

## **Introducción**

Peces eléctricos

Existen unas 250 especies de peces eléctricos, incluyendo:

- Las rayas, (habitantes del fondo).
- Los torpedos, parecidos a las rayas.
- Los teleosteos marinos
- Los peces cuchillo sudamericanos y las anguilas eléctricas
- Los peces africanos mormíridos y gimnarquidos.
- El pez gato africano.

Los torpedos, algunos teleosteos marinos, las anguilas eléctricas y los peces gato africanos pueden producir descargas muy violentas; las de los demás son mucho más débiles. Los órganos eléctricos son fibras musculares modificadas, placas plurinucleadas desiguales dispuestas en paquetes como las baterías en serie y embebidas en una matriz gelatinosa. Un torpedo grande puede tener medio millón de placas. Pueden estar implicados músculos de diferentes partes del cuerpo: el tronco y la cola en la anguila eléctrica, el aparato hiobranquial en la raya eléctrica y los músculos externos del ojo en los teleosteos marinos.

Los órganos eléctricos potentes emiten pulsaciones a pequeños intervalos, varias veces por segundo, mientras que los que son débiles producen descargas en series rápidas e ininterrumpidas (300 por segundo *gymnarchus*). Alrededor del pez se forma un campo eléctrico oscilante y los receptores existentes en la piel informan al animal de las alteraciones del campo. En los mormíridos, los receptores son mormiromastos, órganos de la línea lateral modificados, localizados en el fondo de fosas llenas de gelatina. En los elasmobranquios, las ampollas de Lorenzini son electrorreceptores. Algunos peces eléctricos son altamente sensibles a las alteraciones en su campo eléctrico, y otros (*gymnarchus*) pueden determinar con precisión tales alteraciones a gran distancia.

Los órganos eléctricos sirven para paralizar la presa y ahuyentar los depredadores. Una raya grande ( que puede alcanzar hasta 2m de longitud) puede producir una descarga de más de 200 voltios, capaz de paralizar a un hombre. Los órganos eléctricos de los mormíridos y los peces cuchillo, que son más débiles, sirven evidentemente para evitar los obstáculos y los animales depredadores, para encontrar alimento y detectar otros animales de su especie. Los peces eléctricos nadan típicamente con el cuerpo en línea recta, lo cual puede ser importante para mantener alineados los sistemas que generan la descarga eléctrica y los detectores. Muchos de estos peces tienen la vista muy débil y viven en aguas turbias o en otros lugares donde la visibilidad es escasa.

Estos animales constituyen un ejemplo notable de evolución convergente. Los órganos eléctricos han evolucionado de músculos existentes en diferentes partes del cuerpo, en grupos de peces divergentes.

## **Desarrollo**

Los peces se ubican en la escala zoológica como los primeros vertebrados; Dentro de los vertebrados, los peces son el grupo más numeroso y diverso.

Los peces nos sirven de alimento, se utilizan en la fabricación de medicamentos, adornan los acuarios con sus formas y colores llamativos; Otros, han despertado la curiosidad por presentar una característica especial: SON CAPACES DE GENERAR ELÉCTRICIDAD y se conocen como PECES ELECTRICOS, algunos de estos peces son muy conocidos y temidos por los nadadores y buzos; El Torpedo y la anguila eléctrica se han hecho famosos por su habilidad de paralizar a sus presas utilizando potentes descargas eléctricas.

En arroyos y lagunas del Uruguay habitan varias especies de peces eléctricos, viven ocultos entre las plantas acuáticas. Desarrollan sus ciclos vitales en forma silenciosa sin despertar el interés ni de los pescadores ya que no se comen ni de los acuaristas tradicionales ya que no presentan colores ni formas atractivas, Sin embargo, tienen algo muy interesante para enseñarnos: Han desarrollado un refinado sentido eléctrico. Día y noche, durante toda la vida estos peces emiten pulsos eléctricos que les permitirán alimentarse, buscar refugio, escapar de la amenaza de depredadores y buscar pareja para perpetuar su especie.

### **Historia de los peces eléctricos.**

Los peces eléctricos han llamado la atención del ser humano desde hace mucho tiempo, los escritos de nuestros antepasados recogen experiencias asombrosas acerca de estos extraños animales. Tres mil años antes de Cristo los egipcios ya conocían la existencia de algunos peces eléctricos. En escenas de pesca grabadas en muros de tumbas egipcias aparece dibujado un bagre eléctrico muy abundante en

el Río Nilo, en el siglo I de nuestra era, los griegos utilizaban las descargas

del pez Torpedo para curar enfermedades como la cefalea y la artritis, esto

significa que el ser humano conocía y utilizaba –sin saber por qué– el "extraño poder" de estos peces muchos siglos antes del descubrimiento de la electricidad.

