

UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y OCEANOGRÁFICAS
BIOLOGÍA



**REVISION SISTEMATICA: PROFUNDIDAD Y TIEMPOS DE BUCEO EN
CETACEOS, EN RESPUESTA CON EL AUMENTO CRECIENTE DE
DIOXIDO DE CARBONO ATMOSFERICO.**

ANTONIO IGNACIO ROJAS PULGAR

SEMINARIO DE TÍTULO PARA OPTAR AL TÍTULO DE BIÓLOGO

CONCEPCIÓN – CHILE

ABRIL, 2023.

Universidad de Concepción

Facultad de Ciencias Naturales y Oceanográficas

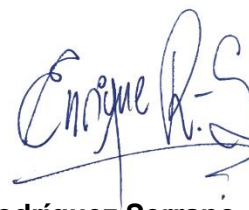


Profesor guía

Dr. Mauricio Urbina Fonerón

Universidad de Concepción

Concepción

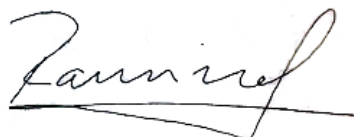


Co-evaluador

Dr. Enrique Rodríguez Serrano

Universidad de Concepción

Concepción

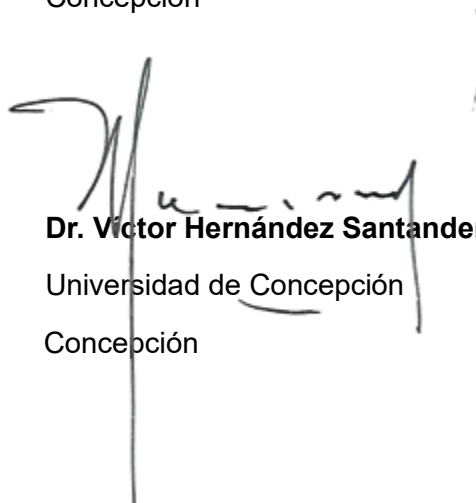


Co-evaluador

Dr. Ramiro Riquelme Bugueño

Universidad de Concepción

Concepción



Coordinador seminario de título

Dr. Víctor Hernández Santander

Universidad de Concepción

Concepción

AGRADECIMIENTOS

Para comenzar, agradezco al Dr. Mauricio Urbina por aceptarme como alumno desde mi cuarto año en la carrera de biología, gracias a esta oportunidad pude desempeñarme como ayudante en fisiología animal, relacionarme con mis demás compañeros/as de laboratorio y nutrirme de más conocimiento para mi desarrollo como profesional. Además, agradezco al Dr. Mauricio Urbina por ayudarme a desarrollar mi tesis, con libros, publicaciones, y acotaciones en las correcciones de trabajos previos, así también, como las directrices para abordar mi pregunta, y formas de poder desarrollar de forma adecuada la investigación.

También quiero agradecer a Rocío Barrios, Erika Jorquera, y Javier Pinochet, compañeros de laboratorio, quienes cada vez que necesitaba una ayuda o consejo estuvieron disponibles para brindarme orientación.

De igual forma, agradezco al Dr. Patricio López, y al Dr. Víctor Hernández por la paciencia y facilidades que otorgaron para los plazos de las tesis de mis compañeros/as y mi propia tesis.

Quiero agradecer al Dr. Ricardo Segovia por su buena voluntad y ayuda en la interpretación de los datos y generar gráficos con el software R. También a sus palabras de apoyo para desarrollar y avanzar mi tesis.

Quiero agradecer a mis amigos Tomas, Joaquín, Vasti, Karina, Fabiane, Barney, Claudia, Vicente, Sebastián, Cristóbal, por darme apoyo y animo cuando lo necesitaba, por darse un tiempo para caminar y escucharme, me sirvió mucho para sobrellevar toda esta etapa.

Quiero agradecer a mi familia que siempre me apoyaron para poder preservar mi estadía en Concepción, también por creer en mí y darme herramientas para poder desempeñarme de forma exitosa en una ciudad que antes nunca había visitado.

Y, por último, quiero agradecer a mí mismo por nunca darme por vencido y creer siempre en que pudiese lograr ser Biólogo profesional. Por permitirme recibir ayuda cuando lo necesité, y también por buscar las formas para seguir intentando este camino para ser profesional.

