

Adaptaciones morfológicas de los tiburones al piélagos

Por: Jorge Rosales

Palabras Claves: Adaptaciones, Morfológicas, tiburones, piélagos

Introducción:

Los océanos son un ecosistema diverso que comprenden desde los calidos someros y soleados arrecifes coralinos hasta las casi congeladas aguas de las trincheras abismales. (Taylor 1997)

Los océanos pueden ser divididos en dos regiones básicas: La béntica y la pelágica, la primera es la que corresponde al fondo del océano, la segunda el resto de la masa de agua.

Como se define arriba la zona pelágica es toda la masa de agua del océano, esta tendrá diferentes características tanto abióticas como bióticas afectadas por un factor primordial: la profundidad. La profundidad afectara tanto a los factores químicos y físicos de la zona pelágica y como consecuencia a los organismos que vivan ahí.

La zona pelágica la podemos dividir en: Epipelágica (desde la superficie hasta los 200 m de profundidad), esta zona es muy importante ya que es en la única que penetra la luz solar, Mesopelágica (desde 200 m hasta 1900 m de profundidad), Batipelágica (desde 1200 m a 4000 m de profundidad) y la Abisopelágica (Mas profundo de 4000 m).

Los peces, los cuales son el grupo de vertebrados mas numeroso en cuanto ha especies se refiere, se dividen en dos grandes grupos: Condríctios (peces cartilaginosos) y Osteíctios (peces óseos). Los Condríctios agrupan a los tiburones y rayas (elasmobranquios) y las quimeras (holocéfalos).

Los tiburones son animales depredadores carnívoros, muchos de los cuales se encuentran en la cima de las pirámides alimenticias marinas, son organismos considerados en su gran mayoría como pelágicos, aunque existen algunas especies que viven muy asociadas al fondo.

En su gran mayoría los tiburones se pueden encontrar en dos zonas del reino pelágico principalmente: la Epipelágica y la mesopelágica, aunque algunas especies pueden llegar a vivir en la zona batipelágica.

Para lograr vivir en estas zonas lo tiburones presentan adaptaciones morfológicas las cuales le permiten ser mas eficientes en su actividad en el océano.

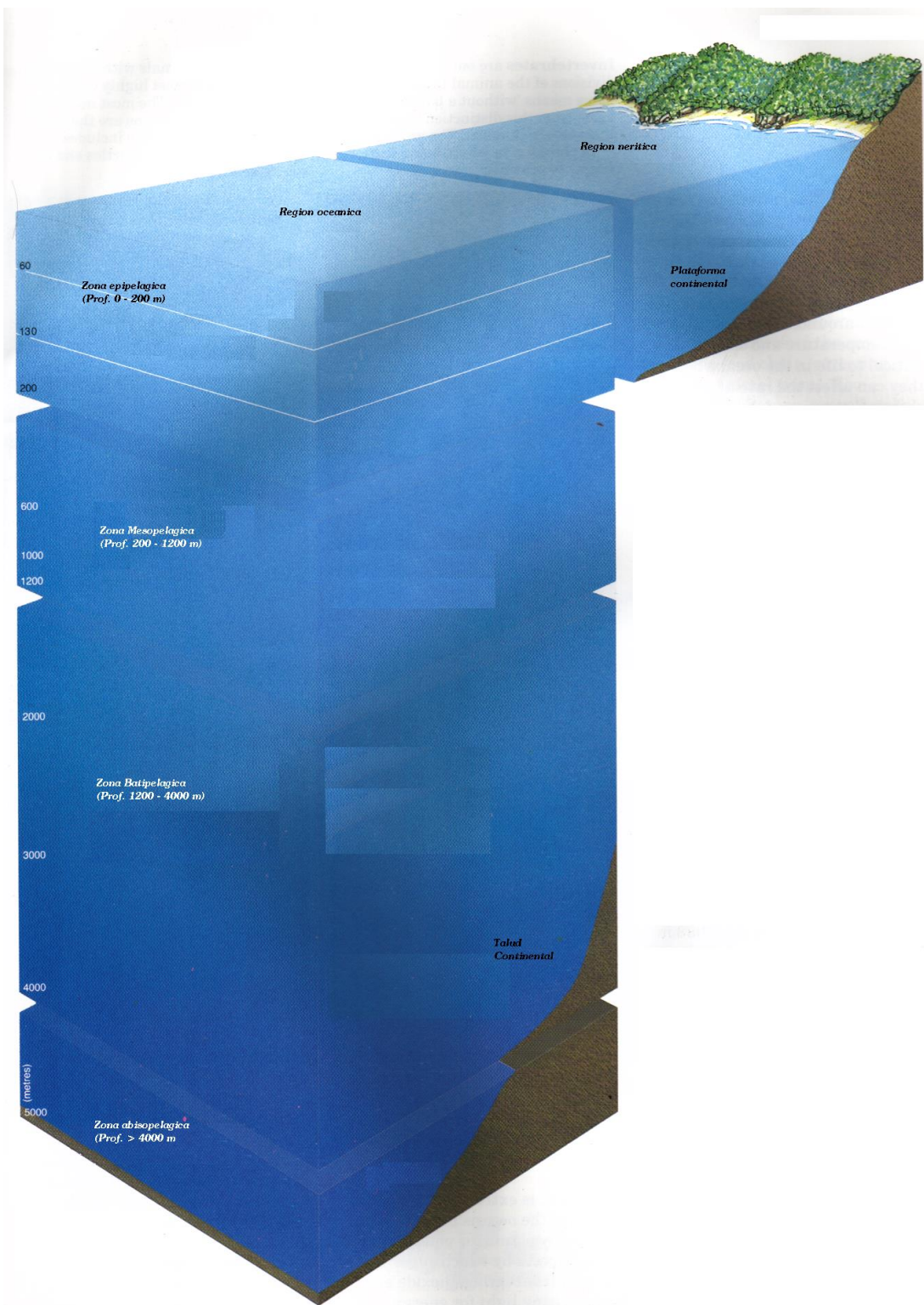


Imagen 1:
El océano y sus zonas. (Reader Digest, 1995)

Objetivo:

Conocer y demostrar las adaptaciones morfológicas que presentan los tiburones al medio pelágico

Metodología:

Utilizando láminas explicativas se observaran las adaptaciones morfológicas de los tiburones pelágicos. Las características se dividirán en:

- **Adaptaciones para mantener el cuerpo suspendido en el agua**
- **Adaptaciones para propulsión y control de movimiento**
- **Adaptaciones para reducir la resistencia al movimiento**
- **Otras adaptaciones**

(Clasificación según Aleyev 1977)

Resultados:

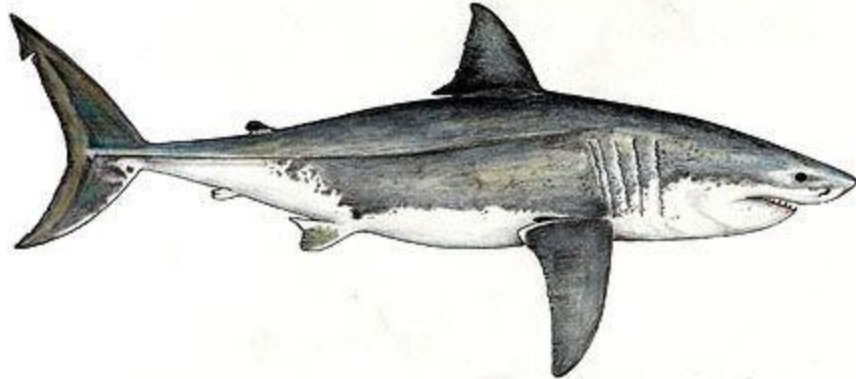


Imagen 2:

Carcharodon carcharias como ejemplo de tiburón pelágico. (Fergusson, 1998)

- **Adaptaciones para mantener el cuerpo suspendido en el agua**

Las adaptaciones presentadas en esta sección son para tiburones epipelágicos, ya que en los tiburones mesopelágicos y batipelágicos son más importantes las adaptaciones fisiológicas para mantener su flotabilidad que las morfológicas

La aleta caudal heterocerca con la columna vertebral que corre hasta la punta del lóbulo superior produce una fuerza de empuje contraria a la fuerza de gravedad que hace que el organismo se hunda.

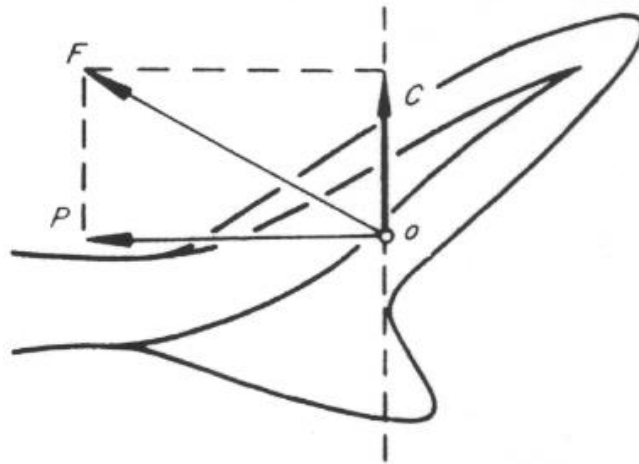


Imagen 3:

Caudal heterocerca donde se observa que la fuerza de empuje (F) es contraria a la fuerza de gravedad. (Aleyev, 1977)

Las aletas pectorales, a pesar de que son menos móviles en comparación de los peces óseos, funcionan a manera de alerones con los cuales el tiburón (cambiando el ángulo de estas) puede producir empuje para no hundirse o dejar de producirlo para hundirse.

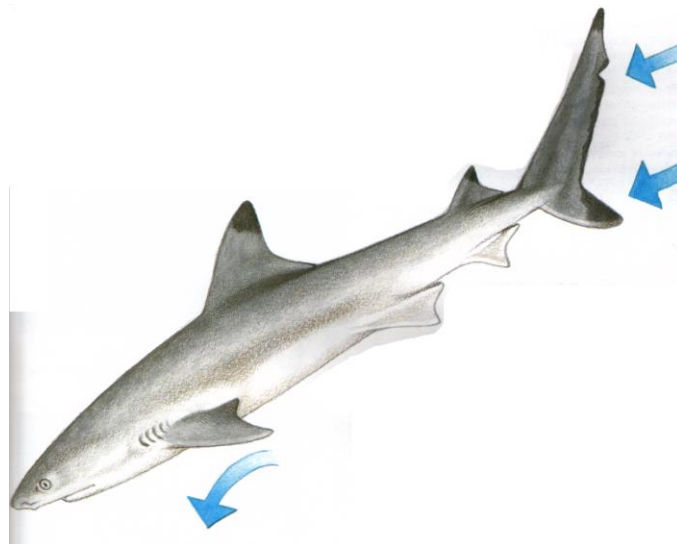


Imagen 4:

Carcharhinus melanopterus y la utilización de las aletas pectorales como alerones (Mojetta, 1998)

Los tiburones presentan un rostrum (la punta del hocico) elevado con el cual también, mediante su propulsión, desvían esta en sentido contrario a la gravedad y producen empuje para ayudar a no hundirse

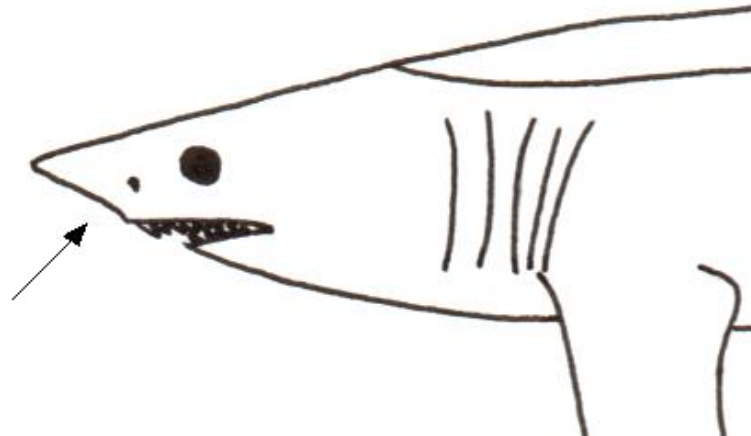


Imagen 5:
Cabeza de *Isurus oxyrinchus*, rostrum elevado señalado por la flecha

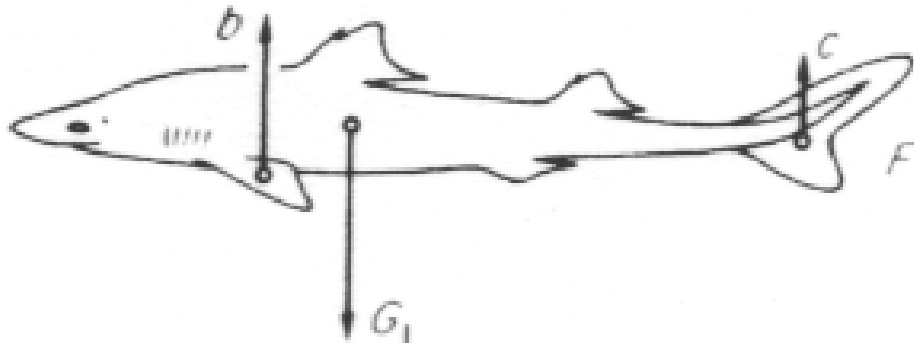


Imagen 6:
Squalus acanthias y demostración de las fuerzas de empuje de la caudal (c) y de las aletas pectorales (b) contra la fuerza de gravedad (G_1). (Aleyev, 1977)

- Adaptaciones para propulsión y control de movimiento

El diseño de la aleta caudal del tiburón pelágico típico nos arroja dos lóbulos bien definidos, los cuales en algunas ocasiones pueden llegar a ser casi del mismo tamaño (Caudal heterocerca lunada de tiburones de la Familia Lamnidae). Esto asegura que la propulsión sea eficiente y el tiburón pueda tener un nado fuerte.