Hoy sabemos que toda materia viva produce electricidad y que el sistema nervioso se comunica mediante señales eléctricas, también sabemos que todos los peces eléctricos tienen un órgano especial que produce las descargas, a este órgano se conoce como: ORGANO ELECTRICO y lo podemos imaginar como un dipolo, una pila o una batería.

### **¿Dónde viven los peces eléctricos?**

La capacidad para generar electricidad se ha desarrollado en dos grupos de peces: elasmobranquios y teleósteos. Las especies de elasmobranquios viven en mares y océanos; los más conocidos de este grupo son la raya y el torpedo. Las especies de peces eléctricos teleósteos viven en ríos, arroyos y lagunas, existen dos órdenes de peces teleósteos que generan electricidad: los Mormiriformes originarios de Africa y los Gymnotiformes nativos de América Central y Sudamérica.

Actualmente, se conocen alrededor de 60 especies pertenecientes a la familia de los Gymnotiformes, la distribución geográfica de estos peces se extiende desde Guatemala hasta el Río de la Plata, siendo las cuencas del Amazonas y del Orinoco las más pobladas. La anguila eléctrica cuyo nombre científico es *Electrophorus electricus* es un Gymnotiforme que vive sólo en la zona tropical de América. A medida que nos alejamos hacia el sur, disminuye el número de especies encontradas. En Uruguay, sólo se han reportado 7 especies que se conocen con los nombres de pez cuchillo, banderita, señorita o morenita.

La familia Mormyridae (el mormyrids o elephantfishes) tiene peces en el orden Osteoglossiformes. El orden Osteoglossiformes es un grupo antiguo, con miembros extintos que fechan atrás al Jurásico y eras de Cretaceous, y contiene alguno del teleosts viviente más primitivo. Se reconocen dos clases del monophyletic – el Osteoglossoids y el Notopteroids. El orden contiene a seis familias, 29 generos, y aproximadamente 217 especies.



El suborder Osteoglossoidei incluye la familia Osteoglossidae (osetoglossids o las lenguas óseas), qué son

peces de aguadulce encontrados en América del Sur, África, y Sudeste de Asia y hasta Australia nortea, y la familia Pantodontidae (pez mariposa), los cuales son peces de aguas templadas encontrados en el oeste de África tropical. La subfamilia de Osteoglossid Heterotidinae incluye el Arapaima de América del Sur y el Heterotis de África. El gigante de Arapaima es un pez de agua dulce más largo, con una longitud que alcanza los 2.5 m. Ambos Heterotis, otro género en esta familia, y Arapaima tienen ampollas aéreas con numerosas divisiones pequeñas que aumentan el área disponible para la absorción de oxígeno del que hace uso del oxígeno atmosférico para la que sea posible la respiración. Ambos géneros también construyen nidos grandes en aguas poco profundas y dan protección a su incubación más a poca joven. Especies en el género Scleropages del subfamilia que se consideran Osteoglossinae como el único verdadero teleosteo de agua dulce nativo de Australia. El familia Pantodontidae contiene una de las especies más extrañas, buchholzi de Pantodon de África que tiene músculos pectorales relativamente grandes. Éstos le dan la habilidad al pez para batir sus pectorales como si fueran alas. Su hábito de realizar grandes saltos (vuelos) es bien conocido.

El suborden Notopteroidei incluye a las familias siguientes de pez del agua dulce: Gymnarchidae familiar encontrado en África, Hiodontidae familiar (ojos de luna) encontrado en América del Norte, Notoptiridae familiar (peces cuchillo) encontrados en África al Sudeste de Asia, y Mormyridae familiar (pez elefante) encontrado en África tropical y el Nilo. El Hiodontidae incluye el tergisius de Hiodon ojos de luna, y el ojo dorado, H., alosoides que es plateado pez que raramente alcanza los 45 cm y es poco usado como comida y en la pesca. Los Notoptiridae son alargados comprimidos pez con una aleta anal larga. La única especie de Gymnarchidae, nolticus de Gymnarchus, se ha estudiado extensivamente debido a su habilidad de electrolocalización (una habilidad que comparte con el mormyrids). Estos peces son diferentes del mormyrids en apariencia; ellos son alargados y carecen del pelviano, anal, y aleta caudal. La aleta dorsal de la cual ocupa la mayor parte de la espalda del pez, se usa para la locomoción. Las ondulaciones hacia abajo de la aleta mueven al pez hacia adelante o hacia atrás.

La familia Mormyidae contiene cerca de dieciocho géneros (e.g., Breinomyrus, Camplomormyrus, Gnathonemus, Hippopotamyrus, Hyperopisus, Marcusenius, Mormyrops, Mormyrus, Petrocephalus, Polimyrus, y Stomatorhinus), y cerca 198 especies de peces los cuales son de agua dulce de África tropical y el Nilo. La familia fue catalogada por algunos ictiólogos debido a su desarrollo de electrolocalización y debido a su gran cerebro. Se cree que el cerebelo del mormyrids se agrando como una adaptación para la electrorecepción, el más grande entre los vertebrados más bajos.

