

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE LETRAS Y CIENCIAS HUMANAS



PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN: MODELAMIENTO BIOGEOGRÁFICO DE ESPECIES
MARINAS EN EL PACÍFICO ORIENTAL TROPICAL

TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PARA OBTENER EL GRADO DE BACHILLER EN
HUMANIDADES CON MENCIÓN EN
GEOGRAFÍA Y MEDIO AMBIENTE

AUTOR:

ARIANA SAONA SARABIA

ASESOR:

MARTÍN ENRIQUE TIMANÁ DE LA FLOR

Lima, Julio, 2020

RESUMEN

El presente trabajo establece el marco teórico y área de estudio de lo que luego será una investigación de tesis para la obtención de Licenciatura con mención en Geografía y Medio Ambiente. En este documento se establece la importancia de la biodiversidad marina y su conservación. En el Perú no existen áreas naturales protegidas que consistan solo de territorio marino, es por eso mismo que esta investigación busca resaltar la conservación de estas especies. Actualmente el cambio climático afecta a la biodiversidad del planeta, entre ellas las especies marinas. Para establecer cómo estas especies se van a ver afectadas a futuro se necesita desarrollar un modelamiento de especies. Por lo tanto, este documento presentará los objetivos del estudio además de la bibliografía de investigaciones relacionadas al tema. Por último, se presentará que el área de estudio será el Pacífico Oriental Tropical.



TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	ii
INTRODUCCIÓN	1
I. PROBLEMÁTICA	2
II. JUSTIFICACIÓN.....	3
III. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN.....	5
IV. OBJETIVOS.....	5
CAPÍTULO 1	6
MARCO CONCEPTUAL.....	6
1.1. MARCO TEÓRICO	7
1.1.1. ZONAS MARINAS DEL PERÚ	7
1.1.2. CAMBIO CLIMÁTICO Y EL OCÉANO.....	9
1.1.3. CAMBIO CLIMÁTICO Y LAS ESPECIES MARINAS	11
1.2. ANTECEDENTES	15
1.2.1. ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS	15
1.2.2. MODELAMIENTO DE ESPECIES MARINAS	16
CAPÍTULO 2.....	19
ÁREA DE ESTUDIO	19
BIBLIOGRAFÍA	22

INTRODUCCIÓN

La biodiversidad en el océano siempre ha sido subestimada. En la época de los romanos se creía que solo existían 176 especies en el océano; en 1858 se creía imposible la existencia de especies por debajo de los 550 metros puesto que nada podría sobrevivir a la presión, falta de luz y bajas temperaturas, pero que, con la expedición británica del H.M.S. *Challenger* realizada desde 1872 a 1876 se logró desmentir. Desde entonces, se han descubierto cada vez más especies. En el año 2000 se habían descrito 1.5 millones de organismos en toda la Tierra, entre ellos 25,000 peces y en total aproximadamente 250,000 especies marinas. Actualmente, en una hora se pueden descubrir entre 12 y 30 especies nuevas y podríamos estar perdiendo más especies de las que descubrimos con la contaminación mundial (Earle, 2009).

Los océanos son además fuente de oxígeno. Más de la mitad del oxígeno que se encuentra en la atmósfera proviene de estos. Existen especies marinas microscópicas que, mediante la fotosíntesis, producen la energía necesaria. A partir de este proceso se permite la fijación del dióxido de carbono y luego libera oxígeno a la atmósfera beneficiando a todos los seres en la Tierra (Earle, 2014).

Esto demuestra la importancia que tiene la biodiversidad del océano en el día a día. Pero esta biodiversidad se está viendo amenazada por el cambio climático puesto que los componentes físicos, biológicos y químicos del océano se ven comprometidos. Los cambios en las condiciones ambientales en los océanos conducen, a la vez, a cambios en la distribución geográfica de las especies que lo habitan, causando múltiples problemas ecológicos. Para investigar estos cambios biogeográficos se realizará un modelamiento de distribución de especies. Esta metodología utiliza algoritmos matemáticos para predecir el cambio de rango en la distribución geográfica de estas según las variaciones climáticas (Torres & Jayat, 2010).

A continuación, se describirá la problemática en la que se centra el estudio. Se hará énfasis en la importancia de este estudio para el contexto peruano actual. Luego se presentará la pregunta de investigación al igual que el objetivo general y los objetivos específicos que esta investigación tomará como ejes centrales.

I. PROBLEMÁTICA

“Sin lo azul, no hay verde” son las palabras de la bióloga marina Sylvia A. Earle, quien trata de resaltarla importancia del océano en el día a día, puesto que por años el océano ha sido menospreciado por los seres humanos especialmente porque es uno de los ámbitos más difíciles de investigar (Earle, 2009). Hooker (2019), enfatiza que no existen muchos estudios sobre la eco-geografía del ecosistema en la costa peruana pese a que es un ecosistema megadiverso con un potencial mundial en pesca y en conservación.

Por otro lado, el cambio climático y el aumento de temperatura de los océanos está afectando a las especies marinas. Un estudio realizado por Robinson et al. (2009) estima cómo el cambio climático afecta a las especies migratorias tales como aves, mamíferos, peces, insectos, entre otras. En este estudio también se describe que el conocimiento de las especies marinas (mamíferos, tortugas y peces) es de moderada a casi nula, puesto que no existen muchos estudios relacionados a estas especies. Las especies migratorias marinas son particularmente vulnerables al cambio de temperatura de la superficie del agua puesto que esto puede afectar sus rutas de migración. Por consecuencia, el hábitat de reproducción de las especies marinas cambiará, afectando la disponibilidad alimentaria (Robinson et al., 2009). El sistema oceánico está fuertemente ligado al sistema atmosférico, por lo tanto, los cambios en el clima que están ocurriendo tienen la fuerza para afectar a los sistemas terrestres de todo el mundo (Earle, 2009).

Actualmente, la mayoría de los estudios se han realizado en el hemisferio norte, especialmente en el Mediterráneo y Noreste Atlántico, y hay una falta de estudios en el

hemisferio sur y el Pacífico (Poloczanska et al., 2016). Es por esto que este trabajo de investigación se concentrará en este ámbito; específicamente, en estudiar el efecto del cambio climático en el reino biogeográfico Pacífico Oriental Tropical (Costello et al., 2017). Además, que esta es un área que afectará a la biodiversidad marina peruana.

II. JUSTIFICACIÓN

El Perú cuenta con una abundancia de recursos hidrobiológicos. Estos no solo contribuyen en la economía nacional y local, sino que también proveen beneficios para los seres humanos tales como alimentos, materia prima, recreación, captura de dióxido de carbono entre otros. Estos son denominados servicios ecosistémicos (Barbier, 2017).

En el año 2018, el Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre (SERFOR) publicó el “Libro Rojo de la Fauna Silvestre Amenazada del Perú” (SERFOR, 2018). Este documento presenta a las especies peruanas que están en peligro de extinción. Sin embargo, las especies marinas no se ven incluidas en el documento al estar bajo la jurisdicción del Ministerio de la Producción (PRODUCE). Kuroiwa (2018) describe como en el Perú toda especie animal o vegetal que se desarrolle total o parcialmente en el medio acuático es considerada como un “recurso hidrobiológico” y, por lo tanto, su manejo se encuentra bajo la jurisdicción de PRODUCE.

Las únicas especies marinas en el Perú que tienen alguna forma de protección legal son aquellas que, al mismo tiempo, gozaban de una protección internacional tales como mantarrayas, tiburones y caballitos de mar (Hooker, 2019). Pero, a fines del 2019, se aprobó el “Plan de conservación de tortugas marinas en el Perú” (D.E. N.º 253-2019-MINAGRI-SERFOR-DE), según el cual la Dirección General de Gestión Sostenible del Patrimonio Forestal de Fauna Silvestre del SERFOR se encargará de implementar e informar los resultados de la gestión que va del 2019-2029 (El Peruano, 2019). Por lo tanto, se puede decir que en el Perú recién se le está dando importancia a la conservación de las

especies marinas. Lamentablemente, en el estado peruano no siempre se cumple con estas regulaciones. Por ejemplo, en el norte del país se venden aletas de tiburón, estrellas de mar o caballitos de mar secos como decoración, aun cuando estas especies llevan años protegidas (Hooker, 2019).