En fin, agradecido del proceso.

INDICE

INDICE.....	4
1 INDICE DE FIGURAS	6
2 RESUMEN	7
3 ABSTRACT	7
4 INTRODUCCIÓN	8
4.1 Fisiología del buceo	8
4.2 Hemoglobina, mioglobina y equilibrio acido-base.....	9
4.3 Mamíferos marinos	11
4.4 Cambio climático	12
4.5 Modelo de estudio	14
5 HIPOTESIS	15
5.1 Preguntas.....	15
6 OBJETIVOS	16
6.1 Objetivo General:	16
6.2 Objetivo Específico 1:	16
6.3 Objetivo Específico 2:	16
7 METODOLOGÍA.....	16
7.1 Búsqueda y selección de artículos relevantes.....	16
7.2 Criterios de inclusión.....	17
7.3 Criterios de exclusión	18
8 RESULTADOS	18
8.1 Publicaciones obtenidas.....	18
8.2 Análisis estadísticos sin diferenciar entre Mysticetos y Odontocetos.	19
8.3 Análisis estadísticos para Mysticetos	23
8.4 Análisis estadísticos para Odontocetos	24
9 DISCUSIÓN.....	25
9.1 Duración máxima vs CO ₂ atm.	25
9.2 Profundidad máxima vs CO ₂ atm.....	25
9.3 Análisis Mysticetos v/s Análisis Odontocetos	26
9.4 Capacidad fisiológica	26
9.5 Presas de odontocetos y misticetos	27

9.6	Cambio climático	27
9.7	Metodología de recolección de datos	28
10	CONCLUSIONES	29
11	REFERENCIAS	30

1 INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Efecto de Bohr, influencia del pH sobre la unión del oxígeno a la hemoglobina. Se aprecia la variación de la saturación de la hemoglobina por oxígeno al variar el pH (Vera 2010)	10
Figura 2. Los cambios que desarrollan los mamíferos acuáticos para aumentar las reservas de oxígeno y disminuir el consumo de oxígeno.....	11
Figura 3. Gráfico que muestra las emisiones totales de CO ₂ atmosférico (Fuente Global Carbon Project.....	13
Figura 4. Hipótesis, disminución de la duración y profundidad de buceo versus concentración de CO ₂ atmosférico.....	15
Figura 5. Tabla de combinación de palabras claves.....	17
Figura 6. Gráfico de duración máxima de inmersión de todas las especies versus concentración de CO ₂ atmosférico.....	19
Figura 7. Gráfico de duración máxima de inmersión separado por especies versus concentración de CO ₂ atmosférico.....	20
Figura 8. Gráfico de profundidad máxima de inmersión de todas las especies versus concentración de CO ₂ atmosférico.....	21
Figura 9. Gráfico de profundidad máxima de inmersión separado por especies versus concentración de CO ₂ atmosférico.....	22
Figura 10. Gráfico de duración máxima de inmersión de Mysticetos versus concentración de CO ₂ atmosférico.....	23
Figura 11. Gráfico de profundidad máxima de inmersión de Mysticetos versus concentración de CO ₂ atmosférico.....	23
Figura 12. Gráfico de duración máxima de inmersión de Odontocetos versus concentración de CO ₂ atmosférico.....	24
Figura 13. Gráfico de profundidad máxima de inmersión de Odontocetos versus concentración de CO ₂ atmosférico.....	24

2 RESUMEN

En la actualidad es bien sabido que los animales buceadores presentan mecanismos fisiológicos que les permiten realizar inmersiones de gran profundidad y duración, pero poco se sabe sobre el funcionamiento de estas adaptaciones fisiológicas y como el cambio global puede afectar dichas capacidades. En este estudio se evalúa la duración y profundidad máxima de inmersión registrada a través del tiempo de distintas ballenas (cetáceos) y se busca encontrar si existe una relación con el aumento creciente de la concentración de dióxido de carbono (CO₂) en la atmosfera. Los resultados no evidenciaron una relación significativa entre la duración máxima de inmersión y las concentraciones de CO₂, pero si entre la profundidad máxima y las concentraciones de CO₂. Esto se puede asociar a el avance de los instrumentos tecnológicos de medición, donde el humano hoy en día tiene equipos más preparados para tomar medidas a grandes profundidades. Cuando se realizaron los análisis separando entre misticetos y odontocetos se encontraron relaciones inversas, en misticetos el buceo y profundidad ha disminuido a través del aumento de CO₂, pero en odontocetos sucede lo contrario, aumentando la duración y profundidad de buceo en comparación con las concentraciones de CO₂. Esto es interesante, ya que, presentan distintos hábitos de caza, donde los misticetos por lo general se alimentan en aguas más someras, y los odontocetos por otra parte se alimentan a profundidades mayores.