Las aletas anal, caudal, y pelvianas están presentes en los peces elefante. Allí la morfología de la boca es muy variable con algunos teniendo un hocico del proboscislike alargado con una boca terminal (e.g., Curvirostris de Gnathonemus), algunos otros que tienen una mandíbula alargada (e.g., Petersii de Gnathonemus), y aun otros que tienen un hocico redondeado en su parte de abajo más corta (e.g., Marcusenius). Se han reportado longitudes hasta de 1.5 m, aunque la mayoría de las especies miden 9 y 50 cm.

Referencias: Heiligenberg 1977, Una 1996, Nelson 1994,

La familia Sternopygidae tiene peces eléctricos de voltaje débil en la división Teleostei. Los Sternopygidae son incluidos en la subdivisión Euteleostei, un multifilético provisionalmente aceptado por muchos ictiólogos, a pesar de la inclusión de muchos órdenes diversos. No hay ningún único carácter común a todas las especies de la subdivisión.

Los Sternopygidae están en el superorden Ostariophysa que incluye cinco órdenes (orden Gonorhynchiformes, orden Cypriniformes, orden Characiformes, orden Siluriformes, y orden Gymnotiformes), 59 familias, 960 géneros, y cerca de 6,507 especies. Los ostariophysans contienen cerca del 27% de las especies conocidas en el mundo, y cerca de 64% de las especies de agua dulce. Los peces tienen temor por una sustancia llamada feromona. cuando se daña la piel secreta una feromona que causa una situación de temor. se conoce que ocurre en pocos grupos de peces diferentes de los ostariophysans.

El orden Gymnotiformes es uno de los cinco órdenes incluido en el superorden Ostaiophysii. Los Gymnotiformes tienen cuerpos parecidos al de la anguila que son comprimidos o redondeados. Allí el cinto pelviano y aletas están ausentes, como es la aleta dorsal; la aleta anal es sumamente larga y es usada para moverse para adelante o hacia atrás. Sus órganos eléctricos se derivan de las células del músculo (myogenic) excepto el pez en la familia Apterontidae que tiene órganos eléctricos derivados de las células nerviosas (neurogenic). Como los barbos, los gymnotiformes son nocturnos. Los Gymnotiformes incluyen las familias siguientes de agua dulce americana Sur peces: la familia Sternopygidae (knifefishes del galss), la familia Rhamphichthyidae (knifefishes de arena), la familia Hypopomidae, la familia Apterontidae (knifefishes de la fantasma), la familia Gymnotidae (knifefishes desnudos de la parte de atrás; también encontrados en Centroamérica), y la familia Electrophoridae (knifefishes eléctrico). La familia Rhamphichthyidae incluye dos generos, Rhamphichthys y Gymnorhamphichthys, el último tiene especies que son los únicos miembros excavadores de arena del orden. La familia Hypopomidae incluye cuatro generos, Hypopomus, Hypopygus, Parupygus, y Steatogenys, con aproximadamente 12 especies. El la familia Apterontidae es la única familia del gymnotiforme que tiene una cola caudal y un el órgano eléctrico neurogenico. La familia incluye diez generos (e.g., Adontosternarchus, Apterontus, Porotergus, Sternarchella, Sternarchohynchus, y Ubidia), y cerca de 27 especies. La familia Gymnotidae tiene un género, Gymnotus, con tres especies. La familia Electrophoridae tiene peces con cuerpos redondeados, y órganos eléctricos grandes que producen cargos letales para la matar al a presa. Hay una especie, electricus de Electrophorus que normalmente se llama anguila eléctrica. Debe hacerse notar que algunos taxonomistas consideran el orden de los Gymnotiformes ser comprimido en una familia Gymnotidae.

Los peces eléctricos débiles del la familia Sternopygidae son similares al los mormyrids de Africa en muchas maneras, incluyendo el potencial de la comunicación eléctrica y electrolocalizacion. Los peces en esta familia tienen hocicos relativamente cortos. Los Sternopygidae son peces de agua dulce incluye cinco generos (Archolaemus, Distocylus, Eigenmannia, Rhabdolichops, y Sternopygus), con aproximadamente quince especies.

Referencias: Heiligenberg 1977, Una 1996, Nelson 1994,

Anguila, (alargada, parecida a una serpiente), que comprende casi 600 especies diferentes agrupadas en 20 familias. Ellos habitan en las costas poco profundas a lo largo del mundo. La mayoría de las anguilas no tiene ninguna escama y esta protegido por una capa de mucosidad resbaladiza. Sus aletas dorsales y anales que nacen cerca de la cabeza a menudo la aleta de la cola inexistente, que les proporciona su empuje.

