



UNIVERSIDAD DEL MAR CAMPUS PUERTO ÁNGEL

Cefalópodos: potencial vector en la transferencia de Partículas
Antropogénicas en la cadena alimentaria de *Carcharhinus falciformis*
(Müller & Henle, 1983) en la costa central de Oaxaca.

TESIS QUE PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRA EN CIENCIAS: ECOLOGÍA MARINA

PRESENTA
Biol. Itzel Bravo Martínez

DIRECTORA
Dra. María del Carmen Alejo Plata
CO-DIRECTOR
DR. Luis Fernando Del Moral Flores

Puerto Ángel, Oaxaca, México, 2024.

AGRADECIMIENTOS

A la Univesidad del Mar por brindarme la oportunidad de cumplir una de mis metas más importantes en mi vida profesional.

Al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías por la beca otorgada para la realización de mis estudios de maestría.

A la Dra. María del Carmen Alejo Plata por aceptar trabajar conmigo, brindarme siempre su apoyo de forma profesional y personal, por considerarme una futura investigadora, por las enormes oportunidades que me brindo durante mi estancia en la Universidad y por su confianza.

Al Dr. Pedro Cervantes Hernández por su enseñanza, orientación, apoyo, sus consejos y principalmente siempre tener tiempo para compartir sus conocimientos con su forma tan certera de ver la ciencia, su orientación mejoro está investigación.

Al Dr. Luis Fernando Del Moral Flores, sin su inigualable apoyo y confianza desde la Licenciatura no podría ser realidad uno de mis sueños, siempre siendo un gran amigo.

Al Dr. Miguel Ángel Ahumada-Sempoal y Mtro. Juan Roberto Felipe Vallarta Zárate por brindarme su valioso tiempo en asesorar este trabajo para mejorarlo.

A mi familia: Mis padres Tere y Paco, por todo su amor y su apoyo incondicional, a mi hermana Lizet que siempre estuviste al pendiente de mi y eres a la persona que más admiro en mi vida, eres una guerrera, a mis sobrinos Santi y Renatita que espero que en un futuro los pueda impulsar a seguir sus sueños y nunca desisitir, fue difícil estar lejos pero siempre estuvieron para mi y lo agradezco infinitamente.

A Isaac por su amor, apoyo, admiración, palabras de aliento, comprensión y por todas las experiencias que vivimos.

A mi Floky por siempre ser mi gran compañera y hacer mis días tristes, alegres.

A mis amigos y compañeros de trabajo de la Universidad, por los buenos momentos vividos, apoyo y sin ellos tampoco hubiera logrado terminar este ciclo.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	5
3. JUSTIFICACIÓN	8
4. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN	8
5. HIPÓTESIS	8
6. OBJETIVO	8
6.1. General	8
6.2. Particulares	8
7. ÁREA DE ESTUDIO	9
8. MATERIAL Y MÉTODO	10
8.2. Trabajo de laboratorio	10
8.2.1. <i>Carcharhinus falciformis</i>	10
8.2.2. Cefalópodos	10
8.2.3. Identificación de presas	11
8.2.4. Identificación de las Partículas Antropogénicas	11
8.3. Trabajo de gabinete	12
8.4. Análisis Estadístico	13
9. RESULTADOS	15
9.1. <i>Carcharhinus falciformis</i>	15
9.1.1. Análisis Estadístico del Tiburón sedoso	16
9.2. Cefalópodos	21
9.2.1. <i>Dosidicus gigas</i>	21
9.2.2. Argonautas	22
9.3. Análisis Estadístico de los Cefalópodos	23
9.4. Partículas Antropogénicas	23
10. DISCUSIÓN	26
10.1. Tiburón sedoso	26
10.2. Cefalópodos	28
10.3. Basura Antropogénica y Partículas Antropogénicas	31
10.3.1. Identificación de las Partículas Antropogénicas	33
11. CONCLUSIÓN	36
12. BIBLIOGRAFÍA	37
13. ANEXOS	51

RESUMEN

La contaminación marina se presenta como una gran amenaza para la conservación del planeta. El riesgo potencial se debe a un mal manejo de desechos en todo el mundo, afectando varios ecosistemas, principalmente el marino. La entrada de contaminantes de origen antropogénico en las redes alimenticias marinas está presente en diferentes niveles tróficos. Los cefalópodos son un grupo importante dentro de dichas redes, debido a su papel como presas de depredadores tope como los tiburones. El objetivo de este trabajo fue examinar el aporte de la Basura Antropogénica (BA), presente en el tiburón sedoso *Carcharhinus falciformis*, junto a las Partículas Antropogénicas (PAs) asociadas a los principales cefalópodos que consume (*Dosidicus gigas* y *Argonauta* sp.), mediante un análisis cuantitativo de componentes alimentarios de los propios cefalópodos. La metodología consistió en dos fases: en la primera de ellas se examinó de manera visual el contenido estomacal del tiburón sedoso, y en la segunda se analizó el contenido estomacal de los cefalópodos encontrados en el tiburón, en ellos se analizó el contenido estomacal y se llevó a cabo un método de la extracción de partículas antropogénicas, mediante disolución en hidróxido de potasio (KOH) al 10%. Se emplearon los métodos de frecuencia numérica (%N) y frecuencia de aparición (%Fa) para aplicar un modelo de clasificación con redes neuronales. En cuanto a las preferencias alimentarias del tiburón sedoso se encontró que las hembras tienden a consumir crustáceos, peces y tortugas en el mes de diciembre, mientras que los machos tienden a consumir una mayor proporción de cefalópodos en el mes noviembre y se encontró mayor aparición de BA en los estómagos. Por lo que una regresión simple con ajuste logístico arrojó una alta asociación entre la presencia de BA y el consumo de cefalópodos. El análisis indicó que existe una correlación entre el 70% de encontrar cefalópodos y el 100% de hallar BA en los contenidos estomacales con una predicción del 97%. Por otra parte, los hábitos alimentarios de *D. gigas* mostraron una preferencia de consumir más peces con un 28% de Fa, seguido de los crustáceos (23% Fa) y moluscos (6% Fa). En la especie *Argonauta hians* los crustáceos tuvieron el de mayor valor de Fa (36%), seguido de los moluscos (18%). En el contenido estomacal de *Argonauta cornuta* las presas más abundantes fueron los moluscos con un 5% de Fa, al igual que en *Argonauta noury* (11% Fa). Los peces como presas, aunque no fueron principales, sí estuvieron presentes dentro de los contenidos. Las principales PAs encontradas en el grupo de los cefalópodos fue la forma de fragmentos de color hialino con un 50 % Fa, seguido de las fibras de color verde (15% Fa), y en menor medida las fibras de color azul (15% Fa). Mientras que el tamaño de las partículas más abundantes fueron medidas pequeñas que van de 0.01 hasta 0.54 mm y los tamaños de las partículas menos abundantes fueron de 2.6 a 3.7 mm. Este trabajo concluye que los cefalópodos

Dosidicus gigas y los *Argonautas* sp., son vectores en la transferencia de BA y PAs en la cadena alimenticia del tiburón sedosos. La alimentación de los calamares y pulpos se basó en cefalópodos, crustáceos y peces.

Palabras clave: cefalópodos, Partículas Antropogénicas, redes tróficas, transferencia y dinámica trófica.

1. INTRODUCCIÓN

La contaminación marina se presenta como una gran amenaza para la conservación de la vida en el planeta. El riesgo potencial a nivel mundial se debe a un mal manejo de los desechos sólidos definidos como Basura Antropogénica (BA), afectando tanto ecosistemas terrestres como marinos. La BA se refiere a cualquier residuo sólido fabricado o procesado por actividades humanas (Battisti *et al.*, 2019).

Desde la década de los 70', del siglo XXI, se ha observado BA flotante en el océano de ambos hemisferios (Eriksen *et al.*, 2013). El mayor aporte de BA proviene del continente, directamente por ríos, aguas residuales, aguas pluviales o vientos; además de las fuentes terrestres, la pesca y las industrias marinas (por ejemplo, la acuicultura y plataformas petrolíferas) o pérdidas accidentales (Jambeck *et al.*, 2015; Lebreton *et al.*, 2018).

En los océanos existen varios tipos de BA, los elementos inorgánicos desechados como metal, vidrio, cerámica y loza; además de orgánicos sintéticos como pedazos de residuos de pesca (redes, anzuelos), residuos de cigarrillo, cuerdas, telas, medicamentos, gomas, plásticos duros y blandos (Barnes *et al.*, 2009), estos últimos representan más del 80% de BA (Rojo-Nieto & Montoto, 2017). La tasa de degradación de estos materiales es extremadamente baja, debido a sus propiedades químicas les da una larga durabilidad en el ambiente, y en cambio, sus propiedades físicas como la densidad de algunos de ellos les permite una amplia dispersión mediante la flotabilidad en el océano a lo largo del planeta (Ryan *et al.*, 2009). Un ejemplo de este impacto es el de los plásticos, la producción de plásticos aumentó rápidamente a partir de la década de 1950, alcanzando alrededor de 311 millones de toneladas en 2014 (UNEP, 2016). Hoy en día es difícil encontrar un producto que no contenga plástico, aunado a ello, el ciclo de vida de los plásticos es extremadamente corto en donde la mayoría son de un solo uso (Rojo-Nieto & Montoto, 2017).

Se han registrado cerca de 580 especies marinas que se han visto afectadas por plásticos (Kühn *et al.*, 2015; Ozturk & Altinok, 2020), como tortugas, cetáceos, focas, leones marinos, manatíes, nutrias de mar, peces, crustáceos, pingüinos y otras aves marinas (Rochman *et al.*, 2015; Bray *et al.*, 2019; Di Benedetto & Oliveira, 2019); provocando enredos, asfixia e interferencia con la absorción de alimentos y su digestión (Wright *et al.*, 2013). Aunado a ello, los plásticos son el sistema de transporte marítimo más común y responsable de la distribución generalizada de muchos organismos, como los son, en orden de abundancia y distribución cosmopolita, los briozoos, percebes, gusanos poliquetos, hidrozoos y moluscos, al ser utilizados como casa móvil. Esta dispersión se presenta como una de mayores amenazas a la

biodiversidad marina al favorecer el transporte de especies invasoras (Barnes, 2002). Hasta ahora solo una pequeña fracción de estos taxones han sido investigados en relación con los desechos marinos y sus redes tróficas (Setälä *et al.*, 2014). La interacción de la vida marina con la BA propicia a que un número creciente de especies y taxones, ingieran y tengan a su alcance diferentes tamaños y diversos tipos de plásticos (Bergmann *et al.*, 2016; Provencher *et al.*, 2018).

Dentro de la BA se han catalogado a las Partículas Antropogénicas (PAs), las cuales se han definido como partículas producidas directa o indirectamente por las actividades humanas. Las PAs se catalogan como piezas pequeñas, fragmentos o fibras de origen antropogénico, como el plástico, partículas teñidas o fibras textiles (Collard *et al.*, 2018). Dividiéndose en macropartículas (25 mm) y micropartículas (>5mm) (Collard *et al.*, 2015; Rios-Fuster *et al.*, 2019).

El problema crece debido a la conversión de macropartículas en micropartículas (MPAs), como los microplásticos. La abundancia y distribución global de los microplásticos ha aumentado en las últimas décadas, y ha provocado un mayor acumulo en el ambiente marino (Barnes *et al.*, 2009). Se ha determinado que entre más pequeña sea la partícula de plásticos, mayor será su disponibilidad para los animales que se encuentran en la base de la cadena alimentaria (Kühn *et al.*, 2015), logrando incorporarse a niveles más altos de la red trófica (Villamar-Lucas, 2022).

Las PAs son un problema ambiental mundial en donde el principal efecto negativo que sufre la fauna marina se debe a la ingestión, que se suma al riesgo de la sobrepesca, al cambio climático y otras formas de perturbación antropogénica (Campoy & Beiras, 2019). La ingestión directa es la forma más común de integrar desechos marinos a las tramas tróficas, llegando a actuar como una presa (Cardozo *et al.*, 2018). Los diferentes tamaños de los plásticos en el ambiente marinos se asemejan a los alimentos que se consumen en varios niveles tróficos, un ejemplo son las bolsas que suelen ser confundidas con medusas de las que se alimentan las tortugas marinas (Seltenrich, 2015). Otro ejemplo lo encontramos en la liberación de las micropartículas primarias, que suelen ser confundidas con comida por el zooplancton (Frias *et al.*, 2014). Además del consumo directo de MPAs también se ha demostrado el potencial de consumo indirecto o secundario, a través de presas que han ingerido dichas micropartículas (Nelms *et al.*, 2018). Aunado a ello, es preocupante que las propiedades de las MPAs pueden facilitar la absorción de contaminantes orgánicos persistentes, que potencialmente pueden ser asimilados por organismos. Con ello han surgido diversas interrogantes sobre la retención de las MPAs por parte de los organismos marinos, entre ellas el de poder determinar si pueden ser excretados o acumulados con el tiempo, en el

intestino o incluso fuera del este, lo que permite su incorporación a los tejidos y destino dentro del cuerpo (Brennecke *et al.*, 2015).

La acumulación de algunos compuestos químicos en los tejidos de los organismos a lo largo de la cadena trófica se le conoce como biomagnificación, con una tendencia a tener concentraciones químicas elevadas en niveles tróficos más altos, ya que aumenta de la concentración a medida que persisten las exposiciones (Rochman *et al.*, 2015). Un ejemplo de ello son los estudios realizados por Crooks *et al.* (2019) y Farrell & Nelson (2013), los autores alimentaron mejillones *Mytilus edulis* con esferas microplásticas de poliestireno. Estos mejillones fueron alimento de los cangrejos *Carcinus maenas* y *Necora puber*, de esta manera se encontró una biotransferencia hacia la hemolinfa, estómago, hepatopáncreas, gónadas, branquias y cerebro de los cangrejos, así como un alto nivel de concentración de las MPAs. Posteriormente, Chua *et al.* (2014) demostraron que los compuestos difenilo polibromados derivados de las micropartículas se pueden asimilar en el tejido del anfípodo marino *Allorches compressa*.

Considerando todo lo anterior, es necesario ampliar los estudios dentro de las redes alimentarias sobre la BA y PAs. El grupo de los cefalópodos es pieza clave en la dinámica de algunas redes y ecosistemas marinos, debido a que son la principal presa de los pelágicos mayores, mamíferos marinos y aves (Galván-Magaña *et al.*, 2013); además algunos calamares explotan una gran diversidad de recursos tróficos (Coll *et al.*, 2013), permitiendo el flujo de energía de un nivel trófico a otro. Convirtiéndose en un vector en la transferencia de desechos antropogénicos (Provencher *et al.*, 2010), junto con la transmisión de metales pesados como el cadmio y el mercurio en las múltiples redes tróficas (Bustamante *et al.*, 2002; Penicaud *et al.*, 2017). También, dependiendo de su ontogenia actúan como presa o depredador, por lo que su rol ecológico es complejo (Alejo-Plata *et al.*, 2019). El calamar *Dosidicus gigas* y los pulpos del género *Argonauta* sp. son presas frecuentemente consumidas por especies pesqueras comercialmente valiosas, y contribuyen significativamente en los ecosistemas pelágicos transportando nutrientes y como vectores en la transferencia de las partículas antropogénicas entre aguas someras y profundas.

Uno de los principales depredadores de estos cefalópodos es el tiburón sedoso *Carcharhinus falciformis*, siendo grandes depredadores de estos en el Pacífico oriental (Galván-Magaña *et al.*, 2013). Esto se debe a sus hábitos biológicos como especie oceánica circuntropical y costero-pelágica, que vive a profundidades no mayores a los 200 m y en aguas de 23°C (Cabrera-Chávez-Costa *et al.*, 2010; Galván-Magaña *et al.*, 2013; Alejo-Plata *et al.*, 2014; Estupiñán-Montaño, 2016). Y al igual que en los cefalópodos, la contaminación marina se cataloga como una gran amenaza para ellos (Ripple *et al.*, 2019), pero a

diferencia de los primeros la interacción entre los desechos marinos y los tiburones ha sido más documentada (Cliff *et al.*, 2002; Vaske *et al.*, 2009; Jambeck *et al.*, 2015; Frank-Comas, 2015; Romeo *et al.*, 2015; Smith, 2018; Fernández & Anastasopoulou, 2019).

Debido a su comportamiento, algunos elasmobranquios tienen una alta incidencia en el consumo de plástico (Anastasopoulou *et al.*, 2013); una de las razones de mayor consumo es causa indirecta, mediante la depredación de presas más pequeñas que hayan consumido plástico previamente (Possato *et al.*, 2011). Por lo que la amenaza por contaminación acrecienta la vulnerabilidad de las poblaciones, que junto con la sobreexplotación y la biología característica de los elasmobranquios (e.g., lento crecimiento, baja fecundidad, hábitos alimenticios, tamaño corporal y rasgos reproductivos) ponen en riesgo al tiburón sedoso, que actualmente se le categoriza como vulnerable por parte de la Lista Roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (Rigby *et al.*, 2021).

En este estudio los cefalópodos y tiburones se presentan como depredadores activos, ante la necesidad de profundizar en el papel que juegan los primeros con las PAs dentro de la cadena alimentaria, por lo que en el presente trabajo examinó las partículas antropogénicas presente en los principales ítems alimentarios de *Carcharhinus falciformis*.

2. ANTECEDENTES

Desde el siglo XX, en la década de los 90 se comenzó a estudiar la dinámica de la BA y las PAs en los diferentes niveles tróficos y su papel en las cadenas alimenticias. Diferentes estudios abarcan desde la bioacumulación (tejidos, órganos y músculos), hasta la transferencia depredador-presa.

Las primeras investigaciones fueron realizadas en mamíferos marinos, específicamente en lobos marinos *Phocarcos hookeri* y *Arctocephalus* sp. (McMahon *et al.*, 1999; Eriksson & Burton, 2003), el cachalote pigmeo *Kogia breviceps* (Brentano & Petry, 2020). Otro grupo importante en este tipo de estudios han sido las aves marinas debido a su amplia interacción con los desechos antropogénicos, ya sea para la construcción de sus nidos o por ingestión y/o lesiones externas (Blight & Burger, 1997; Terepocki *et al.*, 2017; Battisti *et al.*, 2019). También se han llevado a cabo diversas investigaciones en invertebrados marinos, donde se ha comprobado la transferencia de microplásticos (Setälä *et al.*, 2014; Renzi *et al.*, 2018; Macali *et al.*, 2018).

En el caso de estudio del grupo de los peces, los peces óseos (Actinopterygii) han sido mayormente estudiados (Cardozo *et al.*, 2018; Chagnon *et al.*, 2018; Cedervall *et al.*, 2012; Collard *et al.*, 2018; Zhang *et al.*, 2019). Por su parte, en el grupo de los peces cartilagosos, los elasmobranquios (Elasmobranchii), especialmente para los tiburones, la interacción con los desechos antropogénicos se ha reportado a nivel mundial (Germanov *et al.*, 2019), detectando la presencia de plásticos en los tractos digestivos de las especies *Galeus melastomus* y *Etmopterus spinax* en la mar Mediterráneo, de los cuales en el 17.12% de los organismos tenían micropartículas (Frank-Comas, 2015). En la especie *Scyliorhinus canicula* se reportó la ingestión de macro y microplásticos (Smith, 2018). Parton *et al.* (2020) registraron en *Scyliorhinus canicular*, *S. stellaris*, *Squalus acanthias* y *Mustelus asterias* rastro de MPAs, en donde el 67% de los estómagos contenían al menos una partícula contaminante, y se estimó que la carga de partículas aumentó con el tamaño corporal pero no varió sistemáticamente con el sexo o la especie.

Los estudios realizados en el mar Mediterráneo sobre la familia Carcharhinidae dan a conocer los primeros registros sobre la ingestión plástica en tiburones azules (*Prionace glauca*), encontrando que las láminas de polietileno es el plástico más común (Bernardinia *et al.*, 2018). Actualmente en el océano Pacífico se reportó la ingesta de desechos en *P. glauca*, al sur del mar peruano, se encontraron trozos de bolsas de plástico en el contenido del estómago del 2.2% de los individuos, el tipo de polímero identificado

fue polietileno (Fernández & Anastasopouloub, 2019). Romeo *et al.* (2015) señala que es poco común encontrar este tipo partículas en especies oceánicas. Sin embargo, en los registros fortuitos del material antropogénico encontrado en los tiburones azules son bolsas de plástico, cartón, caja de cebo, madera, alambre, cordel y anzuelos de pesca (Vaske *et al.*, 2009). En KwaZulu-Natal, Sudáfrica, un total de 73 artículos de plástico fueron cuantificados en estómagos de 10 especies de tiburones, encontrando que el tiburón tigre *Galeocerdo cuvier* presentó la mayor frecuencia de basura (Cliff *et al.*, 2002). En el Golfo de California (GC), México, se ha realizado un análisis ecotoxicológico en ejemplares del tiburón ballena, *Rhincodon typus*, y han encontrado compuestos organoclorados (PCB, DDT), aditivos plásticos de difenilo polibromados y respuestas de biomarcadores conexas (CYP1A), reconociendo a los DDT por ser disruptores endocrinos lo que pueden tener afectaciones de salud (Fossi *et al.*, 2017). Estas observaciones sugieren que el análisis gastrointestinal de los elasmobranquios comúnmente desembarcados es útil para comprender mejor la biología de los organismos y las interacciones que tienen con los hábitats afectados por la contaminación antropogénica.

El grupo de los cefalópodos cuenta con muy pocos trabajos en relación a las PAs, uno de ellos ha sido en las sepias, Oliveira *et al.* (2020) registraron presencia de MPAs (fibras, fragmentos y pellets) en el sistema digestivo (tracto digestivo y glándula digestiva) de *Sepia officinalis* cultivadas y silvestres, la mayor concentración de fibras se halló en las glándulas de los organismos silvestres.