Imagen 7:

Diferentes diseños de aleta caudal, de izquierda a derecha: *Isurus oxyrinchus* (heterocerca lunada de epipelágico de alta velocidad), *Carcharhinus melanopterus* (heterocerca de epipelágico “típico”) y *Centrophorus uyato* (heterocerca de meso y batipelágico “típico”). (Mojetta, 1998; Compagno, 1984)

Se observan diferencias entre las caudales las cuales son debido al tipo de vida que el tiburón lleva: en el caso de la caudal heterocerca lunada es de un organismo de alta velocidad de crucero y que no para nunca su propulsión para evitar hundirse, para la heterocerca de epipelágico “típica” hablamos de un organismo en el cual la caudal y las aletas pectorales ayudan mucho a provocar una fuerza de empuje contraria a la fuerza de gravedad, por lo tanto la propulsión constante es menos necesaria, este diseño sin embargo responde bastante bien a la hora de dar un arranque para atrapar a la presa, para el tiburón meso y batipelágico como sus adaptaciones fisiológicas le permiten tener una flotabilidad neutral, la caudal esta totalmente destinada a propulsión (aunque si presenta un poco de empuje) y funciona muy bien a la hora de perseguir a la presa.

La forma del cuerpo del tiburón esta diseñada para que al lóbulo superior de la aleta caudal (el lóbulo más desarrollado debido a que la columna vertebral corre hasta la punta del mismo) llegue todo el efecto vortex producido por el flujo de agua resultante por el choque de esta con el cuerpo del tiburón.

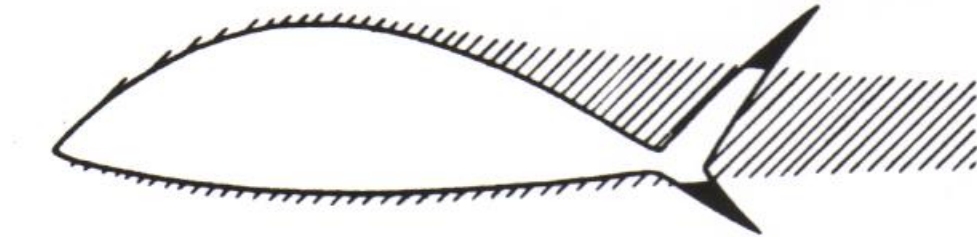


Imagen 8:

Forma hidrodinámica general de un organismo con caudal heterocerca, efecto vortex y dirección del efecto generado. (Aleyev, 1977)

Las aletas pectorales controlan en la dirección en la que el organismo va, como ya se menciono en la sección anterior (adaptaciones para mantener el cuerpo suspendido en el agua) los cambios de angulo en estas le permiten ir hacia arriba o hacia abajo, también esos cambios de ángulo funcionan para frenar al tiburón cuando este lo necesita. Como estas aletas tienen movimiento independiente una de la otra, cambios ángulo de una ayuda al tiburón a ser más rápido en sus cambios de dirección.

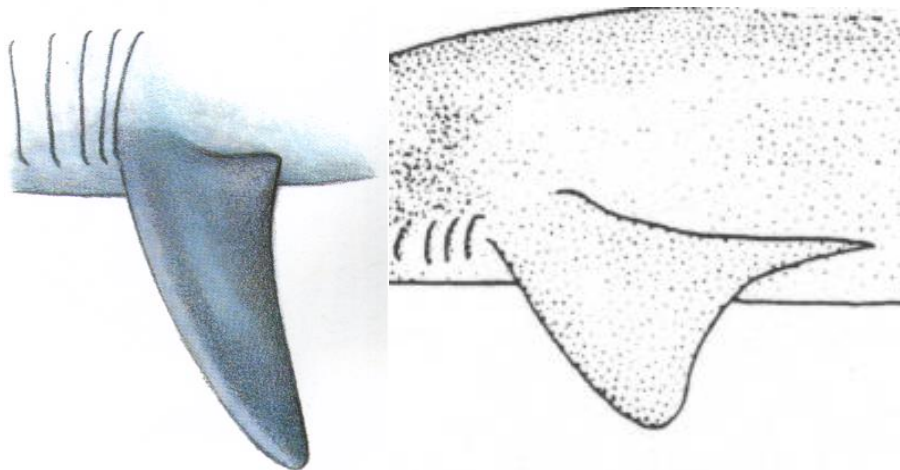


Imagen 9:

Diseño de aleta pectoral, de izquierda a derecha, *Isurus oxyrinchus* (epipelágico) y *Centrophorus uyato* (meso y batipelágico). (Mojetta, 1998; Compagno, 1984)

Las aletas dorsales (dos en la mayoría de las especies) dan estabilidad para el cuerpo del tiburón no oscile excesivamente sobre su eje longitudinal.

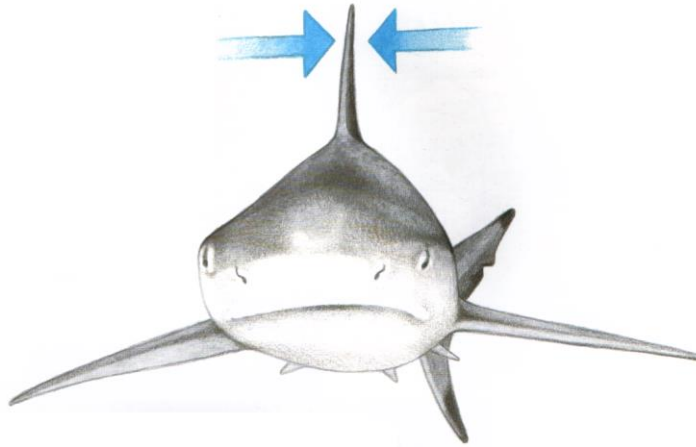


Imagen 10:
Función estabilizadora de la aleta dorsal (Mojetta, 1998)

En los tiburones del orden de los lamniformes existen quillas en el pedúnculo caudal para ayudar a romper el flujo laminar que sus cuerpos muy hidrodinámicos generan, si este flujo no se rompe la caudal no tendrá tanta agua para desplazar y la fuerza propulsora generada por esta será insuficiente y por lo tanto la propulsión ineficiente, las quillas rompen el flujo laminar y generan un flujo turbulento en el cual la caudal podrá capturar mas agua para hacer mas eficiente su propulsión.