3 ABSTRACT

It is now well known that diving animals exhibit physiological mechanisms that allow them to dive to great depth and duration, but little is known about the functioning of these physiological adaptations and how global change may affect these capabilities. In this study, the duration and maximum depth of dives recorded over time of different whales (cetaceans) were evaluated and plotted against the independent variable of carbon dioxide (CO₂) concentration in the atmosphere. The results did not show a significant relationship between maximum dive duration and CO₂ concentrations, but there was a significant slope between maximum depth and

CO₂ concentrations. This can be associated to the advance of technological measuring instruments, where humans nowadays have equipment that is more prepared for great depths. When the analyses were carried out separating between mysticetes and odontocetes, inverse relationships were found, in mysticetes the diving and depth has decreased through the increase of CO₂, but in odontocetes the opposite happens, increasing the duration and depth of diving in comparison with the CO₂ concentrations. This is interesting, since they have different hunting habits, where mysticetes generally feed in shallower waters, and odontocetes on the other hand feed at greater depths.

4 INTRODUCCIÓN

4.1 Fisiología del buceo

El buceo es un comportamiento que realizan organismos con respiración aérea, la cual consiste en descender y permanecer bajo el agua durante largos periodos de tiempo, mientras buscan alimento, evitan depredadores o para utilizar o habitar ambientes marinos (Elsner y Gooden 1983; NOAA 2021). Dicha capacidad requiere de una serie de adaptaciones fisiológicas. Paul Bert en 1870 fue el primero en proponer que los animales subacuáticos debían obligadamente presentar adaptaciones fisiológicas que les permitieran realizar inmersiones de larga duración, él llevo a cabo un experimento donde comparó el volumen/peso corporal entre un pato y una gallina, encontró que el pato presentaba mucha más sangre en relación volumen/peso corporal que la gallina, por consecuencia podía almacenar mayor oxígeno para sus inmersiones (Bert 1870). Posteriormente, investigadores aceptaron los datos publicados por Bert, pero cuestionaron que fuese la única adaptación que permitiese a los vertebrados subacuáticos las inmersiones de larga duración (Bert 1870; Richet 1894, 1895; Langlois et al. 1891), destacando de entre ellos Irving y Scholander.

Irving demostró que el “reflejo de inmersión” provoca un **aumento del flujo sanguíneo cerebral**, mientras que **el flujo sanguíneo muscular disminuye**. Sin

embargo, observo que los ajustes fisiológicos a la inmersión no son únicos entre los vertebrados buceadores, sino que más bien están en comparación con sus parientes terrestres (Irving 1937). También Irving junto a Scholander y Grinner investigaron la **frecuencia cardiaca en mamíferos** terrestres y dos grupos de focas (*Cystophora* y *Halichoerus*), encontrando que durante la inmersión la bradicardia es una respuesta común de mamíferos de sangre caliente, ya sean terrestres o acuáticos, pero la disminución de la frecuencia cardiaca en las focas fue la más pronunciada (Scholander 1940; Irving et al. 1935, 1941, 1942; Scholander et al. 1942).

4.2 Hemoglobina, mioglobina y equilibrio ácido-base.

La hemoglobina y la mioglobina son pigmentos respiratorios (hemoproteínas) presentes en la sangre y los músculos de los vertebrados, estas se encargan del transporte y almacenamiento de oxígeno, dichas hemoproteínas son fundamentales para el proceso de respiración aérea (Dunn 2016). Por lo tanto, están intrínsecamente implicadas en comportamientos como el buceo.

