica (Compagno, 1984).

Reino: Metazoa

Phylum: Chordata

Subphylum: Vertebrata

Clase: Chondrichthyes

Orden: Carcharhiniformes

Familia: Sphyrnidae

Género: *Sphyrna*

Especie: *Sphyrna lewini* (Griffith y Smith, 1834)

Generalidades de los elasmobranchios.

Dentro de los Chondrichthyes, los elasmobranchios son parte de la radiación adaptativa temprana de los gnatostomados. Los estudios sobre su biología básica, empezaron de forma temprana en el desarrollo cultural de la humanidad, sin embargo, en el siglo XX, y en particular en nuestro país, se han olvidado, generando un estancamiento en el conocimiento de la biología de este grupo (Romer y Parson, 1981; Gersnowies et al., 1992).

Los elasmobranchios (Figura 12) son organismos que presentan, en forma general, aletas pares, aletas impares, branquias sin opérculo, membrana nictitante sobre el ojo, la presencia de un pedículo óptico que le proporciona soporte al ojo y es exclusiva del grupo; también presentan escamas placoides, que consisten de una base de hueso acelular y un denticulo en el que los bordes salientes se orientan por lo regular hacia la parte posterior de la placa; además solo se presenta cartílago en el sistema esquelético y de soporte, no obstante de estar reforzado por calcificación, difiere del hueso en la estructura del tejido. La calcificación del cartílago es única, se depositan sales de calcio (hidroxiapatita de calcio) formando una capa superficial de placas prismáticas llamadas tejos; esta calcificación prismática es la principal característica sinapomórfica del grupo, evidencia que nos lleva a concluir que el cartílago es el primer tejido endoesquelético que apareció en el desarrollo de los vertebrados y en especial en los elasmobranchios (Applegate, 1967); sin embargo, la discusión anterior queda debilitada debido a que Hall (1982) ha demostrado la presencia de hueso pericondrial en vértebras.

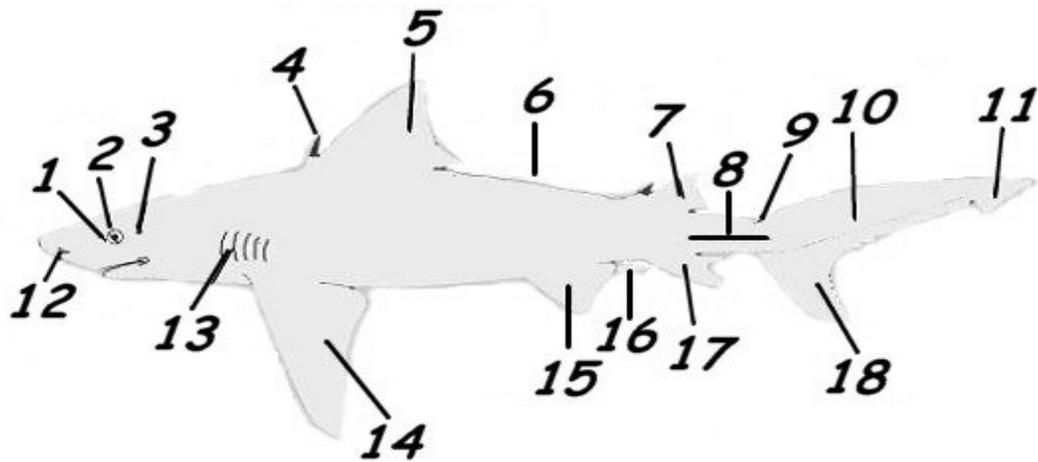


Figura 12. Principales características de los tiburones. 1) Membrana nictitante; 2) Ojo; 3) Espiráculo; 4) Espina; 5) Primera aleta dorsal; 6) Quilla interdorsal; 7) Segunda aleta dorsal; 8) Quilla caudal; 9) Foseta; 10) Aleta caudal; 11) Lóbulo superior; 12) Abertura nasal; 13) Aberturas branquiales; 14) Aleta pectoral; 15) Aleta pélvica; 16) Gonopterigio; 17) Aleta anal; 18) Lóbulo inferior. (Modificado de Compagno, 1984).

Orden Carcharhiniformes.

Las aproximadamente 350 especies de tiburones descritas se pueden dividir en ocho grupos u órdenes (Compagno, 1984); los organismos del orden Carcharhiniformes poseen dos aletas dorsales sin espinas, tienen aleta anal, la boca está en posición posterior, parcialmente detrás de los ojos y tienen membrana nictitante (García y Sotero, 2005). Es uno de los grupos más grandes que agrupa las más importantes familias de tiburones, conteniendo cerca del 55% de todas las especies; el 27% son familias y el 48% son géneros, los cuales se encuentran principalmente en los mares templados, tropicales y calurosos del océano a escala mundial, en aguas costeras y en los mares oceánicos; entre ellos se encuentran grandes ejemplares, así como individuos que no alcanzan el metro de longitud (Compagno, 1984; Tricas et al., 1998).

Familia Sphyrnidae.

Los Sphyrnidae (Figura 13) son los únicos tiburones vivos cuyas extensiones laterales de la cabeza se asemejan a una hoja, pala o gorra, principalmente a nivel del margen frontal y el plano de su arco horizontal cefálico, formado por las membranas laterales y la base aplanada de la cabeza, de aquí que a estos organismos se les conozca como peces "martillo" o "cornuda" (en especies grandes como lo son *Sphyrna lewini*, Griffith y Smith, 1834).

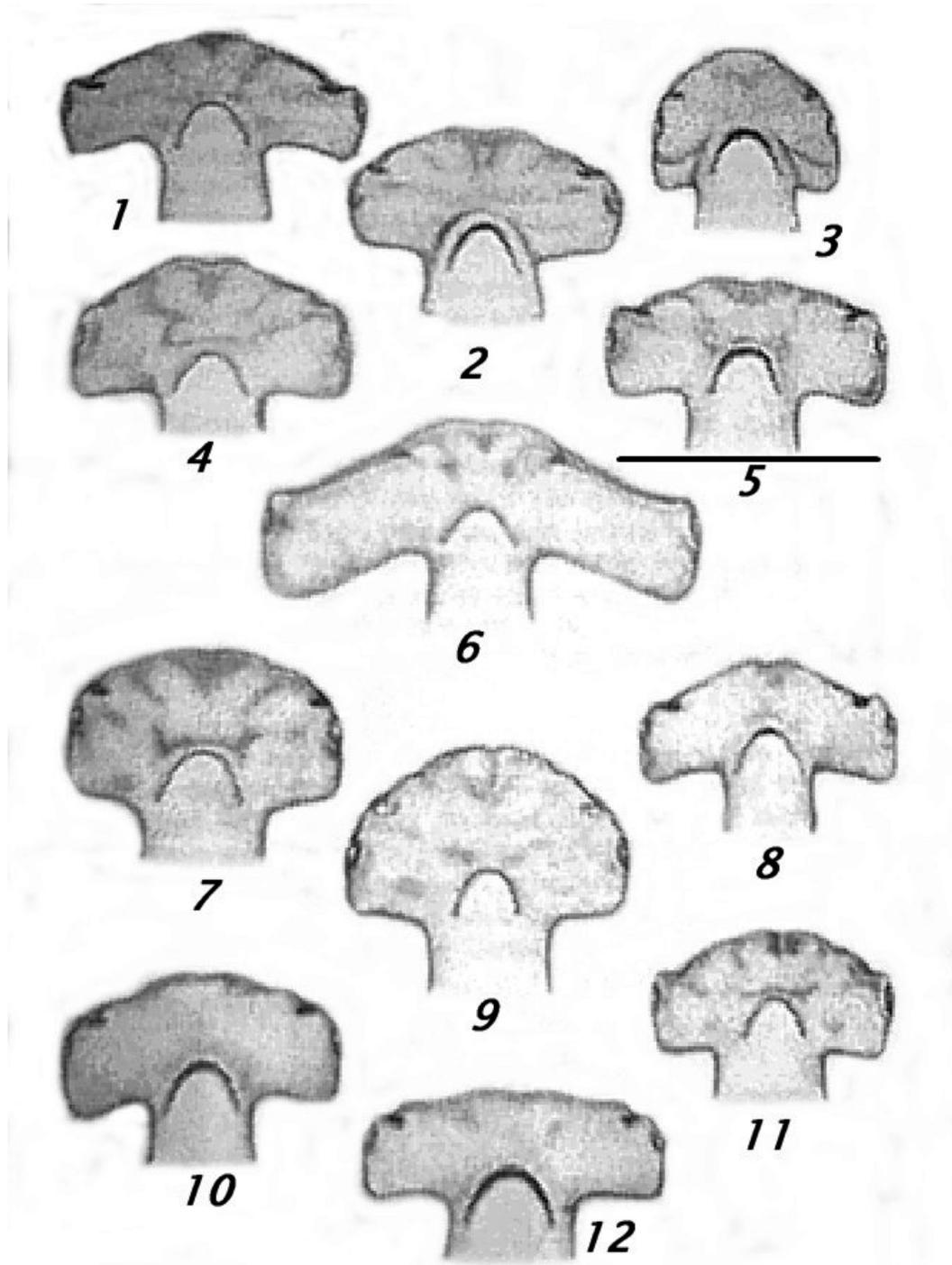


Figura 13. Diferentes cabezas de Sphyrnidae. 1) *Sphyrna zygaena*; 2) *S. bigebwii*; 3) *S. tiburo*; 4) *S. mokarran*; 5) *Sphyrna lewini*; 6) *S. bichii*; 7) *S. media*; 8) *S. diphana*; 9) *S. corona*; 10) *S. tudes* (juvenil); 11) *S. conardi*; 12) *S. tudes* (adulto) (Tomado de Amezcua, 2001).

***Sphyrna lewini*, Tiburón martillo.**

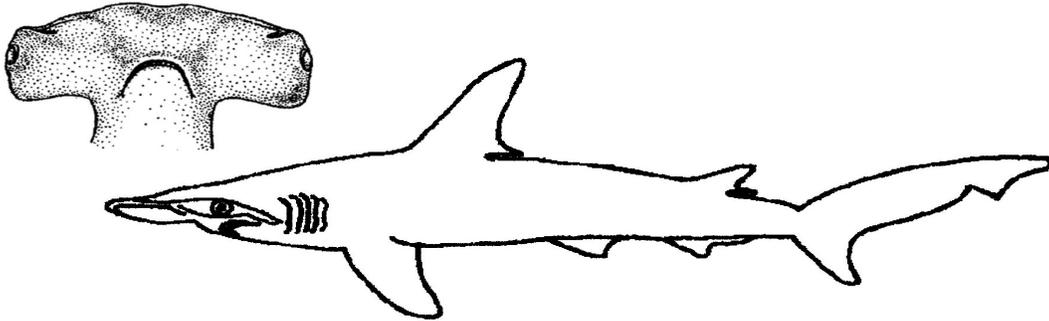
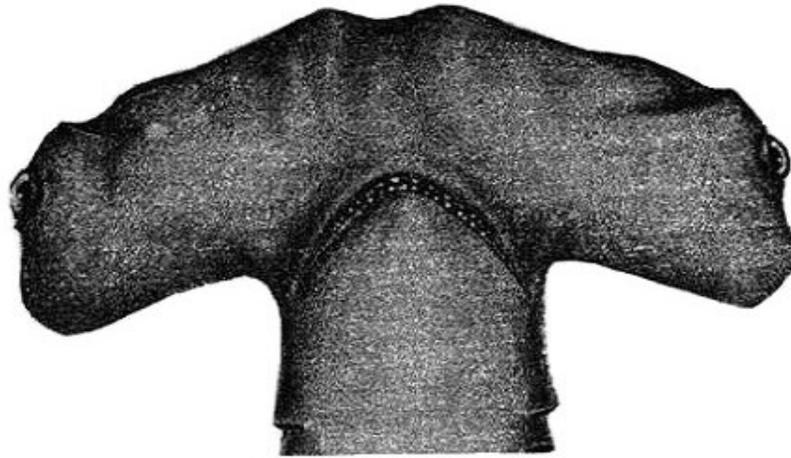


Figura 14. Esquema de *Sphyrna lewini*.