Imagen 11:
Quillas caudales de *Carcharodon carcharias*. (Aleyev 1977)

- **Adaptaciones para reducir la resistencia al movimiento**

Los tiburones epipelágicos se encuentran dentro de los animales más hidrodinámicos que existen, con su cuerpo fusiforme producen un flujo laminar al nadar en el agua, con lo cual disminuyen la resistencia y se desplazan mejor. La hidrodinamicidad del organismo se mide mediante una división del ancho de este (w) y la longitud (L) (Mojetta 1998)

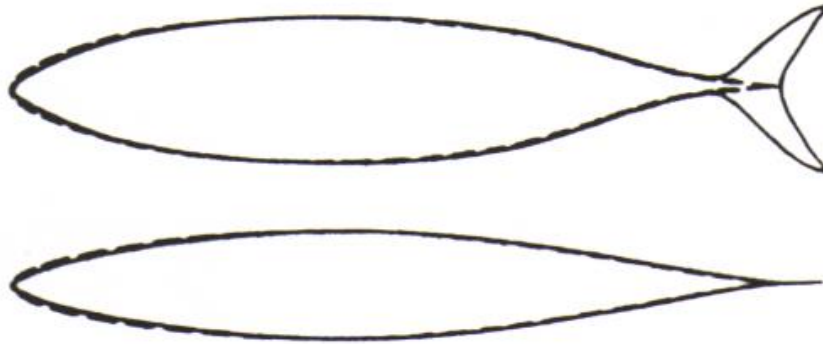


Imagen 12:

Forma ideal de cuerpo hidrodinámico de un animal pelágico. (Aleyev, 1977)

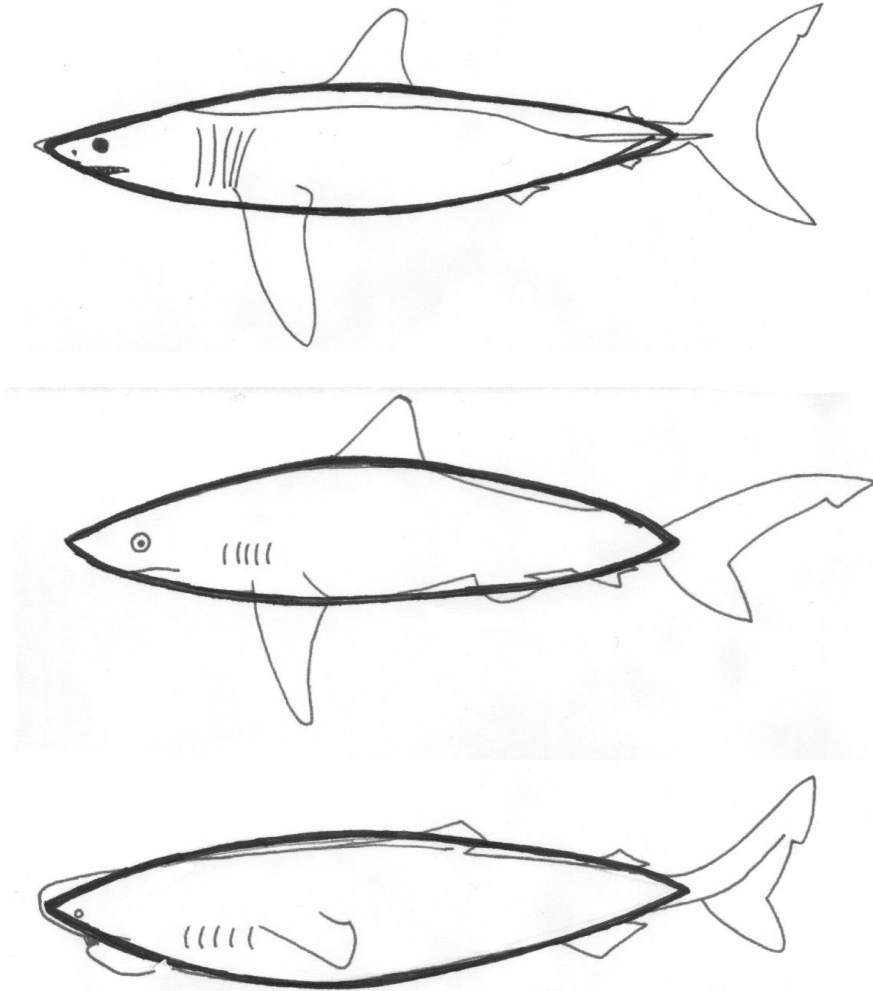


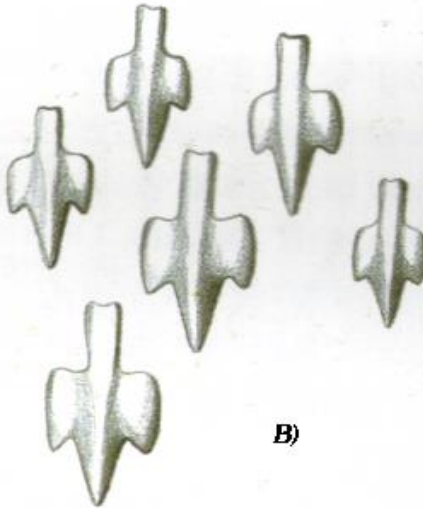
Imagen 13:

Tendencia a la forma hidrodinámica ideal de *Isurus oxyrinchus* (epipelágico de alta velocidad), *Carcharhinus albimarginatus* (epipelágico “típico”) y *Somniosus pacificus* (mesopelágico “típico”).

Otra adaptación importante de los tiburones pelágicos para reducir la resistencia al máximo es el diseño de los dentículos dérmicos. Su forma esta modificada para lograr que el agua se deslice a través de ellos con mayor facilidad.



A)



B)

Imagen 14:

Dentículos dérmicos modificados para reducción de fricción al nadar, a) *Isurus oxyrinchus*, b) *Prionace glauca*. (Mojetta, 1998)

Una adaptación especial para lograr que el cuerpo sea mas hidrodinámico es la que presenta el tiburón ballena (*Rhincodon typus*) son las quillas longitudinales que corren a lo largo de su cuerpo, estas le ayudan a mantener el flujo laminar y por ende a desplazarse ofreciendo menor resistencia.