Sobre los estudios en calamares, principalmente los comercializados, una investigación en especies para consumo humano en la India mostró que el calamar *Uroteuthis (Photololigo) duvaucelii* contenía una gran concentración de microplásticos, 10 y 20 microplásticos/ Kg de tejido comestible (Damaris *et al.*, 2021). Al estudio anterior se suman los registros en el calamar *Dosidicus gigas* de los últimos años, en un varamiento en costas canadienses, se descubrió en su estómago líneas de pesca, agujas de abeto, rocas y arena, así como gránulos de plástico presentes en seis de los 17 estómagos analizados. Los autores mencionan que la presencia de gránulos de plástico probablemente resultó de una depredación secundaria debido a su pequeño tamaño y flotabilidad negativa (Braid *et al.*, 2012). En Perú, Rosas-Luis (2016), analizó el contenido estomacal del *D. gigas*, logrando identificar materiales utilizados en redes de pesca en el 12% de los estómagos. En un estudio más reciente Gong *et al.* (2021) reportaron presencia de MPAs en las gónadas, intestino y estómago de *D. gigas*. La mayor abundancia de MPAs se presentó en el estómago, la mayoría con forma fibrosa color azul y negro grisáceo composición celofán,

además los autores sugieren que por medio de las branquias los calamares pelágicos pueden acumular microplástico.

La interacción ecológica de los cefalópodos como presas y las PAs ha sido reportada por Alejo-Plata *et al.* (2019), donde al estudiar a los pulpos de la especie *Argonauta nouryi* se encontró que estos tienen un papel importante en la transferencia de fibras sintéticas hacia depredadores pelágicos como el pez vela, barrilete negro y el dorado, distribuidos en el Pacífico sur de México.

Destaca la relación trófica con el tiburón sedoso por la preferencia de los cefalópodos, la cual ha sido ampliamente documentada tanto en el Golfo de California (GOC) como en el Golfo de Tehuantepec (GOT), en donde el 79% de su dieta la componen el calamar gigante *Dosidicus gigas*, *Argonauta lesueurii* y *A. cornutus* (Cabrera-Chávez-Costa *et al.*, 2010; Galván-Magaña *et al.*, 2013; Alejo-Plata *et al.*, 2014).

Finalmente, Barreto *et al.* (2019) recomienda estudios focales para cuantificar el impacto real de residuos antropogénicos en depredadores pelágicos. Asimismo, las PAs presentes en ambientes marinos son omnipresentes y con largo tiempo de permanencia, lo cual aumenta la tendencia a ser ingeridos por fauna marina y con ello su transferencia a niveles superiores de la cadena alimenticia (Ryan, 2009). Por ello, es imperativo que se tomen medidas severas, ya que incluso si la producción y eliminación de las PAs se detuviera, continuaría el daño en la vida marina durante muchas décadas (Derraik, 2002).

3. JUSTIFICACIÓN

Los hábitos alimentarios puede ser un factor relevante en la ingestión de basura y partículas antropogénicas, por lo que un análisis del contenido estomacal en tiburones y cefalópodos permitirá acceder a información relativa a la ecología trófica, además es un medio disponible para entender el papel y la dinámica de estos desechos en la cadena trófica.

4. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿*Carcharhinus falciformis* ingiere Basura Antropogénica y Partículas antropogénicas a través de los cefalópodos que consume?

5. HIPÓTESIS

Los cefalópodos son vectores en la transferencia de Basura Antropogénica y Partículas Antropogénicas de *Carcharhinus falciformis*

6. OBJETIVO

6.1. General

Examinar las partículas antropogénicas presentes en los cefalópodos consumidos por *Carcharhinus falciformis*, capturado en la pesca artesanal en la costa central de Oaxaca, mediante un análisis cuantitativo de los propios componentes alimentarios de los cefalópodos.

6.2. Particulares

- Analizar las preferencias alimentarias de *Carcharhinus falciformis* en relación con la Basura Antropogénica acompañantes en el contenido estomacal.
- Identificar a grandes grupos que componen la dieta de los cefalópodos consumidos por *C. falciformis*
- Describir y cuantificar el tipo de Partículas Antropogénicas presentes en el contenido estomacal de los cefalópodos.
- Establecer la importancia de las presas que transfieren Partículas Antropogénicas en la cadena trófica marina.

7. ÁREA DE ESTUDIO

La zona de estudio comprende la costa sur del Pacífico Oriental Tropical (POT), al norte del Golfo de Tehuantepec (GT) (Fig. 1). La región del GT presenta una variabilidad estacional que se distingue por la temporada de seca (octubre-noviembre a abril-mayo), la de lluvias (mayo-junio a octubre) y la de nortes (octubre-marzo). En esta última los vientos del norte se producen durante la temporada de seca produciendo los llamados “Tehuanos” (Tapia-García, 2007; Lara-Lara *et al.*, 2008). Dichos vientos hacen que el GT se reconozca como una de las tres zonas del POT con altos niveles de producción primaria, debido a que se crea una zona de divergencia hacia el este de la zona de vientos creando mezcla vertical y surgencia costeras (Lara-Lara, 2008). Esta divergencia lleva nutrientes hacia la superficie, aumentando la producción primaria (Ortega-García *et al.*, 2000), favoreciendo una elevada producción pesquera (Martínez-Muñoz, 2012).

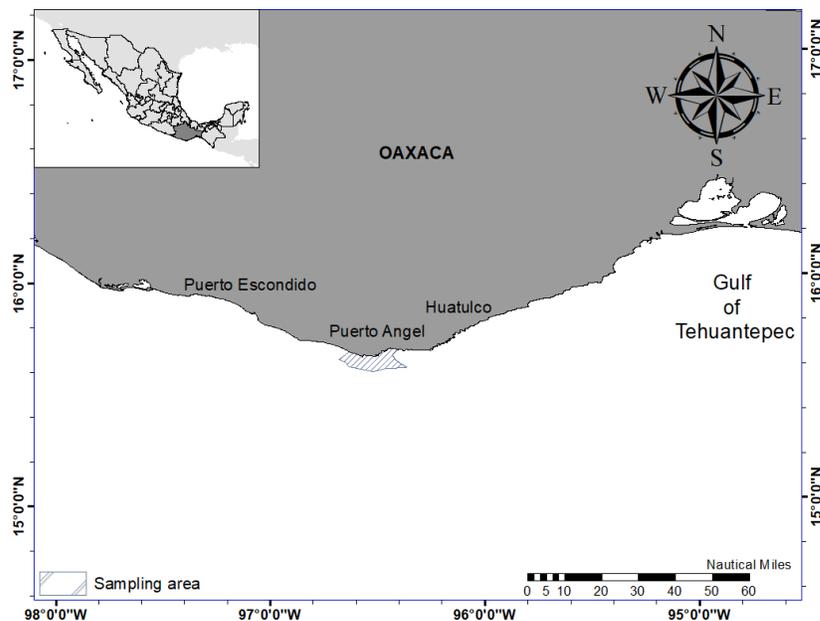


Figura 1. Área del área de pesca y los puntos de desembarque, en la costa central de Oaxaca, México.

Elaboro: Hugo Itzin Guzmán.

8. MATERIAL Y MÉTODO

8.1. Trabajo de campo

Las muestras de *Carcharhinus falciformis* fueron proporcionadas por el proyecto Calamar de la Universidad del Mar (poner número de proyecto). Durante los meses de noviembre y diciembre del 2018 se monitorearon semanalmente las capturas de la pesca artesanal de tiburón, en los lugares de desembarque de San Agustín y Mazunte, Oaxaca. La captura se realiza con palangre (cimbras) y redes de enmalle, la pesca se realizó en aguas a más de 50 km de la costa. En cuanto a los organismos capturados, el equipo del proyecto obtuvo los siguientes datos:

- Longitud total (LT, cm). Se colocó a cada organismo de costado y se midió con una cinta métrica graduada en centímetros desde la punta del hocico hasta la punta terminal de la aleta caudal, colocando la cola en posición natural.
- Sexo. Los machos se diferenciaron de las hembras por la presencia de mixopterigios (órganos copuladores).

8.2. Trabajo de laboratorio

8.2.1. *Carcharhinus falciformis*

La información del contenido estomacal del tiburón sedoso se obtuvo de la base de datos creada por el proyecto Calamar, donde el contenido estomacal se separó en grandes grupos, para identificar cada componente hasta el nivel taxonómico más bajo posible, a su vez se realizó un registro de la Basura Antropogénica en el contenido estomacal.

8.2.2. Cefalópodos

A los cefalópodos preservados de manera completa se les tomaron los siguientes datos:

- En los pulpos se les tomó la longitud dorsal del manto (LDM, mm) y la longitud ventral del manto (LVM mm), en los calamares solo se midió la LDM. Algunos ejemplares de argonautas se identificaron hasta el nivel de especie gracias al número de branquias contadas.

Todos los cefalópodos se pesaron (g) con una balanza OHAUS-HH320, con capacidad máxima 320 g y lectura mínima 0.1 g.

8.2.3. Identificación de presas.

En la primera fase siguiendo las recomendaciones de Li *et al.* (2018), el estómago se lavó con una jeringa con aproximadamente 25 ml de agua destilada. El líquido resultante se pasó a través de un disco de malla de 60 μm ; el disco de malla se colocó en una caja de Petri, para su posterior observación en un microscopio estereoscópico. Seguido de una separación e identificación de grandes grupos de presas (crustáceos, peces y moluscos).

8.2.4. Identificación de las Partículas Antropogénicas

En la extracción de las PAs, se siguió de acuerdo con el protocolo de Alomar & Deudero (2017), que consiste en utilizar guantes de nitrilo y batas de algodón durante el trabajo para minimizar la contaminación en el laboratorio. Todas las superficies de trabajo fueron limpiadas con etanol al 70% antes de la disección estomacal. Todos los líquidos utilizados para el análisis pasaron a través de una membrana de 0.7 μm . Los recipientes y herramientas se enjuagaron tres veces con agua destilada y cubiertos con papel aluminio antes y después de su uso. El área del estereomicroscopio fue limpiada antes del análisis de las muestras.

Se realizó un espacio en blanco de procedimiento simultáneamente durante la extracción e inspección de fibras para evaluar la contaminación de partículas en el aire (Alomar *et al.*, 2016), en caso de la contaminación por aire de los espacios en blanco procesales, la misma tipología de fibras, según la forma, el color y el tamaño, se eliminaron de los resultados.

Todas las muestras del tejido fueron secadas a una temperatura de 60°C durante un periodo no mayor a 24 h, dependiendo el tamaño de la muestra. Se midió el peso en seco para calcular el volumen requerido de KOH al 10%, por cada gramo en seco se agregó 20 ml de KOH. Posteriormente las muestras guardadas en tubos de ensayos tapados con aluminio se colocaron en un baño maría por una serie de tiempo de 24, 48 y 72 h a temperatura de 60°C. A una muestra se le agregó ácido clorhídrico (HCl) de acuerdo con el protocolo de Dehaut *et al.* (2016). La solución de digestión se enfrió y se filtró utilizando una bomba manual, a través de filtros de fibra de vidrio (1.6 μm de diámetro del poro, Whatman Inc.), y todos los filtros se colocan en cajas petri esterilizadas para consecutivamente terminar de secar los filtros a 50°C en un horno. El material retenido se inspeccionó visualmente y se observó en un esteremicroscopio Zeen, Stereo Discovery V8.450. Para posteriormente ser clasificado como fragmentos, espumas, películas, fibras y haces de fibras. El tamaño de > 0.5 mm fueron identificados a través de los siguientes criterios (Hidalgo-Ruz *et al.*, 2012): 1) no son visibles estructuras celulares u orgánicas; 2) las fibras deben de ser

igualmente gruesas a lo largo de toda su longitud; 3) las fibras no están segmentadas ni aparecen como cintas planas retorcidas; 4) el color las partículas son claras y de color homogéneo; 5) si son transparentes o blanquecinas deben ser examinado con especial cuidado bajo un alto aumento; 6) las partículas no deben brillar y 7) las fibras son flexibles. Se tomaron fotografías de cada partícula antropogénica y todas las fibras se conservaron para posibles futuros estudios sobre la identificación de polímeros mediante la técnica de espectroscopia infrarroja de transformación de Fourier.

8.3. Trabajo de gabinete

Los métodos porcentuales como el Método Numérico (% N) y el Método de Frecuencia de aparición (% Fa) (Ibáñez *et al.*, 2021).

Método Numérico (% N): se obtuvo el porcentaje de individuos de una determinada presa con respecto al total de presas (Ferry & Cailliet, 1996):

$$\%N = n/NT*100$$

donde:

n= número total de ejemplares de una categoría de presa.

NT= número total de presas de todas las categorías de presa.

Método de Frecuencia de aparición (%Fa): con este método se contabilizó la frecuencia de cada tipo de presa del contenido estomacal (Ferry & Cailliet, 1996). El resultado se expresó como el porcentaje del valor anterior con respecto al número total de estómagos con alimento:

$$\%Fa = ne/NE * 100$$

donde:

ne = número de estómagos que presentaron una determinada categoría de presa.

NE = número total de estómagos con alimento.

Por otro lado, se aplicó el Índice de Vacuidad (IVc), el cual muestra el porcentaje de estómagos vacíos con respecto al número total de estómagos analizados (Oksanen *et al.*, 2016).

$$IVc = Ev/Et*100$$

donde:

Ev = Número de estómagos vacíos

Et = Número de total de estómagos analizados

8.4. Análisis Estadístico

La normalidad de todos los datos se probó mediante la prueba de Shapiro-Wilks (Zar, 1999) y se corroboró con la técnica de varianza-media (Cervantes-Hernández, 2008). Para una mejor percepción de los datos y poder observar las preferencias alimentarias se implementó un Análisis de Multivariado de Correspondencia (AC). El AC se evaluó estadísticamente con la Inercia Total (IT= valor de *eigen* del componente principal 1+ valor de *eigen* del componente 1) (Hair *et al.*, 1995). Lo anterior se interpretó de la siguiente manera:

Con la IT

Se acepta H_0 , si $\chi^2_c < \chi^2_{0.05}$ ($P > 0.05$).

Se acepta H_a si $\chi^2_c > \chi^2_{0.05}$ ($P < 0.05$).

Con base en lo anterior se pueden presentar los siguientes casos.

Caso1. Si $IT \sim 0.00$ y se acepta H_0 . En el GP es dominante la aproximación entre la información cuantitativa de los ítems alimenticios entre machos, hembras y los meses noviembre, diciembre.

Caso 2. Si $IT \sim 0.00$ y se acepta H_a . En el GP es parcialmente dominante la aproximación entre la información cuantitativa de los ítems alimenticios entre machos, hembras y los meses noviembre, diciembre.

Caso3. Si $IT \sim 1.00$ ó > 1.00 y se acepta H_a . En el GP es dominante la separación entre la información cuantitativa de los ítems alimenticios entre machos, hembras y los meses noviembre, diciembre.

Debido a que los datos no presentan variación en los registros y el AC presentó una Inercia Total > 1 ; se tomó la decisión de implementar un modelo de clasificación de red neuronal para estandarizar a todas las medidas cuantitativas dentro de un intervalo de variación probabilística entre 0.00 y 1.00 (Cortés 2014). Con los resultados probabilísticos estimados se representaron las tendencias específicas de cada ítem alimenticio en relación con machos y hembras, y entre los meses de captura de noviembre y diciembre.

Estructuralmente, una medida cuantitativa se consideró más pequeña o grande cuando tenía menor o mayor frecuencia de aparición en machos o hembras. Se registró una tendencia descendente probabilística (desde 1,00 hasta 0,00). Se consideró el caso contrario cuando una medida registró una tendencia probabilística ascendente (desde 0,00 hasta 1,00). Durante el proceso de clasificación, el modelo neuronal se optimizó con el método de mínimos cuadrados. En todo el proceso se utilizó el software *Statistica 7.0*.

9. RESULTADOS

A pesar del limitado número de muestras, el análisis de este estudio logró establecer que presas se relacionan con la transferencia de BA y PAs en la cadena alimenticia de *Carcharhinus falciformis*. Así como clasificar e identificar las PAs que se encontraron dentro la dieta de los cefalópodos que mayor consume el tiburón sedoso.

9.1. *Carcharhinus falciformis*

Se analizó el registro de 93 estómagos de tiburón sedoso, de los cuales 48 presentaron contenido estomacal y 45 estaban vacíos. Del total de tiburones, 55 fueron hembras y 38 machos. El intervalo de talla en las hembras estuvo comprendido entre los 80-143 cm de LT, mientras que el intervalo de los machos fue de 90-143 cm LT. Respecto a la captura, en el mes de noviembre se pescaron más machos que hembras, a diferencia del mes de diciembre donde la mayor abundancia fue de hembras (Tabla1). Por otro lado, se identificaron cuatro grandes grupos de presas: cefalópodos, crustáceos, peces y tortugas, además se registró la presencia de BA. De manera general las clases de presas más ocurrentes en el tiburón sedoso fue Crustacea y Cephalopoda, los menos consumidos fueron Actinopterygii y Sauropsidae. La composición específica se muestra en la Tabla 2. Las hembras presentaron un mayor número de estómagos con cefalópodos, crustáceos y tortugas, mientras en los machos consumieron principalmente peces, así como una mayor presencia de BA. Las especies con mayor representación fueron los pulpos, seguido de los calamares y de los crustáceos.

Tabla 1. Datos biológicos del tiburón sedoso *Carharhinus. falciformis* capturado en noviembre y diciembre del 2018

	Noviembre	Diciembre	LT (cm) \bar{X}	Desv. Sta.	No. de estómago	No. de estómago llenos	No. de estómago vacíos	Índice de vacuidad (%)
Hembras	13	42	101.33	22.35	55	43	12	22
Machos	23	15	104.51	17.29	38	36	2	5

Tabla 2. Composición de la dieta de *Carcharhinus falciformis* a nivel de especies. Porcentaje de la Frecuencia Numérica (%N) y porcentaje de Frecuencia de aparición (% Fa).

Presas	N	% N	Fa	% Fa
Chordata				
Actinopterygii	8	1.8	4	8.3
<i>Diodon holocanthus</i>	1	0.2	1	2.1
Sauropsida				
<i>Lepidochelys olivacea</i>	1	0.2	1	2.1
Cephalopoda				
<i>Argonauta</i> sp.	125	28.5	12	25
<i>Dosidicus gigas</i>	105	23.9	5	10.4
<i>Onychoteuthis banksii</i> .	2	0.5	2	4.2
<i>Abraliopsis</i> spp.	1	0.2	1	2.1
Crustacea				
<i>Portunus xantusii</i>	196	44.6	22	45.8

9.1.1. Análisis Estadístico del Tiburón sedoso

En relación con la preferencia alimentaria fue importante conocer la LT de los organismos y los meses de captura por sexo, con el fin de comprender aspectos poblacionales que influyen en los hábitos alimenticios. Con el análisis del modelo neuronal se observó una probabilidad mayor de capturar hembras en el mes de diciembre con longitudes pequeñas, en la Figura 7 se observa esta tendencia que va en aumento con probabilidades de 1.0 a 0.70 de encontrar hembras de 50 cm hasta aproximadamente 100-120 cm de LT, a partir de ahí su tendencia es descendente a cero en longitudes grandes. Caso diferente los machos capturados, aquellos presentaron longitudes más grandes en el mes de noviembre. La probabilidad aumento hasta 0.65 de capturar machos midiendo 120 cm LT en adelante, mostrando una tendencia descendente a cero en longitudes pequeñas (Fig. 3).

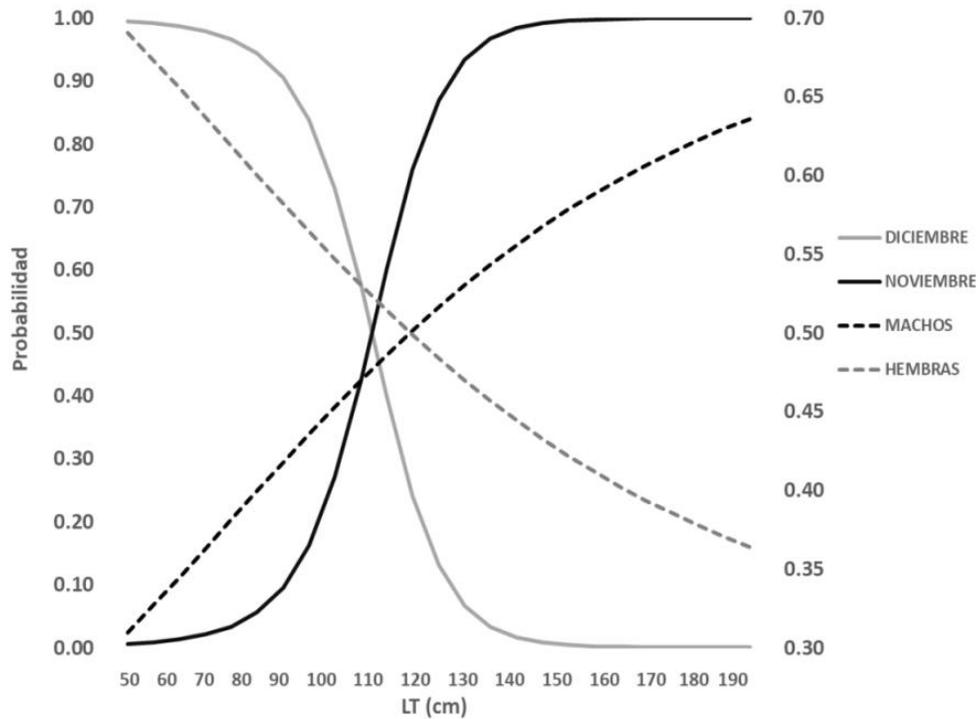


Figura 3. Tendencias de probabilidad estimadas de la LT presente en el contenido estomacal de machos y hembras de *Carcharhinus falciformis* por mes de captura.

La precisión entregada por la red neuronal en la cuantificación de las principales presas del tiburón sedoso muestra una mayor presencia en los contenidos de cefalópodos y BA con una tendencia ascendente de cero a 0.8 y 0.9 respectivamente, mientras que su consumo de crustáceos, peces y tortugas es descendente con probabilidades de 0.5 a 0, para el caso de los machos. Las hembras muestran una mayor probabilidad de consumir crustáceos, peces y tortugas con una tendencia ascendente de 0.9, 0.75 y 0.70 respectivamente, mientras que la tendencia de consumir cefalópodos y PA es descendente con una probabilidad de 0.5 a 0 de consumirlos (Fig. 4).