Sphyrna lewini (Figura 14) tiene la cabeza con expansiones laterales por delante de las hendiduras branquiales, adoptando forma de martillo o hacha (Foto 1). Expansiones muy anchas, 24 a 30% del largo total (generalmente superiores al 26%), pero longitudinalmente cortas (Figura 15). Distancia desde la punta del hocico hasta la inserción del margen posterior de las expansiones laterales menor que la mitad del ancho de la cabeza. Margen anterior de la cabeza muy ancho y curvo, con prominentes depresiones o escotaduras en su parte media y a ambos lados. Surcos prenasaes bien desarrollados por delante de las narinas. Distancia preoral 1/5 a 1/3 del ancho de la cabeza. Extremo posterior de los ojos ligeramente por delante de la sínfisis superior de la mandíbula. Boca amplia y curva. Dientes anteriores con cúspides moderadamente largas, anchas a delgadas, lisas o débilmente aserradas; dientes posteriores usualmente cuspidados, sin quillas y molariformes (Castro - Aguirre, 1978). Primera dorsal moderadamente falcada. Origen de la primera dorsal sobre o ligeramente por delante de la inserción de las pectorales; su extremo posterior bien anterior al origen de las pélvicas. Segunda dorsal baja, menor que la altura de la anal, con margen posterior apenas cóncavo; margen interno largo, aproximadamente el doble de su altura y con su extremo posterior casi opuesto al origen del lóbulo dorsal de la caudal. Aletas pélvicas no falcadas, con márgenes posteriores estrechos o apenas cóncavos. Aleta anal más larga que la segunda dorsal; su base es 4,3 a 6,4% del largo total; su origen bien por delante del origen de la segunda dorsal; su margen posterior apenas cóncavo. Con 174 a 209 cuerpos vertebrales (Compagno, 1984). Es una especie muy abundante y de fácil disponibilidad en regiones tropicales. Su carne es utilizada fresca, congelada o salada para consumo humano. Su piel se utiliza en marroquinería y trajes de neopreno. También son utilizadas sus

aletas en la preparación de sopa, se extrae aceite de su hígado. Los dientes son utilizados en joyería y las carcasas son utilizadas en la elaboración de harinas (Castillo, 1983).



Sphyrna lewini

Figura 15. Cabeza de *Sphyrna lewini* (Tomado de García y Sotero, 2005).

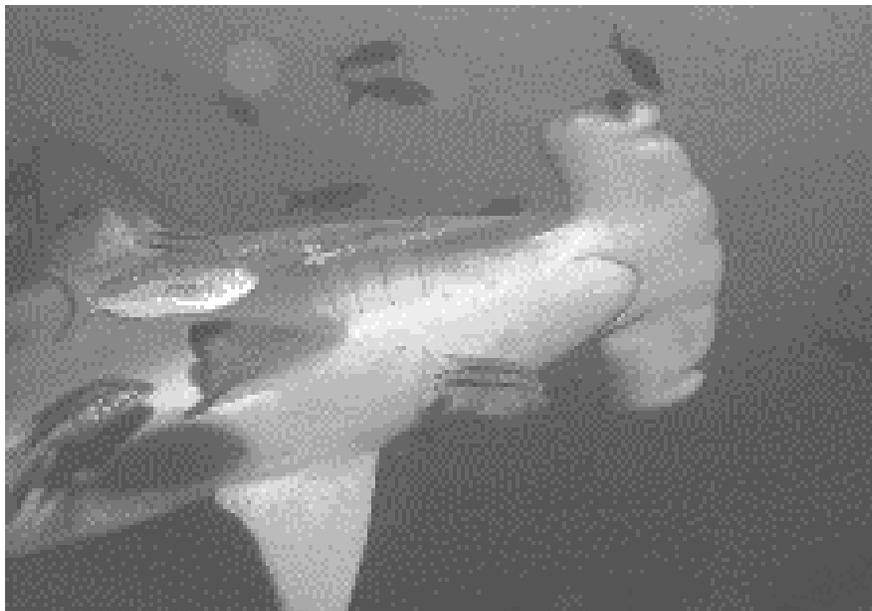


Foto 1. *Sphyrna lewini* (Tomado de Davis, 1998-2004).

Antecedentes

Norris y Hugues, en 1920, trabajaron con *Squalus acanthias* para describir los nervios espinales, craneales y occipitales, haciendo una descripción detallada principalmente de los nervios: olfatorio, óptico, trigémino, facial, auditivo, glosofaríngeo, vago, los occipitales, los primeros tres nervios espinales y el nervio hipobranquial, así como el ganglio simpático conectado con los nervios craneales.

Compagno, en 1977, estudió a las rayas y tiburones, para establecer las interrelaciones filéticas de los grupos mayores; sugirió que los grupos vivos surgen de un grupo ancestral común de tiburones neoselachios con muchos caracteres modernos. Presentó una nueva interpretación de la anfiestilia de los tiburones modernos.

Northcutt, en 1977, realizó un estudio sobre la organización del sistema nervioso central y su posible significado evolutivo. Encontró que los Carcharhiniformes tienen un gran cerebro, radios corporales, y una marcada hipertrofia del telencéfalo. Las regiones palatinas, al igual que el diencéfalo, están caracterizadas por una extensa migración celular. El cerebelo de estas formas posee una extensa y compleja foliación. Comparó estos patrones con Holocephali, concluyendo que éstos fueron grupos hermanos en la radiación de los elasmobranchios, y que adquirieron independiente el desarrollo complejo del paladar y foliación cerebelosa.

En 1997, Malcolm T. Jollie realizó un estudio acerca de la segmentación de la cabeza en vertebrados, basándose en otros estudios hechos en diferentes grupos de animales y realizó una comparación entre estos, para analizar la formación de la cabeza en cuanto a su desarrollo. Vió que debido a los esclerotomos, la extensión de la cabeza estaba formada de cinco y medio segmentos. Los órganos nasales y oculares son estructuras preorales, mientras que el oído está localizado entre los segmentos tres y cuatro. La porción occipital del esqueleto cefálico se forma entre la mitad posterior del quinto segmento y la mitad anterior del sexto; esto da una estructura semejante a una vértebra. Refutó la idea de una correspondencia entre los somitas y los segmentos viscerales posteriores del segundo arco branquial.

En 1999, Cruce y colaboradores, hicieron una comparación entre el sistema neuronal de las proyecciones descendentes de la médula espinal entre *Platyrhynchus triseriatus* y *Heterodontus francisci*. Describieron células reticuladas caracterizadas por su posición, morfología, orientación

somática, procesos dendríticos y lateralidad de sus proyecciones espinales. Observaron que hay 19 núcleos reticulares con proyecciones espinales, y 20 núcleos no reticulares con proyecciones espinales. Con esto corroboraron la hipótesis de que la formación reticular de elasmobranchios tiene una organización compleja con muchos de los mismos núcleos que se encuentran en ranas, reptiles, aves y mamíferos.

Amezcuza realizó un análisis anatómico de la musculatura faríngea en *Sphyrna tiburo* en 2001, haciendo una comparación con la musculatura del tiburón limón *Negaprion brevirostris* y del pintarroja *Scyliorhinus canicula*, obteniendo que no hay diferencia entre la forma de los músculos, ni en la inserción, ni en la dirección de las fibras musculares, sugiriendo que la estructura faríngea posee un patrón constante.

Flores, en 2001, realizó una descripción de los nervios espinales de *Urotrygon aspistorus*, comparando su organización con la descrita para *Squalus acanthias* y algunos batoideos, encontrando un patrón similar de organización así como unas diferencias muy específicas, como son la mayor complejidad numérica en la estructura de los plexos, la presencia de un plexo pectoral, la probable fusión del nervio hipobranquial con el plexo cervicobranquial y la ausencia del nervio colector.

Cuéllar realizó un estudio, en 2003, de los nervios espinales precaudales de *Gymnura micrura*, comparando con lo reportado para *Urotrygon aspistorus* y *Squalus acanthias*, encontrando diferencias en cuanto a la forma de sus estructuras, el patrón corporal, el tipo de nado y los hábitos, debido a la organización y trayectoria de los nervios ya mencionados.

Justificación

Es difícil estudiar la evolución del sistema nervioso a través del registro fósil, debido a que el tejido nervioso deja pocas trazas, siendo por lo tanto escasos este tipo de estudios. Por otro lado el estudio descriptivo del sistema nervioso periférico se ha llevado a cabo a través de la disección, realizando cortes seriados de las especies de interés. Al respecto la dificultad tanto de su preservación como de su manejo, ha impedido describir a profundidad el sistema nervioso de las diferentes especies de vertebrados. Sin embargo es importante examinar la progresión de la organización nerviosa de los fillos; evidenciar dicha progresión proporciona las bases para comprender las rutas a través de las cuales han evolucionado los sistemas nerviosos más complejos.

En particular, no se han realizado trabajos exhaustivos acerca de la inervación branquial en Carcharhiniformes. Se conoce la estructura general de los arcos branquiales y pares craneales que inervan a las branquias, pero no se conoce la vía que siguen los nervios desde el encéfalo hasta éstas, por lo que el motivo del presente trabajo fue llevar a cabo la descripción de los nervios branquiales de *Sphyrna lewini*.

Objetivos

- Describir la inervación branquial de *Sphyrna lewini*.
- Elaborar un atlas de la inervación branquial de *Sphyrna lewini*.
- Comparar la disposición de los nervios branquiales de *Sphyrna lewini* con los datos obtenidos por Flores (2001) para *Urotrygon aspidorus*, y Norris y Hughes (1920) para *Squalus acanthias*.

Material y Método

Se trabajó con organismos de la familia *Sphyrnidae*, de la especie *Sphyrna lewini*, sin distinción de sexo con un tamaño de longitud entre 1m y 1.50m. Fueron adquiridos de manera comercial en el centro de distribución. Se obtuvieron 10 ejemplares -cabe mencionar que sólo se consiguieron 2 ejemplares de cuerpo completo; los otros fueron únicamente de la porción cefálica a partir de la base caudal de las aletas pectorales hacia adelante (Foto 2)-, los cuales debieron presentar un buen estado, sin presentar cortes a nivel dorsal de las branquias, y en la región ventral con sólo la abertura necesaria para el vaciado de vísceras.



Foto 2. Porción cefálica de *Sphyrna lewini*.

Para su preservación fueron colocados en hielo, para posteriormente trasladarlos al laboratorio de Anatomía Animal Comparada de la Unidad de Morfología y Función de la FES Iztacala.