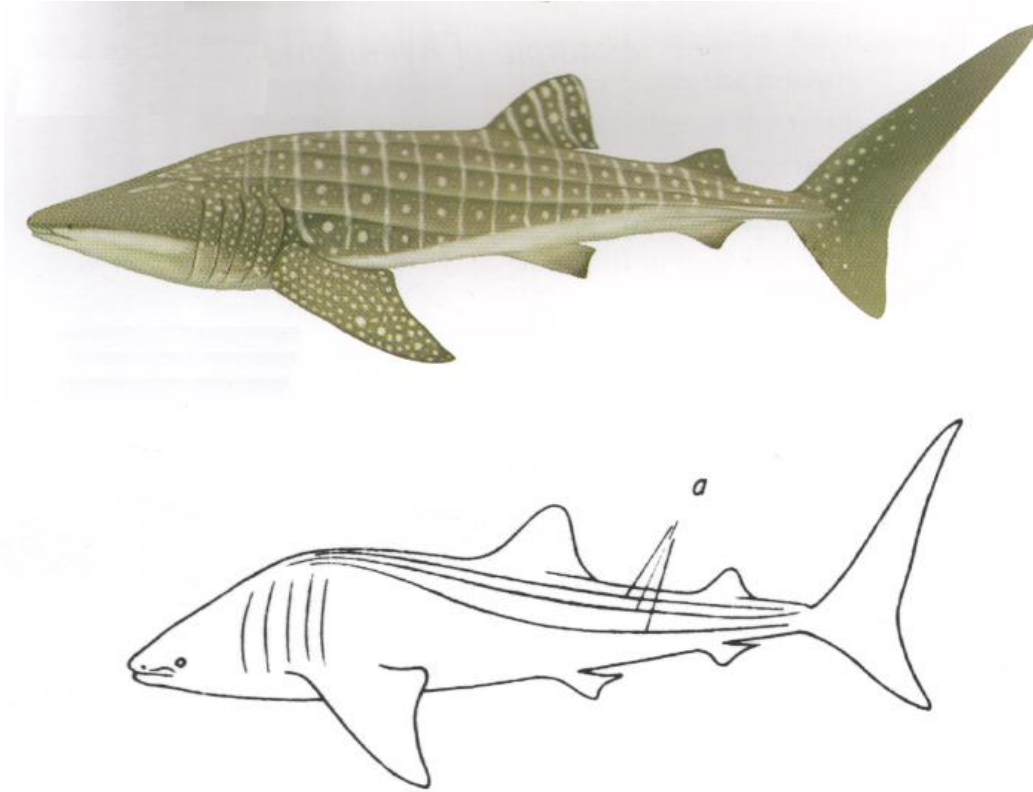


Imagen 15:

Rhincodon typus y detalle de las quillas longitudinales. (Taylor, 1999; Aleyev, 1977)

- Otras adaptaciones

Los tiburones epipelágicos presentan la llamada bicoloración pelágica en tonos azules, grises y en ocasiones verdes (exceptuando al tiburón ballena), mientras que los meso y batipelágicos presentan coloraciones en tonos oscuros de café e incluso negro.

La bicoloración sirve de camuflaje al tiburón epipelágico, si una posible presa lo ve desde abajo el tiburón se camuflara con el agua clara (debido a la incidencia de luz) que lo rodea, mientras que si la presa lo ve desde arriba el tiburón se camuflara ya sea con el fondo o con el agua oscura (por la menor incidencia de luz) que lo rodea.

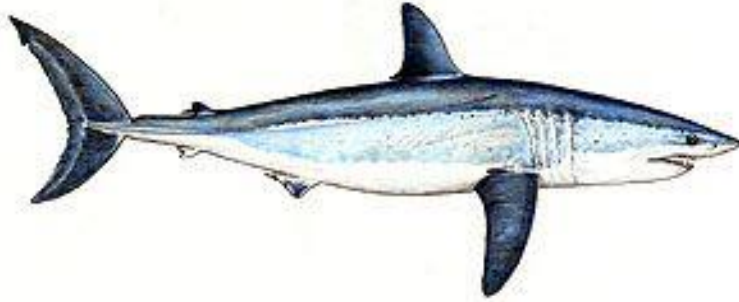


Imagen 16:

Isurus oxyrinchus como ejemplo de la bicoloración pelágica, nótese el azul mas oscuro en el dorso y un azul mas claro en el vientre. (Fergusson, 1998)

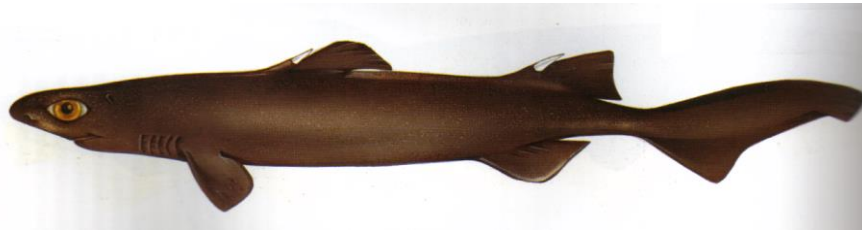


Imagen 17:

Centroscyllium frabicii como ejemplo de la coloración de tiburones meso y batipelágicos. (Stevens, 1997)

La excepción que rompe la regla de la coloración pelágica es tiburón ballena que presenta una coloración café con manchas blancas, la única explicación que los científicos proponen para esto es que el tiburón ballena pertenece al orden de los orectolobiformes en el cual todos con excepción de el son tiburones bénticos y en su gran mayoría de arrecifes coralinos lo que ocasiona que tengan coloraciones muy vistosas, así pues el tiburón ballena fue alguna vez un tiburón béntico que abandono ese hábitat para convertirse en un tiburón pelágico plactófago, aumento su tamaño y al no tener depredadores no necesito cambiar su coloración.

Los tiburones epipelágicos suelen tener un globo ocular grande, de hecho la relación tamaño del globo ocular-tamaño de cuerpo mas alta de todos los vertebrados pertenece al tiburón zorro de ojos grandes (*Alopias superciliosus*), los tiburones meso y batipelágicos también presentan ojos aumentados de tamaño (sin llegar a presentar una relación tan alta como *A. superciliosus*), aunado a esto muchas de estas especies de aguas profundas tienen los ojos de color verde posiblemente para poder captar mejor la poca luz y ayudarse en la captura de las presas.