La migración y reproducción de anguilas de agua de mar sigue siendo un misterio hasta el siglo 20, cuando su lugar de desove fue descubierto en el Mar de Sargasso entre la Bermudas y Puerto Rico. Cuando la anguila europea (anguilla de Anguilla) y la anguila americana (rostrata de Anguilla) llegan su madurez en lagos y rios de agua dulce, ellos nadan con las corrientes durante un año hasta que ellos localicen el Sargasso, donde ellos desovan en agua profunda.

Clasificación científica: las Anguilas constituyen el orden Anguilliformes. Las anguilas de agua dulce constituyen el Anguillidae familiar.

Barbo,(o pez gato). Todas las familias habitan en agua dulce. Los barbos son basureros principalmente nocturnos y viven cerca del fondo en aguas poco profundas. Su nombre se deriva a los filamentos que tiene a cada lado de la mandíbula Las aletas dorsales y pectorales son a menudo afiladas con espinas que las usan en defensa y pueden infligir heridas severas. En algunos casos ellos son venenosos.

El sheatfish europeo (*Silurus glanis*), es el barbo más grande, según informes recibidos, puede llegar a pesar cerca de 290 kg (650 lb) y longitudes de casi 4 m (casi 13 ft). Otras variedades raras incluyen la cueva, el barbo ciego (*nigrilabris* de Gronias) de Pennsylvania oriental, el barbo eléctrico de Africa (*electricus* de *Malapterurus*), y el asiático barbo caminador (*batrachus* de *Clarias*) que puede respirar aire y puede viajar

encima de la tierra entre los cuerpos de agua. Los barbos constituyen un grupo importante de peces de comida y actualmente consideran actualmente la mitad de la producción del acuicultura en los Estados Unidos.

Clasificación científica: los Barbos constituyen el orden Siluriformes.

Rayas ., Las rayas tienen cuerpos anchos, aplanados, con ojos en la superficie superior oscura, y la boca y agallas en la superficie más baja encendedor–coloreada. La cola la tienen delgada. Los rayos tienen dientes embotados, adaptados para aplastar las cáscaras de moluscos y crustáceos. Ellos se entierran a menudo en la arena del fondo del océano y se camuflajea. Ellos varían de unos centímetros a más de 6 m (aproximadamente 20 ft) en anchura. Las rayas más grandes son conocidos como el pez demonio, o mantas.

Clasificación científica: las Rayas pertenecen a la clase Chondrichthyes

Para poder estudiar a estos peces, es necesario capturarlos en su medio natural y trasladarlos al laboratorio. Para eso, se ha inventado una técnica de pesca de peces eléctricos que aprovecha la capacidad de estos peces de generar electricidad. Se realiza durante el día que coincide con la fase de reposo de estos peces. Se utiliza un detector que consiste en 2 electrodos de metal conectados a un amplificador, el que se conecta a su vez a un parlante. Este aparato registra la descarga del órgano eléctrico como un ruido. Cuanto más cerca del pez se encuentren los electrodos, la señal se escuchará con mayor intensidad. El pez se encuentra oculto entre la vegetación superficial pero es posible rastrearlo moviendo los electrodos hasta que la señal adquiere la intensidad adecuada. Una vez ubicado, el pez se extrae introduciendo un calderín grande, resistente y de trama fina que permita levantar la abundante y espesa vegetación superficial tal como se observa en la fotografía de abajo.

En el acuario se mantienen adecuadamente en peceras con abundante vegetación y con poca luz. Suelen esconderse en refugios durante el día y nadan principalmente por el fondo del estanque. Todas estas especies sobreviven correctamente manteniendo la temperatura del agua a 20–25°C aunque la tolerancia a la temperatura varía según la especie. Algunos Gymnotiformes (*Gymnotus carapo* y *Eigenmannia virescens*, por ejemplo) son peces territoriales que desarrollan comportamientos agresivos cuando otro ejemplar se introduce en la pecera

debiendo mantenerse en estanques individuales.

### **El sentido eléctrico**

Se describen dos clases de peces eléctricos de acuerdo con la intensidad de corriente que generan:

Los Peces de alto voltaje

Los peces de alto voltaje como las (anguilas de agua dulce y barbo) matan a su presa y se alejan de sus depredadores liberando choques eléctricos de varios cientos voltios. Con muchas descargas fuertes, el pez tiene un enorme potencial eléctrico. Las anguilas tienen la única habilidad de descargar corriente eléctrica débil y " fuerte. La corriente débil se usa para localizar principalmente y aturdir a la presa. La corriente fuerte se usa casi exclusivamente como una arma para atacar presa.