Por ejemplo, el primero de octubre del 2019 se decomisó en el Callao 12.3 millones de caballitos de mar secos, una carga de más de una tonelada, valorizado en aproximadamente US\$ 6 millones en el mercado internacional, a pesar de que la extracción, transporte y comercialización está prohibida (El Comercio, 2019). Esto indica el desconocimiento de los peruanos de las amenazas que sufren las especies marinas, ya que no se le da mayor importancia a las especies que residen en el fondo marino, ni a la función que tienen en el ecosistema global.

El Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado (SERNANP), tiene una propuesta de Reserva Nacional Mar Tropical de Grau, que sería la “primera área natural protegida 100% marina del país” estableciendo ésta como una zona principal de alimentación y refugio para especies diversas desde ballenas y tortugas hasta los peces mero, cabrilla y merluzas, vitales para la pesca peruana. Además de proteger la zona de transición entre las corrientes frías del sur y las corrientes cálidas del norte (SERNANP, s.f.).

Las especies marinas también se ven amenazadas por el cambio climático, porque su ambiente se va a ver modificado. Harley et al. (2006) describe como las especies se ven afectadas por los diferentes impactos en el ambiente que el cambio climático trae. El primer impacto que menciona es el aumento de temperatura, la mayoría de las especies viven en cerca de su tolerancia térmica, lo que significa que el rendimiento y la supervivencia de las especies se verán impactadas negativamente. Esto se puede ver en las larvas de ciertas especies que no se desarrollan cuando las temperaturas suben. A su

vez, existen ciertos depredadores que proliferan con mayores temperaturas, como la estrella de mar *Pisaster ochraceus*, lo que significa que afectaría el equilibrio del ecosistema. El segundo impacto que menciona Harley et al. (2006) es el aumento del nivel del mar, lo que causará un cambio en la distribución de las especies, pero no se estima que la mayoría de las especies se podrían adaptar a este cambio. Otro impacto se ve en el aumento del CO₂ lo que lleva a la reducción del pH en el océano. Esto afecta a la fisiología de los organismos marinos.

III. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

La pregunta principal de este estudio es estimar, de manera analítica, cómo el cambio climático afectará la distribución de algunas especies de tortugas, tiburones y especies marinas afines en el reino Pacífico Oriental Tropical.

IV. OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Determinar el impacto del cambio climático en algunas especies de tortugas, tiburones y especies afines del reino Pacífico Oriental Tropical.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Estudiar las especies que se encuentran en un plan de conservación nacional, e identificar las más adecuadas para el estudio en base a su distribución geográfica y la accesibilidad a la información.
2. Evaluar los efectos del cambio climático sobre la biodiversidad marina en el reino biogeográfico Pacífico Oriental Tropical, para así determinar las especies susceptibles a mayor vulnerabilidad.
3. Comparar los resultados de diferentes estrategias de modelamiento de especies.

CAPÍTULO 1

MARCO CONCEPTUAL

El Artículo 101 de la Ley General del Ambiente establece claramente que “El Estado promueve la conservación de los ecosistemas marinos y costeros, como espacios proveedores de recursos naturales, fuente de diversidad biológica marina y de servicios ambientales de importancia nacional, regional y local” (Ley N° 28611, 2005).

El estudio de las especies marinas es metodológicamente difícil, puesto que se necesita de implementos especiales para acceder a ellas. Pero su evaluación es muy importante, porque pueden contener información valiosa en sus genes que ayudarían a desarrollar conocimiento y tal vez, incluso ser fuente de medicinas para los humanos. La diversidad genética es un factor muy importante, puesto que nos puede ayudar a reducir nuestra vulnerabilidad, por ejemplo, ante enfermedades y/o el cambio climático. No solo no se conocen todas las especies que se encuentran en el fondo marino, sino que también está en riesgo perder especies que pueden ser vitales para con las actividades humanas y el cambio climático. “Estamos reduciendo la diversidad de vida, lo que se puede traducir en la reducción de la posibilidad de prosperar” (Earle, 2009).

En este capítulo se introducirán los conceptos importantes que se desarrollarán en este estudio utilizando referencias bibliográficas. Primero, se presentará el Marco Teórico en donde se determinarán los elementos físicos y biológicos que se pueden encontrar en la zona marina del Perú y el Pacífico Oriental Tropical. En primer lugar, se desarrollará el subtema de “Zonas Marinas del Perú”, aquí se explicará los elementos biogeográficos encontradas en las costas peruanas. En segundo y tercer lugar, se desarrollará un tema global que es el cambio climático, y cómo este afecta a los océanos y a las especies marinas, respectivamente.

Luego, se presentan los Antecedentes del estudio. En este subcapítulo se introducirán los estudios previos que se encuentran relacionados al tema de investigación. En primer lugar, se establecerá el conocimiento que existe acerca de las Áreas Naturales Protegidas marinas con diferentes ejemplos y posibles áreas en el Perú. En segundo lugar, se encuentra el tema del Modelamiento de Especies Marinas, donde se establecen investigaciones que han utilizado diferentes fuentes de información para obtener los datos de georreferencia al igual que los parámetros oceánicos y programas de modelamiento.

1.1. MARCO TEÓRICO

En este subcapítulo se desarrollarán los conceptos más importantes relacionados a la investigación. Primero, se establecen las Zonas Marinas del Perú, en donde se determinarán las tres zonas biogeográficas marinas del Perú, y también se establecen los reinos biogeográficos de todo el mundo establecidos por Costello et al. (2017).