Los ejemplares se midieron de acuerdo a los esquemas de Compagno (1984), que, con algunas modificaciones, se muestran a continuación:

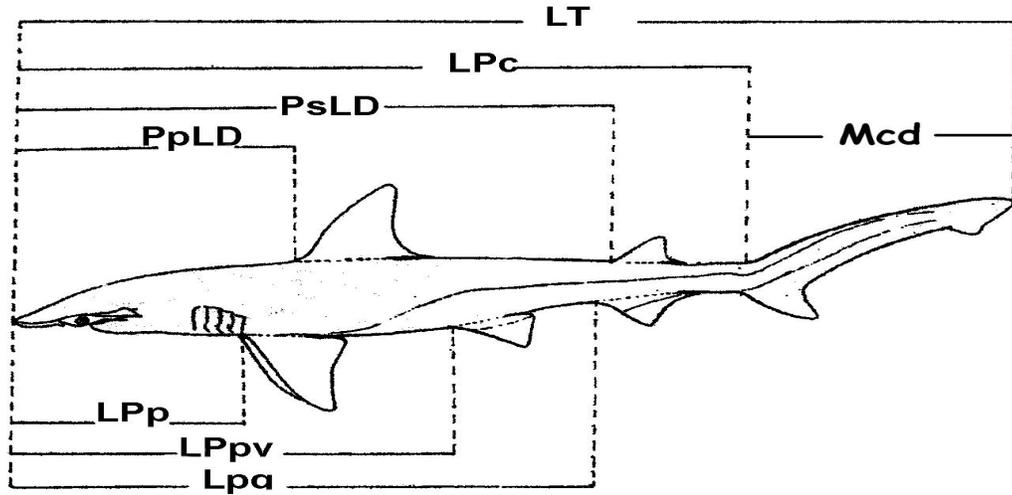


Figura 16. Medidas morfométricas de *Sphyrna lewini*. **LPa**) Longitud preanal; **LPc**) Longitud precaudal; **Lpp**) Longitud prepectoral; **LPpv**) Longitud prepélvica; **LT**) Longitud total; **Mcd**) Margen caudal dorsal; **PpLD**) Preprimera longitud dorsal; **PsLD**) Presegunda longitud dorsal. (Tomado de Amezcua, 2001)

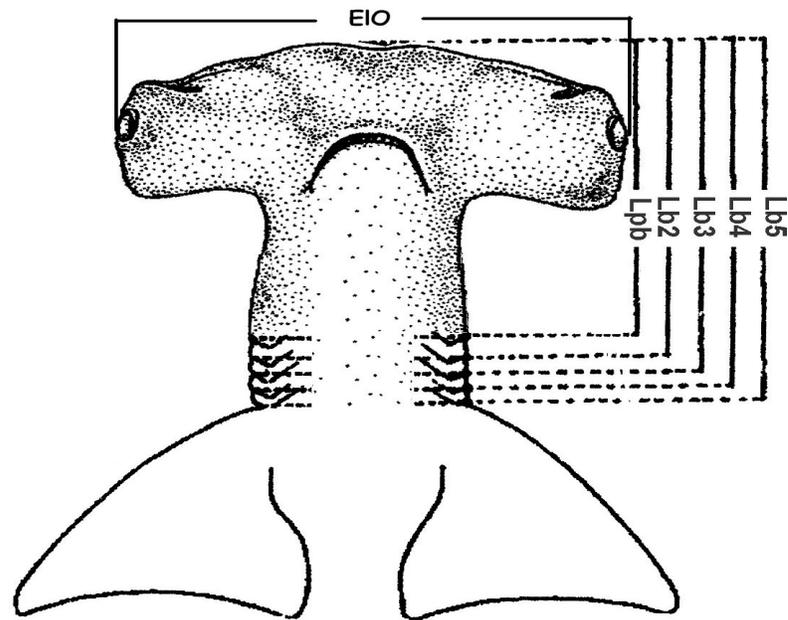


Figura 17. Medidas branquiales de *Sphyrna lewini*. **EIO**) Espacio interorbital; **Lpb**) Longitud prebranquial; **Lb2**) Longitud branquial 2; **Lb3**) Longitud branquial 3; **Lb4**) Longitud branquial 4; **Lb5**) Longitud branquial 5. (Modificado de Amezcua, 2001)

Posteriormente se colocaron en recipientes, en una solución de formol al 4%. Sólo cinco fueron puestos en la solución; los otros cinco se trabajaron después de sacarlos del refrigerador y descongelarlos con agua; esto con el fin de trabajar los nervios en su condición más natural posible.

Después de medirlos, se procedió a la identificación de los especímenes con la ayuda de las claves de Castro - Aguirre (1978).

Ya identificados, a los dos ejemplares completos se les cortó la porción cefálica a partir de la porción posterior de la base de las aletas pectorales, para trabajar únicamente las cabezas. El resto del cuerpo se desechó.

Se procedió a retirar cuidadosamente la piel de cada organismo, evitando en lo más mínimo dañar la región branquial, y en general la musculatura y nervios que se encuentran cerca de la misma. Ya sin piel, se quitó la musculatura cefálica y supra-branquial, para posteriormente dejar expuestos los nervios branquiales. Con un mayor cuidado, los nervios expuestos se limpiaron manualmente para quitar todo resto contiguo de tejido.

Se pusieron de nuevo en sus soluciones (Formol al 4% o agua, dependiendo) para su preservación.

Se tomaron fotografías con dos cámaras digitales: 1) Aqua Cam - Cool ICAM, de 640x480 píxeles, ampliada a 1.3 Megapíxeles; y 2) Digital Still Camera DSC-P31, Sony. Las fotografías fueron mejoradas y completadas con el programa ArcSoft Software Photostudio 4.0. Además, se realizaron esquemas de forma manual para comparar con las fotografías. Los esquemas se trabajaron con scanner para hacerles las modificaciones necesarias (color y texto) con el programa arriba mencionado.

Con esto, se realizó la descripción de la innervación desde el foramen de salida de cada uno de ellos, a través del neurocráneo, hasta los arcos branquiales, siguiendo la nomenclatura dada por Fürbringer (1897), citado en Norris y Hughes (1920). La comparación se hizo nervio por nervio y bifurcación por bifurcación contra la descripción para *Squalus acanthias*, hecha por Norris y Hughes (1920), y para *Urotrygon aspidorus*, por Flores (2001). Esta última comparación se debe a la posibilidad de que hubiese modificaciones en la disposición de los nervios branquiales, debido a la diferencia de la forma corporal, entre las tres especies.

Resultados

Se encontró que las branquias de *Sphyrna lewini* están inervadas por los nervios glossofaríngeo (IX) y vago (X).

El nervio glossofaríngeo (IX) (Fotos 3 y 4) surge en posición ventrolateral del mielencéfalo, en posición cefálica al nervio vago, penetrando en la cápsula ótica a través de un foramen ubicado en posición caudal, atravesando el piso de la cápsula ótica y saliendo del condrocráneo a través del foramen del glossofaríngeo ubicado en posición occipital. Inmediatamente al emerger se bifurca en dos ramas: la primera es la llamada pretremática (receptora visceral) y la segunda la postremática (motora visceral). La rama pretremática corre a lo largo de la pared cefálica de la primera hendidura branquial, inervando así los filamentos branquiales. La rama postremática corre a lo largo de la pared cefálica de la segunda hendidura branquial, inervando los filamentos branquiales (Figura 18).

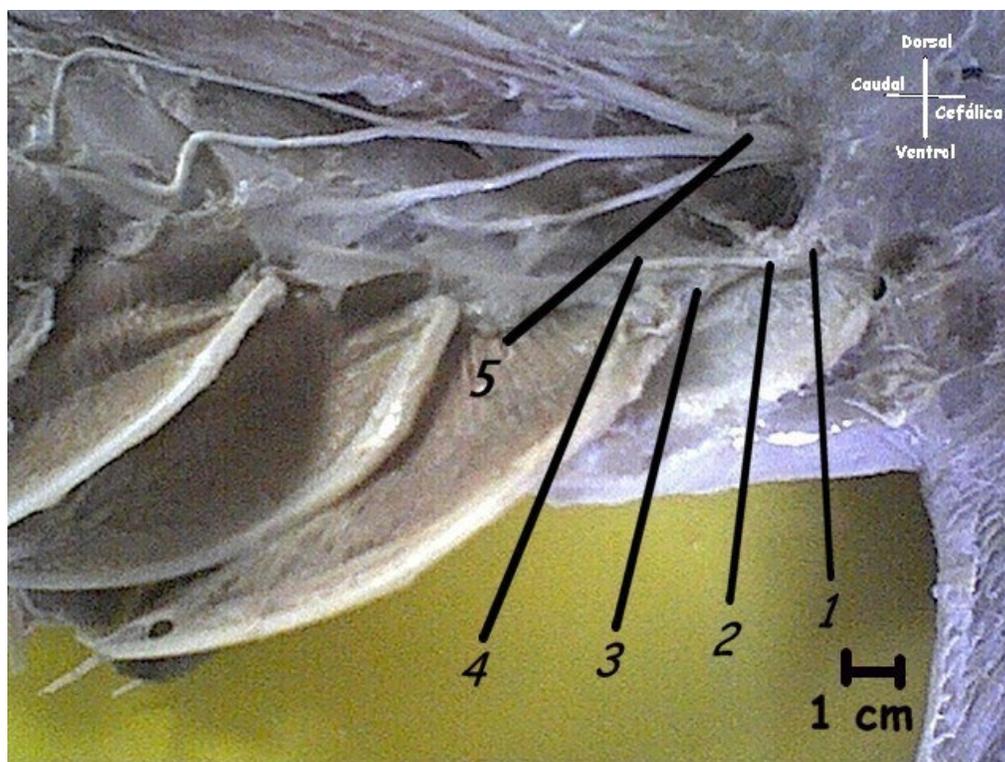


Foto 3. Cabeza de *Sphyrna lewini* en la que se muestran el nervio glossofaríngeo (IX) y su inervación así como la del nervio vago (X). 1) Foramen del nervio Glossofaríngeo; 2) Nervio Glossofaríngeo (IX); 3) Rama pretremática; 4) Rama postremática; 5) Nervio vago (X) (Ver figura 17).

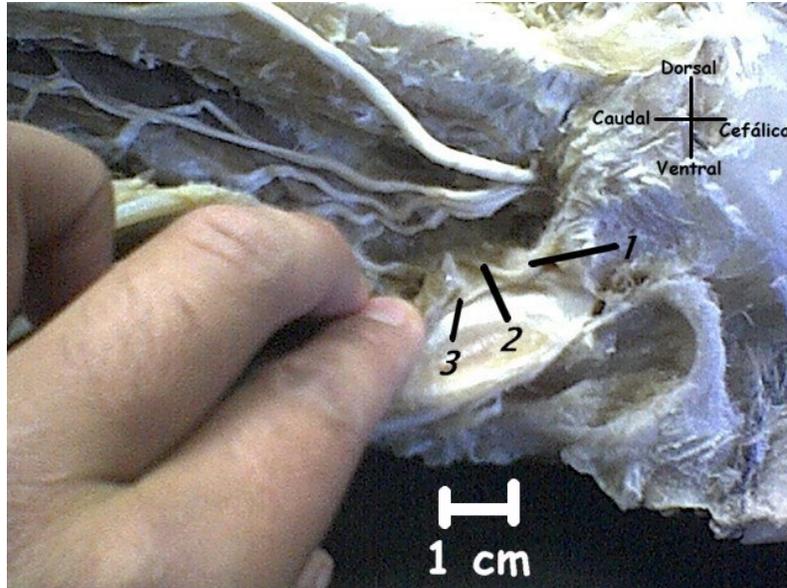


Foto 4. De *Sphyrna lewini* en donde se muestra el nervio glossofaríngeo (IX). 1) Nervio Glossofaríngeo (IX); 2) Rama postremática; 3) Rama pretremática. (Ver figura 17).