Los peces de bajo voltaje

Los peces eléctricos débiles usan sus órganos eléctricos principalmente para el descubrimiento de la forma áspera, conductibilidad, y situación de objetos cercanos, el reconocimiento de miembros de sus propias especies, llamando a sus compañeros, encontrando su posición en una escuela, y promulgando otras conductas crítico a su supervivencia. Los peces eléctricos débiles viven en una variedad de habitats de agua dulce en Central y América del Sur y en Africa. El Gymnotiforms americano Sur y Mormyiforms africanos son para que el phylogenetically distante que se piensa que ellos han evolucionado a través de la evolución convergente (independientemente). En ambos órdenes, los peces viven en arroyos poco profundos de aguas oscuras para que el EOD reemplaza su visión esencialmente; ellos se dan cuenta de sus ambientes emitiendo un EOD que crea un campo eléctrico alrededor del pez. Los peces pueden darse cuenta de perturbaciones causado por objetos en su electrolocacion campo–llamado eléctrico. Los peces eléctricos débiles tienen uno de dos modelos de descarga eléctrica los dos que se genera del tejido del músculo modificado normalmente cerca de la cola o del tejido cerca de los ojos. Pez de la onda (hummers) produzca los sinusoidal continuos ondean signos a las frecuencias de 50–1000 Hz. Pez del pulso (clickers) emita pulsos eléctricos que duran aproximadamente un milisegundo que se espacian aproximadamente 23ms separadamente. Estos pulsos crean huecos de tiempo en su campo. El eod puede alterar las hormonas y aveces el sexo depende del eod.

¿Para qué le sirven al pez estas descargas débiles? Este enigma se mantuvo

durante más de un siglo hasta que en la década del 50, el biólogo inglés H.W.

Lissman descubrió que estos peces poseen un sentido desconocido hasta el momento: la electrorrecepción activa o sentido eléctrico.

Así como a nosotros nos llega información del mundo exterior a través de la vista o del oído, en estos peces funciona un sentido eléctrico muy desarrollado que les permite orientarse, ubicar objetos, reaccionar ante otros animales, buscar pareja y quizás también comunicarse con otros miembros de la especie.

El sentido eléctrico de estos peces funciona en base a dos sectores:

– un generador, el órgano eléctrico que emite descargas hacia el medio ambiente

– un detector de dichas descargas, los electrorreceptores ubicados en la piel

Las corrientes generadas por el órgano eléctrico son, a su vez, percibidas por estos detectores de electricidad. Esto nos recuerda al funcionamiento del sonar que detecta la presencia de submarinos u objetos sumergidos emitiendo ondas sonoras o ultrasonoras cuyos ecos son detectados y analizados.

Si algo se modifica en el ambiente cercano al pez, éste lo percibirá inmediatamente. Por ejemplo, una presa se acerca provocando cambios en las líneas de corriente que el pez emite y detecta constantemente. El pez ubica a la presa al percibir esos cambios iniciando el ataque.

Se observa un esquema de un pez eléctrico rodeado por las líneas de corriente que él mismo emite hacia su ambiente cercano. El círculo negro representa un objeto que distorsiona las líneas de corriente.

El pez puede captar esas distorsiones. Esta es la base del funcionamiento del sentido eléctrico.

### **Descarga del Órgano eléctrico**

La Descarga del Órgano Eléctrico (EOD) tiene dos elementos: el EOD ondea pulso de la forma generada por las células excitables del órgano eléctrico, y la EOD repetición proporción o ritmo determinados por la actividad de una cavidad interna de la senda del (electromotor) el órgano eléctrico. Descarga del órgano eléctrica (EOD) es característico de especies individuales, con la frecuencia y otros rasgos de los pulsos u ondas que difieren de especies a especies. Los peces eléctricos débiles tienden a emitir signos eléctricos continuamente. Se pulsa el EOD de [mormyrids], considerando que el EOD del Sternopygidae

están en la forma de una onda. Aunque muchos de los peces puede variar su EOD, los trazados oscilograficos muestran características específicas de su especie y características específicas de su sexo (forma muchas especies) las formas y amplitudes. Por ejemplo, los mormyrids tienen proporciones de EOD de uno a seis pulsos por segundo pero pueden acelerar, esta proporción de la descarga aproximadamente 130 pulsos por segundo.

El órgano se localiza en el trasero del pez y el sincrónico de pulsos del órgano controlado por el núcleo de medular de la línea media, llamado el núcleo del corredor (pacemaker), localizado en el cerebro. Las células multinucleadas que constituyen el órgano son cualquier **myogenically** (músculo) o neuronal (nervio) derivó. Se llaman electrocitos las células que constituyen el órgano. Las columnas de electrocitos son inervaduras por supramotorneuronas que lleva la señal al cerebro que estimula el EOD por dipolarización del electrocitos.