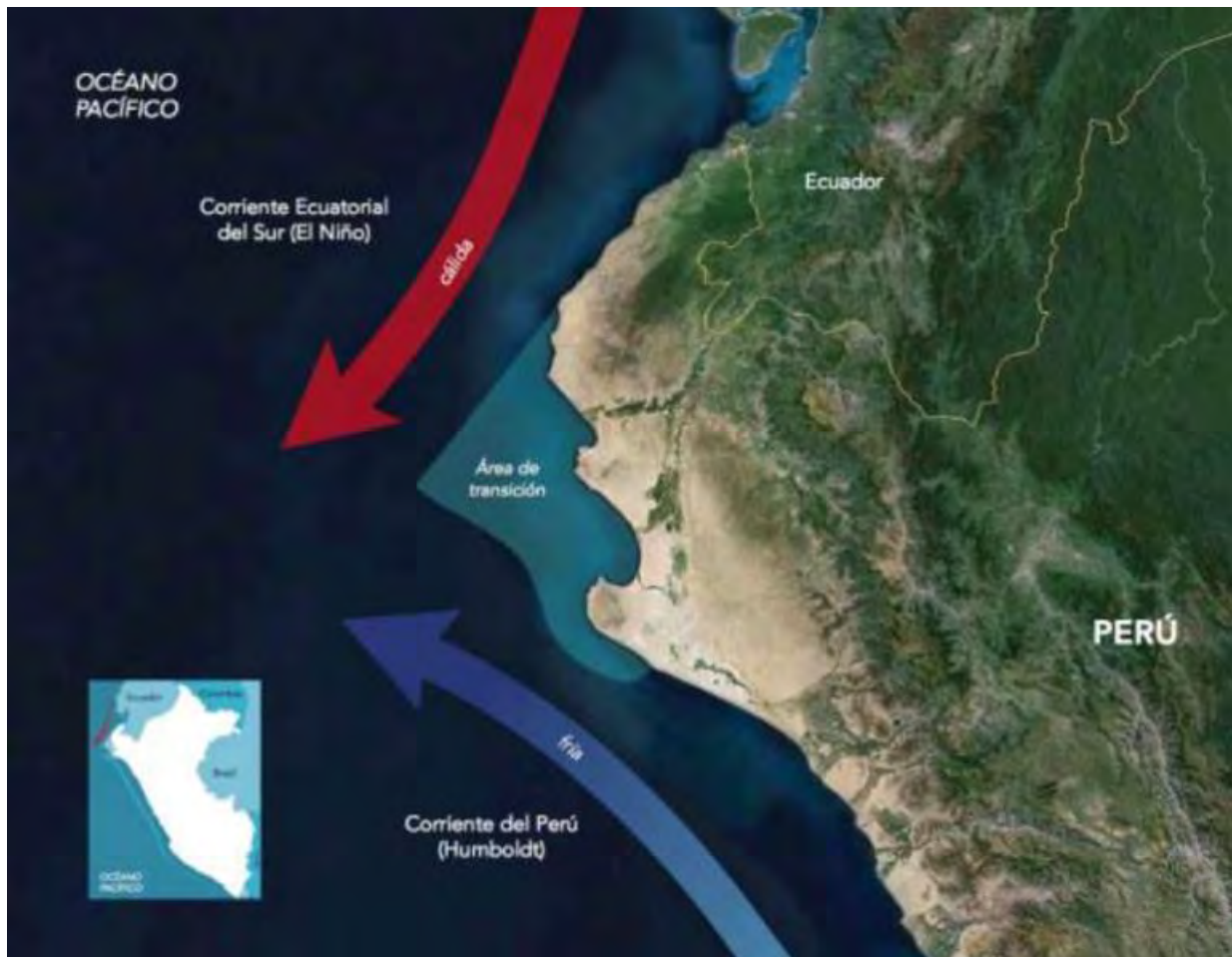
Luego, se determinará cómo el cambio climático afecta al océano y a las especies marinas. El cambio climático tiene impactos físicos y químicos sobre el océano, estos son cambios de temperatura, salinidad, pH y cantidad de nutrientes que puede afectar el fitoplancton entre otras cosas. Mientras tanto, las especies se tiene que acomodar a estos cambios físicos, demostrando el cambio biológico que está sufriendo el océano.

1.1.1. ZONAS MARINAS DEL PERÚ

Hooker (2014) establece que el Perú tiene dos corrientes marinas (Figura 1). La primera es la “Corriente Ecuatorial del Sur (corriente de El Niño)”; esta es una corriente cálida que se encuentra en el norte del país proveniente del Pacífico occidental (Indonesia); al encontrarse con la costa de Colombia y Ecuador se forman dos brazos: una hacia el norte, que llegará hasta las costas pacíficas de Norte América, y la otra hacia el Perú. La segunda corriente es la Corriente del Perú (también denominada Corriente de Humboldt). Está

proviene de la mitad de las costas chilenas en donde se presenta un afloramiento de las aguas frías que subirán hasta el departamento de Piura y al llegar a Punta Illescas, y que, debido a la rotación de la Tierra y a los vientos, gira al oeste. Finalmente, en el departamento de Piura se encuentra la “Zona de Transición” en la cual se pueden identificar especies de ambas corrientes, al igual de especies endémicas.

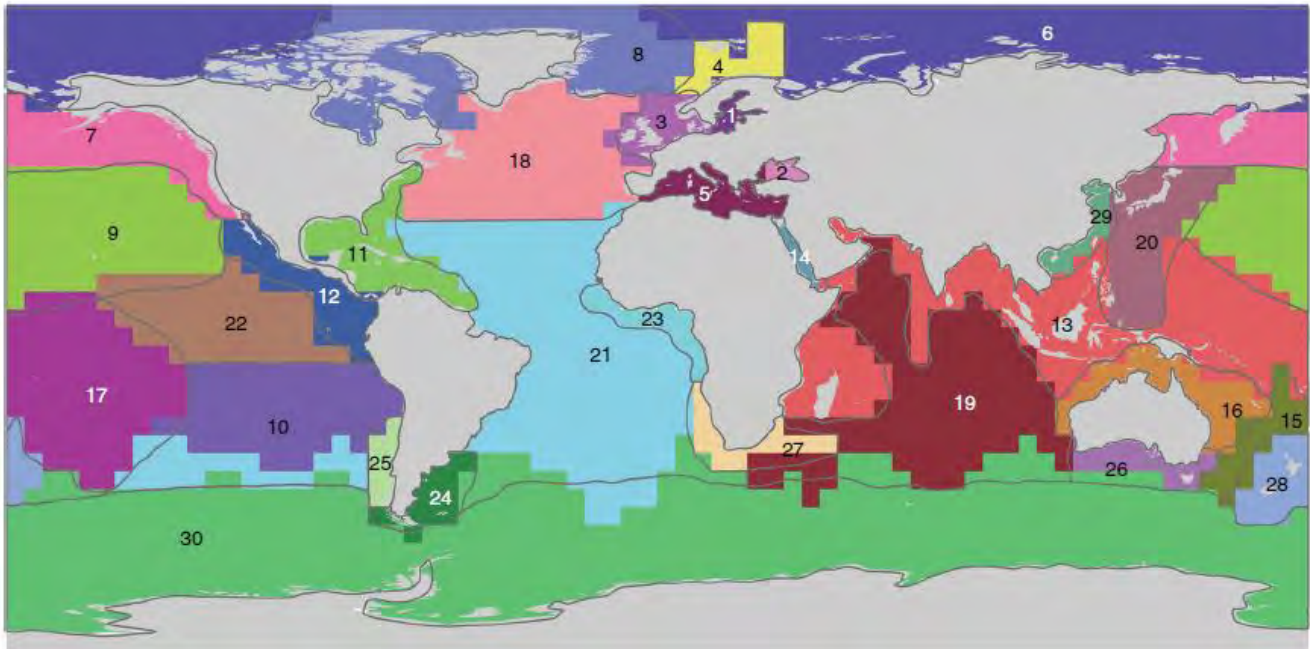
Figura 1. Mapas de las corrientes marinas en el Perú



Fuente: Hooker, 2014

Según el sistema biogeográfico de reinos marinos propuestos por Costello et al. (2017), el Perú cuenta con dos zonas biogeográficas marinas (Figura 2). La zona 10 es llamada el reino Pacífico Suroriental, y se representa por el afloramiento de agua fría. Por otro lado, la zona 12 es llamada por el reino Pacífico Oriental Tropical, y coincide con las zonas influenciadas por la corriente cálida El Niño.

Figura 2. Reinos biogeográficos marinos propuesto por Costello et al.



Fuente: Costello et al, 2017

1.1.2. CAMBIO CLIMÁTICO Y EL OCÉANO

Las emisiones antropogénicas de gases de efecto invernadero están en los niveles más altos históricamente, y esto a su vez ha ayudado a demostrar que los humanos están influyendo en el clima y a su vez en los impactos en los sistemas sociales y naturales. Como consecuencia, hay un aumento de temperatura en la atmósfera y en los océanos, al igual que el aumento del nivel del mar y una disminución de glaciares y nieve (IPCC, 2014). Estos impactos son los que se han denominado cambio climático.