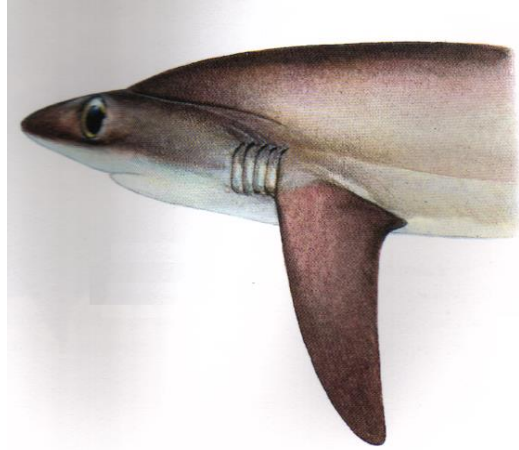


Imagen 18:
Alopias superciliosus y su gran ojo. (Parker y Parker, 1999)

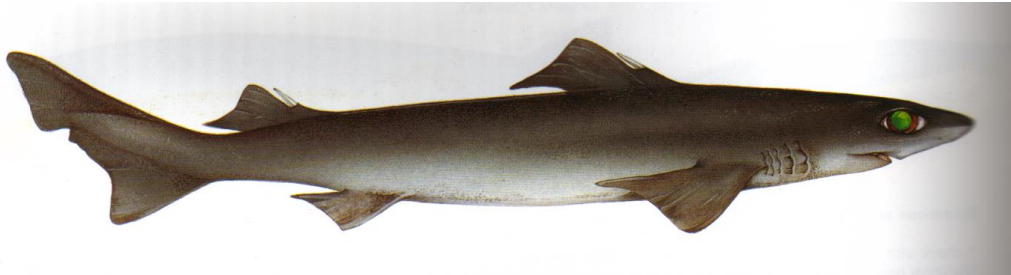


Imagen 19:
Centrophorus granulosus como ejemplo de tiburón batipelágico, nótese el tamaño y color de los ojos. (Stevens, 1997)

Los tiburones epipelágicos son organismos de gran tamaño, situados normalmente en los estratos superiores de las pirámides alimenticias marinas, por lo tanto no tienen muchos enemigos y la única defensa que necesitan es atacar con sus mandíbulas repletas de dientes. La forma de los dientes tiene que ver directamente con los hábitos alimenticios del tiburón, presentándose tres formas principales en el tiburón epipelágico: Los desgarrantes, los cortantes y los atrapantes.



Imagen 20:

Dientes de tiburones epipelágicos, izquierda a derecha, *Carcharodon carcharias* (Desgarrante), *Isurus oxyrinchus* (Cortante) y *Negaprion brevirostris* (Atrapante). (Elasmo.com, 2001)

Los dientes de los tiburones meso y batipelágicos presentan formas atrapantes y en ocasiones cortantes, aquí los dientes del tiburón cigarro dienton (*Isistius brasiliensis*) sobresalen debido a que están diseñados para la vida parasítica que lleva, los dientes superiores están hechos para poder engancharse a la presa mientras que los inferiores (debido a estos dientes presenta la relación mas alta de tamaño de diente-Longitud total) agudos y filosos cortan el trozo de carne, obteniendo trozos perfectamente redondos debido a un giro del animal a la hora de arrancar el trozo.



Imagen 21:

De izquierda a derecha, Dientes atrapantes de *Aculeola nigra* y Dientes cortantes de *Dalatias licha*. (Mojetta, 1997)



Imagen 22:

Isistius brasiliensis, cuerpo completo (nótese adaptación en los labios para poder aplicar succión a la hora de parasitar), detalle de los dientes y herida producida por su mordedura (Mojetta, 1998; Parker y Parker 1999)

Para el caso de los tiburones pelágicos filtradores de plancton tenemos dentaduras llamadas vestigiales y no son funcionales.



Imagen 23:

Dientes vestigiales de: *Rhincodon typus* y *Cetorhinus maximus* (Mojetta, 1998)

Los tiburones meso y batipelágicos son animales de talla reducida así algunos presentan espinas en las dorsales como métodos de defensa

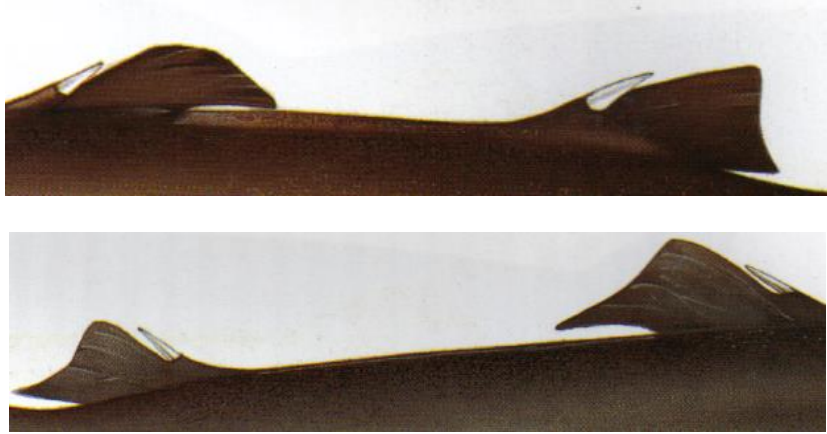


Imagen 24:

Detalle de las aletas dorsales con sus espinas, arriba *Centroscyllium frabicii*, abajo *Centrophorus granulosus*. (Mojetta, 1998)

Algunos mas como los tiburones del genero Echinorhinus presentan dentículos dérmicos modificados para actuar como sistema de defensa.



Imagen 25:

Echinorhinus brucus como ejemplo de dentículos dérmicos modificados para la defensa. (Mojetta, 1998)

El tercer gran filtrador el tiburón megamandibulas (*Megachasma pelagios*), presenta unas estructuras bucales que se supone pueden ser bioluminiscentes para atraer hacia su boca el plancton del cual se alimenta.

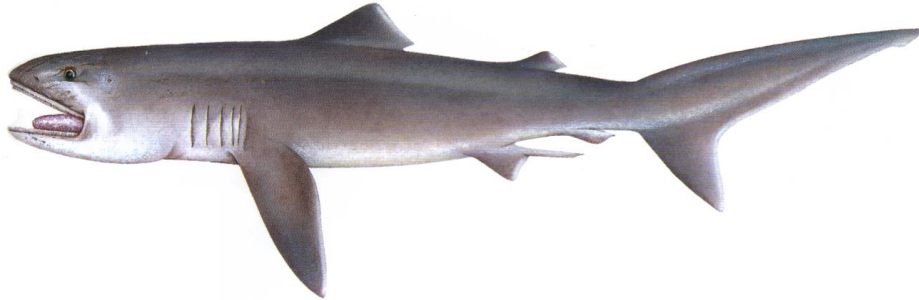


Imagen 26:

Megachasma pelagios, detalle de la cabeza donde se aprecian las estructuras bucales (manchas rojas y blancas). (Mojetta, 1998; Howorth, 1992)

Una adaptación única en los tiburones pelágicos es la cola del tiburón zorro, con el lóbulo superior agrandado a tal grado que en ocasiones puede ser más largo que el mismo cuerpo del animal, esta adaptación esta destinada a función alimenticia, dos tiburones zorros mediante el nado circular encierran a un cardumen de peces, una vez encerrados un comienza a tirar coletazos a manera de látigo para herir o matar a los peces y después comerlos.