Comunicación Social

Los peces eléctricos emiten dimorfismo sexual EOD las ondas pueden ser alterados por un tratamiento de esteroides, generado por un núcleo del corredor medular (PMN) de 2 tipos de la célula. Las neuronas del rendimiento del sinapsis de PMN localizaron en neuronas del electromotor en el innervate del cordón espinal el órgano eléctrico. El PMN sólo recibe entrada compuesto de 2 fuentes que son responsable para modulaciones breves que ocurren durante las interacciones sociales. Esta capacidad de emitir y darse cuenta de EODs débil sólo evolucionó en gymnotiforms americano Sur y el mormyriiforms africano. Para estos peces, EODs dan información sobre las especies, sexo, y posiblemente la identidad individual de otro pez. Las modulaciones de un transitorio en frecuencia de EOD pasan en situaciones sociales y llevan información sobre agresividad, prontitud para dar jaque mate a, etc.,

### Campo eléctrico y las Animaciones Potenciales

Los peces eléctricos débiles generan voltaje débil ( $< 0.5$  V/cm) la frecuencia alta (0.1–10 kHz), campos eléctricos que ellos usan para localizar y identificar objetos cercanos y comunicar con otros peces eléctricos. Los campos eléctricos se producen en breves descargas de pulso de los tejidos especializados en el órgano eléctrico. Estas descargas del órgano eléctricos se llaman EODs. Algunos peces producen EODs intermitente ("el pulso pez") mientras otros producen EODs continuo ("la ondas pez").

Se han medido con un microvoltmetro robotizado, la descarga del órgano eléctrico (EODs) de estos peces a la resolución temporal y espacial alta. Se han ensamblado las medidas de EOD como pseudocolor películas de movimiento rápidamente en las que el color representa positivo y el potencial eléctrico negativo:

carga positiva: los colores más calurosos (verde a rojo) ceros voltios DC: la luz la carga negativa azul: los colores más fríos (azul a la violeta)

Porque las amplitudes potenciales varían encima de varios órdenes de magnitudes cerca de la cola al campo lejano, la escala colorida saturada (rojo y de color de violeta) representa las crestas, los detalles tan más finos de la estructura del campo lejano están claros.

### Ejemplos en fotografías del tipo de colores

La fila de la cima muestra pariente moderado al potencial eléctrico a un electrodo distante en la pared del tanque. La segunda fila muestra el componente del campo eléctrico en la dirección del rostral (derecho a la izquierda), la tercera fila de la cima muestra el componente del campo eléctrico orientado que se extiende hacia abajo en la imagen, y el fondo rema muestra el componente del campo orientado afuera hacia usted

El EOD se muestra en un sección cruz a través de la superficie plana del pez. El marco de la cima izquierda pinta la cresta cabeza–negativa del EOD, con la balanza de color de arco iris que va de la púrpura ( $\leq -10$  mV) a rojo ( $\geq 10$  mV), y el más ligero azul a 0 mV. El marco del derecho–cima muestra la diferencia que el objeto representa cuando nosotros substraemos el campo simulado sin el objeto del campo con el presente del objeto. El efecto del objeto puede verse claramente como un campo del dipolo inducido. (La diferencia potencial ha sido magnificada por un factor de 100 para hacerlo visible en esta balanza de color.) Los marcos más bajos son los mismos datos desplegados con contornos potenciales, y normalizó vectores que indican dirección actual.

Los electroreceptores del pez que se encuentra a lo largo de su piel miden la gota de voltaje por la piel, llamado "el transdermal potencial." Visualizar el modelo de estímulos del electrosensores, la piel del pez ejemplar era "pellejada" y "aplanado" y los resultados de la simulación trazaron a esta superficie aplanada. En esta figura, el RMS transdermal potencial se muestra para el EOD normal cuando la cola es recta (izquierdo). Esto representa el sobre de EOD puesto en código por los receptores de amplitud de P–tipo. Cuando la cola está torcida, como en la figura sobre, el transdermal que el modelo potencial cambia por la cantidad mostrada en el derecho. En la la mitad delantera del cuerpo donde la mayoría de los receptores se encuentra, el estímulo

es más grande en el lado de la curvatura de la cola y más pequeño en el lado lejos de la curvatura. Sin embargo, las diferencias son sólo unos por ciento del EOD global (nota la escala se magnifica)

### Simulaciones de Computadora de Pez eléctricas

El marco izquierdo muestra el 3-d cuerpo del pez y objeto, así como los puntos la superficie plana en el que el potencial eléctrico estaba simulado. La solución potencial se interpoló linealmente encima de los triángulos mostrados en la malla azul. El medio marco pinta la cresta cabeza–negativa del EOD, con la balanza de color de arco iris que va de la púrpura ( $\leq -10$  mV) a rojo ( $\geq 10$  mV), y el más ligero azul a 0 mV. Los rightmost idean muestra la diferencia que el objeto representa: cuando nosotros substraemos el campo simulado sin el objeto del campo con el presente del objeto, el efecto del objeto puede verse claramente como un campo del dipolo inducido. (La diferencia potencial ha sido magnificada por un factor de 100 para hacerlo visible en esta balanza de color.)