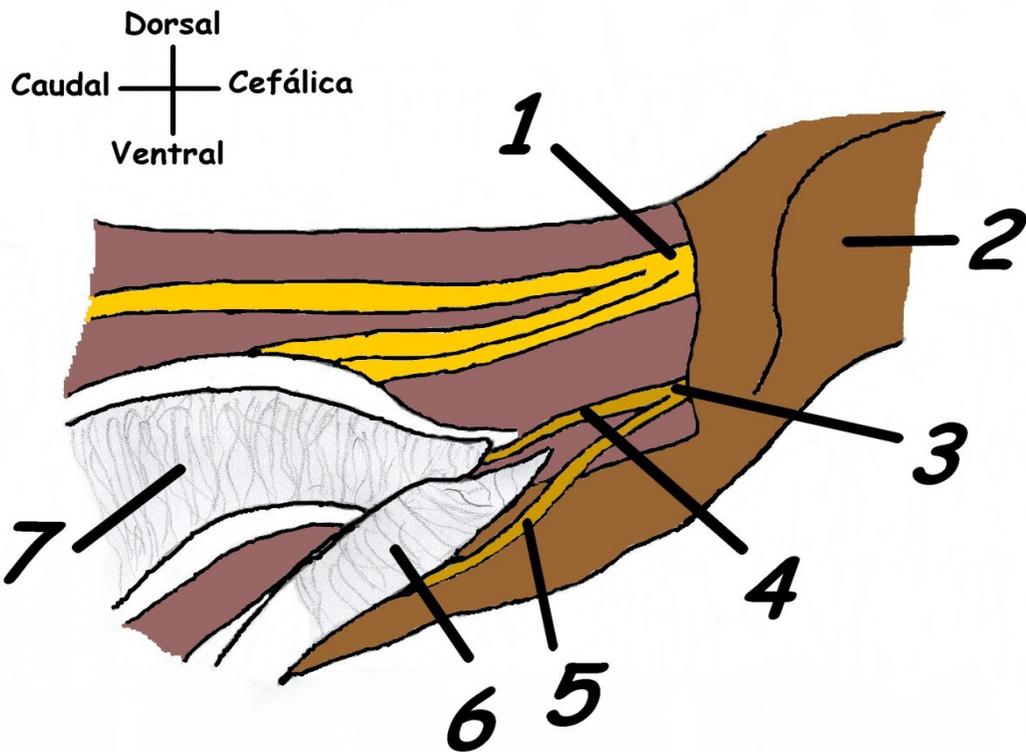


Figura 18. Inervación del nervio glossofaríngeo (IX). 1)Nervio Vago (X); 2)Condrocraqueo; 3)Nervio Glossofaríngeo (IX); 4)Rama pretremática; 5)Rama postremática; 6)Primera branquia; 7)Segunda branquia.

El nervio vago (X) (Fotos 5, 6 y 7) surge en la posición caudolateral del mielencéfalo y corre alrededor de la cápsula ótica emergiendo del

condrocráneo por su región occipital a través del foramen del propio nervio vago (X), que se encuentra junto al foramen del nervio glosofaríngeo (IX), entre éste y la columna vertebral. De ahí, se divide en tres ramas: La primera rama, denominada lateral, es receptora somática que se extiende ventralmente a la línea lateral sobre casi toda la longitud del cuerpo. Las otras dos ramas, denominadas branquioviscerales, salen en una porción ventral de la rama lateral y corren a lo largo de las branquias 2 a 5 (Figura 19). La Primera rama branquiovisceral (Ba) se divide en dos: la primera bifurcación (Ba_a) se divide en su parte final en una rama pretremática, que inerva la pared posterior de la segunda branquia, y una posttremática, que inerva la parte anterior de la tercera branquia; la segunda bifurcación (Ba_b) se divide también en una rama pretremática y una posttremática, inervando la pared posterior de la tercer branquia y la pared anterior de la cuarta branquia, respectivamente. La segunda rama branquiovisceral (Bb) se divide también en dos ramas, la primera bifurcación (Bb_a) se divide en una rama pretremática y una posttremática, inervando la pared posterior de la cuarta branquia y la pared anterior de la quinta branquia; en la segunda bifurcación (Bb_b), la rama pretremática inerva la pared posterior de la quinta branquia, y la posttremática corre a lo largo de la cara lateral de la sinarcualia por la pared externa de la lámina lateral por debajo del plexo cervicobranquial y se introduce en el escapulacoracoides alcanzando la cavidad pleuroperitoneal e inervando al intestino.

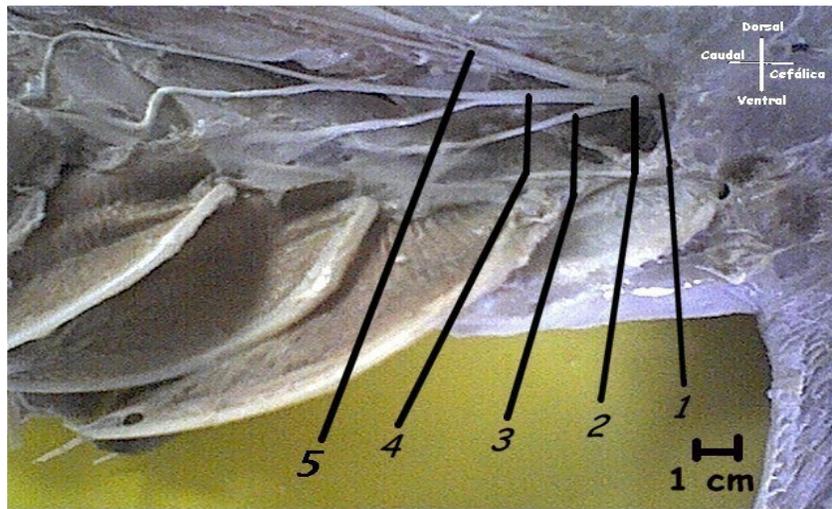


Foto 5. Inervación del nervio vago (X) y el foramen del que sale. **1)** Foramen del nervio vago; **2)** Nervio Vago (X); **3)** Rama branquiovisceral - Primera bifurcación; **4)** Rama branquiovisceral - Segunda bifurcación; **5)** Rama lateral. (Ver Figura 18).

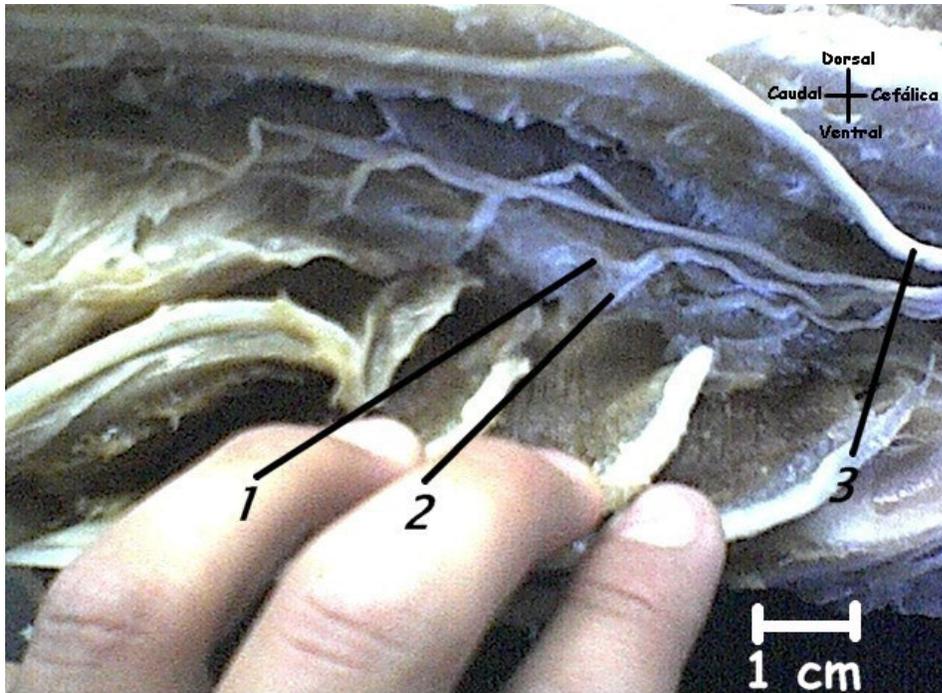


Foto 6. Inervación del nervio vago (X) hacia las branquias. **1)** Rama postremática; **2)** Rama pretremática; **3)** Rama lateral. (Ver figura 18).



Foto 7. Inervación del nervio vago (X) hacia las branquias. **1)** 2da rama Branquiovisceral - Segunda bifurcación; **2)** 2da rama Branquiovisceral - Primera bifurcación; **3)** 1er rama Branquiovisceral. (Ver figura 18).

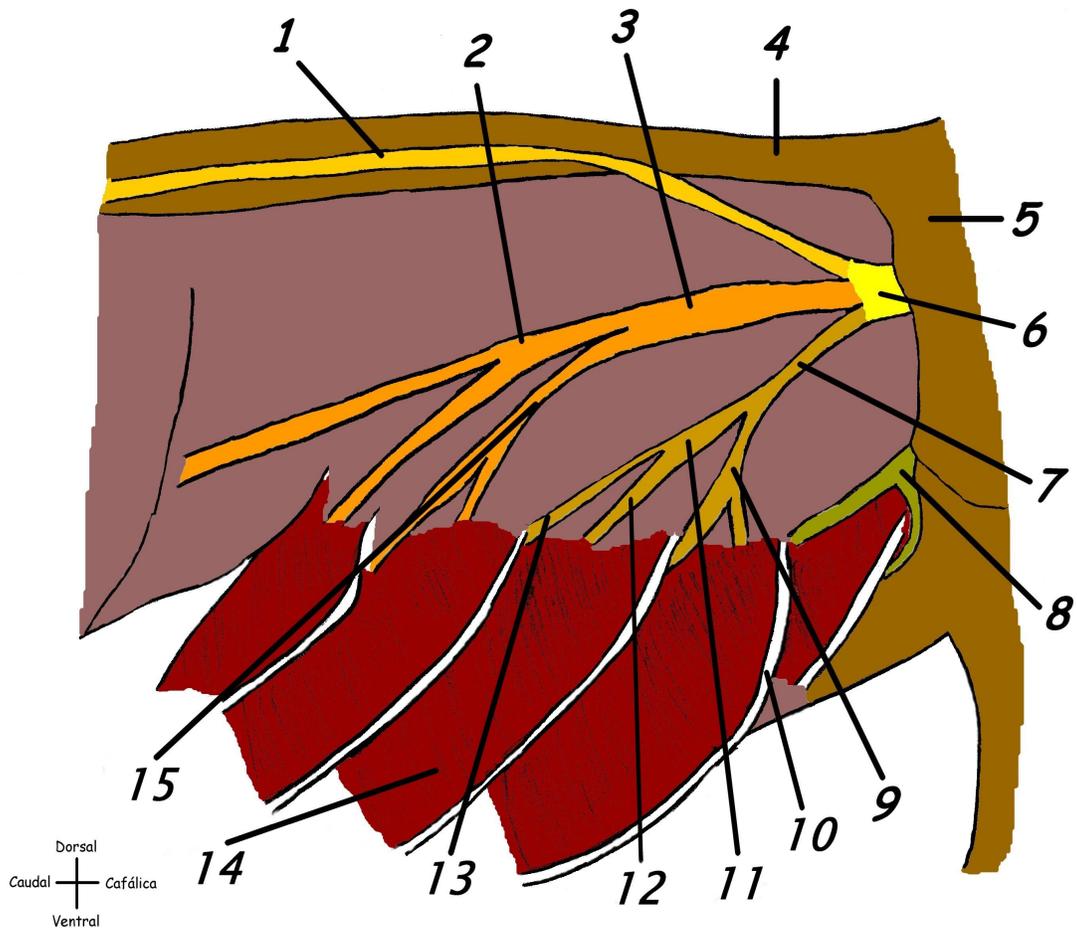


Figura 19. Inervación del nervio vago (X). 1) Rama lateral del nervio vago; 2) Rama branquiovisceral Bb_b; 3) Rama branquiovisceral Bb; 4) Médula espinal; 5) Condrocráneo; 6) Nervio Vago (X); 7) Rama branquiovisceral Ba; 8) Nervio Glossofaríngeo (XII); 9) Rama branquiovisceral Ba_a; 10) Cartílago extrabranquial; 11) Rama branquiovisceral Ba_b; 12) Rama pretremática; 13) Rama postremática; 14) Branquias; 15) Rama branquiovisceral Bb_a.