La hemoglobina se encuentra en los glóbulos rojos que se unen al oxígeno en los pulmones y lo transporta a los tejidos del cuerpo. Para unirse al oxígeno esta proteína experimenta un cambio conformacional que aumenta su afinidad por el oxígeno y disminuye hacia el CO₂ (Mannucci et al., 2015). Este cambio conformacional se conoce como efecto Bohr y es importante para el transporte eficiente de oxígeno y CO₂ en la sangre.

La mioglobina, por otra parte, se encuentra en el tejido muscular, esta se encarga de almacenar y liberar oxígeno durante periodos de alta demanda. Al igual que la hemoglobina, la mioglobina también se une al oxígeno y experimenta un cambio conformacional que aumenta su afinidad por el oxígeno y disminuye su afinidad por el CO₂ (Jackson 2004). Este cambio conformacional también se ve influido por el pH del entorno.

El dióxido de carbono (CO₂) es un subproducto del metabolismo y desempeña un papel crucial en la regulación del equilibrio ácido-base del organismo, ya que el

efecto Bohr (afinidad de las hemoproteínas por el oxígeno) es mediado por cambios en la concentración de CO_2 , el pH y la temperatura (Mairbäurl, 2013).

El aumento de la concentración de CO_2 provoca una disminución del pH sanguíneo, lo que se conoce como acidosis. Cuando el pH es bajo, la hemoglobina y la mioglobina se unen a los protones, lo que aumenta su afinidad por el CO_2 y reduce su afinidad por el oxígeno (Mairbäurl, 2013). Normalmente, el CO_2 se expelle mediante ventilación, pero, si el organismo no puede ventilar el CO_2 acumulado, se acidificará su sangre y por ende, la afinidad de las hemoproteínas hacia el oxígeno disminuirá, generando así una menor saturación de oxígeno por inhalación.

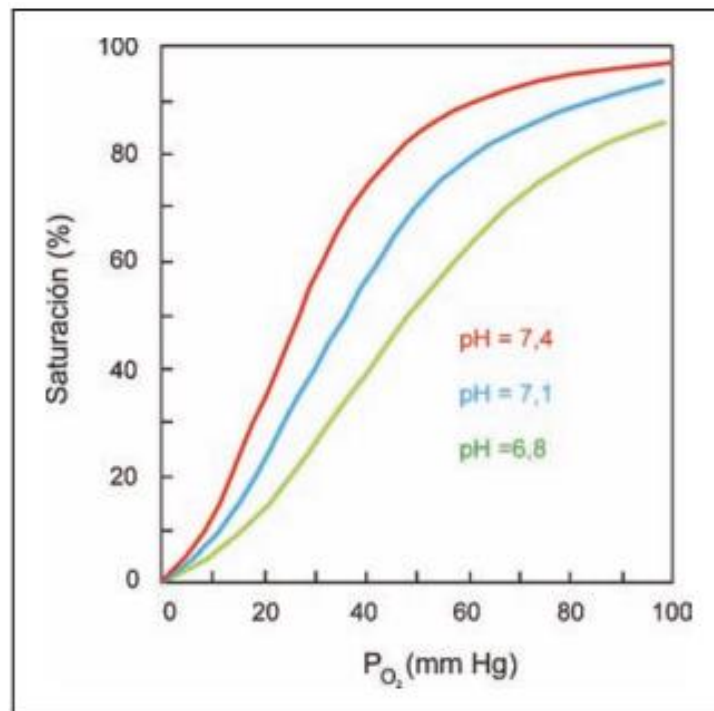


Figura. 1: Influencia del pH sobre la unión de oxígeno a la hemoglobina. Se aprecia la variación de la saturación de la hemoglobina por oxígeno al variar el pH (efecto Bohr) (Vera 2010).

4.3 Mamíferos marinos

Dentro de los vertebrados buceadores están los mamíferos marinos, en este grupo se incluyen cetáceos, pinnípedos, sirenios y mustélidos. Como se dijo anteriormente estos animales presentan adaptaciones fisiológicas que les permiten sobrevivir a buceos prolongados. Acercándonos más al presente se ha evidenciado que también poseen la capacidad de evitar la narcosis por nitrógeno colapsando sus pulmones (Ponganis 2011). Además, los mamíferos marinos tienen adaptaciones únicas en su metabolismo que les permiten tolerar condiciones de bajo oxígeno durante el buceo, como la reducción de la tasa metabólica y la perfusión selectiva de los tejidos (Davis 2014). Por ejemplo, se ha registrado una condición de hipometabolismo en inmersiones de larga duración de elefantes marinos "*Mirounga leonina*" y Pingüino emperador "*Aptenodytes forsteri*", la condición de hipometabolismo se refiere a la disminución del metabolismo (síntesis de ATP) por debajo del nivel de reposo, disminuyendo el consumo de oxígeno (Butler 2004).