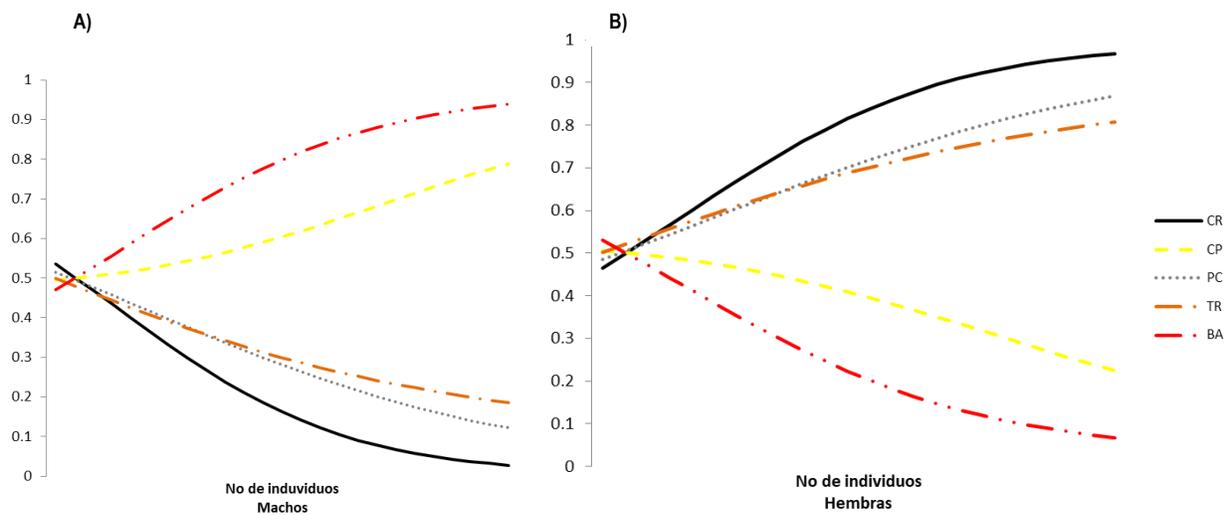


Figura 4. Tendencias probabilísticas estimadas para cada ítem presente en el contenido estomacal de *Carcharhinus falciformis*. Crustáceos CR, Cefalópodos CP, Peces PC, Tortugas TR y Basura Antropogénica PA. A) Machos y B) Hembras.

Con respecto a los meses de captura, en el mes de noviembre se observó una tendencia ascendente de encontrar BA en el contenido estomacal con una probabilidad de 0.90. La tendencia disminuye para los ítems alimentarios de crustáceos, cefalópodos, peces y tortugas, desde 0.60, 0.50 y 0.40 desciende hasta cero. En el mes de diciembre la tendencia ascendente es para los ítems alimentarios crustáceos, cefalópodos, peces y tortugas con probabilidades cercas de 1.0 y 0.80, mientras que la BA presenta una tendencia de probabilidad descendente desde 0.60 hasta cero (Fig. 5).

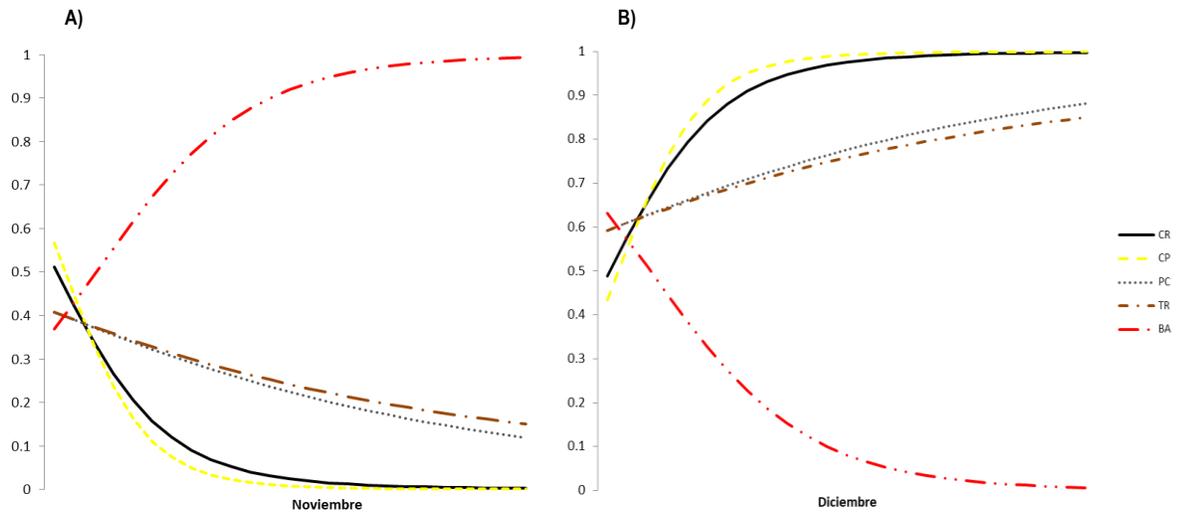


Figura 5. A) Noviembre y B) Diciembre. Tendencias de probabilidad estimadas para cada ítem alimentario presente en el contenido estomacal de *Carcharhinus falciformis* por mes de captura. Crustáceos CR, Cefalópodos CP, Peces PC, Tortugas TR y Basura Antropogénica BA.

Los resultados obtenidos de los modelos neuronales de clasificación se utilizaron para construir una segunda matriz de contingencia, con los promedios de las tendencias probabilísticas de machos y hembras junto con los de los meses de captura noviembre y diciembre, con el objetivo de implementar el AC. El análisis se representó con base en un gráfico perceptual (GP), en donde por aproximación espacial se identificaron los ítems alimenticios que prefieren machos y hembras; así como los que se encuentran disponibles en a los meses de captura noviembre y diciembre.

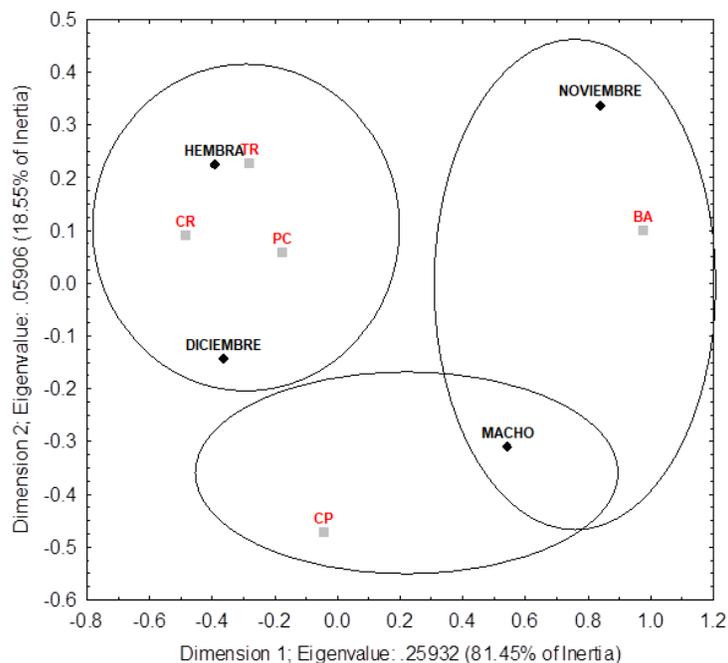


Figura 6. Gráfico Perceptual generado con las tendencias probabilísticas. La información de las medidas cuantitativas de los ítems alimenticios son los cuadros de color gris y letras rojas: Crustáceos (CR), Cefalópodos (CP), Peces (PC), Tortugas (TR), Basura Antropogénica (BA), las variables cualitativas Macho, Hembra y noviembre, diciembre, son los círculos en color negro y letras negras Dimension 1=CP1, *Eigen value* = eigen valor; Dimension 2= CP2. Las estadísticas del AC son [IT= 0.318 Chi²c = 3.177 < Chi² 0.05 = 21.02, df=12, P= 0.99 P > 0.05; se acepta Ho].

Con este análisis se muestra que las hembras consumen más crustáceos, peces y tortugas en el mes de diciembre, y los machos en el mes de noviembre consumen más cefalópodos, además de que hay mayor presencia de BA en los contenidos estomacales de noviembre (Fig. 6). El valor de Inercia Total tiene un valor de 0.318 debajo de 0.50, sin embargo, se indica un límite permisible, para poder establecer la correspondencia de los ítems alimentarios que, aunque no quedan algunos tan cercanos es plenamente confiable.

Con el objetivo de comprender la relación entre Cefalópodos – Basura Antropogénica se ejecutó una regresión simple red neuronal. Donde se observa una alta asociación entre la presencia de BA y el consumo de cefalópodos. El análisis de indico que existe una correlación entre el 70% de encontrar cefalópodos y el 100% de hallar BA en los contenidos estomacales con una predicción del 94% (Fig. 7).

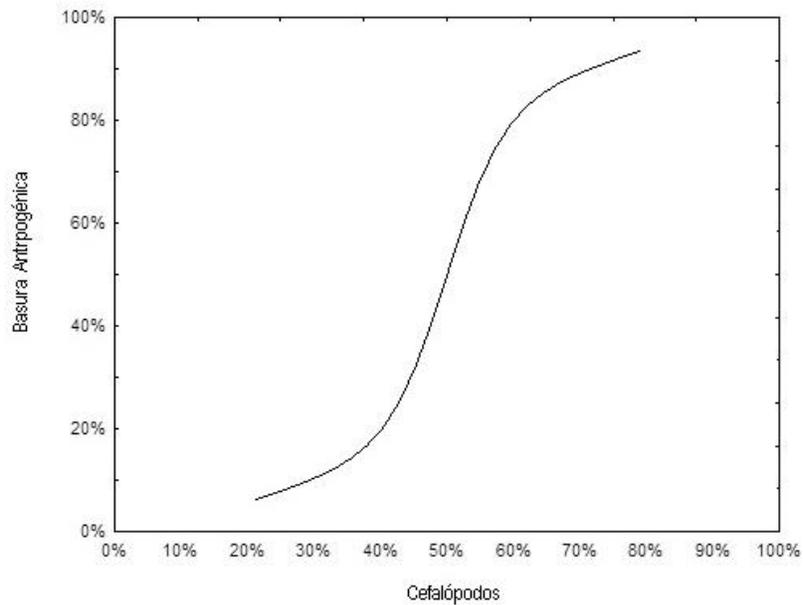


Figura 7. Regresión simple con ajuste logístico de la presencia de Partículas Antropogénicas (%) y Cefalópodos (%).

9.2. Cefalópodos

En cuanto a los cefalópodos se obtuvieron 105 calamares *Dosidicus gigas*, el intervalo de tallas fue de 16 a 53 cm de manto, 55 pulpos pelágicos de la familia Argonauta y en cuanto a los pulpos pelágicos de la familia Argonauta se obtuvieron 55 con tallas de 2 a 10 cm de manto. Se obtuvieron 105 aparatos digestivos de *D. gigas* y 53 de los *Argonauta* sp., solo 52 y nueve de ellos presentaban contenido respectivamente, el resto se encontraba vacío por lo que se utilizaron los 52 estómagos de calamar y 9 de pulpo restantes para el análisis de las PAs. El índice de vacuidad fue de 49.5% y 16.9%, respectivamente.

9.2.1. *Dosidicus gigas*

Con respecto a las presas preferidas de *D. gigas* por frecuencia de aparición son los peces con un porcentaje de 28% en los estómagos, seguido de los crustáceos con un 23% y moluscos con un 6% (Fig. 8). Cabe aclarar que en este último grupo se contabilizaron los restos de cefalópodos, como tentáculos y picos de calamar; el resto fueron moluscos gasterópodos. Con el registro de los picos se confirma el canibalismo que ejecuta este calamar.

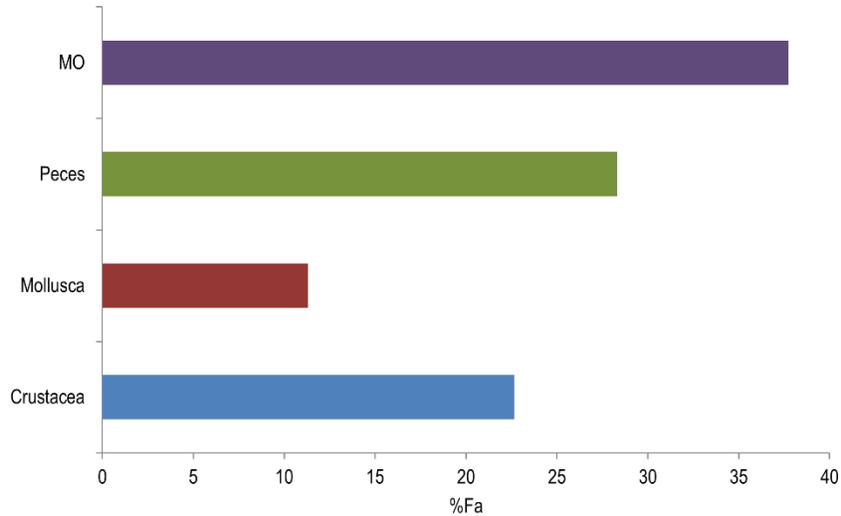


Figura 8. Índice de Frecuencia de aparición (%Fa) de los grandes grupos de presas en *Dosidicus gigas*.

9.2.2. Argonautas

En los hábitos alimenticios de los pulpos se encontraron una preferencia por crustáceos y moluscos. En la especie *Argonauta hians* los crustáceos fueron los más abundantes (36% Fa), al igual que su predilección por los moluscos con un 18%. En el contenido estomacal de *Argonauta cornuta* las presas más abundantes fueron los moluscos con un 5% de Fa, al igual que en *Argonauta noury* con un 11% de aparición. Los peces como presas, aunque no fueron principales, sí estuvieron presentes dentro de los contenidos (Fig. 9).

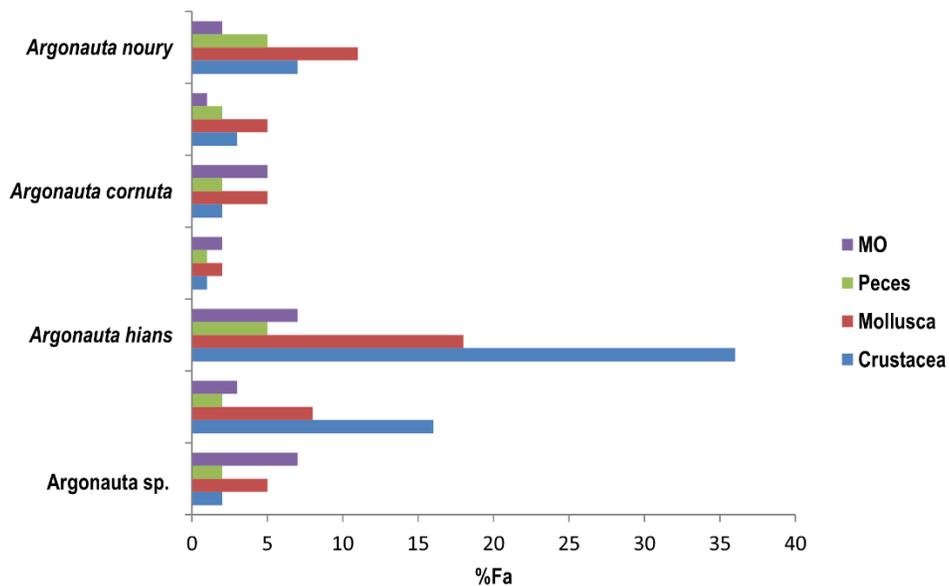


Figura 9. Índice de frecuencia de aparición %Fa de los grandes grupos de presas en el aparato digestivo o parte de él, de *Argonauta sp.*, *A. hians*, *A. cornuta* y *A. noury*.

9.3. Análisis Estadístico de los Cefalópodos

La cuantificación de las principales presas analizadas por red neuronal mostró que el calamar gigante tiene una tendencia de consumir más peces con probabilidades de 0.30 hasta 0.60, junto con el aumento de la presencia de PAs con probabilidades desde 0.48 hasta 0.80 (Fig. 10A). Mientras que las preferencias alimenticias de los Argonautas se ven reflejadas con una tendencia ascendente en consumir crustáceos con una probabilidad 0.50 a 0.60 (Fig. 10B).

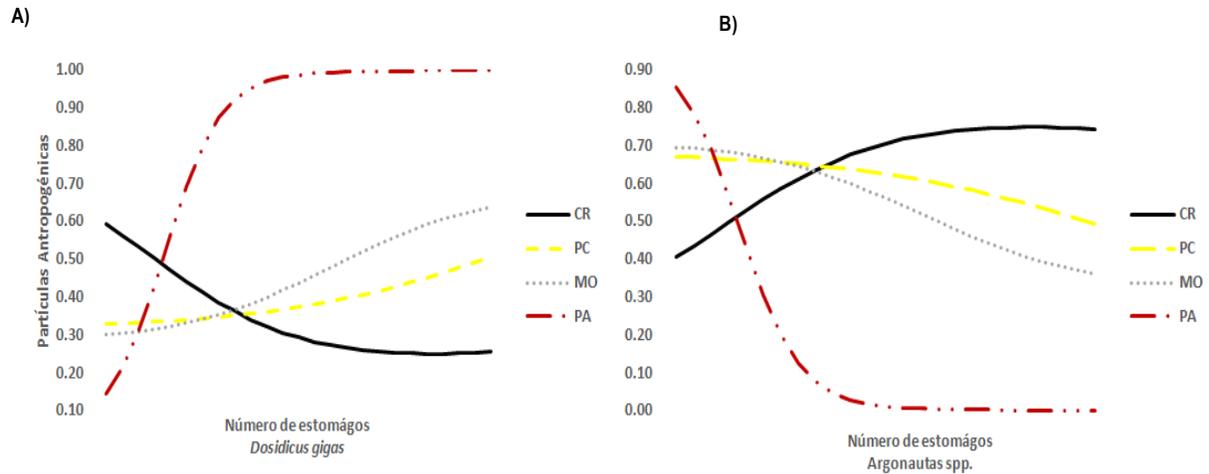


Figura 10. Tendencias de probabilidad estimadas para cada ítem alimentario presente en el contenido estomacal de **A)** *D. gigas* y **B)** *Argonauta sp.*, Crustáceos (CR), Cefalópodos (CP), Peces (PC), Moluscos (MO) y Partículas Antropogénica (PAs).

9.4. Partículas Antropogénicas

El grupo de los cefalópodos presentó mayor PAs con la forma de fragmentos de color hialino (50 % Fa), en segundo lugar, las fibras de color verde con el 15%, y en menor abundancia las fibras de color azul con un 15 % de frecuencia de ser encontrada (Tabla 3). Las fibras con menos abundancia fueron la de colores negros y blancos con un 4% y 6% de Fa respectivamente. La forma de microesfera fue la menos abundante, registrando mayor presencia en color hialino.

Individualmente los argonautas presentaron mayor frecuencia de PAs de color hialino (67%), seguido del color azul (9%) y con menor aparición los colores negros, verde y blancos (8%). Los calamares también presentaron una gran abundancia de PAs de color hialino (58%), pero a diferencia de los pulpos el otro color más frecuente fue el verde-turquesa (32%), seguido de los azules, blancos, rojos y negros.

Tabla 3. Forma, color e Índice de %Fa de las Partículas Antropogénicas (PA) más abundantes, presentes en el contenido estomacal *D. gigas*.

Forma	Color	N	Fa	%Fa
Fibras	Azul	9	8	9
	Verde	22	15	18
	Negro	6	4	5
	Blanca	6	6	7
Fragmentos	Azul	1	1	1
	Verde	1	1	1
	Transparente	71	35	41
	Naranja	1	1	1
	Rojo	2	2	2
Pellets	Transparente	16	12	14

Tabla 4. Forma, color e Índice de %Fa de las Partículas Antropogénicas (PA) más abundantes, presentes en el contenido estomacal las especies del género *Argonauta* sp.

Forma	Color	N	Fa	%Fa
Fibras	Azul	1	1	7
	Rojo	2	2	13
	Verde	1	1	7
	Negro	1	1	7
	Blanca	1	1	7
Fragmeto	Amarillo	1	1	7
	Transparente	5	6	40
Pellets	Transparente	4	2	13

El tamaño de las PAs, junto con el color y la forma, es una característica importante para conocer un poco más de la dinámica de las PAs. De manera general, como se muestra en la Figura 11 con el histograma de frecuencia y los datos ordenados en cuatro intervalos de medidas, en el grupo de los cefalópodos los tamaños de las PAs más abundantes encontrados fueron medidas pequeñas desde 0.01 hasta 0.54 mm y los tamaños de las partículas menos abundantes fueron de 2.6 a 3.7 mm.

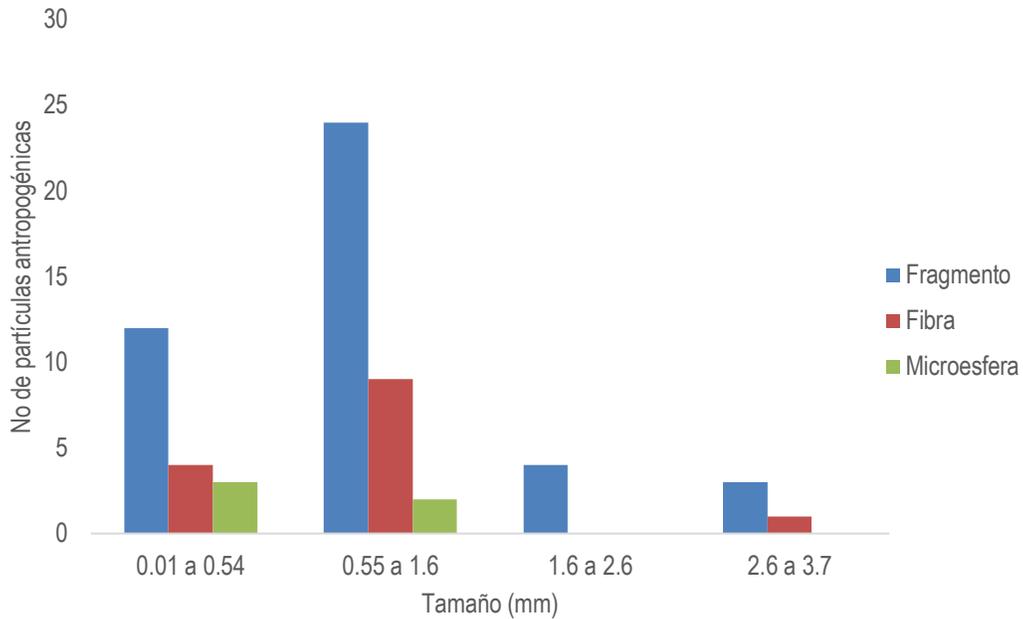


Figura 11. Frecuencia del tamaño (mm) de las micropartículas dentro de *Dosidicus gigas* y las especies del género *Argonauta* sp.