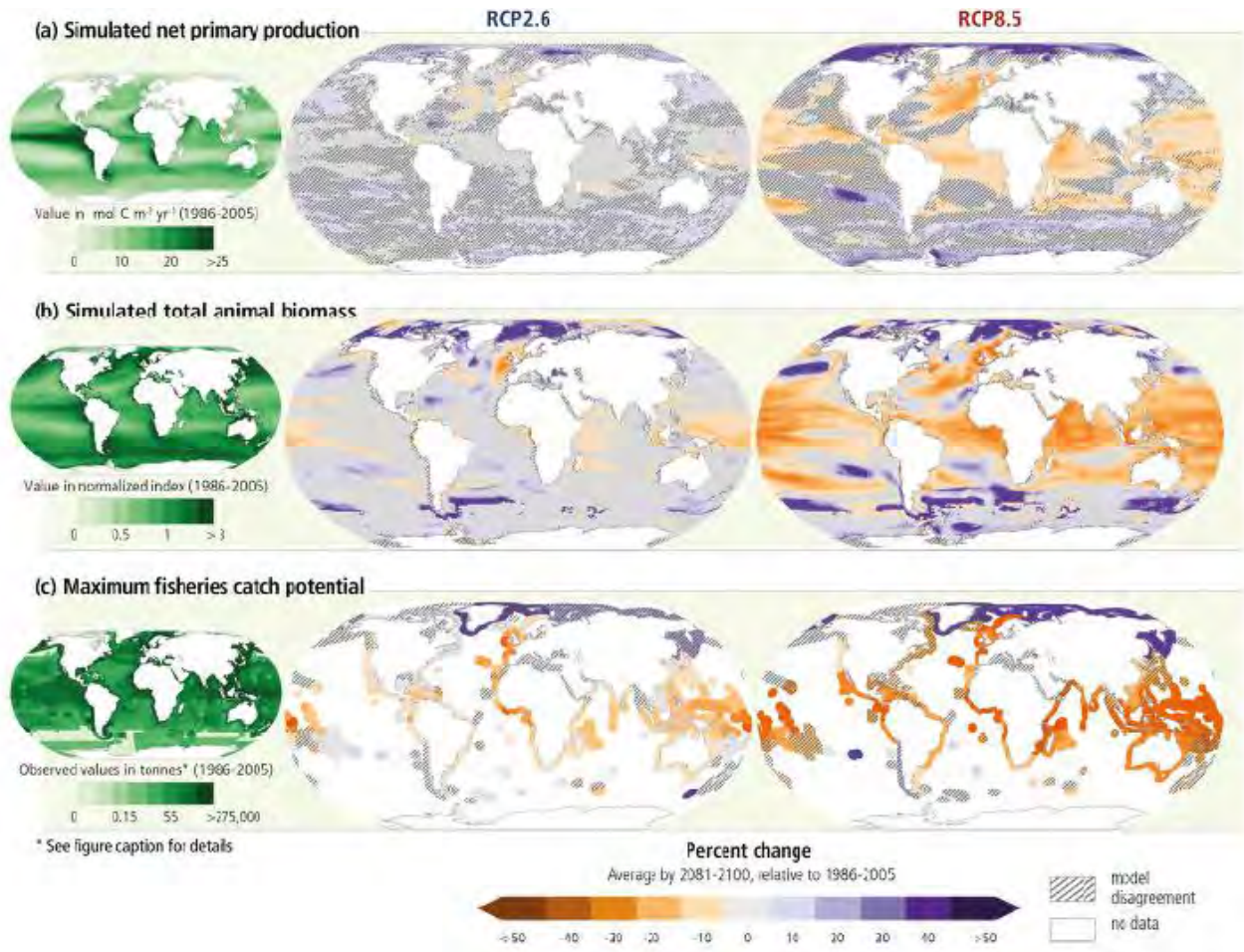
Por lo tanto, en 1988 las Naciones Unidas establecieron el IPCC, Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Esta entidad provee información científica precisa acerca del cambio climático para los responsables políticos de los países, elaborando reportes en los cuales se describen los impactos, reales y potenciales, del cambio climático (IPCC, s.f.).

A partir de sus estudios, el IPCC ha presentado las Trayectorias de Concentración Representativas (RCP, por sus siglas en inglés). Existen varias combinaciones de escenarios a futuro que se han propuesto. Por lo tanto, se establecieron cuatro trayectorias posibles relacionadas al desarrollo de cada uno de los escenarios según las emisiones de los gases de efecto invernadero (Davidson, 2012). Analizando los cambios al 2100, se propuso el forzamiento radiativo de alcance máximo en los siguientes cuatro valores en donde, RCP 8.5 fue el escenario con mayores emisiones, el RCP 6.0 y 4.5 representan una estabilización media de la emisión de gases, y finalmente el RCP 2.6 con un escenario de emisiones más bajas (van Vuuren et al., 2011).

Entre los años 2018 y 2019 el IPCC ha publicado tres reportes especiales. Estos reportes se titulan “Calentamiento Global de 1.5°” (octubre 2018), “Cambio Climático y Suelo” (agosto 2019), y “Océano y la Criósfera en un Clima Cambiante” (setiembre 2019). Por la naturaleza del estudio me concentraré en el último informe mencionado.

El informe especial del IPCC titulado *El Océano y la Criósfera en un Clima Cambiante* incluye una figura (Figura 3) que muestra los cambios, impactos y riesgos en los ecosistemas oceánicos. Como se puede ver en la Figura 3, se propondrán impactos negativos en las zonas tropicales en el total de biomasa animal y en la captura máxima de peces sea tanto en el caso de los escenarios RCP 2.6 y RCP 8.5 (IPCC, 2019).

Figura 3. Cambios proyectados de los impactos y riesgos para los ecosistemas oceánicos ante el cambio climático



Fuente: IPCC, 2019

1.1.3. CAMBIO CLIMÁTICO Y LAS ESPECIES MARINAS

Todas las especies en la Tierra son amenazadas por el cambio climático, que tiene una tendencia al aumento de temperatura. Las costas peruanas tienen un fenómeno oceánico-atmosférico con tendencias similares, este es el fenómeno de El Niño - Oscilación del Sur (ENSO por sus siglas en inglés) (Wolter & Timlin, 2011). El ENSO provoca una anomalía en la temperatura superficial del agua, lo cual da origen a un aumento en la temperatura en la zona Ecuatorial Este del Pacífico (Wang, 2018).

Este fenómeno térmico ayudará al estudio en el Pacífico Oriental Tropical, puesto que el ENSO puede dar una estimación a la reacción de las especies ante el calentamiento de los

océanos (Edgar et al., 2010). Por ejemplo, se hizo un estudio tras El Niño de 1982/1983 en el cambio del hábitat alrededor de las islas Galápagos, y en todos los casos la riqueza de especies se vio reducida entre 1 a 10 especies (excepto en un caso que aumentó de 0 a 1 especie); en la Figura 4 se puede ver el mapa elaborado por este estudio donde las barras negras muestra el número de especies antes del evento El Niño 1982/1983 y las barras blancas son después del evento (Edgar et al., 2010).

En los años 1990 Field et al. (1993) y Lubchenco et al. (1993) hicieron estudios en donde se comparaba el cambio de temperatura con el comportamiento de una especie. Desde entonces, se ha demostrado que el comportamiento de las especies marinas es más complejo y se debe de tomar en cuenta más factores físicos y químicos (pH, salinidad, temperatura, entre otros) para entender la distribución de una especie en específico (Harley et al., 2006; Donelson et al., 2019).