Se describe en forma adicional el nervio óptico (I) (Fotos 8, 9 y 10), el cual corre, desde el globo ocular, posteromedialmente dentro del foramen óptico y de ahí anteriormente formando el quiasma óptico (Figura 20). El foramen esta ubicado en posición dorsolateral al condrocráneo. Cuando atraviesa el condrocráneo, el nervio se dirige en dirección ventral para insertarse en la región ventral del diencéfalo (Figura 21).

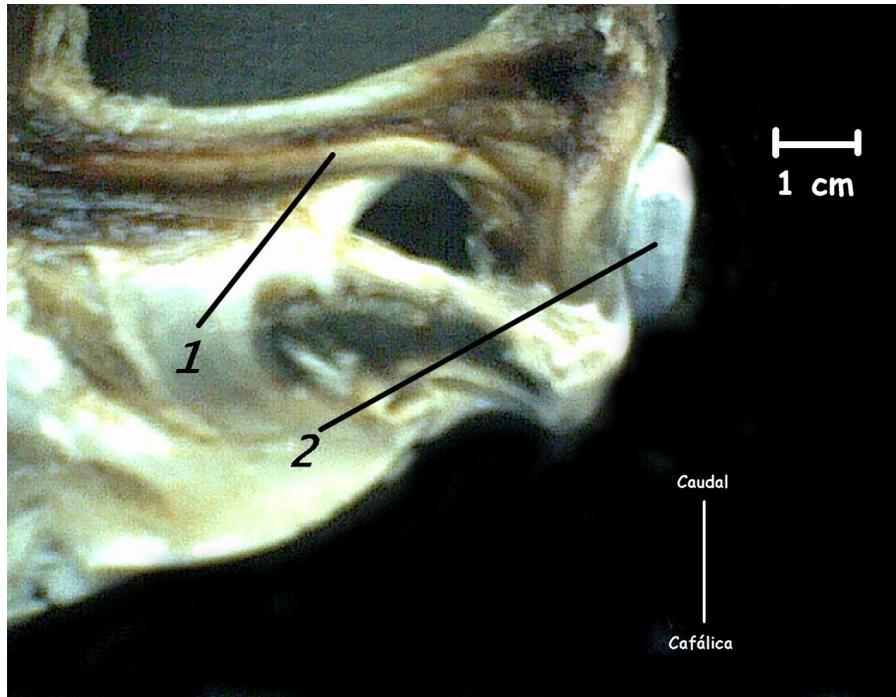


Foto 8. Vista ventral del nervio óptico (II). 1) Nervio Óptico II; 2) Globo ocular. (Ver figura 19).

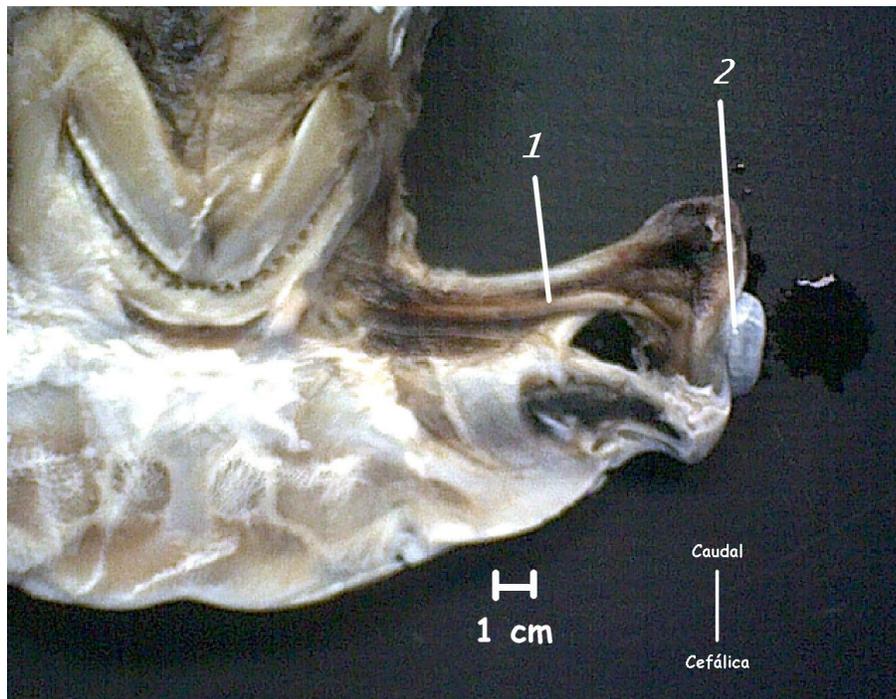


Foto 9. Vista ventral del nervio óptico (II). 1) Nervio Óptico II; 2) Globo ocular. (Ver figura 19).

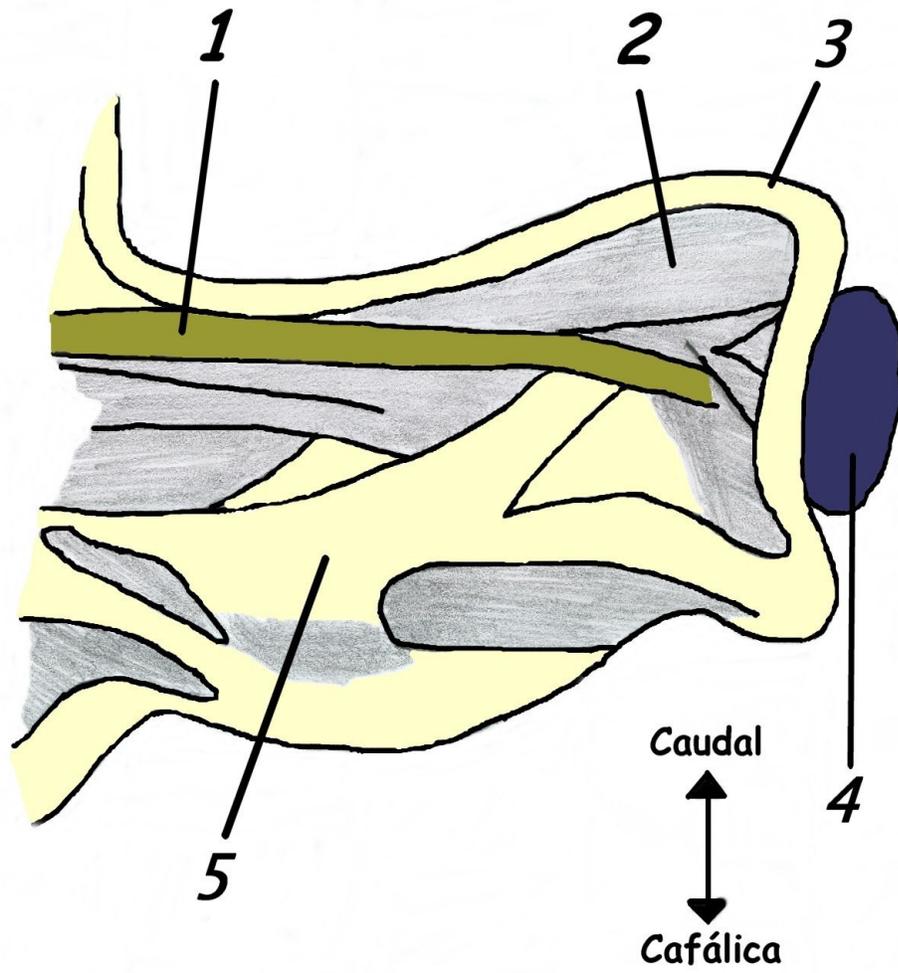


Figura 20. Inervación del nervio óptico (II). 1)Nervio óptico; 2)Tejido; 3)Cartílago pre-óptico; 4)Globo ocular; 5)Cartílago post-óptico.

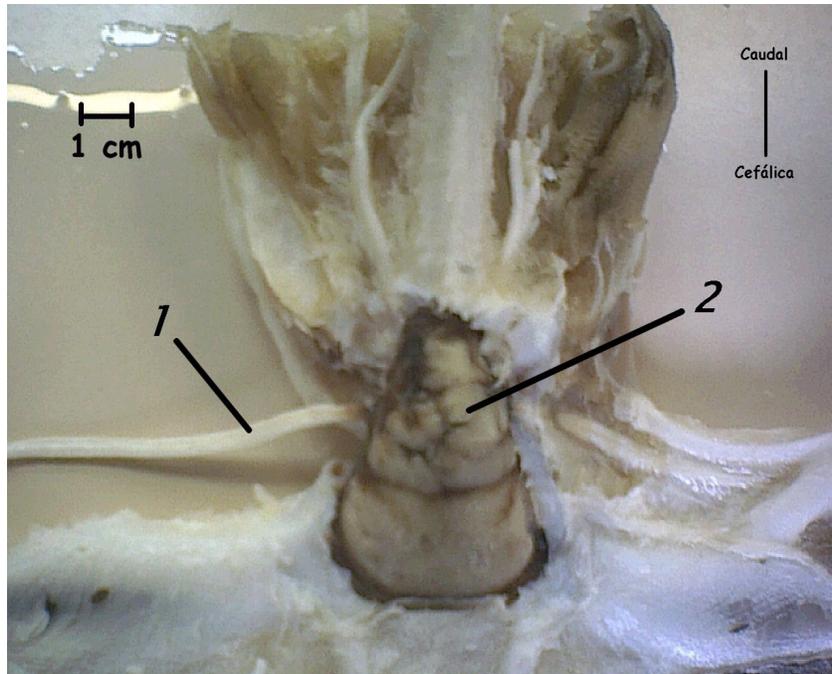


Foto 10. Vista dorsal del nervio óptico (II) y su salida del condrocráneo. 1) Nervio Óptico II; 2) Encéfalo. (Ver figura 20).

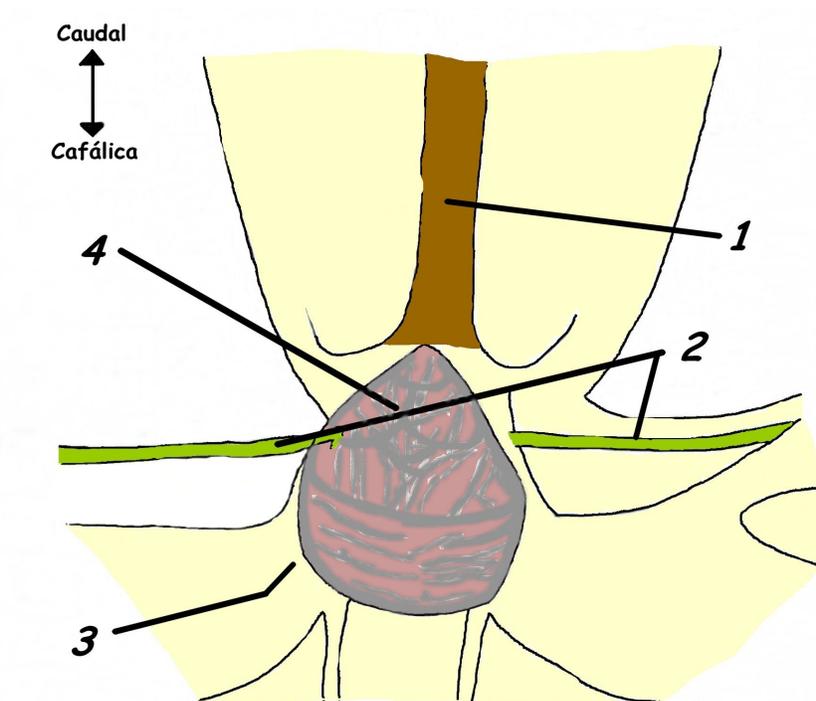


Figura 21. Inserción del nervio óptico (II). 1) Médula espinal; 2) Nervio óptico II; 3) Cápsula cerebral; 4) Cerebro.