10. DISCUSIÓN

10.1. Tiburón sedoso

Los hábitos alimenticios de los peces depredadores son complejos y están influidos por varios factores a lo largo de su historia de vida, como la distribución, los cambios estacionales y la ontogenia. Así como por las presas, la disponibilidad, la abundancia, el tamaño de las presas y el contenido energético que estas tengan (Cabrera-Chávez-Costa *et al.*, 2010).

En este estudio los ejemplares de tiburón sedoso capturados en la zona fueron en su mayoría hembras con longitudes < 140 cm LT. Esta talla es considerada de organismos inmaduros y ha sido frecuentemente reportado en la costa de Oaxaca (Alejo-Plata *et al.*, 2016). Cabrera-Chávez-Costa *et al.* (2010) han sugerido que las hembras adultas están separadas de los machos (juveniles y adultos), así como de las hembras juveniles por medio de segregación espacial. Las primeras se encuentran en el área oceánica, mientras que las hembras juveniles están más cercanas a la costa, dicha presencia se ve relacionada con su distribución estacional. Algunas especies de tiburones, como el caso del tiburón sedoso, suelen migrar hacia zonas tropicales durante la época de invierno, mientras que para la época otoñal se ha registrado su presencia en regiones más norteñas (Cabrera-Chávez-Costa *et al.*, 2010). Este comportamiento de migración afecta y se refleja en la alimentación.

Los resultados de este estudio demuestran estos cambios estacionales al mostrar que la abundancia de las hembras en diciembre corresponde al consumo de crustáceos, peces y tortugas, mientras que la abundancia de tiburones machos maduros, en noviembre se relaciona con el consumo de cefalópodos. Las presas que resaltaron en su composición fueron los cefalópodos *Dosidicus gigas*, *Argonauta hians*, *A. noury* y *A. cornuta*. El crustáceo con mayor frecuencia de aparición fue *Achelous xantusii*, mientras que los cordados fueron representados por el pez *Diodon holocanthus* y la tortuga *Lepidochelys olivacea*. Todas las presas mencionadas son comúnmente reportadas en el contenido estomacal de los tiburones a lo largo del Pacífico mexicano, especialmente en las costas de Baja California, Mazatlán y el Golfo de Tehuantepec (Cabrera-Chávez-Costa *et al.*, 2010; Markaida & Sosa-Nishizaki, 2010; Galván-Magaña *et al.*, 2013).

La relación con las afinidades y necesidades energéticas durante las etapas de desarrollo del tiburón es un factor notable en sus hábitos alimenticios, a lo que se le conoce variación ontogenética. Conforme va creciendo va cambiando su dieta, como sucede en la mayoría de los organismos. Lowe *et al.* (1996) mencionan que el tamaño de las especies les permite acceder a diferentes hábitats y presas de mayor tamaño; además agrega que los tiburones de estadios diferentes de desarrollo suelen presentar una segregación geográfica por tallas y sexos. En este análisis el mayor número de argonautas coincide con lo reportado por Alejo-Plata *et al.* (2014), quienes encontraron una predominancia de argonautas en estómagos de neonatos y juveniles. Conforme un tiburón aumenta su talla, también aumenta la eficiencia para capturar a su presa, ya que poseen sus sentidos totalmente desarrollados y son capaces de capturar presas grandes y rápidas; en cambio, los tiburones pequeños tienden a alimentarse de presas que no son tan rápidas o que no presenten un alto contenido de energía, el cual suplen comiendo las presas a las que tengan acceso y que a su vez sean de captura relativamente fácil.

El consumo de una determinada presa se ve influenciado por la disponibilidad de ésta, lo cual es relevante, ya que cuando está presente los tiburones tienden a ser selectivos. Sin embargo, cuando no hay presas predilectas, los tiburones consumen aquellas presas disponibles (Wetherbee *et al.*, 1990). Esta disponibilidad posiblemente se deba a la biogeografía, así como comportamientos ecológicos de las mismas presas, y se ha corroborado en las presas del tiburón sedoso. Así, en la zona norte del país, específicamente en Baja California Sur, en el contenido estomacal del tiburón, las presas más comunes aparte de *D. gigas* y argonautas, son el pez dorado *Coryphaena equiselis*, la langostilla *Pleuoncodes planipes* y la macarela *Scomber japonicus* (Cabrera-Chávez-Costa *et al.*, 2010). Mientras que, en la costa sur de Jalisco, Barajas-Calderón (2018) registró como presas principales a la sardina crinuda *Opisthonema* sp., el cangrejo nadador *Portunus xantusii affinis* y el calamar *Ancitrocheirus lesueurii*.

Aunado a la disponibilidad, la abundancia es otro factor clave. Cabrera-Chávez-Costa *et al.* (2010) reportaron que el tiburón sedoso tiende a cazar especies que forman cardúmenes, y la abundancia de argonautas en este estudio es un claro ejemplo de ello, ya que tienen a formar grandes congregaciones (Finn, 2013). Galván-Magaña *et al.* (1989) mencionan que esta adecuación les permite aprovechar la agregación, maximizando la actividad de la captura y el consumo de energía, debido a la mayor disponibilidad y abundancia de este tipo de presas. Mientras que el tamaño de la presa corresponde a la necesidad de contenido energético de la depredación. La composición del cuerpo influye en el contenido

energético que aportan las presas, en el caso de los crustáceos la composición de su exoesqueleto como son los fosfatos y los carbonatos de calcio aportan un bajo índice calórico, mientras que los peces y los calamares como el *D. gigas* aportan mayor contenido energético por sus tejidos musculares, proporcionando mayor alimento y formación de masa muscular. Además, las presas con bajo aporte calórico son más rápidas de desechar que las de mayor aporte (Cabrera-Chávez-Costa *et al.*, 2010). En el caso de los argonautas, la cantidad de agua en el tejido permite que el depredador los digiera rápidamente, por lo que su energía ayuda a mantener el metabolismo activo (Briones, 2017).

El método de pesca es un factor determinante y que explica el elevado número de estómagos vacíos, Cortés (1997) menciona que el palangre atrae a los tiburones con el estómago vacío. Por tal motivo, este autor recomienda las redes de enmalle para determinar la dieta del tiburón sedoso adecuadamente. Se recomienda que en futuros estudios se puedan emplear métodos de captura que consideren redes de enmalle a diferentes profundidades y distancias a la costa, para tener una mejor representatividad de las poblaciones bajo estudio.

10.2. Cefalópodos

El análisis de los contenidos estomacales demostró que los cefalópodos tienen preferencia por los peces y otros moluscos. Respecto a *D. gigas* se encontró en sus ítems alimenticios abundancia de espinas, escamas y vertebras, ligeramente mayor a la de estatolitos, ganchos y picos de calamares, o pinzas de crustáceos. Dentro de algunos mantos del calamar estudiados se encontraron las especies *Symphurus leei*, *Decapterus macrosoma*, *Prionotus c.f. horrens* y *Zalieutes elater*, lo que indica su preferencia por peces pelágicos y demersales. A la vez, el cefalópodo identificado dentro del contenido fue el calamar *Onychoteuthis banksii* y restos de congéneres, comprobando el canibalismo. La ecología trófica del calamar gigante ha sido plenamente estudiada en el Pacífico, principalmente en el Golfo de California, así como en la zona de la corriente Humboldt desde Perú hasta Chile, donde se han registrado componentes alimentarios parecidos, peces, cefalópodos y crustáceos abundan en su dieta. Sin embargo, existe poca información de este omastéfido en el Golfo de Tehuantepec. Todas las presas mencionadas se encuentran distribuidas en todo el Pacífico mexicano.

El calamar gigante es una de las especies más estudiadas, en el norte y sur del POT, se sabe que tiene un rol como depredador, y su grado de depredación varía en relación con la talla, madurez,

distribución espacio - temporal y ritmo circadiano (Ibarra-García *et al.*, 2014) y al igual que el tiburón sedoso sus hábitos alimenticios cambian conforme a su ontogenia. En Baja California, Camarillo-Coop *et al.* (2013), mencionan que las paralarvas de *D. gigas* consumen microorganismos como flagelados, dinoflagelados, ciliados y larvas de crustáceos o zooplancton, mientras que los juveniles registraron una preferencia en abundancia de crustáceos y cefalópodos en comparación con los peces, anfípodos y copépodos. Sin embargo, los autores explican que los juveniles atraviesan diferentes grupos del espectro trófico y comienzan a incorporar diferentes tipos de presas, como mictófidos y anchoas. Este comportamiento puede explicar la tendencia de peces en este estudio. Pero hay que tomar en cuenta otro factor para la variabilidad de la dieta como lo analiza Portner *et al.* (2019), al considerar las condiciones oceanográficas como la temperatura de la superficie del mar y la concentración de clorofila-a, su estudio se realizó durante eventos del Niño y demostró que el calamar necesita condiciones productivas relativamente frías, las cuales se asociaron con la depredación de anchoas, y relativamente cálidas (mictófidos) para apoyar el crecimiento a grandes tamaños corporales antes de la maduración, mientras que prevalecían condiciones cálidas e improductivas, solo estaban presentes calamares pequeños y tenían dietas dominadas por eufáusidos y pterópodos, presas con relativamente bajo valor calórico.

El registro del canibalismo en los juveniles es consistente con lo reportado por Markaida & Sosa-Nishizaki (2003), Alegre *et al.* (2014), Ibarra-García *et al.* (2014), en donde reportan el aumento de esta práctica se da conforme a su crecimiento. Además, el arte de pesca influye en gran medida en la conducta canibal de la especie (Ibarra-García *et al.*, 2014), ya que el calamar al ser de hábitos oportunistas (Amaratunga, 1983), aprovecha devorar a sus congéneres durante su captura.

Respecto a la distribución espacio - temporal y ciclo diario, se sabe que el calamar emprende extensas migraciones verticales de hasta 1,200 m para forrajear (Nigmatullin *et al.*, 2001; Markaida *et al.*, 2005; Gilly *et al.*, 2006). Bazzino (2008) menciona que durante el día las migraciones verticales reflejan un patrón muy claro (aguas profundas, frías e hipóxicas) y en la noche (aguas superficiales, más cálidas y bien oxigenadas), este comportamiento influye en una marcada flexibilidad en su dieta. Por ejemplo, el autor observó una preferencia por presas neríticas (langostilla, merluza y otras especies de peces), más abundantes en la región de la plataforma continental del océano Pacífico, a diferencia del GOC donde los peces mictófidos constituyen la presa principal. Tales migraciones impactan el flujo vertical de energía, proporcionando un transporte eficiente de energía desde la superficie hasta aguas más profundas

(Markaida *et al.*, 2005; Gilly *et al.*, 2006). Debido a su extensa distribución espacial y batimétrica, asociada a su acción depredadora sobre un amplio número de especies (Markaida & Sosa-Noshizaki, 2003), el calamar podría ejercer una presión ecológica significativa sobre otros componentes del ecosistema (Amaratunga, 1983).

Por otra parte, en la gama trófica de los argonautas se observó preferencia por crustáceos y moluscos, habiendo una diferencia en los hábitos alimenticios entre las especies. La mayor presencia de pinzas y exoesqueletos de crustáceos fue en *A. hians.*, mientras que en *A. cornuta* y *A. noury* se encontró mayor abundancia de conchas de moluscos. Pero en las tres especies hubo una menor cantidad de restos de vertebras o espinas de peces, mostrando que sus hábitos también dependen de su distribución en la columna de agua. En ellos no se tuvo evidencia de canibalismos.

Este estudio es el primero en reportar las preferencias alimentarias de las especies del género *Argonauta* en el Golfo de Tehuantepec. El Índice de %FA proporciono las predilecciones por crustáceos, seguido de moluscos holopláctónicos y con menos aparición peces. Estas preferencias posiblemente son por su hábitat epipelágico y tamaño. El contenido estomacal nos puede dar una idea de la distribución en la columna de las diferentes especies de Argonautas.

Observaciones en el oeste del Golfo de México hechas por Banas *et al.* (1982) sugieren una asociación entre las salpas (cordados herbívoros gelatinosos y planctónicos) y los *Argonautas* sp., en donde se apunta que dicha relación puede proporcionar una fuente de alimento (anfipodos comensales), flotación, transporte, y/o camuflaje a los octópodos. Por otro lado, estudios en cautiverio de *A. hians* han logrado registrar su alimentación con poliquetos bentónicos y pequeños peces, aunque los autores Sukhsangchan *et al.* (2008), aclaran que este comportamiento no se ha observado en la naturaleza, se demuestra que la preferencia por sus presas se debe a su comportamiento batimétrico en la columna de agua (nado, movimiento vertical, entre otros).

Nixon (1987) señala la importancia de la información valiosa que se obtiene a través de los análisis de los contenidos estomacales de los cefalópodos que permite identificar las estrategias de alimentación y las relaciones tróficas existentes en el medio.

10.3. Basura Antropogénica y Partículas Antropogénicas

Con este estudio se determina que los cefalópodos son presas principales en la transferencia de BA en la cadena trófica del tiburón sedoso, y posiblemente de diferentes redes tróficas. Los resultados del primer modelo de clasificación de la red neuronal, permite observar esa tendencia de asociación entre consumir cefalópodos y encontrar BA en los estómagos. La regresión indica la correlación del 97% de dicha asociación. Además, los resultados de los cefalópodos expresan una mayor probabilidad de consumir moluscos y peces e integrar BA a la cadena trófica.

La preferencia del tiburón sedoso por el calamar *D. gigas* y los restos de plásticos se relaciona con lo reportado en el estudio de Aguilar-Palomino *et al.* (2022), donde el Índice de Importancia Relativa demostró que el mayor componente trófico fueron los calamares *D. gigas* y *Ancistrocheirus lesuerii*, hallando presencia de tapas de botellas, pedazos y restos de envases, botellas completas y restos de diversos artículos de plástico de polivinilo (PVC), que según los autores, fueron confundidos por el tiburón con su alimento natural. Esta relación se ha observado en estudios enfocados principalmente en aves marinas, en los contenidos estomacales se observó un patrón de aparición de BA con respecto a los cefalópodos; estudio en contenidos estomacales de aves costeras y oceánicas, arrojó una preferencia por cefalópodos específicamente por calamares del suborden Oegopsina y de la familia Loliginidae (*Doryteuthis plei*), junto con el registro de *Argonauta argo* en la dieta y caracterizando los plásticos en dichos contenidos, por lo que se propuso una ingesta incidental durante la captura de las presas (Di Benedetto & Siciliano, 2021). Sin embargo, para Donnelly-Greenan *et al.* (2014) no existe una relación entre el consumo de cefalópodos y los desechos consumidos por el ave marina fulmar boreal, *Fulmarus glacialis rogersii*, en variación del tamaño y peso de las presas consumidas con el de dichas partículas. En este estudio se refuta esta última hipótesis, indicando que el ambiente donde se distribuyen los cefalópodos, así como sus hábitos alimenticios conducen a que sean vectores en la transferencia de BA hacia el contenido estomacal del tiburón sedoso.

El calamar gigante se perfila como una especie primordial en la interacción con la BA y PAs. Su distribución a lo largo del Pacífico y su migración vertical a lo largo del día permite que dicha interacción sea constante a lo largo de su vida (Gong *et al.*, 2021), integrando una variedad de presas que también realizan estas migraciones y se exponen a un continuo contacto con las PAs a diferentes zonas de profundidad (Botterell *et al.*, 2019). Además, el comportamiento de canibalismos (Ibarra-García *et al.*,

2014), aumenta la probabilidad que las partículas nunca desaparezcan de la trama trófica. Estudios recientes Rosas (2016) y Gong *et al.* (2021) han descubierto macropartículas y micropartículas dentro de *D. gigas* que se encuentra en la corriente de Humboldt. Los últimos autores mencionan que algunos factores de esta interacción es su comportamiento de forrajeo y su tolerancia a la hipoxia les permite interactuar con presas a las que algunas especies como los pelágicos mayores no tienen acceso, por lo que al ser consumidos hay una transferencia de las PAs a estos depredadores.

Se sugiere que al existir traslape trófico de depredadores como el tiburón y el calamar, probablemente aumente la abundancia de PAs, ya que tienen presas compartidas en algún momento de su vida. Un ejemplo en este estudio fue la luria ganchuda *Onychoteuthis banksii*, con una distribución circunglobal, este calamar se presentó en ambas dietas. En el caso de los peces, que, aunque en este estudio no se logró llegar a nivel de especie, se sabe que consumen peces de la familia Scombridae, Myctophidae y Engraulidae, cuyas especies si ha sido analizadas por la presencia de MPAs. Respecto a la familia Scombridae, Lino (2019) estudio su tracto digestivo donde reportó microplásticos, mientras que Boerger *et al.* (2010), al examinar presencia de MPAs en peces habitantes del giro del Pacífico Norte descubrió que la mayoría pertenecían a la familia Myctophidae. Por otra parte, en aguas chilenas se evaluó la ingesta de microplásticos por la anchoveta *Engraulis ringens* perteneciente a la familia Engraulidae, y aunque los resultados indicaron escasa ingestión de microplásticos los valores constatan la existencia del problema provocado por la contaminación por plásticos (Ossa & Murillo 2016).

La abundancia de fibras reportadas en los pulpos de este estudio fue menor que lo reportado por Alejo-Plata *et al.* (2019), sin embargo, se coincidió en el color de las PAs que más adelante será discutido. En el modelo de red neuronal no proporciona una correspondencia con el consumo de crustáceos y la aparición de PAs, es necesario prestar atención en ellos como presa de transferencia de las PAs, Provencher *et al.* (2010), concluyó que las aves que se alimentan de este crustáceos habían ingerido más plástico que aves piscívoras. Además, algunos crustáceos remodelan y redistribuyen los microplásticos. Davidson (2012) mostró que el crustáceo perforador *Sphaeroma* sp. puede liberar en el medio ambiente miles de pequeñas partículas por madriguera. Mientras la interacción con el planctón gelatinoso como las salpas (obs. per.) y medusas como base de su alimentación y transporte (Heeger *et al.*, 1992) puede afectar la presencia de partículas en los argonautas. En el caso de las salpas (*Thetys*

vagina), se han encontrado pedazos de fragmentos de polipropileno/monofilamento incrustados en sus tejidos, al ser filtradores probablemente adquirieron las PAs durante su alimentación (Moore *et al.*, 2001).

En el afán de comprender la dinámica trófica de las PAs hay que considerar que el ciclo de las MPAs en las redes tróficas se ve afectado por el factor del tipo de alimentación, las especies omnívoras presentan una cantidad mayor de fibras antropogénicas que especies carnívoras o herbívoras, al tener una gama más amplia de fuentes de alimentación. Los mecanismos comunes que explican la transferencia de microplásticos del intestino en cefalópodos a otros tejidos son la endocitosis y la persorción (Barboza *et al.*, 2020). Se encuentra que partículas de hasta $>10\ \mu\text{m}$ ingresan a la circulación sistémica a través de la endocitosis de las células M en el parche de epitelio intestinal de Peyer (Wright & Kelly, 2017). Las partículas más grandes, de hasta 150 μm , atraviesan la barrera intestinal a través del espacio intercelular de los enterocitos mediante el proceso de persorción (Volkheimer, 1977). Los intervalos de los tamaños en este estudio fueron consistentes con lo reportado por Damaris *et al.* (2021).

10.3.1. Identificación de las Partículas Antropogénicas.

La identificación visual de las PAs, arrojó que las más frecuentes fueron los fragmentos de color transparente, seguido de color verde y azul, mientras las fibras más abundantes consistieron en colores verdes, blancos, azules y negras en ese orden. Todas las PAs se registraron con medidas de tamaños $< 0.02\ \text{mm}$ y $>0.5\ \text{mm}$. Estos resultados son consistentes con lo destacado en el área del GT, donde se encontró una abundancia considerable de fibras y fragmentos antropogénicos de color azul y transparentes (Alejo-Plata *et al.*, 2021), Dichas abundancias también se han reportado en contenidos estomacales de peces planctívoros en el giro del Pacífico Norte, los colores fueron similares a los del plancton del área que es fuente primaria de su alimentación en la superficie (Boerger *et al.*, 2021),

La tipología suele considerarse importante debido a una cierta confusión en su alimentación, la mayoría de los estudios hacen esta aseveración considerando primordial el factor visual (Bugoni *et al.*, 2001; Tourinho *et al.*, 2010). Algunos otros van más allá, sin embargo, para hacer esta afirmación de intrusión en las redes tróficas se tiene que considerar diversas variables biológicas, ambientales (que conllevan procesos dinámicos oceanográficos fisicoquímicos) y propiedades ópticas del agua.

A continuación, se señalan posibles factores que influyen sobre la interacción de los cefalópodos con las PAs.

i) Conducta animal: Los cefalópodos tienen una selectividad cromática, siendo un mecanismo para visualizar el color conocido como desenfoque cromático. Se basa en el principio de la aberración cromática, en el que los diferentes colores (y por tanto distintas longitudes de onda) se enfocan en diferentes distancias al atravesar una lente, en el cristalino del cefalópodo. De esta forma, puede discriminar entre los diferentes en función de donde se enfocan los distintos colores que percibe el animal. La percepción del color se irá perdiendo a medida que aumenta la profundidad. Esto se debe a que las longitudes de onda se vuelven más estrechas, y se pierde esta información a la hora de aplicar el desenfoque cromático. También se debe de considerar que el color de las Mas puede cambiar en el tracto gastrointestinal (p. ej., Eriksson & Burton, 2003), o en el caso específico de los cefalópodos el papel de la rádula es importante debido a que su funcionamiento fragmenta PAs grandes a MPAs (Di Benedetto & Siciliano, 2021).

ii) Abundancia en el ambiente: Kühn *et al.* (2015), mencionan que las prevalencias de objetos translúcidos de colores brillantes en los estómagos pueden reflejan su disponibilidad en el entorno ambiental, en vez de reflejar una selectividad por color. Esta disponibilidad de las PAs va de la mano con la estacionalidad del año en la zona de estudio. Durante la presente disertación y con base en los resultados de probabilidad neuronal se observó una mayor presencia de las PAs en el mes de noviembre y un mayor consumo de cefalópodos, este dinamismo y asociación puede ser posible y explicada por la acción de los vientos tehuanos del GT (Fiedler & Talley, 2006), que crean surgencia y una mezcla vertical que integra a las PAs (Kukulka *et al.*, 2012), por lo que se vuelve una zona altamente productiva en los meses de octubre a abril (Ortega García *et al.*, 2000), por ello es posible una mayor interacción entre PAs – presa – Cefalópodos. Además, se conoce que los vientos trasladan desechos del continente hacia el océano (Galgani *et al.*, 2000, Rech *et al.*, 2014), junto con las principales corrientes marinas y superficiales que circula en la zona logrando distribuir las PAs provenientes de diversos lugares y su movimiento en la columna de agua.