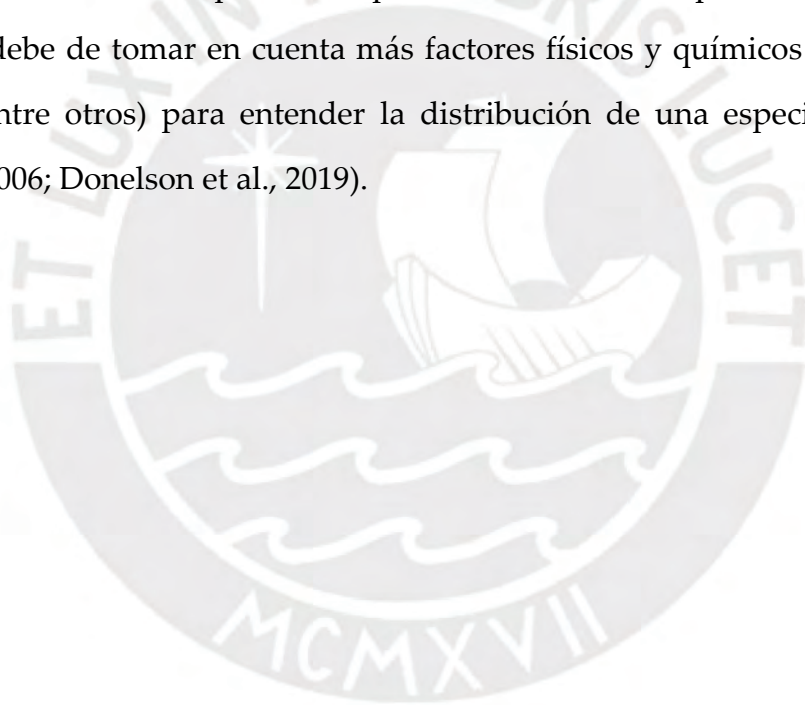
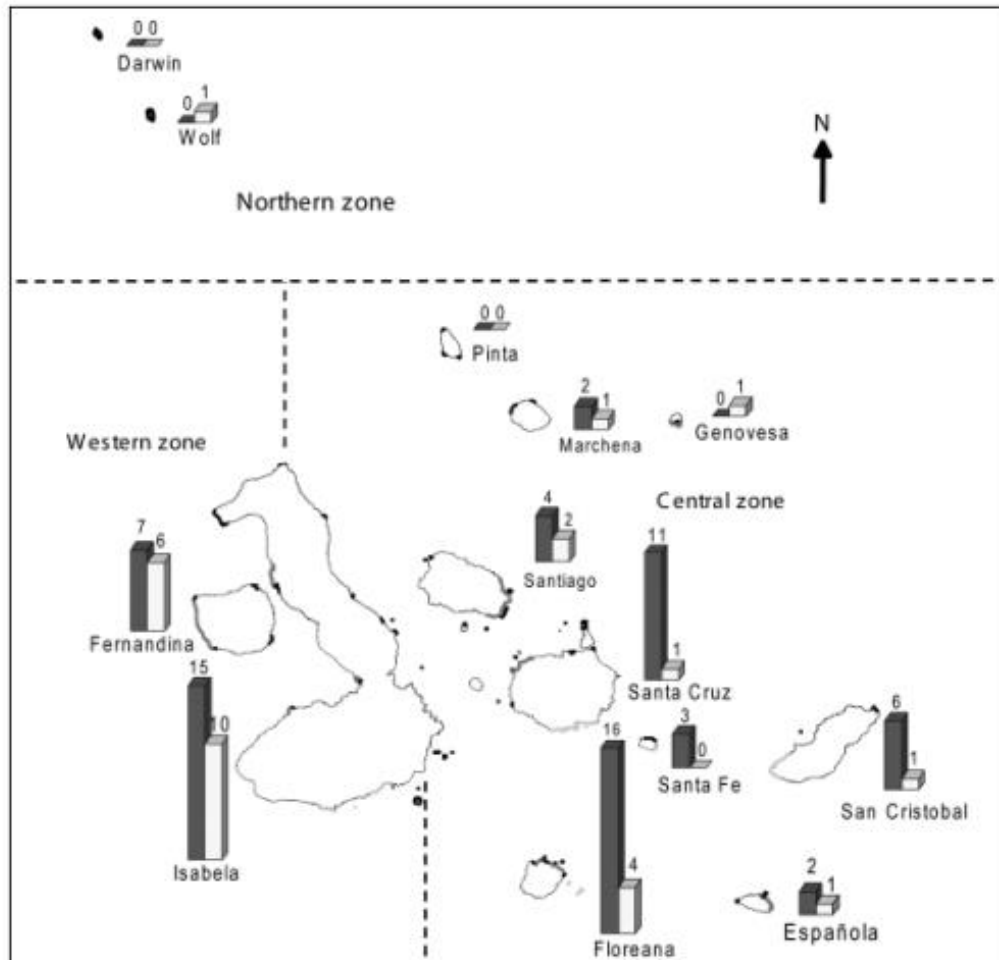


Figura 4. Mapa de cambio en la riqueza de especies en las islas Galápagos antes y después del evento de El Niño 1982/1983



Fuente: Edgar et al. 2010

Se han previsto variaciones tanto en la temperatura del océano como en la composición química de este como resultado del cambio climático. Los océanos almacenan dióxido de carbono, por lo tanto, si los niveles de este compuesto aumentan en la atmósfera, también aumentarán en los océanos. Esto a su vez provoca que el pH disminuya, volviéndolo más ácido (Harley et al., 2006). El aumento de la temperatura provocará el derretimiento de los glaciares, y a su vez aumenta el nivel del agua de los océanos, alterando así los niveles de salinidad del agua (IPCC, 2019). Estos factores, y más afectan, la circulación marina lo que a su vez afecta el transporte de ciertas larvas. Por lo tanto, la distribución y

abundancia de las especies cambiará dependiendo de la tolerancia térmica de cada una (Harley et al., 2006).

Las especies marinas son muy sensibles a los factores en su ambiente. Un ejemplo se puede ver en la relación entre las nutrias, erizos y sargazo (*Sargassum spp.*) en las costas este de Estados Unidos. En un área de protección las nutrias son capaces de vivir sin disturbios humanos, y aquí se puede presenciar una comunidad equilibrada con las tres especies. Pero, fuera del área de protección, donde no se encuentran nutrias por la presencia de los humanos, los erizos pueden proliferar puesto que las nutrias suelen controlar sus números, esto causa que el erizo se alimente de todo el sargazo en el área, eliminando por completo. Este ejemplo demuestra la importancia de tener una red trófica equilibrada (la interacción entre las diferentes especies en un hábitat que permite la adquisición de recursos alimenticios) (Smith & Smith, 2007).

El impacto del cambio climático y el incremento de las tormentas podrá afectar a los ecosistemas marinos, lo que a su vez traería efectos negativos a la sociedad. Esto se dará por que las especies se podrían desplazar a nuevos lugares, reduciendo la disponibilidad de pesca. Por otro lado, se podría perder equipo de pesca durante las tormentas más fuertes que se están presenciando (Townhill et al., 2019).

La pesca es, además, una actividad económica que provee el sustento de muchas personas. Aproximadamente en el mundo existen mil millones de personas bajo la línea de pobreza, los cuales dependen de la pesca para obtener los nutrientes diarios necesarios para vivir, por lo que la demanda de la pesca está creciendo (WorldFish, s.f.). Por lo tanto, se necesita saber cuál es el impacto potencial de cambio climático en la abundancia y distribución de especies marinas, las personas que se dedican a esta industria puedan saber qué hacer, tal como variar el tamaño de sus barcos, diversificar las especies que capturan o el lugar donde pescan, entre otros (Young et al., 2019).

1.2. ANTECEDENTES

En este subcapítulo se incluirán los estudios previos relacionados al tema de investigación. Por lo tanto, primero se desarrollará el tema de las Áreas Naturales Protegidas, la importancia global de protegerlas al igual de algunos ejemplos que existen en Sudamérica y la situación actual del Perú.

A continuación, introducirán ejemplos de investigaciones previas acerca de Modelamiento de Especies Marinas. En esta parte, se determinarán algunos estudios previos y los programas existentes que se utilizan para el modelamiento.