Discusión

Uno de los objetivos de este trabajo fue el comparar los resultados obtenidos con los datos presentados para *Squalus acanthias*, por Norris y Huges (1920), y para *Urotrygon aspidorus*, por Flores (2001), en cuya comparación se encontró que la inervación branquial presente en *Sphyrna lewini* es muy semejante a la de *Squalus acanthias* (Norris y Hughes, 1920) y *Urotrygon aspidorus* (Flores, 2001), presentándose solo seis diferencias.

Evolutivamente hablando, las tres especies tienen origen temporal distinto, lo cual las hace diferentes, tanto en su fisiología y anatomía, como en hábitos. Las tres pertenecen a un grupo de organismos denominados por Compagno (1977) como "Neoselachios", los cuales tienen un origen común (siempre según este autor) relacionado con tiburones hibodontos y ctenacantos del Paleozoico y Mesozoico, tomando en cuenta los datos obtenidos por Maisey (1975). Compagno propuso cuatro grandes divisiones de tiburones y rayas vivientes (establecidos en superórdenes), tres para tiburones (Escualmorfos, Galeomorfos y Escuatimorfos), con ocho órdenes (Hexanchoides, Squaloides, Pristiophoroides, Heterodontidae, Orectolobidae, Lamnidae, Carcarinidae, y Squatinidae) y uno para rayas (Batoidei) con cinco órdenes (Rhinochimaeridae, Rajidae, Pristigasteridae, Torpedinidae, y Myliobatidae). Los Squaloides, a donde pertenece *Squalus acanthias*, es considerado un grupo primitivo, principalmente por la presencia de espinas en las aletas dorsales, además de otras características como la ausencia de aleta anal. En una de sus hipótesis, Compagno señala que los escualmorfos (superorden de Squaloides) son grupo hermano de batoideos (a cuyo orden Myliobatidae pertenece *Urotrygon aspidorus*), debido a la carencia de soportes suborbitales. Esto indica que también los batoideos tienen un origen evolutivo anterior a los Carcarinidae (orden al que pertenece *Sphyrna lewini*), ya que se considera a los galeomorfos (donde están los carcarinidae) como más recientes principalmente debido a un proceso postorbital más reducido, cápsulas ópticas pequeñas, y una estructura rostral. Aunque hay que tomar en cuenta que dentro de los batoideos, se considera a los Myliobatidae como un grupo moderno (Compagno, 1977).

Resumiendo lo anterior, *Squalus acanthias* y *Urotrygon aspidorus* son especies más primitivas que *Sphyrna lewini*, aunque *Urotrygon aspidorus* es más moderno que *Squalus acanthias*. Sus relaciones filogenéticas pueden explicar las semejanzas y diferencias encontradas en la comparación realizada en este trabajo.

Otro aspecto que puede explicarlas es la forma de su cuerpo (Jarvik, 1980). *Sphyrna lewini* y *Squalus acanthias* (Figura 22) son pleurotremados (aplanado lateralmente) (Norris y Hughes, 1920), mientras que *Urotrygon aspidorus* (Figura 23) es hipotremado (de aplanamiento dorso-ventral) (Cuellar, 2003); aunque la forma de la cabeza de *Sphyrna lewini* es visiblemente diferente a la de *Squalus acanthias*, ya que el primero presenta un ensanchamiento craneal (con los ojos en los extremos).

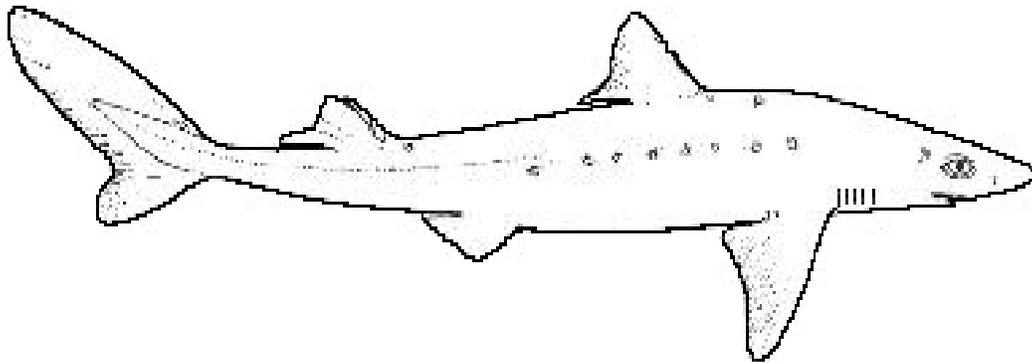


Figura 22. Esquema de *Squalus acanthias* (tomado de Bigelow y Schroeder, 1953).

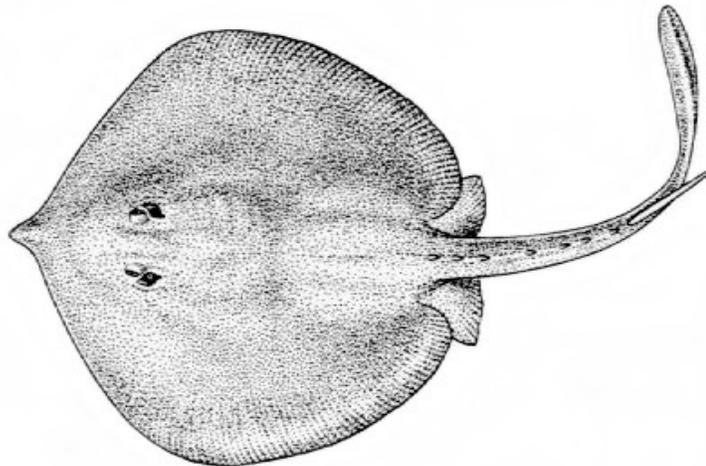


Figura 23. Esquema de *Urotrygon aspidorus* (tomado de Agbayani, 1999).

A unido a esto, también pueden influir los diferentes hábitos de cada uno de los tres, ya que se desenvuelven en forma distinta. El hábitat de *Sphyrna lewini* es la columna de agua, en la zona pelágica, encontrándose

especialmente en las cimas de montañas marinas y arrecifes profundos, en aguas cálidas y templadas, con un nado rápido y constante; mientras que el de *Squalus acanthias* es de aguas boreales a templadas, en zonas costeras y exteriores de la plataforma continental, en declives insulares y en la parte superior del talud, desplazándose principalmente en las proximidades del fondo, nadador lento e inactivo, más allá del constante movimiento errático y nómada que mantiene; y *Urotrygon aspidorus* cuyo hábitat es la zona demersal, en el fondo marino de zonas de marea, con nado lento.

Debido a lo anterior, se puede inferir que las semejanzas entre las tres especies se deben a su cercanía filogenética. Los tres comparten la clase Chondrichthyes; *Sphyrna lewini* y *Squalus acanthias* son pleurotremados; *Sphyrna lewini* y *Urotrygon aspidorus* comparten, como se denotará más abajo, la ausencia de una rama faríngea en los nervios branquiales, y el ser más actuales (evolutivamente hablando) que *Squalus acanthias*. La principal semejanza entre estos tres encontrada en este trabajo es que la primera branquia está innervada por el nervio glosofaríngeo (IX), mientras que las restantes cuatro por el nervio vago (X). Comparten también la presencia de una rama pretremática y una postremática en cada rama que llega a las branquias (Figuras 18, 19, 24 y 25); así como la distribución de ambos nervios. Las diferencias se describen a continuación.

En el nervio glosofaríngeo (XI), la primera diferencia se encontró en la posición del foramen por el cual el nervio surge del condrocráneo, ya que en *Sphyrna lewini* está ubicado en posición occipital (misma posición que *Squalus acanthias*), mientras que en *Urotrygon aspidorus* se encuentra en posición laterooccipital (Figura 26); consideramos que esto se debe principalmente a diferencias en la forma del cráneo debido a su vez a la forma de su cuerpo. La segunda diferencia fue el arco que innerva la rama pretremática de este nervio, ya que tanto en *Sphyrna lewini* como en *Squalus acanthias*, esta corre a lo largo del cartílago ceratohial, mientras que en los batoides existe una reducción del cartílago ceratohial del arco hioideo, apareciendo un arco pseudohioideo, donde el cartílago pseudohial reemplaza al cartílago ceratohial (Compagno, 1977), por lo que la rama pretremática del nervio glosofaríngeo corre a lo largo del cartílago pseudohial en *Urotrygon aspidorus*. Para *Squalus acanthias*, Norris y Hughes (1920) hablan de cuatro ramas, una lateral, una faríngea, una postremática y una pretremática, difiriendo de lo encontrado en *Sphyrna lewini*, ya que éste presenta sólo dos ramas: la pretremática y la postremática, como ramas branquiales.

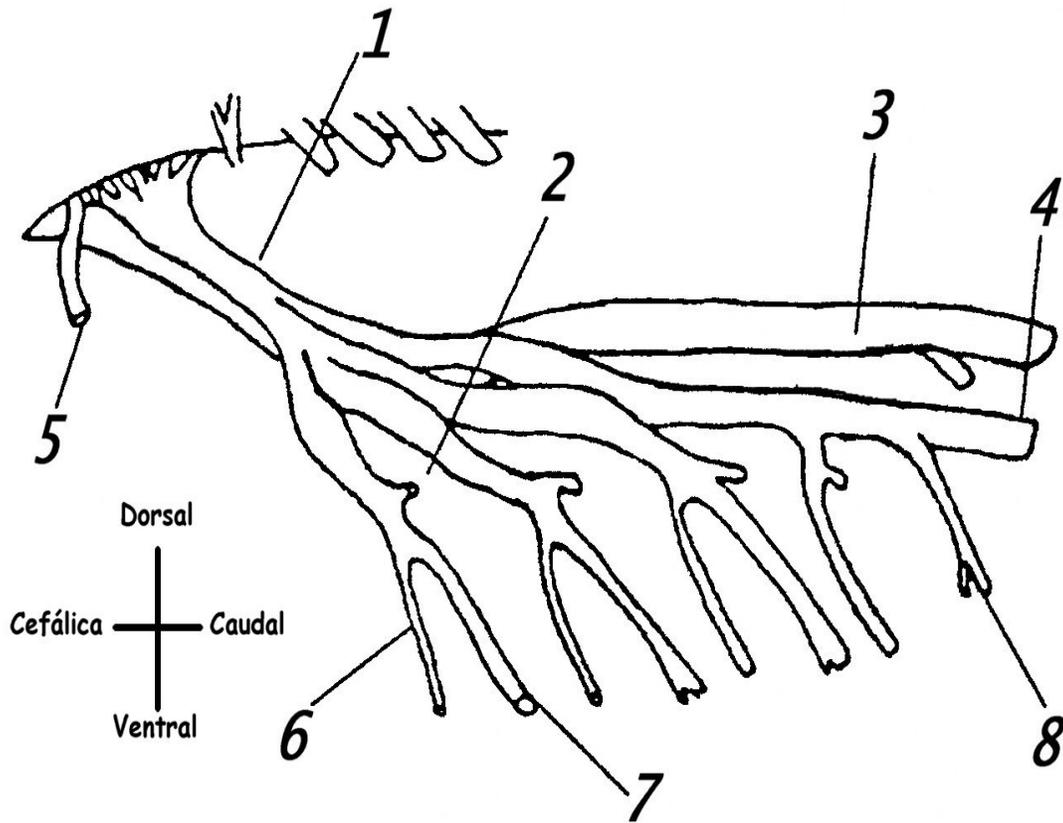


Figura 24. Esquema que muestra la inervación branquial del nervio vago de *Squalus acanthias*. 1) Nervio vago; 2) Rama faríngea; 3) Nervio posterior de la línea lateral; 4) Rama visceral del nervio vago; 5) Nervio glosofaríngeo; 6) Rama pretremática; 7) Rama posttremática; 8) Rama accesoria del nervio vago. (Modificado de Flores, 2001).