Estudios que han mostrado una concentración considerable de PAs neustónicas en los giros oceánicos (Moore *et al.*, 2001) y la costa (Moore *et al.*, 2002; Collignon *et al.*, 2012), señalan diferencias entre ambos ambientes en cuanto al tamaño de las PAs. El material en el giro era de gran tamaño

proveniente de la industria pesquera o marítima, y se registró que la mayor parte del plástico cerca de la costa eran pequeños fragmentos atribuibles a la escorrentía terrestre y a la salida continental en las aguas costeras. Esta diferencia podría deberse a una acción mecánica más intensa, un tiempo de residencia más prolongado (desechos más antiguos) o un ensuciamiento más sustancial que involucra desechos más grandes. Además, Lebreton *et al.* (2012) proyectaron la acumulación de escombros flotantes en giros oceánicos y cerrados, por lo que es importante poner atención de igual manera a los giros formados en la región.

iii) Óptica del agua: Para la percepción de las PAs en el océano se debe de considerar el tipo de agua, ya sea oceánica (tipo I) o costeras (tipo II), así como la absorción y la dispersión características de ellas. En el tipo I la absorción y la dispersión pueden estar correlacionadas con la concentración de clorofila, donde predomina dispersión y poca absorción. En el tipo II por las descargas pluviales existe mayor concentración de turbidez, generalmente se debe a la presencia de sedimentos y sustancias marillas, predominando la absorción y poca dispersión (Morel & Prieur, 1977). Otra contribución relativa a las propiedades espectrales del agua es la materia orgánica y el fitoplancton, que proporciona color al océano. Se sabe que los componentes “coloreados” de la materia orgánica absorben fuertemente en el espectro cercano a UV y violeta a verde-azul, afectando significativamente el color del océano, particularmente las regiones costeras (Kirk, 1994). Por lo que se tiene que estudiar los espectros de absorbancia de cada grupo de zooplancton.

iv) Composición química de las PAs, es importante debido a las características, la composición química ha reflejado que los polímeros de alto volumen de producción como el polietileno y el polipropileno tienen densidades más bajas que el agua de mar, flotan hasta que son arrastradas a tierra o se hunden porque su densidad cambia debido a la bioincrustación y la lixiviación de aditivos. También el proceso de fotodegradación en los PAs, por los rayos UV es importante ya que propician una transformación en el color y forma original.

11. CONCLUSIÓN

Se concluye que los cefalópodos *Dosidicus gigas* y los *Argonautas* sp., son vectores en la transferencia de Basura y Partículas Antropogénicas en la cadena alimenticia del tiburón sedoso. La alimentación de los calamares y pulpos se basó en cefalópodos, crustáceos y peces.

De igual forma los hábitos alimenticios y la transferencia de la BA y PAs varían conforme a la distribución, disponibilidad y abundancia del ítem, así como a la ontogenia y la migración del depredador, además la abundancia de la BA y PAs en las redes tróficas involucra el color, forma, y tamaño. En este estudio la forma más abundante de PAs dentro de los cefalópodos fue el fragmento. Con las redes neuronales los hábitos alimenticios de cefalópodos y el tiburón sedoso se pudieron analizar para una futura predicción de esta asociación con la presencia de PAs.

Se sugiere seguir con estudios de reproducción, alimentación, genética y distribución en *D. gigas* y los pulpos del género *Argonauta* sp., distribuidos en el Golfo de Tehuantepec. Las investigaciones ayudarán con el papel pesquero de las especies de la zona, y estudios en los Argonautas serán importantes para conocer mejor su distribución, así como su papel de indicadores de la acidificación del océano. Por último, se recomienda más estudios de la dinámica de las PAs en el Golfo de Tehuantepec.

12. BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar- Palomino B., Briones-Hernández S.A., Banda-Dávila A., Becerra-Gómez A., Amezcua-Gómez C.A., Godínez-Siordia D., Hinojosa Larios J.A. 2022. Presencia de plásticos en el componente trófico del tiburón sedoso *Carcharhinus falciformis* Müller & Henle (1839). Estudios Marinos Pesqueros en el Pacífico mexicano. Universidad de Colima. 127-135.
- Alegre A, Ménard F, Tafur R, Espinoza P, Argüelles J, et al. (2014) Comprehensive Model of Jumbo Squid *Dosidicus gigas* Trophic Ecology in the Northern Humboldt Current System. *PLOS ONE* 9(1): e85919. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0085919>
- Alejo Plata M.C., Reyes Hernández C., Ahumada Sempoal, M.A., González Acosta A.F., Herrera Galindo J.E. 2021. Anthropogenic Microparticles: Coastal Distribution in the Southern Mexican Pacific Coast. *Thalassas: An International Journal of Marine Sciences*. <https://doi.org/10.1007/s41208-021-00325-0>.
- Alejo-Plata M. C., Herrera-Galindo E., Cruz-González D. G. 2019. Description of badhering to *Argonauta nouryi* (Cephalopoda: Argonautidae) collected from the stomach contents of three top predators in the Mexican South Pacific. *Marine Pollution Bulletin*. 142: 504–509.
- Alejo-Plata M.C., León-Guzmán S.S., Díaz-Polo R., Torres-Huerta A.M. 2019. Diversidad, abundancia y frecuencia de argonautas (Cephalopoda: Argonautidae), en la dieta de peces pelágicos de importancia comercial en Oaxaca, México. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 54 (1): 107-117. <https://doi.org/10.22370/rbmo.2019.54.1.1651>
- Alejo-Plata Maria del Carmen, Ahumada-Sempoal Miguel Ángel, Gómez-Márquez José Luis & González-Acosta Adrián. 2016. Estructura poblacional y aspectos reproductivos del tiburón piloto *Carcharhinus falciformis* (Müller & Henle, 1839) (Carcharhiniformes: Carcharhinidae) en la costa de Oaxaca, México. *Lat. Am. J. Aquat. Res.*, 44(3): 513-524. DOI: 10.3856/vol44-issue3-fulltext-10.
- Alejo-Plata M.C., Salgado-Ugarte I., Herrera-Galindo J., Meraz-Hernando J. 2014. Biodiversidad de cefalópodos del Golfo de Tehuantepec, México, determinada a partir de muestreos directos y del análisis de la dieta de peces pelágicos grandes. *Hidrobiológica*, 24 (1): 57-68.
- Alomar C., Deudero S. 2017. Evidence of microplastic ingestion in the shark *Galeus melastomus* Rafinesque, 1810 in the continental shelf off the western Mediterranean Sea. *Environmental Pollution*, 223: 223-229. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.01.015>.

- Alomar C., Estarellas F., Deudero S. 2016. Microplastic in the Mediterranean Sea: deposition in coastal shallow sediments, spatial variation and preferential grain size. *Marine Environmental Research*, 115: 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2016.01.005>.
- Amaratunga T. 1983. El papel de los cefalópodos en el ecosistema marino. En: Caddy JF (ed) Avances en la evaluación de los recursos mundiales de cefalópodos. Documentos sobre tecnología pesquera de la FAO 231:379–415.
- Anastasopoulou A., Mytiliencou C., Smith C.J., Papadopoulou K.N. 2013. Plastic debris ingested by deep-water fish of the Ionian Sea (Eastern Mediterranean). *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 74: 11-13. <https://doi.org/10.1016/j.dsr.2012.12.008>.
- Barboza L. G. A., Cunha S. C., Monteiro C., Fernandesc J.O., Guilhermino L. 2020. Bisphenol A and its analogs in muscle and liver of fish from the North East Atlantic Ocean in relation to microplastic contamination. Exposure and risk to human consumers. *Journal of Hazardous Materials* 393, 122419.
- Banas, P. T., Smith, D. E., Biggs, D. C. 1982. An association between a pelagic octopod. *Argonauta* sp. Linnaeus 1758. and aggregate salps. *Fish. Bull.* U.S. 80: 648-650
- Battisti C., Staffieri E., Poeta G., Sorace A., Luiselli L., Amori G. 2019. Interactions between anthropogenic litter and birds: A global review with a 'black-list' of species. *Marine Pollution Bulletin*, 138: 93-114. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.11.017>
- Barajas Calderón Alma Vianney. 2018. Ecología Trófica del tiburón piloto *Carcharhinus falciformis* (Müller & Henle, 1839) en la Costa Sur de Jalisco, México. Tesis de Maestría en Manejo de Recursos Humanos. Instituto Politécnico Nacional. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas.
- Barnes D.K.A., Galgani F., Thompson R.C., Barlaz M. 2009. Accumulation and fragmentation of plastic debris in global. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 364: 1985-1998. <https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0205>.
- Barnes D.K.A. 2002. Invasions by marine life on plastic debris. *Nature*, 416: 808-809. <https://doi.org/10.1038/416808>
- Barreto R., Bornatowski H., Fiedler F.N., Pontalti M., da Costaa K.J., Nascimento C., Kotas J.E. 2019. Macro-debris ingestion and entanglement by blue sharks (*Prionace glauca* Linnaeus, 1758) in the temperate South Atlantic Ocean. *Marine Pollution Bulletin*, 145: 214-218. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.05.025>.

- Bazzino Ferreri G.A. 2008. Estructura poblacional, movimientos horizontales y migraciones verticales del calamar gigantes *Dosidicus gigas* en el Golfo de California y en el Océano Pacífico frente a la península de Baja California. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. Tesis, pp 134.
- Bergmann M., Sandhop N., Schewe I., D'Hert D. 2016. Observations of floating anthropogenic litter in the Barents Sea and Fram Strait, Arctic. *Polar Biology*, 39: 553-560. <https://doi.org/10.1007/s00300-015-1795-8>.
- Bernardinia I., Garibaldia F., Canesia L., Fossi M.C., Baini M. 2018. First data on plastic ingestion by blue sharks (*Prionace glauca*) from the Ligurian Sea (North-Western Mediterranean Sea). *Marine Pollution Bulletin*, 135: 303-31. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.07.022>.
- Blight L.K., Burger A.E. 1997. Occurrence of plastic particles in seabirds from the Eastern North Pacific. *Marine Pollution Bulletin*, 34 (5): 323-325. [https://doi.org/10.1016/S0025-326X\(96\)00095-1](https://doi.org/10.1016/S0025-326X(96)00095-1).
- Boerger Christiana M., Lattin Gwendolyn L., Moore Shelly L. & Moore Charles J. 2010. Plastic ingestion by planktivorous fishes in the North Pacific Central Gyre. *Marine Pollution Bulletin* 60: 2275–2278.
- Botterell Z. LR., Beaumont N., Dorrington T., Steinke M., Thompson R. C., Lindeque P. K. 2019. Bioavailability and effects of microplastics on marine zooplankton: A review. *Environmental Pollution*. Volume 245. Pages 98-110. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.10.065>.
- Braid H.E., Deeds J., DeGrasse S.L., Wilson J.J., Osborne J., Harland H.R. 2012. Preying on commercial fisheries and accumulating paralytic shellfish toxins: a dietary analysis of invasive *Dosidicus gigas* (Cephalopoda Ommastrephidae) stranded in Pacific Canada. *Marine Biology*, 159: 25-31. <https://doi.org/10.1007/s00227-011-1786-4>.
- Bray L., Digka N., Tsangaris C., Camedda A., Gambaiani D., Andrea de Lucia G., Matiddi M., Miaud C., Palazzo L., Perez-del-Olmo A., Raga J.A., Silvestri C., Kaberi H. 2019. Determining suitable fish to monitor plastic ingestion trends in the Mediterranean Sea. *Environmental Pollution*, 247: 1071-1077. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.01.100>.
- Brentano R., Petry M.V. 2020. Marine debris ingestion and human impacts on the Pygmy sperm whale (*Kogia breviceps*) in southern Brazil. *Marine Pollution Bulletin*, 150: 110595. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.110595>

- Brenneke D., Ferreira E.C., Costa T.M.M., Appel D., da Gamma B.A.P., Lenz M. 2015. Ingested microplastics (>100 µm) are translocated to organs of the tropical fiddler crab *Uca rapax*. *Marine Pollution Bulletin*, 96. 491-495. <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2015.05.001>
- Bugoni L., Krause L., Petry M.V. 2001. Marine Debris and Human Impacts on Sea Turtles in Southern Brazil. *Marine Pollution Bulletin*. Volume 42, Issue 12, Pages 1330-133
- Bustamante P., Cosson R.P., Galliena I., Cauranta F., Miramanda P. 2002. Cadmium detoxification processes in the digestive gland of cephalopods in relation to accumulated cadmium concentrations. *Marine. Environmental Research*, 53(2): 227–241. [http://dx.doi.org/10.1016/s0141-1136\(01\)00108-8](http://dx.doi.org/10.1016/s0141-1136(01)00108-8)
- Cabrera-Chávez-Costa A.A., Galván-Magaña F., Escobar-Sánchez O. 2010. Food habits of the silky shark *Carcharhinus falciformis* (Müller & Henle, 1839) off the western coast of Baja California Sur, Mexico. *Journal of Applied Ichthyology*, 26 (4): 499-503. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0426.2010.01482.x>
- Camarillo-Coop S., Salinas-Zavala C. A, Lavaniegos E., Markaida U. 2013. Food in early life stages of *Dosidicus gigas* (Cephalopoda: Ommastrephidae) from the Gulf of California, Mexico. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 2013, 93(7), 1903–1910. doi:10.1017/S0025315413000398.
- Campoy P., Beiras R. 2019. Revisión: efectos ecológicos de macro-, meso- y microplásticos. Proyecto REPESCAPLAS2. Tesis. Universidad de Vigo, 35 p.
- Cardozo A.L.P., Farias E.G.G., Rodrigues-Filho J.L., Moteiro I.B., Scandolo T.M., Dantas D.V. 2018. Feeding ecology and ingestion of plastic fragments by *Priacanthus arenatus*: What's the fisheries contribution to the problem?. *Marine Pollution Bulletin*, 130: 19-27. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.11.017>
- Cedervall T., Hansson L.-A., Lard M., Frohm B., Linse S. 2012. Food chain transport of nanoparticles affects behaviour and fat metabolism in fish. *PLoS One*, 7 (2): e32254. <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0032254>.
- Cervantes-Hernández P. 2008. Media, varianza y desviación estándar. *Ciencia y Mar*, 12 (34): 29-36.
- Chagnon C., Thiel M., Antunes J., Ferreira J.L., Sobral P., Ory C.N. 2018. Plastic ingestion and trophic transfer between Easter Island flying fish (*Cheilopogon rapanouiensis*) and yellowfin tuna

(*Thunnus albacares*) from Rapa Nui (Easter Island). *Environmental Pollution*, 243: 127-133. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.08.042>

- Chua, E.M., Shimeta, J., Nugegoda, D., Morrison, P.D., Clarke, B.O., 2014. Assimilation of polybrominated diphenyl ethers from microplastics by the marine amphipod, *Allorchestes compressa*. *Environmental Science & Technology*, 48 (14): 8127-8134 <http://dx.doi.org/10.1021/es405717z>.
- Cliff G., Dudley S.F.J., Ryan P.G., Singleton N. 2002. Large sharks and plastic debris in KwaZulu-Natal, South Africa. *Marine and Freshwater Research*, 53(2): 575-581. <https://doi.org/10.1071/MF01146>
- Coll M., Navarro J., Olson R. J., Christensen V. 2013. Assessing the trophic position and ecological role of squids in marine ecosystems by means of food-web models. *Deep-Sea Research II* 95:21-36.
- Collard F., Gasperi J., Gilbert B., Eppe G., Azimi S., Rocher V., Tassin B. 2018. Anthropogenic particles in the stomach contents and liver of the freshwater fish *Squalius cephalus*. *Science of the Total Environment*, 643: 1257-1264. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.06.313>
- Collard F., Gilbert B., Eppe G., Parmentier E., Das K. 2015. Detection of anthropogenic particles in fish stomachs: an isolation method adapted to identification by raman Spectroscopy. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, Vol: 69: pp 331-339. <https://doi.org/10.1007/s00244-015-0221-0>
- Collignon A., Hecq J-H., Glagani F., Voisin P, Collard F., Goffart A. 2012. Neustonic microplastic and zooplankton in the North Western Mediterranean Sea. *Marine Pollution Bulletin*. Volume 64, Issue 4, April 2012, Pages 861-864.
- Contreras F. J; Gatica C.; Rebolledo H.. 2014. Alimentación de merluza común, un análisis mediante redes neuronales. <https://www.researchgate.net/publication/260673350>. Cortés, E. 1997. *A critical review of methods of studying fish feeding based on analysis of stomach contents: application to elasmobranch fishes*. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 54: 726 – 738.
- Crooks N., Parker H., Pernetta A.P. 2019. *Brain food?* Trophic transfer and tissue retention of microplastics by the velvet swimming crab (*Necora puber*). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 519: 151187. <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2019.151187>

- Cruz-Jiménez Mar. Candelaria Susana. 2010. Edad, crecimiento y mortalidad del tiburón sedoso *Carcharhinus falciformis* (Bribon. 1839), (Elasmobranchii: Carcharhinidae), capturado en la Costa chica del estado de Oaxaca, México. Tesis. Universidad del Mar Campus, Puerto Ángel.
- Cruz-Salas Arely Areanely, Álvarez-Zeferino Juan Carlos, Martínez-Salvador Carolina, Enríquez-Rosado María del Rosario, Gutiérrez-Ortiz María del Rocío, Vázquez-Morillas Alethia, Ojeda-Benítez Sara. 2020. Cuantificación y caracterización de microplásticos y residuos sólidos urbanos en playa Zipolite, Oaxaca. *Ciencia y Mar XXIV*. 71: 3-2.
- Damaris B.D., Ashraf P.M., Thomas S.N., Thomson K.T. 2021. Microplastics in the edible tissues of shellfishes sold for human. *Chemosphere*, 264 (2): 128554. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128554>.
- Davidson M. 2012. Boring crustaceans damage polystyrene floats under docks polluting marine waters with microplastic. *Marine Pollution Bulletin*. Volume 64, Issue 9, Pages 1821-1828.
- Dehaut A., Cassone A.-L., Frère L., Hermabessiere L., Himber C., Rinnert E., Rivière G., Lambert C., Soudant P., Huvet A., Duflos G., Paul-Pont I. 2016. Microplastics in seafood: Benchmark protocol for their extraction and characterization. *Environmental Pollution*, 215: 223-233. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.05.018>.
- Derraik J.G.B. 2002. The pollution of the marine environment by plastic debris: a review. *Marine Pollution Bulletin*, 44 (9): 842-852. [https://doi.org/10.1016/S0025-326X\(02\)00220-5](https://doi.org/10.1016/S0025-326X(02)00220-5).
- Di Benedetto A.P.M., 2021. Food items, parasites and plastics: Notes on the stomach content of seabird. DOI:10.34117/bjdv7n7-465.
- Di Benedetto A.P.M., Oliveira A.D.S. 2019. Debris ingestion by carnivorous consumers: Does the position in the water column truly matter?. *Marine Pollution Bulletin*, 144: 34-139. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.04.074>
- Donnelly-Greenan, E. L., Harvey, J. T., Nevins, H. M., Hester, M. M., & Walker, W. A. 2014. Prey and plastic ingestion of pacific northern fulmars (*Fulmarus glacialis rogersii*) from Monterey Bay, California. *Marine Pollution Bulletin*, 85(1), 214–224.
- Estupiñán-Montaño C. 2016. Ontogenia Alimentaria de tres especies de tiburones pelágicos: *Alopias pelagicus*, *Carcharhinus falciformis* y *Prionace glauca* en la Reserva Marina de Galápagos, Ecuador. Tesis de Maestría, Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. 90 p.

- Eriksen M., Maximenko N., Thiel M., Cummins A., Lattin G., Wilson S., Hafner J., Zellers A., Rifman S. 2013. Plastic pollution in the South Pacific subtropical gyre. *Marine Pollution Bulletin*, 68 (1-2): 71-76. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2012.12.021>.
- Eriksson C., Burton H. 2003. Origins and biological accumulation of small plastic Particles in fur seals from Macquarie Island. *AMBIO: A Journal of the Human Environment*, 32 (6): 380-384. <http://dx.doi.org/10.1579/0044-7447-32.6.380>.
- Farrell P., Nelson K., 2013. Trophic level transfer of microplastic: *Mytilus edulis* (L.) to *Carcinus maenas* (L.). *Environmental Pollution*, 177: 1-3. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2013.01.046>
- Fernández Ojeda C., Anastasopoulou A. 2019. Plastic ingestion by blue shark *Prionace glauca* in the South Pacific Ocean (south of the Peruvian Sea). *Marine Pollution Bulletin*, 149: 110501. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.110501>.
- Ferry L.A., Cailliet G.M. 1996. Sample size and data analysis: are we characterizing and comparing diet properly?. In: Macknlay D., Shearer K. (Eds.) *Feeding ecology and nutrition in fish*. Proceedings of the Symposium on the Feeding Ecology and Nutrition in Fish, International Congress on the Biology of Fishes. Am Fish Soc, San Francisco, CA, pp: 71-80.
- Fiedler P. C., Talley L. D. 2006. Hydrography of the eastern tropical Pacific: A review. *Progress in Oceanography*. Volume 69, Issues 2–4. Pages 143-180.
- Finn JK. 2013. Taxonomy and biology of the argonauts (Cephalopoda: Argonautidae) with particular reference to Australian material. *Molluscan Research* 33: pp 143-222.
- Fossi M.C., Baini M., Panti C., Galli M., Jiménez B., Muñoz-Arnanz J., Marsili L, Finioia M.G., Ramírez-Macías D. 2017. Are whale sharks exposed to persistent organic pollutants and plastic pollution in the Gulf of California (Mexico)? First ecotoxicological investigation using skin biopsies. *Comparative Biochemistry and Physiology, Part C*, 199: 48-58. <https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2017.03.002>.
- Frank-Comas A. 2015. Desechos plásticos ingeridos por elasmobranquios del Mediterráneo occidental. Tesis Facultat de Ciències, Universitat de les Illes Balears, 22 p.
- Frias, J.P.G.L., Otero, V., Sobral, P. 2014. Evidence of microplastics in samples of zooplankton from Portuguese coastal waters. *Marine Environmental Research* (95): 89-95. <http://dx.doi.org/10.1016/j.marenvres.2014.01.001>.
- Galgani F., Leaute J.P, Moguedet P., Souplet A., Verin Y., Carpentier A., Goraguer H., Latrouite D., Andral B., Cadiou Y., Mahe J.C., Poulard J.C., Nerisson P. 2000. Litter on the Sea Floor Along

European Coasts. *Marine Pollution Bulletin*. Volume 40, Issue 6, June 2000, Pages 516-527 Galván-Magaña F., Polo-Silva C., Hernández-Aguilar S.B., Sandoval-Londoño A., Ochoa-Díaz M.R., Aguilar-Castro N., Castañeda-Suárez D., Chávez-Costa A.C., Baigorri-Santacruz Á., Torres-Rojas Y.E., Abitia-Cárdenas L.A. 2013. Shark predation on cephalopods in the Mexican and Ecuadorian Pacific Ocean. *Deep-Sea Research II: Topical Studies in Oceanography*, 95: 52-62 <http://dx.doi.org/10.1016/j.dsr2.2013.04.002>.