Physiological Changes in Diving Mammals

	Aquatic	Terrestrial
Blood volume	↑	→
Hematocrit/hemoglobin	↑	→
Myoglobin	↑	→
Hypothermia	↑	→
Heart Rate	↓	↓
Vasoconstriction	↑	↑
Apnea	↑	↑

Figura 2: Los cambios que desarrollan los mamíferos acuáticos para aumentar las reservas de oxígeno y disminuir su utilización incluyen un mayor volumen de sangre,

hematocrito, hemoglobina y mioglobina mejorados, así como hipotermia. Aunque tales adaptaciones rara vez se observan en los mamíferos terrestres, tanto los mamíferos acuáticos como los terrestres comparten la bradicardia, la vasoconstricción y la apnea que caracterizan la respuesta de buceo (Panneton 2013).

4.4 Cambio climático

El cambio climático se ha relacionado con numerosos impactos en los mamíferos marinos, incluidos cambios en su distribución, abundancia, comportamiento y fisiología. Cambios en la distribución de los mamíferos marinos se han observado, como por ejemplo desplazamientos de su área de distribución geográfica y preferencias de hábitat. Muchas poblaciones de mamíferos marinos se han desplazado hacia los polos en busca de aguas más frías a medida que aumenta la temperatura del mar (Pinsky et al. 2013). Los cambios en la abundancia de mamíferos marinos se han relacionado con cambios en la red trófica y la productividad de los océanos, así como con el impacto de actividades humanas como la pesca, la navegación y la contaminación (Jackson et al. 2001).

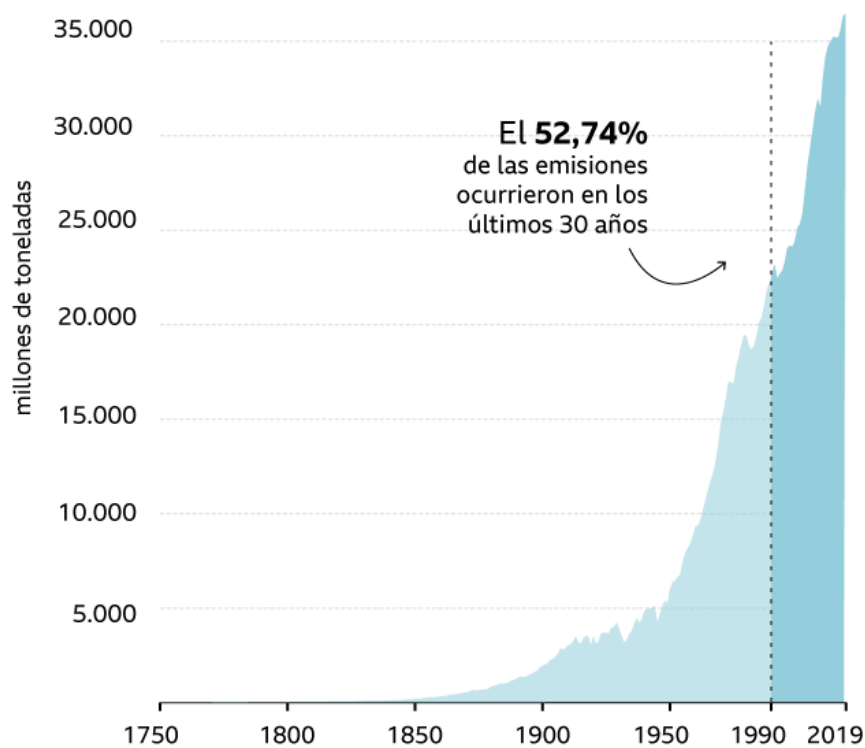
También se han observado cambios en el comportamiento de los mamíferos como patrones de alimentación, apareamiento y migración. Por ejemplo, algunas especies de mamíferos marinos están alterando sus hábitos alimentarios en respuesta a cambios en la disponibilidad de presas o cambios en el calendario de los ciclos estacionales (Portner et al., 2005). Se han observado cambios en los patrones de migración de los mamíferos marinos, y algunas especies migran antes o después de lo habitual debido a cambios en la temperatura del mar o en la disponibilidad de alimento (Learmonth et al., 2006).