Del nervio vago (X), la primera diferencia se observó en *Sphyrna lewini*, consistente en la ausencia de una rama visceral, misma que se encuentra en *Squalus acanthias* y *Urotrygon aspidorus*. En *Squalus acanthias* se describe una rama faríngea en las ramas branquiales, las cuales no fueron encontradas en *Sphyrna lewini*, como tampoco en *Urotrygon aspidorus*. Esta rama corre sobre el techo de la faringe y la boca. Flores (2001) habla de una rama accesoria en la rama posttremática de la cuarta rama branquial de *Urotrygon aspidorus*, la cual no se encontró en *Sphyrna lewini*. De cualquier modo, el patrón de inervación en las branquias del nervio vago es el mismo, tanto para *Sphyrna lewini*, como para *Squalus acanthias* y *Urotrygon aspidorus*.

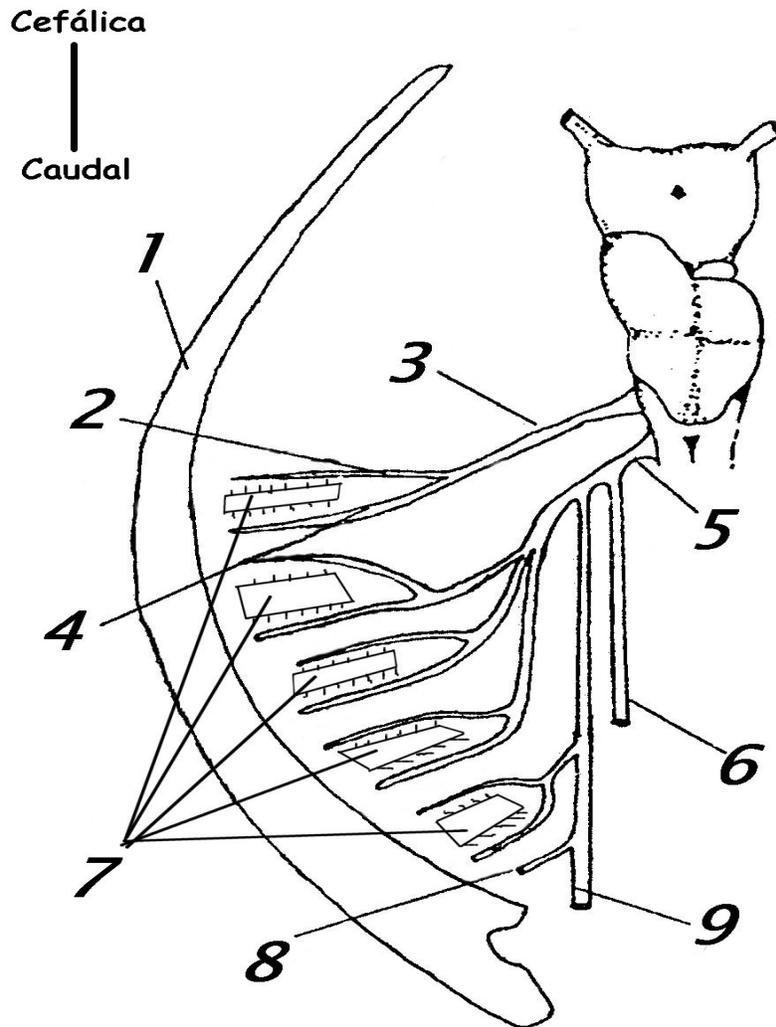


Figura 25. Esquema de la inervación de *Urotrygon aspidorus*. 1) Protopterigio; 2) Rama pretremática; 3) Nervio glosofaríngeo (IX); 4) Rama postremática; 5) Nervio vago (X); 6) Rama lateral del nervio vago; 7) Branquias; 8) Rama accesoria del nervio vago; 9) Rama visceral del nervio vago. (Modificado de Flores, 2001).

La rama postremática de estos nervios es motora - visceral, mientras que la rama pretremática es receptora - visceral (Pirbot, 1976).

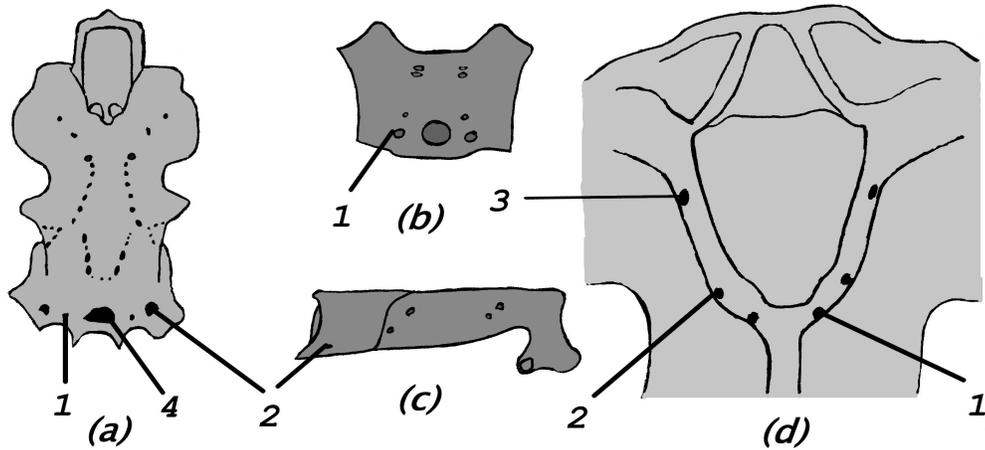


Figura 26. Condrocráneos que muestran los forámenes de los nervios. **a)** *Squalus acanthias* vista dorsal; **b)** *Urotrygon aspidorus* vista dorsal; **c)** *Urotrygon aspidorus* vista lateral. (Tomados de Fiores, 2001); **d)** *Sphyrna lewini*. **1)**Foramen del nervio vago X; **2)**Foramen del nervio glossofaríngeo IX; **3)**Foramen del nervio óptico II; **4)**Foramen mágnum .

En forma adicional se estudió el nervio óptico (II) debido a que a primera vista se observaron diferencias en cuanto a la salida del nervio desde su foramen. Se encontró que la diferencia que presenta con respecto a *Squalus acanthias* (Norris y Hughes, 1920) se debe a la morfología de la porción anterior de la cabeza la cual difiere de *Sphyrna lewini* respecto a los demás tiburones. Este nervio entra por el foramen dorsolateralmente y antes de entrar al cerebro, corre en dirección ventral para finalmente penetrar al diencéfalo. Es más largo y más grueso, debido a la especialización morfológica de *Sphyrna lewini*, y probablemente también a las condiciones primitivas de *Squalus acanthias* y modernas de *Sphyrna lewini*.

Conclusiones

La inervación branquial presente en *Sphyrna lewini* es muy semejante a la reportada para *Squalus acanthias* y para *Urotrygon aspidorus*; encontrándose como diferencias principales la presencia de las ramas faríngeas en el segundo y la posición del foramen del nervio glosofaríngeo (IX) en el último.

A través del curso de la evolución, muchos sistemas van cambiando, modificándose, de acuerdo a las presiones de selección que el medio ejerce sobre los organismos. Así, podemos hablar del surgimiento de los pulmones como sistema respiratorio, la disminución en el número de branquias, el desarrollo de un opérculo y mandíbulas; el mejoramiento del cuerpo para resistir las presiones de las diferentes profundidades del agua, así como para aumentar la velocidad, los diversos tipos de escamas, formas y número de aletas; muchas diferentes estrategias de alimentación, de caza, de defensa, diversos tipos de dientes; diferentes estrategias de reproducción de acuerdo a cada organismo; distintas formas de desarrollo embrionario; diferentes hábitats, con la consecuente especialización o atrofiamiento de los órganos de los sentidos. En fin, adaptaciones para la supervivencia del organismo y en general de la especie.

Pero otros sistemas han permanecido desde su aparición con muy pequeñas modificaciones, lo que nos habla de sistemas eficientes, que no varían sin importar el paso del tiempo, el tipo de organismo, ni el lugar donde se desarrollen.

Lo anterior no fue estudiado en el presente trabajo, pero es importante para enfatizar en la eficiencia del sistema branquial, principalmente la inervación branquial, que no ha presentado modificaciones drásticas a lo largo de la evolución.

Se mostró que, pese a que los tres organismos comparados son de forma corporal y hábitat distinto, y de modo de vida distinta, la inervación branquial se mantiene con los mismos nervios, las mismas ramas, y la misma dirección de las ramas. Es un sistema constante cuyas variaciones son mínimas que se deben a las variaciones interespecíficas estructurales de cada uno, más que al funcionamiento branquial.

El presente trabajo aporta evidencias suficientes que demuestran que la inervación branquial es constante en todos los tipos de elasmobranchios;

pero también se debe considerar que existen muchas especies, y que han tenido una gran diversificación, habiéndose ya extinguido muchas de ellas, y otras han permanecido hasta nuestros días.

Si no es parte de los objetivos de este trabajo, pero sí como información para futuros trabajos debido a su relevancia, se describió el nervio óptico (II), el cual es ejemplo de un sistema que varía por la modificación morfoestructural que presenta *Sphyrna lewini* y que a pesar de la forma notable de su cabeza, ha sido poco estudiado, por lo que este no se ha comparado con el de otras especies lo cual a su vez podría aportar información que permita concluir acerca de los procesos de adaptación, permanencia y especialización en estos organismos.

El presente trabajo constituye el primer acercamiento que se tiene sobre la descripción anatómica de los nervios branquiales de Sphyrnidos. Se espera que sea la base para estudios posteriores con los cuales obtener resultados que contribuyan a establecer posibles relaciones filogenéticas entre las diferentes especies de tiburones y elasmobranchios en general.

Apéndice I

Sistemática de Pleurotremados (según Compagno, 1977).

Superorden	Orden	Familia
Escualomorfos	Hexanchiformes	Hexanchidae
		Clamydoselachidae
	Squaliformes	Centrophoridae Dalatiidae Echinorhinidae Somnidae <u>Squalidae</u>
	Pristiophoriformes	Pristiophoridae
Galeomorfos	Heterodontiformes	Heterodontidae
	Rectolobiformes	Brachaeluridae Ginglymostomatidae Hemiscyllidae Rectolobidae Parascyllidae Rhincodontidae Stegostomatidae
	Lamniformes	Alopiidae Cetorhinidae Lamnidae Megachasmidae Mitsukurinidae Odontaspidae Pseudocarchariasidae
	Carcharhiniformes	Carcharhinidae Hemigaleidae Leptochariidae Proscyllidae Pseudotriakidae Scyliorhinidae <u>Sphymidae</u> Triakidae
Escuatimorfos		Squatinae

Apéndice II

Sistemática de Hipotremados (según Compagno, 1977).