- Galván, F.; Nienhuis, H.; Klimley, P., 1989: Seasonal abundance and feeding habits of sharks of the lower Gulf of California, Mexico. *Calif. Fish. Game* 75, pp 74–84.
- Gilly W.F., U. Markaida U., Baxter C.H., Block B.A., Boustany A, Zeidberg L., Reisenbichler K., Robison B., Bazzino G., Salinas C. 2006. Migraciones verticales y horizontales del calamar gigante *Dosidicus gigas* reveladas mediante etiquetado electrónico. *MEPS* 324:1-17 (2006) - doi:10.3354/meps324001.
- Germanov E.S., Marshall A.D., Hendrawan I., Admiraal R., Rohner C.A., Argeswara J., Raka W., Himawan M.R., Loneragan N.R. 2019. Microplastics on the menu: plastics pollute Indonesian Manta Ray and Whale Shark feeding grounds. *Frontiers in Marine Science*, 6: 679. <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00679>.
- Gong Y., Wang Y., Chen L., Li Y., Chen X., Liu B. 2021. Microplastics in different tissues of a pelagic squid (*Dosidicus gigas*) in the northern Humboldt Current ecosystem. *Marine Pollution Bulletin*, 169: 112509. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112509>.
- Hair, J. F., Anderson, R. E., Tatham, R. L., & Black, W. C. (1995). *Multivariate data analysis*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- Heeger T., Piatkowski U., Moller H. 1992. Predation on jellyfish by cephalopod *Argonauta argo*. *Marine Ecology Progress Series Mar. Ecol. Prog. Ser.* Vol. 88: 293-296.
- Hidalgo-Ruz V., Gutow L., Thompson R.C., Thiel M. 2012. *Microplastics in the marine environment: a review of the methods used for identification and quantification*. *Environmental Science and Technology*. 46, 3060–3075. <https://doi.org/10.1021/es2031505>.
- Ibáñez M.C., Riera R., Leite T., Díaz-Santana-Iturrios M., Rui R., Pardo-Gandarillas M.C. 2021. Stomach content analysis in cephalopods: past research, current challenges, and future directions. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 31: 505-522. [https://doi.org/10.1007/s11160-021-09653-z\(0123456789\(\).,-volV\(0123456789\(\).,-volV](https://doi.org/10.1007/s11160-021-09653-z(0123456789().,-volV(0123456789().,-volV).

- Ibarra-García L. E., Camarillo-Coop S., Salinas-Zavala C. A. . 2014. Evaluación del canibalismo en el calamar gigante *Dosidicus gigas* en el Golfo de California. *Hidrobiológica* 24 (1): 51-56.
- Jambeck J.R., Geyer R., Wilcox C., Siegler T.R., Perryman M., Andrady A., Narayan R., Law K.L. 2015. Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science*, 347: 768-71. <https://doi.org/10.1126/science.1260352>.
- Kirk J.T.O. 1994: Light and Photosynthesis in Aquatic Ecosystems, 2nd ed. (Cambridge)
- Kukulka T., Proskurowski G., Morét-Ferguson S., Meyer D. W., Law K. L. 2012. The effect of wind mixing on the vertical distribution of buoyant plastic debris. *Geophysical Research Letters*. Volume39, Issue7. <https://doi.org/10.1029/2012GL051116>
- Kühn S., Bravo Rebolledo E.L., Van Franeker, J.A. 2015. Deleterious effects of litter on marine life. In: Bergmann M., Gutow L., Klages M. (Eds.). *Marine Anthropogenic Litter*. Springer, Cham., pp: 75–116. https://doi.org/10.1007/978-3-319-16510-3_4
- Lara-Lara J. R. Arenas Fuentes V., Bazán Guzmán C., Díaz Castañeda V., Escobar Briones E., García Abad M. C., Gaxiola Castro G., Robles Jarero G., Sosa Ávalos R., Soto González L.A., Tapia García M., Valdez-Holguín J.E., Bezaury Creel J. 2008. Los ecosistemas marinos, en Capital natural de México, vol. I: Conocimiento actual de la biodiversidad. CONABIO, México, pp. 135-159.
- Lebreton L., Slat B., Ferrari F., Sainte-Rose B., Aitken J., Marthouse R., Hajbane S., Cunsolo S., Schwarz A., Levivier A., et al. 2018. Evidence that the Great Pacific Garbage Patch is rapidly accumulating plastic. *Scientific Reports*, 8: 4666. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-22939-w>
- Lebreton C.M., Greer S.D., Borrero J.C. 2012. Numerical modelling of floating debris in the world's oceans. *Marine Pollution Bulletin*. Volume 64, Issue 3, Pages 653-661.
- Li H.-X., Ma L.-S., Lin L., Ni Z.-X., Xu X.-R., Shi H.-H., Yan Y., Zheng G.-M., Rittschof D. 2018. Microplastics in oysters *Saccostrea cucullata* along the Pearl River Estuary, China. *Environmental Pollution*, 236: 619-625. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.01.083>.
- Lino Domínguez J. G. 2019. Microplástico en el tracto digestivo de *Scomber japonicus*, *Opisthonema libertate* y *Auxis thazard*, comercializados en el puerto pesquero de Santa Rosa, Provincia de Santa Elena – Ecuador.
- Lowe, CG, Wetherbee, BM, Crow, GL. 1996. Cambios ontogenéticos en la dieta y comportamiento alimentario del tiburón tigre, *Galeocerdo cuvier*, en aguas hawaianas. *Environ Biol Fish* 47 , 203–211. <https://doi.org/10.1007/BF00005044>.

- Macali A., Semenov A., Venuti V., Crupi V., D'Amico F., Rossi B., Corsi I., Bergami E. 2018. Episodic records of jellyfish ingestion of plastic items reveal a novel pathway for trophic transference of marine litter. *Scientific Reports*, 8: 6105. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-24427-7>.
- Martínez-Muñoz, M.A. 2012. Tesis doctoral. Estructura y distribución de la comunidad íctica acompañante en la pesca de camarón (Golfo de Tehuantepec. Pacífico Oriental, México). Universidad de Barcelona.
- Markaida, U., Sosa-Nishizaki, O., 2010. *Food and feeding habits of the blue shark. Prionace glauca caught off Ensenada, Baja California, México, with a review on its feeding.* *J. Mar. Biol. Assoc.* 90, 1-18.
- Markaida U., Rosenthal J.J.C., Gilly W. F. 2005. Tagging studies on the jumbo squid (*Dosidicus gigas*) in the Gulf of California, Mexico. *Fish. Bull.* 103:219–226. <http://fishbull.noaa.gov/1031/mark.pdf>
- Markaida, U., Sosa-Nishizaki, O., 2003. *Food and feeding habits of jumbo squid Dosidicus gigas (Cephalopoda: Ommastrephidae) from the Gulf of California, Mexico.* *J. Mar. Biol. Ass. U.K.* 83: 1-16.
- McMahon C.R., Holley D., Robinson S. 1999. The diet of itinerant male Hooker's sea lions, *Phocarctos hookeri*, at sub-Antarctic Macquarie Island. *Wildlife Research*, 26 (6): 839-846. <https://doi.org/10.1071/WR98079>.
- Moore C.J., Moore S.L., Weisberg S.B., Lattin G.L. & Zellers A.F. 2002. A comparison of neustonic plastic and zooplankton abundance in southern California's coastal waters. *Marine Pollution Bulletin*. Vol 44. pp 1035-1308.
- Moore C.J., Moore S.L., LeeCaster M.K. & Weisberg S.B. 2001. *A Comparison of Plastic and Plankton in the North Pacific Central Gyre.* *Marine Pollution Bulletin*. Vol 42. No 12. pp 1297-1300.
- Morel A., Prieur L., 1977. Analysis of variations in ocean color. *Limnology and Oceanography*. Volumen 22, Número 4. Page 709-722.
- Nelms, S.E., Galloway T.S., Godley B.J., Jarvis D.S., Lindeque P.K. 2018. Investigating microplastic trophic transfer in marine top predators. *Marine Pollution Bulletin*, 238: 999-1007. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.02.016>

- Nigmatullin Ch.M., Nesis K.N., Arkhipkin A.I., 2001. A review of the biology of the jumbo squid *Dosidicus gigas* (Cephalopoda: Ommastrephidae), *Fisheries Research*, Volume 54, Issue 1, Pages 9-19, ISSN 0165-7836, [https://doi.org/10.1016/S0165-7836\(01\)00371-X](https://doi.org/10.1016/S0165-7836(01)00371-X).
- Nixon, M. 1987. Cephalopod diet. In: P.R. Boyle (ed.). Cephalopod life cycles. Comparative reviews. *Academic Press*, London, pp. 201-220.
- Oliveira A.R., Sardinha-Silva A., Andrewsc P.L.R., Green D., Cooke G.M., Hall S., Blackburn K., Sykes A.V. 2020. Microplastics presence in cultured and wild-caught cuttlefish, *Sepia officinalis*. *Marine Pollution Bulletin*, 160: 111553. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111553>.
- Oksanen J., Blanchet F.G., Kindt R., Legendre P., Minchin P. R., O'Hara R.B., Simpson G.L., Solymos P., Stevens M.H.H., Wagner H. 2016. *Vegan: Community Ecology Package. R package version 2.3-0*.
- Ortega-García S., Trigueros-Salmerón J.A., Rodríguez-Sánchez R., Lluch-Cota S., Villalobos H. 2000. El Golfo De Tehuantepec como un centro de actividad biológica y su importancia en las pesquerías. En: Lluch-Belda D., Elorduy-Garay J., Lluch-Cota S., Ponce-Díaz G. 2000. *BAC Centros de Actividad Biológica del Pacífico mexicano*. Centro de Investigaciones Biológicas del Noreste S.C., México, pp: 335-356.
- Ossa Medina L. & Murillo Haro V. 2016. Informe proyecto piloto: Evaluación del grado de ingestión de micro-plásticos en el recurso anchoveta (*Engraulis ringens*) frente a las costas de la IV Región de Coquimbo-Chile, durante el invierno de 2016. Instituto del Fomento Pesquero.
- Ozturk C.R., Altinok I. 2020. Interaction of Plastics with Marine Species. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 20 (8): 647-658. http://doi.org/10.4194/1303-2712-v20_8_07.
- Parton K.J., Godley B.J., Santillo D., Tausif M., Omeyer L.C.M., Galloway T.S. 2020. Investigating the presence of microplastics in demersal sharks of the North-East Atlantic. *Scientific Reports*, 10:12204. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-68680-1>
- Penicaud V., Lacoue-Labarthe T., Bustamante P. 2017. Metal bioaccumulation and detoxification processes in cephalopods: A review. *Environmental Research*, 155: 123-133. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2017.02.003>.
- Possatto F.E., Barletta M., Costa M.F., Ivar do Sul J.A., Dantas D.V. 2011. Plastic debris ingestion by marine catfish: An unexpected fisheries impact. *Marine Pollution Bulletin*, 62 (5): 1098-1102. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.01.036>.

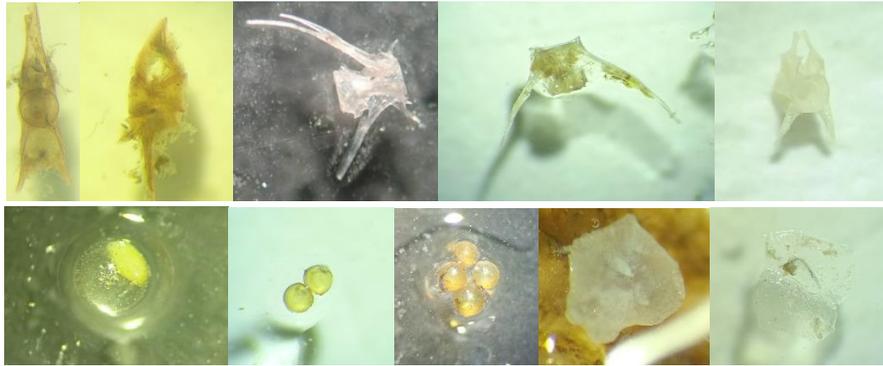
- Portner E. J., Markaida U. Robinson C. J., Gilly G. F. 2019. Ecología trófica del calamar de Humboldt, *Dosidicus gigas*, en conjunto con el tamaño corporal y la variabilidad climática en el Golfo de California, México *Limnology and Oceanography*. Volumen 65, Número 4. Páginas 732-748. <https://doi.org/10.1002/lno.11343>.
- Provencher J.F., Ammendolia J., Rochman C.M., Mallory M.L. 2018. Assessing plastic debris in aquatic food webs: what we know and don't know about uptake and trophic transfer. *Environmental Reviews*, 27: 304-317. <https://doi.org/10.1139/er-2018-0079>.
- Provencher J.F., Gaston A.J., Mallory M.L., O'hara P.D., Gilchrist H.G. 2010. Ingested plastic in a diving seabird, the thick-billed murre (*Uria lomvia*), in the eastern Canadian Arctic. *Marine Pollution Bulletin*, 60(9): 1406-1411. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2010.05.017>
- Rech S., Macaya-Caquilpán V., Pantoja J.F., Rivadeneira M.M., Jofre Madariaga D., Thiel M. 2014. Rivers as a source of marine litter – A study from the SE Pacific. *Marine Pollution Bulletin*. Volume 82, Issues 1–2, 15 May 2014, Pages 66-75.
- Renzi M., Blaškovića A., Bernardi G., Russo G.F. 2018 Plastic litter transfer from sediments towards marine trophic webs: A case study on holothurians. *Marine Pollution Bulletin*, 13: 5376-385. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.07.038>.
- Rigby C.L., Sherman C.S., Chin A., Simpfendorfer C. 2021. *Carcharhinus falciformis*. *The IUCN Red List of Threatened Species*. Recuperado el 18/03/2023 de <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2017-3.RLTS.T39370A117721799.en>.
- Rios-Fuster B., Alomar C., Compa M., Guijarro B., Deudero S. 2019. Anthropogenic particles ingestion in fish species from two areas of the western Mediterranean Sea. *Marine Pollution Bulletin*, 144: 325-333. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.04.064>
- Ripple W.J., Wolf C., Newsome T.M., Betts M.G., Ceballos G., Courchamp F., Hayward M.W., Valkenburgh B.V., Wallach A.D., Worm B. 2019. Are we eating the world's megafauna to extinction?. *Conservation Letters*, 12(3): e12627. <https://doi.org/10.1111/conl.12627>
- Rochman C.M., Tahir A., Williams S.L., Baxa D.V., Lam R., Miller J.T., The F.C., Werorilangi S., The S.J. 2015. Anthropogenic debris in seafood: Plastic debris and fibers from textiles in fish and bivalves sold for human consumption. *Scientific Reports*, 5: 14340. <https://doi.org/10.1038/srep14340>.
- Rojo-Nieto E., Montoto T. 2017. Basuras marinas, plásticos y microplásticos: orígenes, impactos y consecuencias de una amenaza global. *Ecologistas en Acción*, 53 p.

- Romeo T., Battaglia P., Pedà C., Consoli P., Andaloro F., Fossi M.C. 2015. First evidence of presence of plastic debris in stomach of large pelagic fish in the Mediterranean Sea. *Marine Pollution Bulletin*, 95 (1): 358-361. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2015.04.048>
- Rosas-Luis Rigoberto. 2016. Description of plastic remains found in the stomach contents of the jumbo squid *Dosidicus gigas* landed in Ecuador during 2014. *Marine Pollution Bulletin*.113:302–305. <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.09.060>.
- Ryan P.G., Moore C.J., van Franeker J.A., Moloney C.L. 2009. Monitoring the abundance of plastic debris in the marine environment. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 364: 1999-2012. <https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0207>.
- Seltenrich N. 2015. New link in the food chain? Marine plastic pollution and seafood safety. *Environmental Health Perspectives*, 123 (2): A34-A41, <http://dx.doi.org/10.1289/ehp.123-A34>.
- Setälä O., Fleming-Lehtinen V., Lehtiniemi M. 2014. Ingestion and transfer of microplastics in the planktonic food web. *Environmental Pollution*, 185: 77-83. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2013.10.013>
- Smith L.E. 2018. Plastic ingestion by *Scylliorhinus canicula* trawl captured in the North Sea. *Marine Pollution Bulletin*, 130: 6-7. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.03.001>.
- Sukhsangchan C., Nabhitabhata J., Meksumpun S. 2008. Notes on the behaviour of the female muddy Argonaut, *Argonauta hians* lightfoot, 1786 in captivity. *Phuket mar. biol. Cent. Res. Bull.* 69: 55–59.
- Tapia-Garcia M., Garcia Abad M.C., Carranza Edwards A., Vázquez Gutiérrez F. 2007. Caracterización ambiental de la plataforma continental del Golfo de Tehuantepec, México. *Geofísica Internacional*, Vol. 46, Num. 4, pp. 249-260.
- Terepocki A.K., Brush A.T., Kleine L.U., Shugart G.W., Hodum P. 2017. Size and dynamics of microplastic in gastrointestinal tracts of Northern Fulmars (*Fulmarus glacialis*) and Sooty Shearwaters (*Ardenna grisea*). *Marine Pollution Bulletin*, 116(1-2): 143-150. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.12.064>.
- Tourinho P. S., Ivar do Sul J.A., Fillmann G. 2010. Is marine debris ingestion still a problem for the coastal marine biota of southern Brazil?. *Marine Pollution Bulletin*. Volume 60, Issue 3, Pp 396-401.

- UNEP. 2016. *Marine plastic debris and microplastics – Global lessons and research to inspire action and guide policy change*. United Nations Environment Programme, Nairobi. Recuperado 10/10/2020.
- Vaske Jr.T., Lessa R.P., Gadig O.B.F. 2009. Feeding habits of the blue shark (*Prionace glauca*) off the coast of Brazil. *Biota Neotropica*, 9 (3): 55-60. <https://doi.org/10.1590/S1676-06032009000300004>.
- Villar-Lucas J.E. 2022. Análisis de la presencia de microplástico en diferentes organismos marinos del Ecuador 2018- 2021. Universidad Estatal Península de Santa Elena Facultad de Ciencias del Mar. p44.
- Volkheimer G.1977. Persorption of Particles: Physiology and Pharmacology. *Advances in Pharmacology*. Volume 14, 1977, Pages 163-187
- Wetherbee, B.; Gruber, S.; Corte´s, E., 1990. Diet, feeding habits, digestion and consumption in sharks, with special reference to the lemon shark, *Negaprion brevirostris*. In: Elasmobranchs as living resources: advances in the Biology, Ecology, Systematics and the status of the Fisheries. H. L. Pratt Jr, S. H. Gruber, T. Taniuchi (Eds), NOAA Tech. Rep 90, Washington, USA, pp. 29–47.
- Wright L.S., Thompson C.R., Galloway S.T. 2013. The physical impacts of microplastics on marine organisms: A review. *Environmental Pollution*, 178: 483-492. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2013.02.031>.
- Zar J.H. 1999. *Biostatistical Analysis*. Prentice Hall Inc., Upper Saddke River, 662 p.
- Zhang F, Wang X., Xu J., Zhu L., Peng G., Xu P., Li D. 2019. *Food-web transfer of microplastics between wild caught fish and crustaceans in East China Sea*. *Marine Pollution Bulletin*, 146: 173-182. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.05.061>.