Ver el modelo de estímulo de electrosensores entero, los peces ejemplares pueden ser "desolló" como mostrado en este esquemático. La piel del lado izquierdo (amarillo) y el lado correcto (cian) del 3d cuerpo se aplanado, y la simulación resulta puede trazarse entonces a los puntos correspondientes en esto aplanada superficie.

El suborder Torpedinoidei del orden Rajiformes consiste en rayas que comparten un rasgo fisiológico común: ellos tienen órganos eléctricos poderosos que o pueden servir como herramientas rapaces o las armas defensivas. Se conocieron bien las propiedades eléctricas de las rayas, del torpedo a los griegos antiguos que fueron intimidados por su habilidad maravillosa de hacer zumbido superficial induce entumecimiento, y debes en cuando para movilizar a un hombre.

Los médicos romanos utilizaban los choques eléctricos como posibles remedios para las dolencias como gota, dolores de cabeza, y , la enfermedad mental.

Este raya tiene dos órganos eléctricos grandes posicionados en las áreas pelvianas indicados por las porciones sombreadas de la figura. Cada órgano consiste en un arreglo densamente condensado de 1000 o más bruscamente, las pilas hexagonales de células (evolucionó de fibras del músculo) orientó verticalmente entre el raya dorsal (superior) y ventral (baje) las superficies externas. Cada uno de los 1000 o para que las células en una pila pueden depender de 5–7 mm en diámetro y .01 – .03 mm espeso. Debido a su función del electrofisiológico y su forma sumamente aplanada, cada célula es conocida como una 'electroplaca'.

La siguiente figura muestra una vista lateral de la parte de una pila en su estado del reposo. La escala vertical se ha exagerado grandemente para claridad. El interior de la electroplaca esta negativamente cargada, el resultado de permeabilidad selectiva por las membranas de la célula superiores y más bajas como pendientes de la concentración maneja los movimientos de iones por las membranas. En el estado firme con ambas membranas igualmente polarizado, negativa a dentro y positiva a fuera ,de, ellos están en el mismo potencial electrostático, y no hay flujo actual por la célula.

Ahora se nota que la membrana más baja es cavidad interna, i.e. se conecta a varios fibras del nervio (normalmente 5–7). Los nervios del fondo de cada célula se unen en un nervio central del órgano entero que es la canalización al cerebro del torpedo. Cuando se activan estos nervios aumentan el conductancia de la membrana más baja para Na y iones de K, así activa una descarga eléctrica a través de él, produce un movimiento descendente de carga negativo y genera una diferencia potencial por las membranas de la célula. A cada electroplaca actua como una batería en miniatura y desarrollan una cresta la fuerza electromotriz (emf) de aproximadamente 50 mV (a veces tan grande como 90 mV) durante la 5 descarga del ms. A ~1000 baterías de la miniatura conectadas en serie les gusta es más, desde una pila de actos del electroplaques, la suma de los rendimientos de sus emf un emf de la pila dorso–ventrales de aproximadamente 50 V.

La distribución de carga durante la activación de la célula es tiempo-dependiente, pero a cualquier momento dado produce un escalar el potencial eléctrico (y correspondiendo campo eléctrico) que puede manejar el movimiento de cargas libres en el medio elemento gelatinoso el electroplaca así como en el medio externo al cuerpo del rayo. muestras una distribución típica de equipotenciales y líneas de flujo actual para una sola electroplaca. Cuando todas las electroplacas de la raya se activan simultáneamente de esta manera, las corrientes externas resultantes pueden ser muy bien bastante para desactivar organismos biológicos cercanos.

La densidad actual es más grande directamente sobre o debajo de los órganos eléctricos del rayo. Cuando un rayo del torpedo forrajeando descubre a una presa por consiguiente nada adelante y hacia arriba y expone su superficie ventral hacia el pez mientras emitiendo pulsos de voltaje de bajo-frecuencia. Las corrientes que atraviesan el cuerpo de la víctima excitan sus nervios y músculos, lo aturden y lo inmovilizan, después de lo cual el torpedo desciende encima de él y lo consume mientras continua emitiendo pulsos.