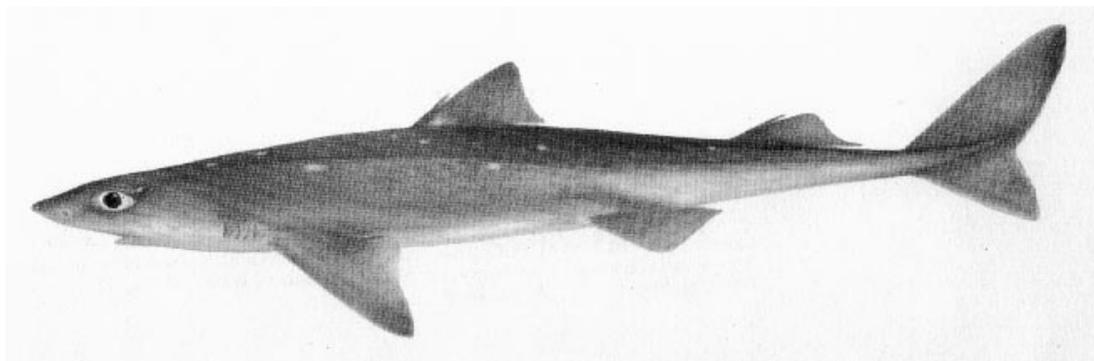
Orden	Familia	Orden	Familia
Pristiformes	Pristidae	Torpediniformes	Hipnidae
Rhinobatiformes	Platirrinidae		Narcinidae
	Rhinobatidae		Narquidae
	Rhincobatidae	Torpedinidae	
Rajiformes	Anacanthobatidae	Mylobatiformes	Dasyatidae
	Arhincobatidae		Gymnuridae
	Pseudorajidae		Mylobatidae
	Rajidae		Mobulidae
			Rinopteridae
			<u>Urolophidae</u>

Apéndice III

Características de *Squalus acanthias*.

Cuerpo notoriamente delgado. Hocico subangular, puntiagudo, estrecho y moderadamente largo. Ojos más o menos equidistantes entre el extremo del hocico y las primeras hendiduras branquiales. Narinas más próximas al ápice del hocico que a la boca. Espina de la primera dorsal corta. Espina de la segunda dorsal moderadamente larga, casi tan larga como la segunda dorsal. Primera dorsal situada posteriormente, con su origen sobre o por detrás del extremo posterior de las pectorales y el origen de la espina por detrás de dicho extremo. Segunda dorsal notoriamente menor que la primera, con el extremo posterior estrecho y redondeado. Aleta caudal estrecha, lobada, con un lóbulo ventral largo y margen posterior ventral profundamente hendido. Con surcos precaudales superiores bien desarrollados sobre el pedúnculo caudal (Compagno, 1984).

Es una especie extremadamente abundante, de aguas boreales a templadas, que ocurre en zonas costeras y exteriores de la plataforma continental. Habita desde la superficie a las proximidades del fondo, siendo encontrado desde la zona intersticial hasta al menos 900 m de profundidad. Se le describe como nadador lento e inactivo, más allá del constante movimiento errático y nómada que mantiene. Son organismos solitarios o gregarios. Muestra marcada preferencia por aguas cuyo rango de temperatura oscila entre un mínimo de 7° a 8°C y un máximo de 12° a 15°C y aparentemente realiza migraciones latitudinales y en profundidad para mantenerse en dicho rango (Compagno, 1984).



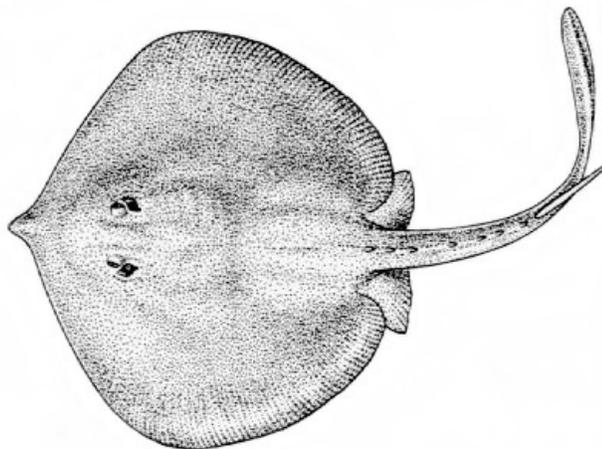
Apéndice IV

Características de *Urotrygon aspidorus*

El disco es 1.3 veces en promedio más ancho que largo, los márgenes anteriores son casi rectos, presente un hocico prominente y triangular. Ojos pequeños. Espiráculos poco más grandes que los ojos, sin pliegues ni rebordes. Boca transversal subcircular con varias series de dientes funcionales. Narinas no comunicadas, separadas por un tabique dérmico y cubiertas por la cortina nasal. Superficie ventral de la región branquial cubierta por numerosos poros mucosos. La cola es en promedio 1.1 a 1.2 más larga que el disco. Aleta caudal poco conspicua. Tiene una espina caudal grande y aserrada de la misma longitud del hocico. Aletas pélvicas con sus márgenes anteriores rectos y sin lóbulos. Sin aletas dorsales. Piel lisa exceptuando 1 a 9 agujones en la línea dorsal. Por delante de la espina caudal presenta pequeñas espinitas en los márgenes lateroposteriores del disco (Flores, 2001).

Tiene un color café uniforme en el dorso y el vientre blanquecino. Nunca se presentan manchas o pecas oscuras como en otras especies del género (Flores, 2001).

Organismos benthicos de aguas costeras sobre superficies suaves, en la zona demersal. De climas tropicales. Se distribuyen en el Pacífico, desde Sinaloa, México, hasta Paita, Perú (Flores, 2001).



Literatura citada

- ↪ Agbayani, E. 1999. Aquatic Dictionary. <http://www.fishbase.org/Photos/PicturesSummary.cmf?ID=13277&what=species.2004>.
- ↪ Amezcua, V.H.C. 2001. Análisis anatómico de la musculatura faríngea en *Sphyrna tiburo* (Chondrichthyes: Sphyrnidae). Tesis para obtener el título de Biólogo. Facultad de Ciencias. UNAM. Pp 2 - 9.
- ↪ Applegate S.P. 1967. A Survey of Shark Hard Part. Pp in Gilbert PW Matheson R.F. (eds) *Sharks, Skates, & Rays*. The John Hopkins Press Baltimore. U.S.A.
- ↪ Bauchot R., Digne M. y Ridet J.M. 1982. The Brain of *Photoblepharon pappebratus steinitzi* (Pisces, Teleostei, Anomalopidae). *J. Hirnforsch.* No.23, 399-404.
- ↪ Beller, P. 2000. Oasis Marino. <http://www.oceanoasis.org/fieldguide/sphylew-sp.html.2004>.
- ↪ Bigelow, H.B. y Schroeder, W.C. 1953. *Fishes of the Gulf of Maine*. http://octopus.gma.org//fogm/Squalus_acanthias.htm.2004.
- ↪ Bond, C.E. 1979. *Biology of Fishes*. Saunders College Publishing. Philadelphia. Pp 514.
- ↪ Boord R.L. y Campbell C.B.G. 1977. Structural and Functional Organization of Lateral Line System of Sharks. *Amer. Zool.* No.17:431-441.
- ↪ Brandstätter R. y Kotrschal K. 1990. Brain Growth Patterns in Four European Cyprinid Fish Species (*Cyprinidae, Teleostei*): Roach (*Rutilus rutilus*), Bream (*Abramis brama*), Common Carp (*Cyprinus carpio*) and Sabre Carp (*Pelecus cultratus*). *Brain Behavior Evolution.* No. 35, 195-211.

- ↪ Butler A. B. y Hodos W. 1996. Comparative Vertebrate Neuroanatomy. John Wiley & Sons. New York.
- ↪ Castillo, J. L. 1983. The Sharks of North American. Texas A y M. University. Press USA.
- ↪ Castro - Aguirre, J. L. 1978. Catálogo sistemático de los peces marino que penetran a las aguas continentales de México con aspectos zoogeográficos y ecológicos. Serie Científica No. 19. Dirección general del Instituto Nacional de Pesca. Pp 12 - 13.
- ↪ Compagno L. J. V. 1973. Interrelationships of Living Elasmobranchs. In Greenwood P. H., Miles R. S., and Patterson C., eds, Interrelationships in Fishes, Academic Press. London. Pp. 15-61.
- ↪ Compagno, L. J. V. 1977. Phyletic Relationships of living sharks and rays. American Zoology. No. 17: 303 - 322.
- ↪ Compagno L. J. V. 1984. Sharks of the World, Part 2. FAO Species Catalogue. Vol. 4. O nu. Roma.
- ↪ Cruce, W., Stuesse, S. y Northcutt, G. 1999. Brainstem Neurons with descending projections to the Spinal Cord of two Elasmobranch fishes: Thornback Guitarfish, *Platyrhinoidis triseriata*, and Horn Shark, *Heterodontus francisci*. The Journal of Comparative Neurology. No. 403: 534 - 560.
- ↪ Cuéllar, Q. F. 2003. Contribución al estudio anatómico de los nervios espinales precaudales de *Gymnura micrura* (Elasmobranchii: Batoidei). Tesis para obtener el título de biólogo. UNAM. FES Iztacala. Pp 85.
- ↪ Davis, S. 1998-2004. Los tiburones de Hammerhead. http://www.geocities.com/hammer_head78/spanshark.html 2004.
- ↪ Ebbesson S. O. E. y Campbell C. B. G. 1973. On the Organization of Cerebellar Efferent Pathways in the Nurse Shark (*Ginglymostoma cirratum*). J. Comp. Neur. No. 152: 233-254.

- ↪ Koterschal K., Van Staaden M. J. y Huber R. 1998. Fish Brains: Evolution and Environmental Relationships. *Fish Biology and Fisheries*. No. 8:373-408.
- ↪ Lagler, K. F., Bardach, J. E., Miller, R. R. y May, P. D. R. 1977. *Ictiology*. 2° ed. John Wiley and sons. Pp 506.
- ↪ Maisey, J. G. 1975. The interrelationships of phalacanthus selachians. *Neues Jahrbuch Geologie Palaontologie, Monats.* 9:553 - 567.
- ↪ Norris, H. W. y Hughes, S. P. 1920. The cranial, occipital and anterior spinal nerves of the dogfish. *J. Comp. Neurol.* No. 31:293 - 395.
- ↪ Northcutt, R. G. 1977. Elasmobranch Central Nervous System organization and its possible evolutionary significance. *American Zoology* No. 17:411 - 429.
- ↪ Northcutt R. G., Neary T. J. y Senn D. G. 1978. Observations of the Brain of the Coelacanth *Latimeria chalumnae*: External Anatomy and Quantitative Analysis. *J. Morph.* No. 155, 181-192.
- ↪ Pagel M. D. y Harvey P. H. 1989. Taxonomic Differences in the Scaling of Brain on Body Weight Among Mammals. *Science*. No. 244, 1589-1593.
- ↪ Pirlet, P. 1976. *Morfología evolutiva de los cordados*. Ediciones Omega. Barcelona, España. Pp 966.
- ↪ Quiroz, F. 1977. *Tratado de Anatomía Humana*. Tomo II. Aparato circulatorio, Sistema nervioso central y periférico. Ed 17. Editorial Porrúa. México. Pp 525.
- ↪ Ridet J M. y Bauchot R. 1990. Analyse Quantitative de L'encéphale des Téléostéens: Caractères Evolutifs et Adaptatifs de L'encéphalisation, I, Généralités et Analyse Globale. *J. Hirnforsch.* No. 31, 51-63.
- ↪ Romer A. S. y Parsons T. S. 1981. *Anatomía Comparada*. Interamericana. México.

- ↯ Smeets W .J.A .J ., N ieuwenhuys R ., Ten Ponkelaar H .J . y N icholson C . (Eds). 1997. The Central Nervous Sistem of Vertebrates. Vol. I. Springer Verlag, Heidelberg. Pp.551-659.
- ↯ Torrey, T. W . 1983. Morfogénesis de los Vertebrados. 3ed. Limusa. México. Pp.576.
- ↯ Tricas, T. C ., Deacon, K ., Last, P ., M c Cosker, J. E ., W alker, T. J. y Leighton, T. 1998. Tiburones y Rayas. Ed Omega. España.
- ↯ W eichert, C. 1975. Elementos de Anatomía de los Cordados. 2° ed. M c Graw-H ill. México. Pp.531.
- ↯ Young, J. 1971. La vida de los vertebrados. Ediciones Omega. Barcelona. Pp.660.