13. ANEXOS

Anexo I



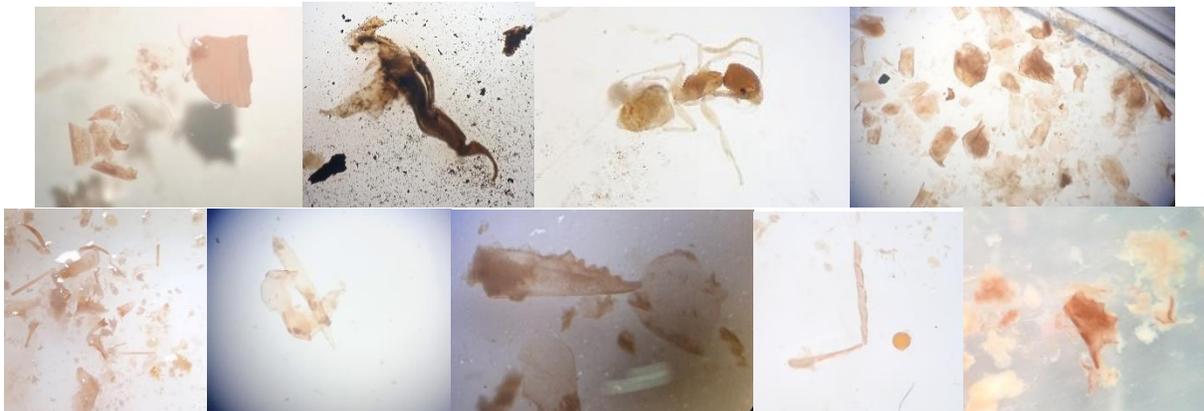
Restos de peces encontrados en *Dosidicus gigas*



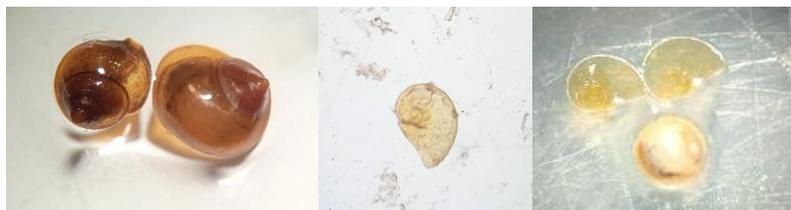
Restos de moluscos encontrados en *Dosidicus gigas*



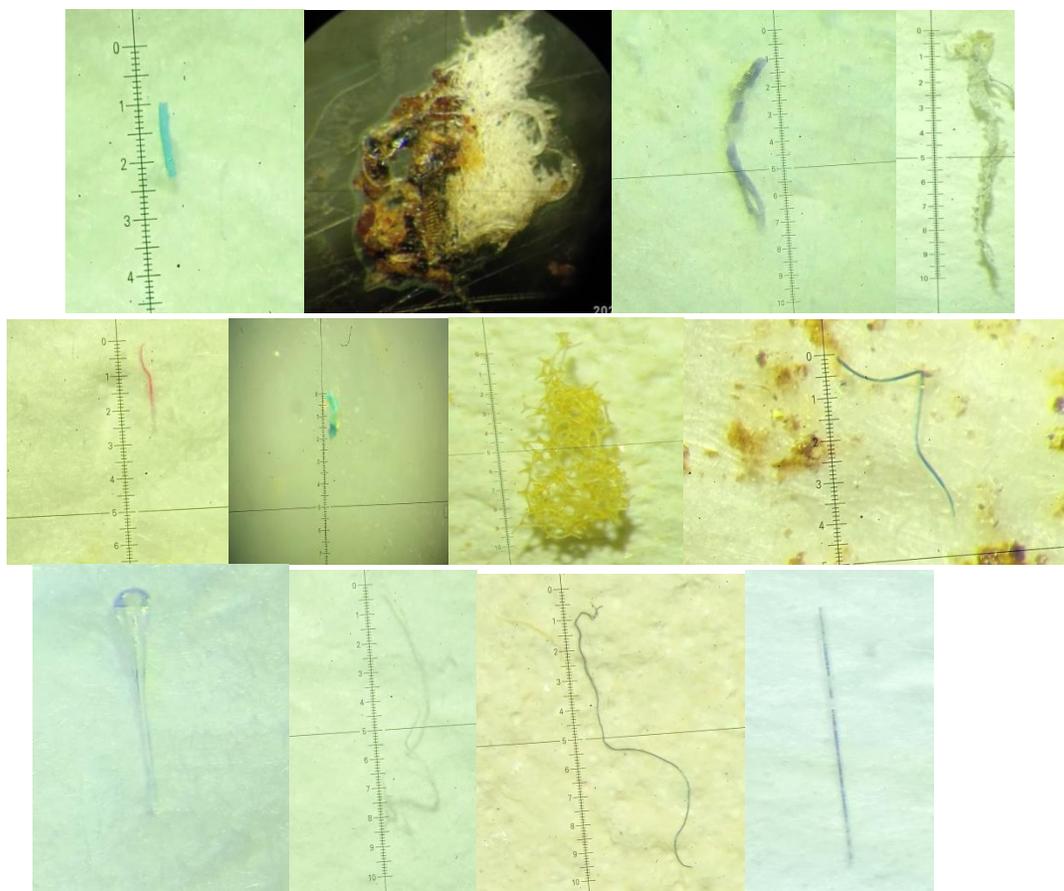
Restos de crustáceos encontrados en *Dosidicus gigas*



Restos de crustáceos encontrados en los pulpos del género *Argonauta* sp.



Restos de moluscos encontrados en los pulpos del género *Argonauta* sp.



Partículas Antropogénicas encontradas dentro de los contenidos estomacales del *calamar D. gigas* y los pulpos del género *Argonauta* sp.

Anexo II

Funcionamiento de los modelos de Clasificación de Red Neuronal

Carcharhinus falciformis

En base al original registro del contenido estomacal del tiburón sedoso *C. falciformis*, se realizó una nueva base de datos unificando las presas: Crustáceos-CR (*Portunus xantusii*), Cefalópodos-CP (*Dosidicus gigas*) y (*Argonauta spp*), Peces-PC (tetraodóntidos), Tortugas-TR (*Lepidochelys olivácea*) y los diferentes tipos de Partículas Antropogénicas-PA. Se planteo un diseño experimental, y con las medidas antes mencionadas se construyó una matriz A de datos para realizar las preferencias alimenticias entre sexos.

Matriz A =

Sexo	CR	CP	PC	TR	PA
M	ij	ij	ij	ij	ij
-	ij	ij	ij	ij	ij
-	ij	ij	ij	ij	ij
-	ij	ij	ij	ij	ij
-	ij	ij	ij	ij	ij
-	ij	ij	ij	ij	ij
-	ij	ij	ij	ij	ij
-	ij	ij	ij	ij	ij
H	ij	ij	ij	ij	ij

En los i renglones de la matriz A, hay dos A_i variables que tienen asignados nombres cualitativos diferentes. (P.ej.: A_{i1} = machos y A_{i2} = hembras). En las j columnas hay cinco X_j variables que tienen asignados nombres cualitativos diferentes (P.ej.: X_{j1} CR, X_{j2} = CP, X_{j3} = PC). En cada ij interacción, están inscritos los registros cuantitativos que representan a A_i = variables dependientes en las X_j variables independientes.

El modelo neuronal de clasificación fue un MLP (*Three layer perceptrón*) se estructuró utilizando tres capas de aprendizaje para procesar los registros observados CR, CP, PC, TR y BA. (Fig.8a, Tabla 4).

La primera capa de aprendizaje tiene cinco neuronas, la segunda capa de aprendizaje está compuesta por siete neuronas y la tercera capa de aprendizaje tiene una neurona. Se utilizaron cinco modelos lineales en la primera sinapsis y su correspondiente activación en la primera capa de aprendizaje fue con $1ac = [a_i =$

$(b \cdot X_i) - c]$, donde a es la i neurona activada para la X_i variables de entrada con los b y c parámetros lineales, X es la i medida cuantitativa. Saliendo de cada a_i se implementaron señales sinápticas por grupos de siete dirigidas a cada neurona en la segunda capa de aprendizaje con $[d_i = (\sum a_i \cdot W_i) - f_i]$, donde d es la señal sináptica i , W_i es el peso estadístico de cada a_i y f_i es el correspondiente umbral estimado de cada d_i .

Se utilizó un modelo hiperbólico para activar a las siete neuronas en la segunda capa de aprendizaje $[g_i = \frac{e^{d_i} - e^{-d_i}}{e^{d_i} + e^{-d_i}}]$, donde g es la neurona i activada en el rango de $(-1, +1)$. Saliendo de cada g_i se implementaron siete señales sinápticas, dirigidas a las neuronas a la tercera capa de aprendizaje $[h_i = (\sum g_i \cdot W_i) - k]$, donde h es la señal sináptica i , W_i es el peso de cada g_i y k es el umbral estimado para cada h_i .

Posteriormente, se utilizó un modelo *softmax* para activar la última neurona en la tercera capa de aprendizaje $[l_i = \frac{e^{h_i}}{\sum e^{h_i}}]$, donde l es la neurona i activada en el dominio de $(0, +1)$. Con esta última ecuación, se estimaron las tendencias probabilísticas de cada ítem alimenticio.

Cuando se implementó el modelo neuronal, no fueron definidas correctamente las tendencias probabilísticas para cada componente alimenticio. Por lo tanto, se optimizó el modelo neuronal de ordenación, corriendo ochenta y una veces más el aprendizaje de *Backpropagation*, y en cada corrida se obtuvieron nuevas tendencias probabilísticas. Estas últimas, se analizaron en relación con el número de veces que se repitieron hasta que ellas se estabilizaron en la última corrida. Así se estableció la elección final de las tendencias probabilísticas de cada medida cuantitativa, junto con el *train error* de 0.65. La combinación de modelos lineales y no lineales utilizada fue determinada automáticamente en tres tiempos de aprendizaje con el software *Statistica 7.0*.

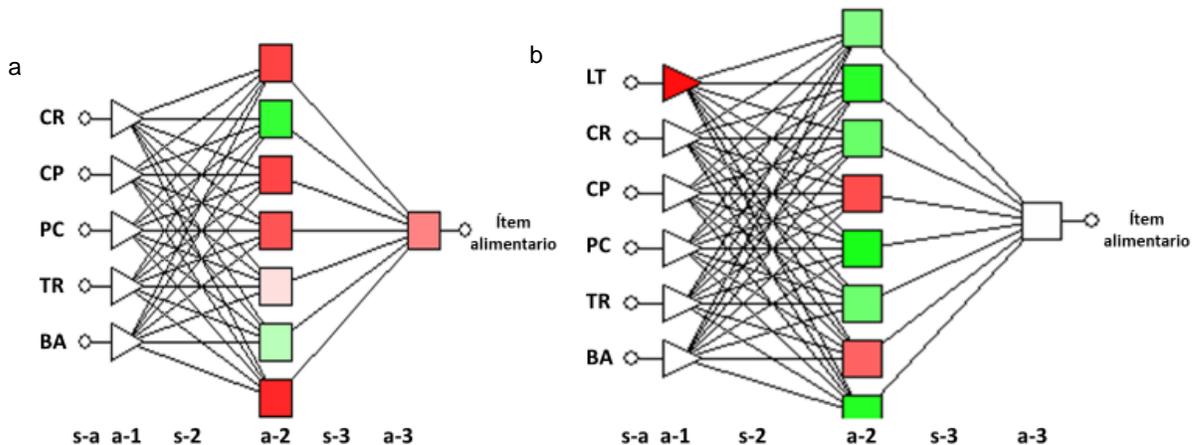


Figura 13a. Modelo neuronal de clasificación para estimar las tendencias probabilísticas de los ítems alimentarios de *Carcharhinus falciformis* presentes en machos y hembras. **Figura 8b** en noviembre y diciembre. En la figura los triángulos y cuadrados representan a neuronas. Las s-1, s-2, s-3 son las sinapsis y las a-1, a-2 y a-3, son las capas de aprendizaje activadas.

Registro de contenido estomacal por mes de captura

Con el diseño experimental Tabla 1 y después de la diferenciación entre meses para 93 especímenes (36 capturas en noviembre y 57 capturas en diciembre), se incluyó como variable de entrada a la Longitud Total (LT) de la especie, con el fin de ayudar a estandarizar la presencia o ausencia de los ítems alimentarios.

Con las medidas antes mencionadas se construyó una matriz B.

Matriz B =

Mes	LT	CR	CP	PC	TR	PA
Noviembre	177.8	ij	ij	ij	ij	ij
-		ij	ij	ij	ij	ij
-		ij	ij	ij	ij	ij
-		ij	ij	ij	ij	ij
-		ij	ij	ij	ij	ij
-		ij	ij	ij	ij	ij
-		ij	ij	ij	ij	ij
-		ij	ij	ij	ij	ij
Diciembre	94.5	ij	ij	ij	ij	ij

En los i renglones de la matriz A, hay dos A_i variables que tienen asignados nombres cualitativos diferentes. (P.ej.: A_{i1} = noviembre y A_{i2} = diciembre). En las j columnas hay cinco X_j variables que tienen asignados nombres cuantitativos diferentes (P.ej.: X_{j1} CR, X_{j2} = CP, X_{j3} = PC, X_{j4} = TR, X_{j5} = BA, X_{j6} = LT). En cada ij interacción, están inscritos los registros que representan a A_i = variables dependientes en las X_j variables independientes.

El modelo neuronal de clasificación fue un MLP (*Three layer perceptrón*) se estructuró utilizando tres capas de aprendizaje para procesar los registros observados CR, CP, PC, TR y PA (Fig.8b, Tabla 3).

La primera capa de aprendizaje tiene seis neuronas, la segunda capa de aprendizaje está compuesta por ocho neuronas y la tercera capa de aprendizaje tiene una neurona. Se utilizaron cinco modelos lineales, en la primera sinapsis y su correspondiente activación en la primera capa de aprendizaje fue con $1ac = [ai = (b \cdot Xi) - c]$, donde a es la i neurona activada para la Xi variables de entrada con los b y c parámetros lineales, X es la i medida cuantitativa. Saliendo de cada ai se implementaron señales sinápticas por grupos de seis dirigidas a cada neurona en la segunda capa de aprendizaje con $[di = (\sum ai \cdot Wi) - fi]$, donde d es la señal sináptica i, Wi es el peso estadístico de cada ai y fi es el correspondiente umbral estimado de cada di .

Se utilizó un modelo hiperbólico para activar a las siete neuronas en la segunda capa de aprendizaje $[gi = \frac{edi - e-di}{edi + e-d}]$, donde g es la neurona i activada en el rango de (-1, +1). Saliendo de cada gi se implementaron una señal sináptica, dirigidas a las neuronas a la tercera capa de aprendizaje $[hi = (\sum gi \cdot Wi) - k]$, donde h es la señal sináptica i, Wi es el peso de cada gi y k es el umbral estimado para cada hi .

Posteriormente, se utilizó un modelo *softmax* para activar la última neurona en la tercera capa de aprendizaje $[li = \frac{ehi}{\sum eh}]$, donde l es la neurona i activada en el dominio de (0, +1). Con esta última ecuación, se estimaron las tendencias probabilísticas de cada ítem alimenticio.

Cuando se implementó el modelo neuronal, no fueron definidas correctamente las tendencias probabilísticas para cada componente alimenticio. Por lo tanto, se optimizó el modelo neuronal de ordenación, corriendo veintidós veces más el aprendizaje de *Backpropagation*, y en cada corrida se obtuvieron nuevas tendencias probabilísticas. Estas últimas, se analizaron en relación con el número de veces que se repitieron hasta que ellas se estabilizaron en la última corrida. Así se estableció la elección final de las tendencias probabilísticas de cada medida cuantitativa, junto con un *train error* de 0.65. La combinación de modelos lineales y no lineales utilizada fue determinada automáticamente en tres tiempos de aprendizaje con el software *Statistica 7.0*.

Longitud Total (LT)

Se implementó un tercer modelo de red neuronal, donde estructuralmente, la medida biométrica se consideró más corta cuando era menor en machos o hembras, la medida biométrica se consideró más larga cuando era mayor en machos o hembras. Se registró una tendencia descendente probabilística (desde 1.00 hasta 0.00). Se consideró el caso contrario cuando una medida registró una tendencia probabilística ascendente (desde 0.00 hasta 1.00). El modelo neuronal de clasificación fue un MLP (*Three*

layer perceptrón) se estructuró utilizando tres capas de aprendizaje para procesar los registros observados LT.

La primera capa de aprendizaje tiene una neurona, la segunda capa de aprendizaje está compuesta por ocho neuronas y la tercera capa de aprendizaje tiene una neurona. Se utilizaron cinco modelos lineales, en la primera sinapsis y su correspondiente activación en la primera capa de aprendizaje fue con $1ac = [ai = (b \cdot Xi) - c]$, donde a es la i neurona activada para la Xi variables de entrada con los b y c parámetros lineales, X es la i medida cuantitativa. Saliendo de cada ai se implementaron señales sinápticas dirigidas a cada neurona en la segunda capa de aprendizaje con $[di = (\sum ai \cdot Wi) - fi]$, donde d es la señal sináptica i, Wi es el peso estadístico de cada ai y fi es el correspondiente umbral estimado de cada di.

Se utilizó un modelo hiperbólico para activar a las ocho neuronas en la segunda capa de aprendizaje $[gi = \frac{edi - e-di}{edi + e-di}]$, donde g es la neurona i activada en el rango de (-1, +1). Saliendo de cada gi se implementaron una señal sináptica, dirigidas a las neuronas a la tercera capa de aprendizaje $[hi = (\sum gi \cdot Wi) - k]$, donde h es la señal sináptica i, Wi es el peso de cada gi y k es el umbral estimado para cada hi.

Posteriormente, se utilizó un modelo lineal para activar la última neurona en la tercera capa de aprendizaje $[li = \frac{ehi}{\sum ehil}]$, donde l es la neurona i activada en el dominio de (0, +1). Con esta última ecuación, se estimaron las tendencias probabilísticas de LT por sexo.

Cuando se implementó el modelo neuronal, no fueron definidas correctamente las tendencias probabilísticas para cada componente alimenticio. Por lo tanto, se optimizó el modelo neuronal de ordenación, corriendo veintiún veces más el aprendizaje de *Backpropagation*, y en cada corrida se obtuvieron nuevas tendencias probabilísticas. Estas últimas, se analizaron en relación con el número de veces que se repitieron hasta que ellas se estabilizaron en la última corrida. Así se estableció la elección final de las tendencias probabilísticas de cada medida cuantitativa, junto con un *train error* de 0.65.

Relación Cefalópodo-PA

La primera capa de aprendizaje tiene una neurona, la segunda capa de aprendizaje está compuesta por ocho neuronas y la tercera capa de aprendizaje tiene una neurona. Se utilizó un modelos lineal, en la primera sinapsis y su correspondiente activación en la primera capa de aprendizaje fue con $1ac = [ai = (b \cdot Xi) - c]$, donde a es la i neurona activada para la Xi variables de entrada con los b y c parámetros lineales, X es la i medida cuantitativa. Saliendo de cada ai se implementaron señales sinápticas dirigidas a cada neurona en la segunda capa de aprendizaje con $[di = (\sum ai \cdot Wi) - fi]$, donde d es la señal sináptica i, Wi es el peso estadístico de cada ai y fi es el correspondiente umbral estimado de cada di.

Se utilizó un modelo hiperbólico para activar a las ocho neuronas en la segunda capa de aprendizaje [$g_i = \frac{e^{di} - e^{-di}}{e^{di} + e^{-di}}$], donde g es la neurona i activada en el rango de $(-1, +1)$. Saliendo de cada g_i se implementaron una señal sináptica, dirigidas a las neuronas a la tercera capa de aprendizaje [$h_i = (\sum g_j \cdot W_j) - k$], donde h es la señal sináptica i , W_j es el peso de cada g_j y k es el umbral estimado para cada h_i . Posteriormente, se utilizó un modelo logístico para activar la última neurona en la tercera capa de aprendizaje [$l_i = \frac{e^{h_i}}{\sum e^{h_i}}$], donde l es la neurona i activada en el dominio de $(0, +1)$. Con esta última ecuación, se estimó el ajuste de predicción entre los cefalópodos y las partículas antropogénicas. El modelo neuronal corriendo dieciocho veces más el aprendizaje de *Backpropagation*, y en cada corrida se obtuvieron nuevas tendencias probabilísticas. Estas últimas, se analizaron en relación con el número de veces que se repitieron hasta que ellas se estabilizaron en la última corrida. Así se estableció la elección final de las tendencias probabilísticas de cada medida cuantitativa, junto con un *train error* de 0.59.

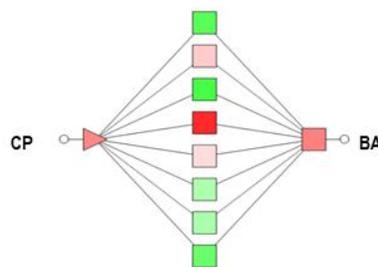


Figura 14. Modelo neuronal para estimar las tendencias probabilísticas de los cefalópodos con respecto a las PA. En la figura los triángulos y cuadrados representan a neuronas. Las s-1, s-2, s-3 son las sinapsis y las a-1, a-2 y a-3, son las capas de aprendizaje activadas.

Cefalópodos

Se realizó una base de datos unificando las presas: Crustáceos-CR, Peces-PC, Moluscos MO y los diferentes tipos de Partículas Antropogénicas-PA. Se planteó un diseño experimental. Con las medidas antes mencionadas se construyó una matriz C de datos para realizar las preferencias alimenticias entre especies.

Matriz C =

Especie	CR	PC	MO	PA
Argonauta	ij	ij	ij	ij
-	ij	ij	ij	ij
-	ij	ij	ij	ij
-	ij	ij	ij	ij
Argonauta -	ij	ij	ij	ij
<i>D.gigas</i>	ij	ij	ij	ij
-	ij	ij	ij	ij
-	ij	ij	ij	ij
-	ij	ij	ij	ij
<i>D.gigas</i>	ij	ij	ij	ij

En los i renglones de la matriz A, hay dos A_i variables que tienen asignados nombres cualitativos diferentes. (P.ej.: A_{i1} = Argonauta y A_{i2} = *D. gigas*). En las j columnas hay cuatro X_j variables que tienen asignados nombres cualitativos diferentes (P.ej.: X_{j1} CR, X_{j2} = PC, X_{j3} = PA). En cada ij interacción, están inscritos los registros cuantitativos que representan a A_i = variables dependientes en las X_j variables independientes.

El modelo neuronal de clasificación fue un MLP (*Three layer perceptrón*) se estructuró utilizando tres capas de aprendizaje para procesar los registros observados CR, PC, MO y PA con relación a las especies de cefalópodos (Tabla 4).

La primera capa de aprendizaje tiene cuatro neuronas, la segunda capa de aprendizaje está compuesta por seis neuronas y la tercera capa de aprendizaje tiene una neurona. Se utilizaron cuatro modelos lineales, en la primera sinapsis y su correspondiente activación en la primera capa de aprendizaje fue con $1ac = [a_i = (b \cdot X_i) - c]$, donde a es la i neurona activada para la X_i variables de entrada con los b y c parámetros lineales, X es la i medida cuantitativa. Saliendo de cada a_i se implementaron señales sinápticas por grupos de cuatro dirigidas a cada neurona en la segunda capa de aprendizaje con $[d_i = (\sum a_i \cdot W_i) - f_i]$, donde d es la señal sináptica i , W_i es el peso estadístico de cada a_i y f_i es el correspondiente umbral estimado de cada d_i .