1.2.1. ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS

En el 2015 las Naciones Unidas estableció su agenda al 2030 con los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible. El Objetivo 14 se titula “Vida Submarina” en el cual se busca “conservar y utilizar en forma sostenible los océanos, los mares y los recursos marinos para el desarrollo sostenible” (ONU, s.f.). Los océanos cubren tres cuartas partes del planeta Tierra, y se estima que 250 millones de personas dependen directamente de la pesca o acuicultura para sus vivencias mientras que millones están empleados en esta industria (ONU, s.f.; WorldFish, s.f.). Pero también se sabe que la pesca indiscriminada está provocando un rápido agotamiento de ciertas especies lo cual podría afectar al ecosistema marino a futuro. No solo eso, pero también se ha visto que la acidez del agua ha aumentado en un 26% desde la Revolución Industrial y esta acidez afecta a especies marinas tal como los corales. Por todos estos motivos y más, el Objetivo 14 plantea metas tales como el numeral 14.5 donde se menciona que para el 2020 se debe “conservar al menos el 10% de las zonas costeras y marinas, de conformidad con las leyes nacionales y el derecho internacional y sobre la base de la mejor información científica disponible”. Más aún, el inciso 14.8 establece que se debe “aumentar los conocimientos científicos, desarrollar la capacidad de investigación y transferir tecnología marina, ... a fin de mejorar la salud de los océanos y potenciar la contribución de la biodiversidad marina...”

y el 14.10 que propone “mejorar la conservación y el uso sostenible de los océanos y sus recursos aplicando el derecho internacional...” (ONU, s.f.).

En Chile, se identificaron tres áreas con una diversidad de importancia mundial. A partir de esto, se establecieron las Áreas Marinas y Costeras Protegidas de Múltiples Usos (AMCP-MU), para “proteger, mantener y restaurar los recursos naturales y culturales de las aguas costeras y marinas” (Gobierno de Chile, 2006). Una característica muy importante que se resalta en este estudio de conservación es que, a pesar de que el área se pueda usar con un propósito turístico, este debe ser estudiado muy a detalle antes de admitir la entrada de los turistas, puesto que puede haber efectos negativos en el ecosistema.

En el 2019 se realizó el III Congreso de Áreas Protegidas de Latinoamérica y el Caribe en Lima. Uno de los puntos más importantes que se discutieron fueron las áreas naturales protegidas marinas. En este congreso la ministra del Ambiente de turno, la Dra. Fabiola Muñoz, señaló que estas reservas marinas son vitales para la biodiversidad, y por ende deben ser pensadas como corredores para que permitan el desarrollo adecuado de esta diversidad (Caretas, 2019). Actualmente, el Perú no tiene ninguna área natural protegida que sea en su totalidad marina. Existen proyectos de ley en el que se establecen potenciales zonas de reserva, tal como la Reserva Mar Tropical Grau, y La Dorsal de Nazca. Sin embargo, estas aún no han sido implementadas.

1.2.2. MODELAMIENTO DE ESPECIES MARINAS

Pearson (2007) establece que el Modelo de Distribución de Especies (MDE) combina ocurrencias de las especies y variables ambientales para indicar las condiciones óptimas para mantener a una población. A partir de esa información, se puede estimar la distribución espacial potencial de una especie, que es vital para generar información biogeográfica. Para las especies marinas se necesita tomar en cuenta las variables

climáticas y oceánicas que afectan a la especie para así determinar su vulnerabilidad (Fulton, 2015). Un ejemplo de un algoritmos de modelamiento es MaxEnt (Maximum Entropy Modeling) que utiliza algoritmos y conceptos de *machine learning* para poder establecer la distribución de una especie específica basándose en el Principio de la Máxima Entropía (Phillips et al. 2006).

El Principio de la Máxima Entropía (PME), “considera que en la estimación de una distribución de probabilidad desconocida, la solución menos sesgada es aquella que maximiza su entropía, sujeto a algunas limitaciones (la asociación entre las localidades de presencia y las variables ambientales)”. MaxEnt es un programa, diseñado por Phillips et al. (2006), que utiliza este principio para analizar la probabilidad de distribución de la especie sobre los píxeles en un área de estudio determinada (Torres & Jayat, 2010).

Existen varios estudios en donde se utiliza el programa MaxEnt para analizar la distribución de especies marinas. Un ejemplo es el estudio realizado en Brasil por Rafael A. Magris y Déstro G. F. G (2010) en el cual se analizó la distribución de 16 especies amenazadas en la zona y predecir los hábitats más adecuados para cada especie. Otro ejemplo es estudio de Adriana González-Pestana (2019), donde se utiliza MaxEnt para establecer el área en donde habita el tiburón martillo en el norte del Perú.

Una plataforma digital para el modelamiento de especies es el “Biodiversity and Climate Change Virtual Library” (BCCVL). Este es un laboratorio virtual, realizado por varias entidades académicas de Australia, el cual facilita y acelera la investigación de los impactos que generan el cambio climático en la biodiversidad. Aquí se puede encontrar data biológica, climática y ambiental, además de programas de modelamiento (BBCVL, s.f.; Hallgren et al., 2016). Este estudio hará provecho de los recursos ofrecidos por esta plataforma.

Mientras tanto, existen diferentes organizaciones de donde se puede descargar datos necesaria para realizar el modelamiento de las especies. Esta consiste en los parámetros ambientales y puntos georreferenciados de las especies a estudiar. Bio-Oracle es una organización que provee datos ráster de elementos geofísicos y ambientales de los reinos marinos a nivel global para Sistemas de Información Geográfica (SIG) (Bio-Oracle, s.f.). Varios estudios de especies marinas utilizan estos datos. Un ejemplo es el estudio del coral *Tubastraea coccinea* en el sudoeste Atlántico (Riul et al., 2013). Por otro lado, se encuentra el “Global Biodiversity Information Facility” (GBIF), una organización internacional que provee una infraestructura de investigación acerca de biodiversidad que inició en 1999 (GBIF, s.f.). En esta base de datos se pueden descargar los puntos georreferenciados de especies tanto terrestres como marinas, pero, esta información debe de ir acompañada con estudios de las especies. Existen estudios en donde se ha utilizado esta información para analizar la biogeografía de ciertas especies, un ejemplo del 2018 se da al estudiar los puntos georreferenciados de *Chaetoceros* (De Luca et al., 2018).

CAPÍTULO 2

ÁREA DE ESTUDIO

El interés del estudio se centraría en el territorio peruano, por lo tanto, se inició analizando las zonas biogeográficas que se pueden identificar en el Perú. Primero, se estudiaron las diferencias entre las tres zonas definidas por las corrientes oceánicas del Perú. Mas, estas no tenían el nivel de información necesaria para desarrollar la investigación. Por lo tanto, se investigaron los reinos biogeográficos de Costello et al. (2017).