Se conoce bien que un T. nobiliana del grande pueden entregar un susto doloroso y estupendo a un adulto humano. El umbral más bajo para arresto cardíaco o el fibrillation ventricular en un humano ocurre por seguir un camino a través del cuerpo. En un ambiente del marino la impedancia del cuerpo total (ventaja superficial interior) para este camino de la corriente es ciertamente ningún menos de 500 ohmes. Un 100 V pulsan que es más grande que el promedio para el nobiliana generaría un cuerpo del máximo por consiguiente actual de 200 MA. Los umbrales para efectos fisiológicos inducidos por corrientes eléctricas son funciones de sus magnitudes y " duraciones. Para el medio adulto que experimenta un 200 izquierdo-mano-a-o-pie de MA actual, el umbral para reducciones musculares que causan dificultades respiratorias es aproximadamente 50 ms, mientras el umbral para el fibrillation ventricular es aproximadamente 400 ms. Para un 220 V pulse (el máximo observó) el respiración-dificultad y los umbrales del fibrillation son aproximadamente 20 ms y 200 ms respectivamente. Pero los pulsos de voltaje generados por nobiliana tiene una duración de sólo 5 ms. Debido a la naturaleza estadísticamente-derivada de los umbrales anteriores, no sería sorprendente si el choque eléctrico de un torpedo Atlántico grande era inducir (temporal) las dificultades respiratorias en algunos individuos. Fibrillation ventricular o el arresto cardíaco, sin embargo, son sumamente improbables.

### **Ventajas del sentido eléctrico**

Cada animal ha evolucionado para adaptarse al medio en que vive. Para eso, debe vivir comunicándose con el mundo que lo rodea a través de sus sentidos. Los órganos de los sentidos transforman distintas formas de energía –luz, energía mecánica o energía química– provenientes del mundo exterior en impulsos nerviosos.

Para vivir en aguas turbias o fangosas, con poca luz, rodeados de una espesa vegetación acuática, los peces eléctricos desarrollaron el sentido eléctrico que les permite adaptarse perfectamente a esas condiciones.

H.W. Lissman decía en un trabajo publicado en 1955: "Es muy difícil comprender el funcionamiento de un sentido que nosotros no poseemos". Los peces eléctricos viven en un mundo totalmente ajeno al del ser humano. Perciben el ambiente que

los rodea en forma muy diferente a nosotros ya que su principal sentido es eléctrico.

Las características especiales de los peces eléctricos se ponen de manifiesto al observarlos nadar en un acuario. Estas características especiales nos hablan del funcionamiento de su sentido eléctrico.

Tomaremos como ejemplo a *Gymnotus carapo* (también conocido como carapo) que es el pez eléctrico más abundante en nuestro país. El carapo tiene un cuerpo elongado como la hoja de un cuchillo y es de color marrón. Cuando se enconde entre las plantas, podemos confundirlo con una raíz por su forma, color y por cómo se ubica. Los ojos del carapo son muy pequeños; están atrofiados y sólo reaccionan ante una luz muy brillante. Tiene una aleta anal muy larga situada todo a lo largo de la parte inferior de su cuerpo pero no tiene aleta caudal ni dorsal.

El carapo nada con mucha elegancia. No golpea con su cola hacia los costados, como la mayoría de los peces, sino que mantiene su columna vertebral rígida. La aleta anal impulsa su cuerpo en el agua y nada con la misma facilidad hacia adelante o hacia atrás. Al verlo nadar, comprobamos que sus movimientos se realizan con mucha precisión. Cuando ataca a una presa para alimentarse, nunca choca contra las paredes del acuario. Si se colocan obstáculos, el pez los elude tanto si nada hacia adelante o hacia atrás. Si lo observamos durante la noche, lo encontraremos muy activo: abandona su refugio con frecuencia, nada hábilmente explorando el acuario, alimentándose, etc.

Es sorprendente que un animal que casi no puede ver desarrolle estas conductas.

En realidad, sólo son posibles porque el carapo detecta los objetos por medio de un mecanismo eléctrico. El sentido eléctrico es una ventaja que tienen estos peces sobre los demás animales para adaptarse a un medio muy competitivo como

son los arroyos, ríos y lagunas. La oscuridad y turbidez del agua en que viven en su medio natural ofrecen una buena protección a estos peces que prácticamente no utilizan la visión. Durante el día, se mantienen ocultos entre las raíces de las plantas acuáticas donde los predadores no pueden verlos. De noche, cuando los enemigos descansan, abandonan sus refugios y realizan sus actividades.

### **¿POR QUÉ NADAN los PECES ELÉCTRICOS AL REVÉS?**

. Este grupo incluye anguilas eléctricas, peces cuchillo de america del sur , y el pez de hocico de elefante africano. Todos éstos han evolucionado, en un caso notable de evolución paralela, la capacidad de pulsos generadores de electricidad. Estos pulsos (a 1,000 por segundo) radio a través del agua circundante. La presa y otros objetos cercanos tuercen éstos oscilando campos eléctricos. Electroreceptores en el pez y unos datos sofisticados que procesan al convertido del sistema las distorsiones del campo en una "imagen" de los ambientes.

Para comer o poder detectar algo primero nadan hacia delante y arriba y después si la imagen eléctrica parece apetitosa, los agarra como su cena con una estocada delantera cuando aparece delante de él.

1

1

Mormyrus rume

Brienomyrus sp