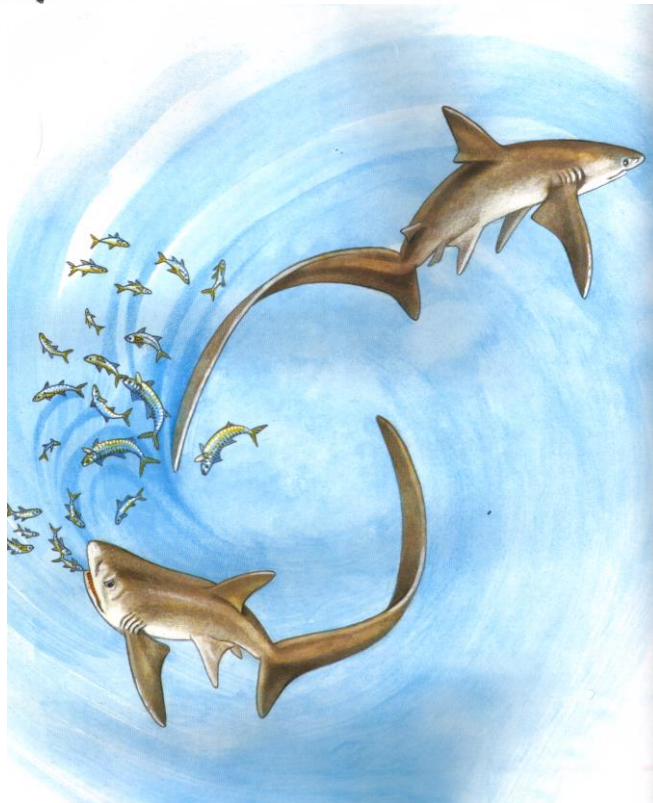
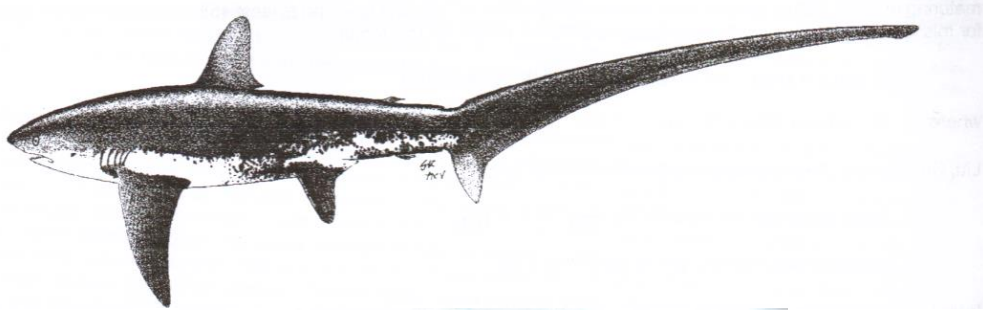


Imagen 27:

Alopias vulpinus y sus hábitos alimenticios. (Compagno, 2001; Mojetta, 1998)

Una adaptación muy peculiar es el diseño de la cabeza del tiburón martillo, se sabe que estos tiburones son altamente migratorios y siguen rutas bien definidas en el océano, se cree que la cabeza al presentar electroreceptores en toda su superficie aumenta el rango de electrodetección del tiburón, también se ha comprobado que el tiburón (que es un conductor) nada en el campo magnético de la tierra y emite un campo eléctrico de intensidad variable, dependiendo de la dirección del movimiento. Similarmente las grandes corrientes marinas presentan campos eléctricos bien definidos. Durante un experimento diseñado para evaluar la habilidad de orientación, un número de tiburones martillos fueron introducidos en un tanque y guiados por los investigadores hacia diferentes puntos por medio de alteraciones en el campo magnético. Esto demuestra que los tiburones martillo tienen un compás geomagnético (por el diseño de su cabeza) que explica la habilidad que el tiburón martillo posee para orientarse y seguir rutas bien definidas en el océano.

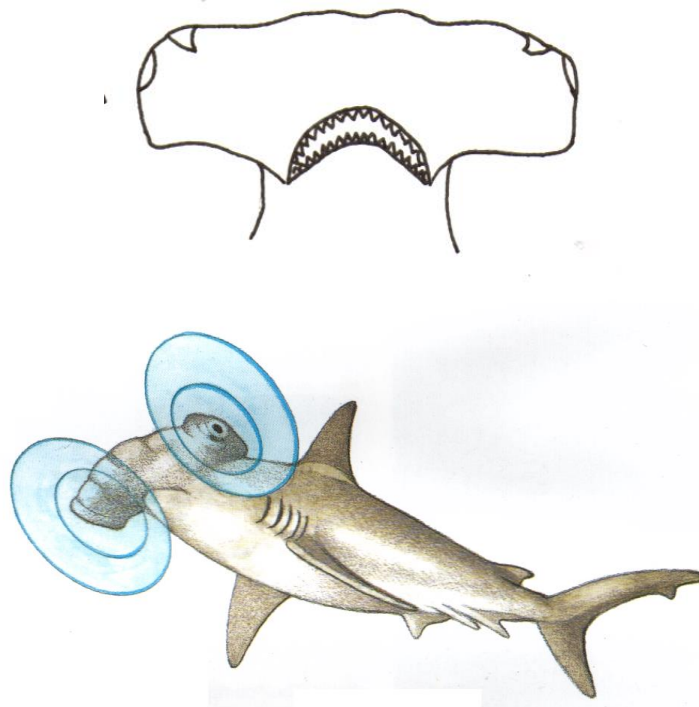


Imagen 28:

Cabeza de tiburón martillo (*Sphyrna* spp.) y tiburón martillo orientándose con su compás geomagnético (Mojetta, 1998)

Los tiburones son animales que presentan una fecundación interna, por lo cual necesitan de órganos copuladores en los machos para poder llevar esto a cabo, las aletas ventrales de los machos están modificadas y terminan en los claspers, los órganos copuladores y principal característica para diferenciar el sexo en los tiburones, la hembra por su parte presenta una abertura urogenital para excretar y copular con el macho. A la hora del apareamiento los tiburones pelágicos, al ser menos flexibles que los tiburones bentónicos y tener la necesidad de seguir nadando, presentan una posición diferente para copular.