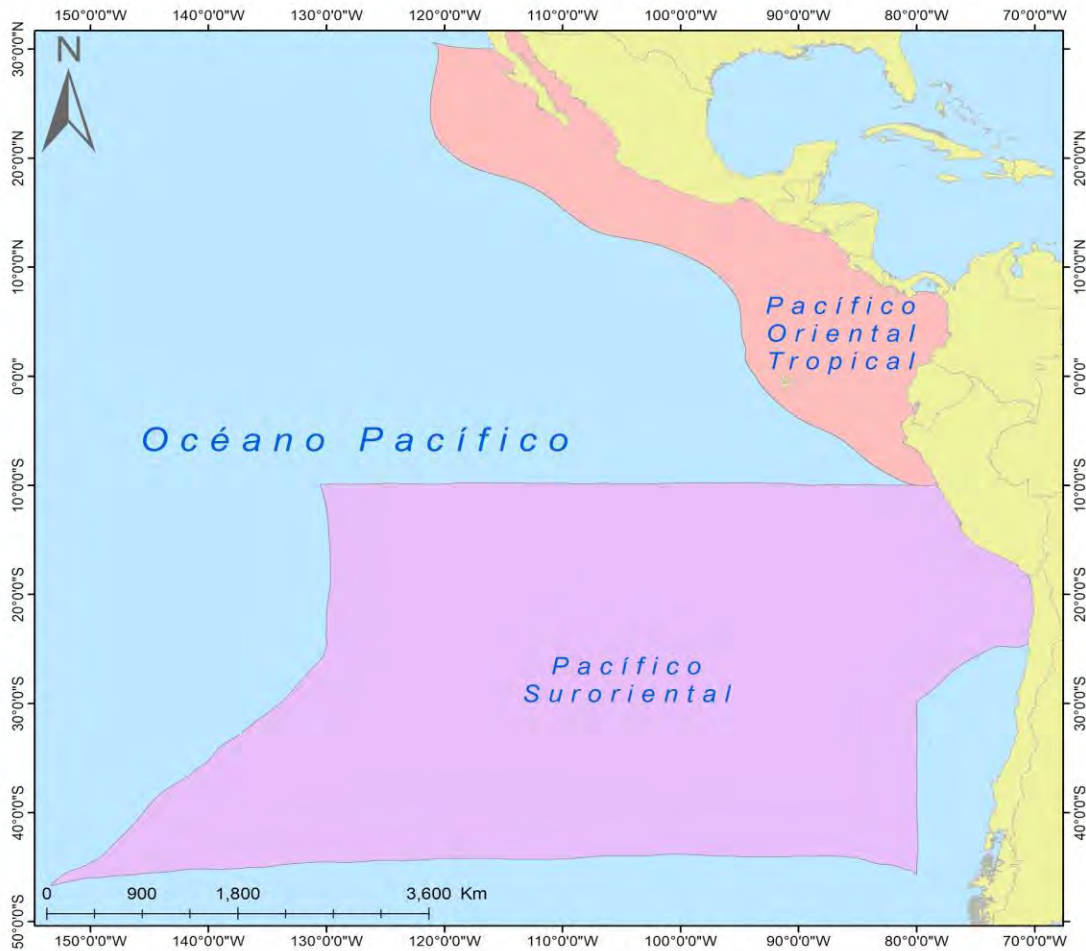
Los reinos biogeográficos que se encuentran en territorio peruano son el Pacífico Suroriental y el Pacífico Oriental Tropical (Mapa 1). Ambos reinos tienen características físicas diferentes, puesto que el Pacífico Suroriental coincide con la Corriente de agua fría de Humboldt mientras que el Pacífico Oriental Tropical coincide con la Corriente cálida de El Niño que se encuentra en el norte del Perú.

A continuación, se describirán las características de los dos reinos. El Pacífico Suroriental se encuentra aproximadamente desde la costa de Ancash hasta el norte de Chile y se extiende a través de Pacífico por unas 3,000 millas náuticas aproximadamente, hasta llegar a la mitad del océano. Por otro lado, está el Pacífico Oriental Tropical que se encuentra desde la costa norte de México (aprox. lat. 30°N) y hasta la costa del Perú (aprox. lat. 10°S) y se extiende por aproximadamente 544 millas náuticas.

El área del Pacífico Oriental Tropical es menor a la del reino Pacífico Suroriental, pero esta tiene una mayor extensión en la costa. Este hecho permite que investigadores y personas interesadas en especies marinas tengan una mayor accesibilidad a las especies y así poder georreferenciarlas. Por lo tanto, al revisar las posibles especies a estudiar se encontraron más puntos en el reino Pacífico Oriental Tropical. Asimismo, el 70% de las

especies peruanas se encuentran en el Mar Tropical del norte (Hooker, 2014), por lo que es importante analizar cómo el cambio climático podría afectar a esta zona del Perú. Además, que esta zona al ser afectada fuertemente por el ENSO, permitirá tener una estimación a partir de estudios posteriores.

Mapa 1. Reinos Marinos Biogeográficos del Perú



Leyenda

- Continente
- Pacífico Oriental Tropical
- Pacífico Suroriental

Datum: Coordenadas Geográficas, WGS 1984
Adaptado de: Costello MJ, Tsai P, Wong PS, Cheung A, Basher Z., Chaudhary C. 2017. Marine biogeographic realms and species endemicy. Nature Communications 8 (1057).



Fuente: Propia

Mapa 2. Pacífico Oriental Tropical



Leyenda

- Continente
- Pacífico Oriental Tropical

Datum: Coordenadas Geográficas, WGS 1984
Adaptado de: Costello MJ, Tsai P, Wong PS, Cheung A, Basher Z., Chaudhary C. 2017. Marine biogeographic realms and species endemism. Nature Communications 8 (1057).

Fuente: Propia

BIBLIOGRAFÍA

- Barbier, E. B. (2017). Marine ecosystem services. *Current Biology*, 27(11): R507–R510. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2017.03.020>
- BCCVL. (s.f.). Biodiversity and Climate Change Virtual Laboratory. Recuperado 24 de julio, 2020, de <http://bccvl.org.au/>
- Bio-Oracle. (s.f.). Bio-Oracle: Marine data layers for ecological modelling. Recuperado 22 de julio, 2020, de <https://www.bio-oracle.org/>
- Caretas. (14 de noviembre de 2019). Un Océano de Reserva. Número 2616. pp. 54-56
- Costello, M. J., Tsai, P., Wong, P. S., Cheung, A. K. L., Basher, Z., & Chaudhary, C. (2017). Marine biogeographic realms and species endemism. *Nature Communications*, 8(1): 1–9. <https://doi.org/10.1038/s41467-017-01121-2>
- Davidson, E. A. (2012). Representative concentration pathways and mitigation scenarios for nitrous oxide. *Environmental Research Letters*, 7(2): 1–7. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/7/2/024005>
- De Luca, D., Kooistra, W. H. C. F., Sarno, D., Gaonkar, C. C., & Piredda, R. (2019). Global distribution and diversity of Chaetoceros (Bacillariophyta, Mediophyceae): Integration of classical and novel strategies. *PeerJ*, 2019(8): 1–23. <https://doi.org/10.7717/peerj.7410>
- Donelson, J. M., Sunday, J. M., Figueira, W. F., Gaitán-Espitia, J. D., Hobday, A. J., Johnson, C. R., Leis, J. M., Ling, S. D., Marshall, D., Pandolfi, J. M., Pecl, G., Rodgers, G. G., Booth, D. J., & Munday, P. L. (2019). Understanding interactions between plasticity, adaptation and range shifts in response to marine environmental change. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 374(1768): 1-14. <https://doi.org/10.1098/rstb.2018.0186>
- Earle, S. A. (2009). *The World is Blue: How Our Fate and the Ocean's are one* (1st ed.). National Geographic Partners, LLC.
- Earle, S. A. (2014). *Blue Hope: Exploring and Caring for Earth's Magnificent Ocean* (B. Payne (ed.); 1st ed.). National Geographic Society.