Se utilizó un modelo hiperbólico para activar a las seis neuronas en la segunda capa de aprendizaje [$g_i = \frac{e^{d_i} - e^{-d_i}}{e^{d_i} + e^{-d_i}}$], donde g es la neurona i activada en el rango de (-1, +1). Saliendo de cada g_i se implementaron una señal sináptica, dirigidas a las neuronas a la tercera capa de aprendizaje [$h_i = (\sum g_j \cdot W_j) - k$], donde h es la señal sináptica i , W_j es el peso de cada g_j y k es el umbral estimado para cada h_i . Posteriormente, se utilizó un modelo *logístico* para activar la última neurona en la tercera capa de aprendizaje [$l_i = \frac{e^{h_i}}{\sum e^{h_i}}$], donde l es la neurona i activada en el dominio de (0, +1). Con esta última ecuación, se estimaron las tendencias probabilísticas de cada ítem alimenticio.

Cuando se implementó el modelo neuronal, no fueron definidas correctamente las tendencias probabilísticas para cada componente alimenticio. Por lo tanto, se optimizó el modelo neuronal de ordenación, corriendo veintiún veces más el aprendizaje de *Backpropagation*, y en cada corrida se obtuvieron nuevas tendencias probabilísticas. Estas últimas, se analizaron en relación con el número de veces que se repitieron hasta que ellas se estabilizaron en la última corrida. Así se estableció la elección final de las tendencias probabilísticas de cada medida cuantitativa, junto con un *train error* de 0.67. La combinación de modelos lineales y no lineales utilizada fue determinada automáticamente en tres tiempos de aprendizaje con el software *Statistica 7.0*.

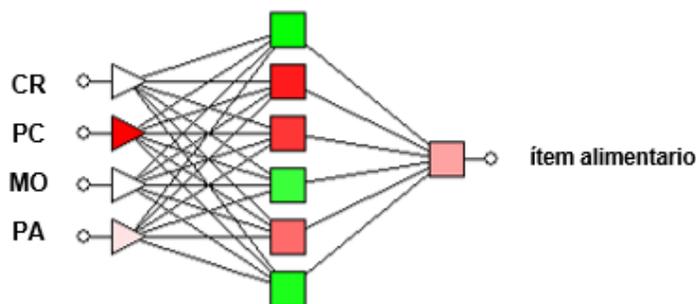


Figura 15. Modelo neuronal de clasificación para estimar las tendencias probabilísticas de los ítems alimentarios de los cefalópodos *D. gigas* y Argonautas. En la figura los triángulos y cuadrados representan a neuronas. Las s-1, s-2, s-3 son las sinapsis y las a-1, a-2 y a-3, son las capas de aprendizaje activadas.

ANEXO II

Tabla 7. Hábitos alimentarios de *Carcharhinus falciformis* en aguas tropicales mexicanas, capturado en noviembre y diciembre del 2018. La tabla indica el número de estómagos, Longitud Total (LT), Crustáceos (CR), Cefalópodos (CP), Peces, (PC), Tortugas (TR) y Partículas Antropogénicas (PA).

Sexo	Mes	LT	CR	CP	PC	TR	PA
M	Noviembre	177.8	0	0	0	0	0
M	Noviembre	115.7	0	0	0	0	0
M	Noviembre	143.8	2	0	0	0	0
M	Noviembre	106.5	0	0	0	0	0
M	Noviembre	104.2	5	1	0	0	1
M	Noviembre	103	2	1	0	0	0
M	Noviembre	124.9	0	1	0	0	0
M	Noviembre	96.1	0	0	0	0	0
M	Noviembre	95	0	0	0	0	0
M	Noviembre	91.5	0	0	0	0	0
M	Noviembre	88.1	0	0	0	0	0
M	Noviembre	106.5	0	0	0	0	0
M	Noviembre	95	0	0	0	0	0
M	Noviembre	119.1	0	0	0	0	0
M	Noviembre	91.5	0	0	0	0	1
M	Noviembre	97.3	0	0	0	0	0
M	Noviembre	103	0	0	0	0	0
M	Noviembre	101.9	5	0	0	0	0
M	Noviembre	121.4	0	0	0	0	0
M	Noviembre	104.2	2	0	0	0	0
M	Noviembre	100.7	0	0	0	0	0
M	Noviembre	101.9	0	0	0	0	0
M	Noviembre	99.6	0	0	0	0	0
M	Diciembre	103	0	3	1	0	0
M	Diciembre	100.7	15	0	3	0	1
M	Diciembre	101.9	0	3	0	0	0
M	Diciembre	101.9	0	1	0	0	0
M	Diciembre	92.7	0	0	0	0	0
M	Diciembre	107	0	0	0	0	0
M	Diciembre	98.4	0	0	0	0	0
M	Diciembre	104.2	4	0	0	0	0
M	Diciembre	108.8	0	3	0	0	0
M	Diciembre	95	0	0	0	0	0
M	Diciembre	105.9	0	0	0	0	0
M	Diciembre	63.3	0	36	0	0	0

M	Diciembre	99.6	0	0	0	0	0
M	Diciembre	95	0	0	0	0	0
M	Diciembre	106.5	0	0	0	0	0
H	Noviembre	110.9	0	0	0	0	0
H	Noviembre	126.4	0	0	0	0	0
H	Noviembre	125.1	0	0	0	0	0
H	Noviembre	131.6	1	0	0	0	0
H	Noviembre	123.8	0	0	0	0	0
H	Noviembre	101.9	0	0	0	0	0
H	Noviembre	116.1	0	0	0	0	0
H	Noviembre	143.2	0	0	0	0	0
H	Noviembre	138	0	0	0	0	0
H	Noviembre	140.6	0	0	0	0	0
H	Noviembre	185.7	0	0	0	0	0
H	Noviembre	143.2	0	0	0	0	0
H	Noviembre	82.5	0	0	0	0	0
H	Diciembre	87.7	0	1	0	0	0
H	Diciembre	101.9	2	0	0	0	0
H	Diciembre	92.2	1	1	0	0	0
H	Diciembre	64.9	0	0	0	0	0
H	Diciembre	81.9	1	1	0	0	0
H	Diciembre	138	0	0	0	0	0
H	Diciembre	100.6	19	1	0	0	0
H	Diciembre	94.1	0	0	0	0	0
H	Diciembre	92.9	0	1	0	0	0
H	Diciembre	92.2	5	4	0	0	0
H	Diciembre	103.2	0	3	0	0	0
H	Diciembre	99.3	0	0	0	0	0
H	Diciembre	100.6	0	13	0	0	0
H	Diciembre	109.6	43	0	0	0	0
H	Diciembre	107	0	1	0	0	0
H	Diciembre	96.7	0	2	1	0	0
H	Diciembre	92.9	0	0	0	0	0
H	Diciembre	77.4	0	0	0	0	0
H	Diciembre	96.7	0	0	0	0	0
H	Diciembre	91.6	0	22	0	1	0

H	Diciembre	90.3	3	2	0	0	0
H	Diciembre	104.5	0	0	0	0	0
H	Diciembre	91.6	0	0	0	0	0
H	Diciembre	98	1	0	0	0	0
H	Diciembre	94.1	0	0	0	0	0
H	Diciembre	89	60	0	0	0	0
H	Diciembre	61.2	0	5	0	0	0
H	Diciembre	87.7	0	1	3	0	0
H	Diciembre	58	0	3	0	0	0
H	Diciembre	87.7	0	2	0	0	0
H	Diciembre	103.8	0	0	0	0	0
H	Diciembre	94.1	0	4	0	0	0
H	Diciembre	86.4	0	3	0	0	0
H	Diciembre	81.2	0	0	0	0	0
H	Diciembre	80	8	3	0	0	0
H	Diciembre	103.8	0	0	0	0	0
H	Diciembre	91.6	0	0	0	0	0
H	Diciembre	101.9	1	0	0	0	0
H	Diciembre	89	0	2	1	0	0
H	Diciembre	95.4	0	0	0	0	0
H	Diciembre	98.7	16	7	0	0	0
H	Diciembre	95.4	0	0	0	0	0

Tabla 8. Hábitos alimentarios de *Dosidicus gigas* y *Argonautas*, en aguas tropicales mexicanas. La tabla indica el número de estómagos, Crustáceos (CR), Peces, (PC), Moluscos (MO) y Partículas Antropogénicas (PA).

	CR	PC	MO	PA
Argonauta	0	1	0	1
Argonauta	0	0	0	0
Argonauta	0	0	0	0
Argonauta	0	0	0	1
Argonauta	0	0	0	0
Argonauta	0	0	0	0
Argonauta	0	0	0	9
Argonauta	0	0	0	2
Argonauta	0	1	0	0
Argonauta	0	0	0	0

Argonauta	0	0	0	0
Argonauta	0	0	0	0
Argonauta	0	0	0	0
Argonauta	0	1	1	0
Argonauta	0	0	1	0
Argonauta	0	0	0	0
Argonauta	0	0	0	0
Argonauta	0	0	0	0
Argonauta	0	1	1	0
Argonauta	1	1	1	0
Argonauta	0	0	0	0
Argonauta	1	0	2	0
Argonauta	0	1	0	0
Argonauta	1	0	0	0
Argonauta	1	0	0	0
Argonauta	0	0	1	0
Argonauta	0	1	0	0
Argonauta	0	1	1	0
Argonauta	0	0	0	0
Argonauta	0	0	0	0
Argonauta	0	1	0	0
Argonauta	0	1	1	0
Argonauta	0	1	0	0
Argonauta	0	1	1	0
Argonauta	0	1	0	0
Argonauta	0	1	0	0
Argonauta	0	1	1	0
Argonauta	0	1	0	0
Argonauta	0	0	0	0
Argonauta	0	1	0	0
Argonauta	0	1	1	0
Argonauta	0	0	0	0
Argonauta	0	1	0	0
Argonauta	0	1	1	0
Argonauta	0	1	0	0
Argonauta	0	1	1	0
Argonauta	1	1	1	0
Argonauta	0	1	0	0
Argonauta	0	0	0	0
Argonauta	0	0	0	0
Argonauta	0	0	0	0
Argonauta	0	0	0	0
Argonauta	1	0	0	0

Argonauta	0	0	0	1
Argonauta	0	0	0	1
<i>D. gigas</i>	0	0	0	1
<i>D. gigas</i>	1	0	0	0
<i>D. gigas</i>	1	0	0	0
<i>D. gigas</i>	0	1	0	0
<i>D. gigas</i>	1	0	0	0
<i>D. gigas</i>	0	1	1	2
<i>D. gigas</i>	0	0	0	1
<i>D. gigas</i>	1	0	0	0
<i>D. gigas</i>	0	0	0	7
<i>D. gigas</i>	1	0	0	0
<i>D. gigas</i>	0	0	0	2
<i>D. gigas</i>	0	0	0	3
<i>D. gigas</i>	0	0	0	1
<i>D. gigas</i>	0	0	0	2
<i>D. gigas</i>	1	0	0	4
<i>D. gigas</i>	0	0	0	1
<i>D. gigas</i>	0	0	0	0
<i>D. gigas</i>	1	0	1	0
<i>D. gigas</i>	0	0	0	1
<i>D. gigas</i>	0	1	0	0
<i>D. gigas</i>	0	0	0	4
<i>D. gigas</i>	0	1	0	0
<i>D. gigas</i>	0	0	1	0
<i>D. gigas</i>	0	0	1	0
<i>D. gigas</i>	1	0	0	0
<i>D. gigas</i>	0	0	0	2
<i>D. gigas</i>	1	0	0	0
<i>D. gigas</i>	1	0	0	0
<i>D. gigas</i>	1	0	0	0
<i>D. gigas</i>	1	0	0	0

Tabla 9. Probabilidades obtenidas del modelo de red neuronal de clasificación de los hábitos alimentarios, Crustáceos (CR), Cefalópodos (CP), Peces, (PC), Tortugas (TR) y Partículas Antropogénicas (PA), por sexo.

Sexo	LT	Crustáceos	Cefalópodos	Peces	Tortugas	Partículas Antropogénica
Macho	0.309	0.535	0.494	0.515	0.499	0.470
Macho	0.327	0.502	0.499	0.496	0.480	0.498
Macho	0.345	0.468	0.504	0.476	0.461	0.528
Macho	0.363	0.434	0.510	0.456	0.443	0.557

Macho	0.381	0.399	0.517	0.436	0.425	0.587
Macho	0.400	0.365	0.525	0.416	0.407	0.617
Macho	0.418	0.332	0.534	0.396	0.390	0.646
Macho	0.436	0.299	0.543	0.376	0.373	0.675
Macho	0.453	0.268	0.554	0.356	0.357	0.702
Macho	0.470	0.238	0.565	0.337	0.342	0.728
Macho	0.486	0.211	0.577	0.318	0.327	0.753
Macho	0.501	0.185	0.590	0.299	0.313	0.776
Macho	0.516	0.162	0.604	0.281	0.299	0.798
Macho	0.530	0.141	0.619	0.264	0.286	0.818
Macho	0.543	0.122	0.634	0.247	0.274	0.836
Macho	0.556	0.105	0.649	0.231	0.263	0.852
Macho	0.567	0.091	0.665	0.216	0.252	0.867
Macho	0.578	0.078	0.682	0.201	0.241	0.880
Macho	0.588	0.067	0.698	0.187	0.232	0.892
Macho	0.598	0.057	0.714	0.174	0.223	0.902
Macho	0.607	0.049	0.730	0.162	0.214	0.912
Macho	0.615	0.042	0.745	0.151	0.206	0.920
Macho	0.622	0.037	0.761	0.140	0.199	0.927
Macho	0.629	0.032	0.775	0.131	0.192	0.933
Macho	0.636	0.027	0.789	0.122	0.186	0.939
Hembra	0.691	0.465	0.506	0.485	0.501	0.530
Hembra	0.673	0.498	0.501	0.504	0.520	0.502
Hembra	0.655	0.532	0.496	0.524	0.539	0.472
Hembra	0.637	0.566	0.490	0.544	0.557	0.443
Hembra	0.619	0.601	0.483	0.564	0.575	0.413
Hembra	0.600	0.635	0.475	0.584	0.593	0.383
Hembra	0.582	0.668	0.466	0.604	0.610	0.354
Hembra	0.564	0.701	0.457	0.624	0.627	0.325
Hembra	0.547	0.732	0.446	0.644	0.643	0.298
Hembra	0.530	0.762	0.435	0.663	0.658	0.272
Hembra	0.514	0.789	0.423	0.682	0.673	0.247
Hembra	0.499	0.815	0.410	0.701	0.687	0.224
Hembra	0.484	0.838	0.396	0.719	0.701	0.202
Hembra	0.470	0.859	0.381	0.736	0.714	0.182
Hembra	0.457	0.878	0.366	0.753	0.726	0.164
Hembra	0.444	0.895	0.351	0.769	0.737	0.148
Hembra	0.433	0.909	0.335	0.784	0.748	0.133
Hembra	0.422	0.922	0.318	0.799	0.759	0.120

Hembra	0.412	0.933	0.302	0.813	0.768	0.108
Hembra	0.402	0.943	0.286	0.826	0.777	0.098
Hembra	0.393	0.951	0.270	0.838	0.786	0.088
Hembra	0.385	0.958	0.255	0.849	0.794	0.080
Hembra	0.378	0.963	0.239	0.860	0.801	0.073
Hembra	0.371	0.968	0.225	0.869	0.808	0.067
Hembra	0.364	0.973	0.211	0.878	0.814	0.061

Tabla 10. Probabilidades obtenidas del modelo de red neuronal de clasificación de los hábitos alimentarios, Crustáceos (CR), Cefalópodos (CP), Peces, (PC), Tortugas (TR) y Partículas Antropogénicas (PA), por mes.

Mes	LT	Crustáceos	Cefalópodos	Peces	Tortugas	Partículas Antropogénicas
Noviembre	0.006	0.512	0.567	0.408	0.408	0.369
Noviembre	0.009	0.423	0.448	0.390	0.391	0.429
Noviembre	0.013	0.340	0.334	0.372	0.374	0.491
Noviembre	0.021	0.267	0.239	0.355	0.358	0.554
Noviembre	0.033	0.207	0.164	0.338	0.343	0.615
Noviembre	0.056	0.158	0.111	0.322	0.328	0.673
Noviembre	0.095	0.120	0.074	0.306	0.314	0.725
Noviembre	0.162	0.091	0.050	0.291	0.300	0.772
Noviembre	0.270	0.069	0.034	0.277	0.287	0.813
Noviembre	0.424	0.053	0.023	0.263	0.275	0.847
Noviembre	0.601	0.040	0.016	0.249	0.264	0.876
Noviembre	0.759	0.031	0.011	0.236	0.252	0.900
Noviembre	0.869	0.024	0.008	0.224	0.242	0.920
Noviembre	0.933	0.019	0.006	0.213	0.232	0.936
Noviembre	0.967	0.015	0.004	0.202	0.222	0.948
Noviembre	0.983	0.012	0.003	0.191	0.213	0.958
Noviembre	0.991	0.010	0.003	0.181	0.205	0.967
Noviembre	0.995	0.008	0.002	0.172	0.197	0.973
Noviembre	0.997	0.007	0.002	0.163	0.189	0.978
Noviembre	0.999	0.006	0.001	0.154	0.182	0.982
Noviembre	0.999	0.005	0.001	0.146	0.175	0.986
Noviembre	0.999	0.004	0.001	0.139	0.168	0.988
Noviembre	1.000	0.003	0.001	0.132	0.162	0.990
Noviembre	1.000	0.003	0.001	0.125	0.156	0.992
Noviembre	1.000	0.003	0.001	0.119	0.150	0.994
Diciembre	0.994	0.488	0.433	0.592	0.592	0.631

Diciembre	0.991	0.577	0.552	0.610	0.609	0.571
Diciembre	0.987	0.660	0.666	0.628	0.626	0.509
Diciembre	0.979	0.733	0.761	0.645	0.642	0.446
Diciembre	0.967	0.793	0.836	0.662	0.657	0.385
Diciembre	0.944	0.842	0.889	0.678	0.672	0.327
Diciembre	0.905	0.880	0.926	0.694	0.686	0.275
Diciembre	0.838	0.909	0.950	0.709	0.700	0.228
Diciembre	0.730	0.931	0.966	0.723	0.713	0.187
Diciembre	0.576	0.947	0.977	0.737	0.725	0.153
Diciembre	0.399	0.960	0.984	0.751	0.736	0.124
Diciembre	0.241	0.969	0.989	0.764	0.748	0.100
Diciembre	0.131	0.976	0.992	0.776	0.758	0.080
Diciembre	0.067	0.981	0.994	0.787	0.768	0.064
Diciembre	0.033	0.985	0.996	0.798	0.778	0.052
Diciembre	0.017	0.988	0.997	0.809	0.787	0.042
Diciembre	0.009	0.990	0.997	0.819	0.795	0.033
Diciembre	0.005	0.992	0.998	0.828	0.803	0.027
Diciembre	0.003	0.993	0.998	0.837	0.811	0.022
Diciembre	0.001	0.994	0.999	0.846	0.818	0.018
Diciembre	0.001	0.995	0.999	0.854	0.825	0.014
Diciembre	0.001	0.996	0.999	0.861	0.832	0.012
Diciembre	0.000	0.997	0.999	0.868	0.838	0.010
Diciembre	0.000	0.997	0.999	0.875	0.844	0.008
Diciembre	0.000	0.997	0.999	0.881	0.850	0.006

Tabla 12. Probabilidades obtenidas del modelo de red neuronal de clasificación de los hábitos alimentarios, Crustáceos (CR), Peces, (PC), Moluscos (MO) y Partículas Antropogénicas (PA).

	Crustáceos	Peces	Moluscos	Partículas Antropogénicas
Argonauta	0.486	0.701	0.577	0.524
Argonauta	0.486	0.671	0.562	0.508
Argonauta	0.487	0.639	0.547	0.491
Argonauta	0.488	0.607	0.534	0.474
Argonauta	0.491	0.575	0.522	0.456
Argonauta	0.494	0.542	0.511	0.438
Argonauta	0.497	0.509	0.501	0.420
Argonauta	0.501	0.477	0.492	0.402
Argonauta	0.506	0.446	0.484	0.384

Argonauta	0.511	0.415	0.477	0.366
Argonauta	0.516	0.385	0.470	0.348
Argonauta	0.521	0.356	0.465	0.331
Argonauta	0.527	0.328	0.460	0.315
Argonauta	0.532	0.302	0.455	0.298
Argonauta	0.538	0.277	0.452	0.283
Argonauta	0.544	0.253	0.449	0.268
Argonauta	0.549	0.231	0.446	0.254
Argonauta	0.555	0.210	0.444	0.241
Argonauta	0.560	0.191	0.442	0.229
Argonauta	0.566	0.173	0.440	0.217
Argonauta	0.571	0.156	0.439	0.206
Argonauta	0.576	0.141	0.438	0.196
Argonauta	0.581	0.127	0.438	0.187
Argonauta	0.586	0.114	0.437	0.178
Argonauta	0.591	0.103	0.437	0.171
<i>D. gigas</i>	0.514	0.299	0.423	0.476
<i>D. gigas</i>	0.514	0.329	0.438	0.492
<i>D. gigas</i>	0.513	0.361	0.453	0.509
<i>D. gigas</i>	0.512	0.393	0.466	0.526
<i>D. gigas</i>	0.509	0.425	0.478	0.544
<i>D. gigas</i>	0.506	0.458	0.489	0.562
<i>D. gigas</i>	0.503	0.491	0.499	0.580
<i>D. gigas</i>	0.499	0.523	0.508	0.598
<i>D. gigas</i>	0.494	0.554	0.516	0.616
<i>D. gigas</i>	0.489	0.585	0.523	0.634
<i>D. gigas</i>	0.484	0.615	0.530	0.652
<i>D. gigas</i>	0.479	0.644	0.535	0.669
<i>D. gigas</i>	0.473	0.672	0.540	0.685
<i>D. gigas</i>	0.468	0.698	0.545	0.702
<i>D. gigas</i>	0.462	0.723	0.548	0.717
<i>D. gigas</i>	0.456	0.747	0.551	0.732
<i>D. gigas</i>	0.451	0.769	0.554	0.746
<i>D. gigas</i>	0.445	0.790	0.556	0.759
<i>D. gigas</i>	0.440	0.809	0.558	0.771
<i>D. gigas</i>	0.434	0.827	0.560	0.783
<i>D. gigas</i>	0.429	0.844	0.561	0.794
<i>D. gigas</i>	0.424	0.859	0.562	0.804
<i>D. gigas</i>	0.419	0.873	0.562	0.813
<i>D. gigas</i>	0.414	0.886	0.563	0.822
<i>D. gigas</i>	0.409	0.897	0.563	0.829