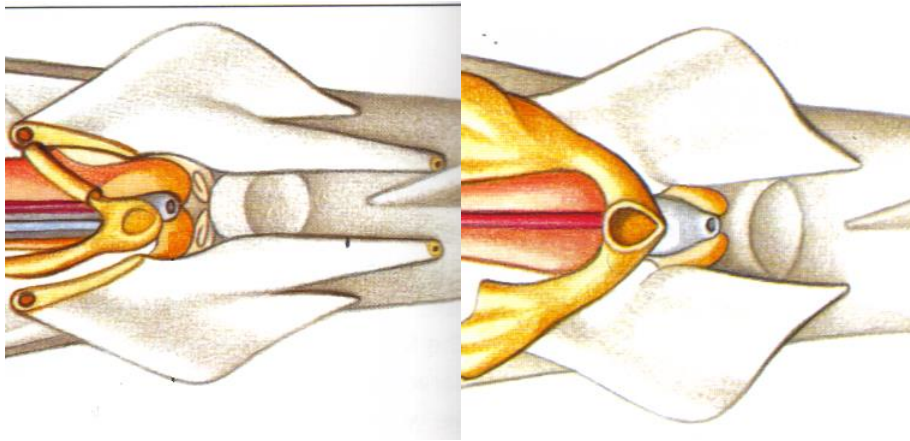


Imagen 29:

Aletas ventrales, de izquierda a derecha, macho (notese las prolongaciones de la aleta anal, los claspers) y hembra. (Mojetta, 1998)



Imagen 30:

Forma de apareamiento de los tiburones pelágicos (Parker y Parker, 1999)

Discusión:

Las características anteriormente presentadas nos indican el grado en que un tiburón está adaptado a la vida en el reino pelágico.

Mediante sus aletas caudales, sus “alerones” pectorales y su rostrum desviado hacia arriba y sus adaptaciones fisiológicas logran que el tiburón pueda subir y bajar a su antojo y lo más importante, pueda mantenerse estable a una sola profundidad. La aleta caudal también le proporciona la propulsión necesaria para poder moverse en la columna de agua, esta puede variar según el tipo de vida del animal, pero el fin es el mismo: desplazarse con la mayor eficiencia posible. Las aletas pectorales y sus cambios de ángulo, que le ayudan a subir o bajar, frenar y a dar la vuelta lo más rápido posible y la dorsal que previene que el tiburón no gire sobre su eje longitudinal. Incluso llegan a tener ayudantes, como los son las quillas caudales, para romper el flujo laminar y hacer más eficiente la propulsión.

Sus cuerpos hidrodinámicos y las diminutas escamas placoides (dentículos dérmicos), junto con las quillas longitudinales (*R. typus*), ayudan a presentar una mejor natación y con el menor costo energético.

La coloración de acuerdo a la zona donde habitan (Epipelágica, mesopelágica y batipelágica) les ayuda para camuflarse y con ello escapar de los posibles depredadores o pasar desapercibidos por las posibles presas.

Los dientes están totalmente relacionados con los hábitos alimenticios del tiburón, así pues tenemos los dientes desgarrantes (utilizados más que nada en presas de gran tamaño Ejemplo: Mamíferos marinos), los dientes cortantes de los tiburones más piscívoros, los atrapantes y los vestigiales, totalmente inútiles, de los grandes filtradores de plancton.

Adaptaciones defensivas como lo son: las espinas en las aletas dorsales o los dentículos dérmicos modificados.

Adaptaciones únicas de formas caprichosas pero que tienen un sentido y una función bien definida (Cola del tiburón zorro y cabeza del tiburón martillo) y las adaptaciones adquiridas para poder procrear y así mantener la especie.

Todas estas adaptaciones nos indican que el tiburón es una de las formas de vida mejor adaptadas morfológicamente hablando a la vida en el reino pelágico, no por nada llevan existiendo desde hace 200 millones de años en los mares del planeta sin presentar cambios morfológicos drásticos lo que los sitúa como un éxito natural desde el principio de su existencia.

Conclusiones:

- Los tiburones presentan características y adaptaciones para la vida en el piélagos
- Las adaptaciones las podemos separar en: mantenimiento del cuerpo suspendido en el agua, propulsión y control de movimiento, reducción de la resistencia al nado y otras.
- La caudal, y su empuje producido, las pectorales, y el empuje que producen, y el rostrum son las principales adaptaciones para mantener el cuerpo suspendido en el agua
- La caudal es la encargada de la propulsión mientras que las pectorales y las dorsales se encargan del control del movimiento, también existen ayudantes para la propulsión como las quillas caudales, son las adaptaciones para propulsión y control de la misma
- El cuerpo hidrodinámico y los dentículos dérmicos, así como las quillas longitudinales del tiburón ballena, son las adaptaciones para reducción de resistencia al movimiento mas importantes
- La coloración de organismo, la forma de los dientes, los métodos de defensa, los métodos para alimentación, orientación y apareamiento son otras adaptaciones importantes de los tiburones al medio pelágico.
- Con todo esto el tiburón es uno de las formas de vida mejor adaptadas al medio donde habita, teniendo alrededor de 200 millones de años de existencia en el planeta sin cambios morfológicos drásticos, los que los coloca como uno de los éxitos de la naturaleza desde el principio de su existencia.

Fuentes consultadas:

Aleyev Yu G. 1977. Nekton. Dr. W. Junk publishers. 435 pp.

Compagno L. J. V. 1984. FAO species catalogue Vol. 4. Sharks of the world, an annotated and illustrated catalogue of sharks know to date. Parte 1 y 2. 655 pp.

Compagno L. J. V. 2001. Sharks of the world, an annotated and illustrated catalogue of sharks know to date. FAO species catalogue for fishery purposes No. 1, Vol 2. 269 pp.

Fergusson I. 1998. Review of the great white shark *Carcharodon carcharias*.
www.zoo.co.uk

Howorth P. C. 1992. Sharks, shorelines of America: the history behind the scenery. Kc publication inc. Las vegas. 48 pp.

Mojetta A. 1998. Sharks: history and biology of the lords of the sea. Thunder bay press. San Diego, California. 168 pp.

Parker S. y J. Parker. 1999. The encyclopedia of sharks. Firefly book inc. Buffalo New York. 192 pp.

Reader digest. 1995. Sharks, silent hunters of the deep. Reader digest Pty Ltd. Australia. 208 pp.

Stevens J. D. 1997. Sharks, facts on file. Wendon Owen Pty Limited. Australia. 240 pp.

Taylor L. 1999. The nature company guides: Sharks and Rays. Wendon Owen Pty Limited. Australia. 288 pp.

The life and times of long dead sharks: www.elasmo.com