- Edgar, G., Banks, S., Brandt, M., Bustamante R., Chiriboga, A., Earle, S., Garske, L., Glynn, P., Grove, J., Henderson, S., Hickman, C., Miller, K., Rivera, R., Wellington, G. (2010). El Niño, grazers and fisheries interact to greatly elevate extinction risk for Galapagos marine species. *Global Change Biology*. 16(10): 2876–2890. DOI: 10.1111/j.1365-2486.2009.02117.x
- El Comercio. (2019). Callao: decomisan 12.3 millones de caballitos de mar extraídos ilegalmente del mar. Recuperado 8 de junio, 2020, de <https://elcomercio.pe/lima/sucesos/callao-decomisan-123-millones-de-caballitos-de-mar-extraidos-ilegalmente-del-mar-noticia/>
- El Peruano. (2019). Aprueban el “Plan Nacional de Conservación de las Tortugas Marinas en el Perú, Período 2019-2029”. Resolución de Dirección Ejecutiva. N° 253-2019-MINAGRI-SERFOR-DE. <https://busquedas.elperuano.pe/normaslegales/aprueban-el-plan-nacional-de-conservacion-de-las-tortugas-m-resolucion-no-253-2019-minagri-serfor-de-1833777-1/>
- Fields, P.A., Graham, J.B., Rosenblatt, R.H. & Somero, G.N. (1993). Effects of expected global climate change on marine faunas. *Trends Ecol. Evol.*, 8, 361–367.
- Fulton, E. A., Bax, N. J., Bustamante, R. H., Dambacher, J. M., Dichmont, C., Dunstan, P. K., Hayes, K. R., Hobday, A. J., Pitcher, R., Plagányi, É. E., Punt, A. E., Savina-Rolland, M., Smith, A. D. M., & Smith, D. C. (2015). Modelling marine protected areas: Insights and hurdles. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 370(1681): 1-17. <https://doi.org/10.1098/rstb.2014.0278>
- GBIF. (s.f.). Global Biodiversity Information Facility: Free and open access to biodiversity data. Recuperado 22 de julio, 2020, de <https://www.gbif.org/>
- Gobierno de Chile. (2006). Conservación de la biodiversidad de importancia mundial a lo largo de la costa chilena : áreas marinas y costeras protegidas de múltiples usos. Resumen ejecutivo del proyecto para autoridades públicas y privadas. PNUD. Santiago: Ocho Libros

- Gonzalez-Pestana, A. (2018). Habitat Suitability of Juvenile Smooth Hammerhead Shark (*Sphyrna zyagena*) off northern Peru (Issue January). <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.21919.00167>.
- Harley, C. D. G., Hughes, A. R., Hultgren, K. M., Miner, B. G., Sorte, C. J. B., Thornber, C. S., Rodriguez, L. F., Tomanek, L., & Williams, S. L. (2006). The impacts of climate change in coastal marine systems. *Ecology Letters*, 9(2), 228–241. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2005.00871.x>
- Hallgren, W., Beaumont, L., Bowness, A., Chambers, L., Graham, E., Holewa, H., Laffan, S., Mackey, B., Nix, H., Price, J., Vanderwal, J., Warren, R., & Weis, G. (2016). The Biodiversity and Climate Change Virtual Laboratory: Where ecology meets big data. *Environmental Modelling and Software*, 76, 182–186. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2015.10.025>
- Hooker, Y. (2014). *Perú Submarino* (Primera ed.). Apus Graph Ediciones S.A.C. Lima
- Hooker, Y. (2019). La Belleza del Mar Peruano [Video]. TedxTukuy. Recuperado 27 de julio, 2020, de <https://www.youtube.com/watch?v=BIUNzraOde0>
- IPCC. (2014). Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.
- IPCC. (2019). IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, N.M. Weyer (eds.)]. In press.
- IPCC. (s.f.). About IPCC. Recuperado 25 de julio, 2020, de <https://www.ipcc.ch/about/>
- Kuroiwa, A. (2018). “Fauna marina, al margen de la lista de especies amenazadas en Perú”. La Prensa.pe. Recuperado 27 de julio, 2020, de <https://laprensa.peru.com/actualidad/noticia-fauna-marina-al-margen-lista-especies-amenazadas-peru-82232>
- Ley N° 28611. (2005). Ley General del Ambiente. Congreso de la República, Perú.

- Lubchenco, J., Navarrete, S.A., Tissot, B.N. & Castilla, J.C. (1993). Possible ecological responses to global climate change: nearshore benthic biota of Northeastern Pacific coastal ecosystems. In: *Earth System Responses to Global Climate Change: Contrasts between North and South America* (eds Mooney, H.A., Fuentes, E.R. & Kronberg, B.I.). Academic Press, San Diego, CA, pp. 147–166.
- Magris, R., Déstro, G. (2010). Predictive Modeling of Suitable Habitats for Threatened Marine Invertebrates and Implications for Conservation Assessment in Brazil. *Brazilian Journal of Oceanography*. Volumen 58. Número especial: IICBBM. pp. 57-68. DOI: 10.1590/S1679-87592010000800008
- ONU. (s.f.). Objetivo 14: Conservar y utilizar en forma sostenible los océanos, los mares y los recursos marinos para el desarrollo sostenible. Recuperado 24 de junio, 2020, de <https://onu.org.pe/ods-14/>
- Pearson, R. G. (2007). Species' Distribution Modeling for Conservation Educators and Practitioners. *Lessons in Conservation*, 3, 54–89. <http://ncep.amnh.org/linc>
- Phillips, S., Anderson, R. & Schapire, R. (2006). Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, 190, 231-259. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026>
- Poloczanska, E. S., Burrows, M. T., Brown, C. J., Molinos, J. G., Halpern, B. S., Hoegh-Guldberg, O., Kappel, C. V., Moore, P. J., Richardson, A. J., Schoeman, D. S., & Sydeman, W. J. (2016). Responses of marine organisms to climate change across oceans. *Frontiers in Marine Science*, 3, 1–21. <https://doi.org/10.3389/fmars.2016.00062>
- Riul, P., Targino, C. H., Júnior, L. A. C., Creed, J. C., Horta, P. A., & Costa, G. C. (2013). Invasive potential of the coral *Tubastraea coccinea* in the southwest Atlantic. *Marine Ecology Progress Series*, 480, 73–81. <https://doi.org/10.3354/meps10200>
- Robinson, R., Crick, H., Learmonth, A., Maclean, I., Thomas, C., Bairlein, F. et al. (2009). Travelling through a warming world: climate change and migratory species. *Endangered species research*. Vol. 7. pp: 87-99.

- SERFOR. (2018). Libro Rojo de la Fauna Silvestre Amenazada del Perú. Primera edición. SERFOR (Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre), Lima., Perú, pp. 1- 532 páginas
- SERNANP. (s.f.). Propuesta de Reserva Nacional Mar Tropical de Grau. Recuperado 27 de julio, 2020, de <http://www.sernanp.gob.pe/reserva-nacional-mar-tropical-de-grau>
- Smith, T. M., & Smith, R. L. (2007). *Ecología* (6th ed.). Pearson Educación.
- Torres, R., & Jayat, J. P. (2010). Modelos Predictivos de Distribución para Cuatro Especies de Mamíferos (Cingulata, Artiodactyla y Rodentia) Típicas del Chaco en Argentina. *Mastozoología Neotropical*, 17(2): 335–352.
- Townhill, B. L., Radford, Z., Pecl, G., van Putten, I., Pinnegar, J. K., & Hyder, K. (2019). Marine recreational fishing and the implications of climate change. *Fish and Fisheries*, 20(5), 977–992. <https://doi.org/10.1111/faf.12392>
- van Vuuren, D. P., Edmonds, J., Kainuma, M., Riahi, K., Thomson, A., Hibbard, K., Hurtt, G. C., Kram, T., Krey, V., Lamarque, J. F., Masui, T., Meinshausen, M., Nakicenovic, N., Smith, S. J., & Rose, S. K. (2011). The representative concentration pathways: An overview. *Climatic Change*, 109(1), 5–31. <https://doi.org/10.1007/s10584-011-0148-z>
- Wang, C. (2018). A review of ENSO theories. *National Science Review*, 5(6), 813–825. <https://doi.org/10.1093/nsr/nwy104>
- Wolter, K., & Timlin, M. S. (2011). El Niño/Southern Oscillation behaviour since 1871 as diagnosed in an extended multivariate ENSO index (MEI.ext). *International Journal of Climatology*, 31(7), 1074–1087. <https://doi.org/10.1002/joc.2336>
- WorldFish. (s.f.). *Why Fish?*. Recuperado 28 de junio, 2020, de <https://www.worldfishcenter.org/why-fish>
- Young, T., Fuller, E. C., Provost, M. M., Coleman, K. E., Martin, K. S., McCay, B. J., & Pinsky, M. L. (2019). Adaptation strategies of coastal fishing communities as species shift poleward. *ICES Journal of Marine Science*, 76(1), 93–103. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsy140>