Todavía se están estudiando los impactos fisiológicos del cambio climático en los mamíferos marinos, pero algunos estudios han demostrado que los cambios en la temperatura y la química del océano pueden afectar a la salud y la supervivencia de los mamíferos marinos. Por ejemplo, las temperaturas más cálidas del agua se han relacionado con una mayor susceptibilidad a las enfermedades y el estrés en algunas especies de mamíferos marinos (Harvell et al., 2002). La acidificación de

los océanos debida al aumento de los niveles de dióxido de carbono en la atmósfera también es motivo de preocupación, ya que puede repercutir negativamente en la supervivencia y reproducción de los mamíferos marinos (Peck et al., 2015).

En conclusión, las implicancias del cambio climático en los mamíferos marinos son complejas y polifacéticas, con una serie de impactos en su distribución, abundancia, comportamiento y fisiología. Comprender estos impactos es fundamental para la conservación y gestión eficaz de las poblaciones de mamíferos marinos, así como para una comprensión más amplia de los impactos del cambio climático en los ecosistemas marinos.

Emisiones totales de CO₂ por año



Fuente: Global Carbon Project

BBC

Figura. 3: Grafico que muestra las emisiones totales de CO₂ atmosférico. Fuente: BBC.

4.5 Modelo de estudio

Para este trabajo se utilizarán como modelo de estudio Odontocetos y Mysticetos, dos grupos pertenecientes a los cetáceos, nombre común ballenas. Se escogieron los cetáceos en general por la mayor disponibilidad de literatura sobre estos animales, lo que permite una mejor evaluación. A continuación, se explicarán algunos puntos claves.

El estudio del comportamiento de buceo de estos animales permite a los científicos conocer mejor sus adaptaciones fisiológicas, como cambios en la frecuencia cardiaca, flujo sanguíneo y almacenamiento de oxígeno. En 2021 se investigó como los delfines mulares (*Tursiops truncatus*) evitan la embolia gaseosa por nitrógeno (N₂) acumulado en la sangre, en este trabajo se hipotetiza sobre el intercambio gaseoso selectivo, pero en la conclusión afirman que aún faltan más trabajos para evaluar los mecanismos fisiológicos que permiten a estos animales realizar inmersiones de larga duración (Fahlman et al. 2021).

El conocimiento del comportamiento de los animales buceadores puede contribuir enormemente a los esfuerzos de conservación de las especies. Al conocer las profundidades y duraciones de las inmersiones de las ballenas, los investigadores pueden identificar hábitats críticos y zonas de alimentación que deberían protegerse. Un estudio utilizó etiquetas vinculadas a satélites para rastrear el comportamiento de buceo de las ballenas jorobadas (*Megaptera novaeangliae*) en el Antártico y descubrió que pasaban la mayor parte del tiempo alimentándose a profundidades de más de 100 metros, lo que pone de relieve la importancia de proteger los hábitats de aguas profundas. (Friedlaender et al. 2012)

El estudio del comportamiento de los buceadores también puede servir de base para la gestión de las actividades humanas en el océano, como el transporte marítimo. Un estudio utilizó el seguimiento por satélite para cartografiar los movimientos de las ballenas azules (*Balaenoptera musculus*) frente a la costa de California y descubrió que sus zonas de alimentación se solapaban con las rutas de navegación, lo que apunta a la necesidad de tomar medidas para reducir el riesgo de colisiones con embarcaciones. (Hazen et al. 2020)

5 HIPOTESIS

5.1 Preguntas

¿Ha variado el tiempo de buceo máximo registrado en los primeros trabajos de cetáceos en respuesta al incremento en la concentración de CO₂ atmosférico?

¿Ha variado la profundidad máxima de inmersión registrada en los primeros trabajos de cetáceos en respuesta al incremento en la concentración de CO₂ atmosférico?

De acuerdo con el marco teórico y a las preguntas planteadas anteriormente, se plantea el siguiente escenario hipotético.

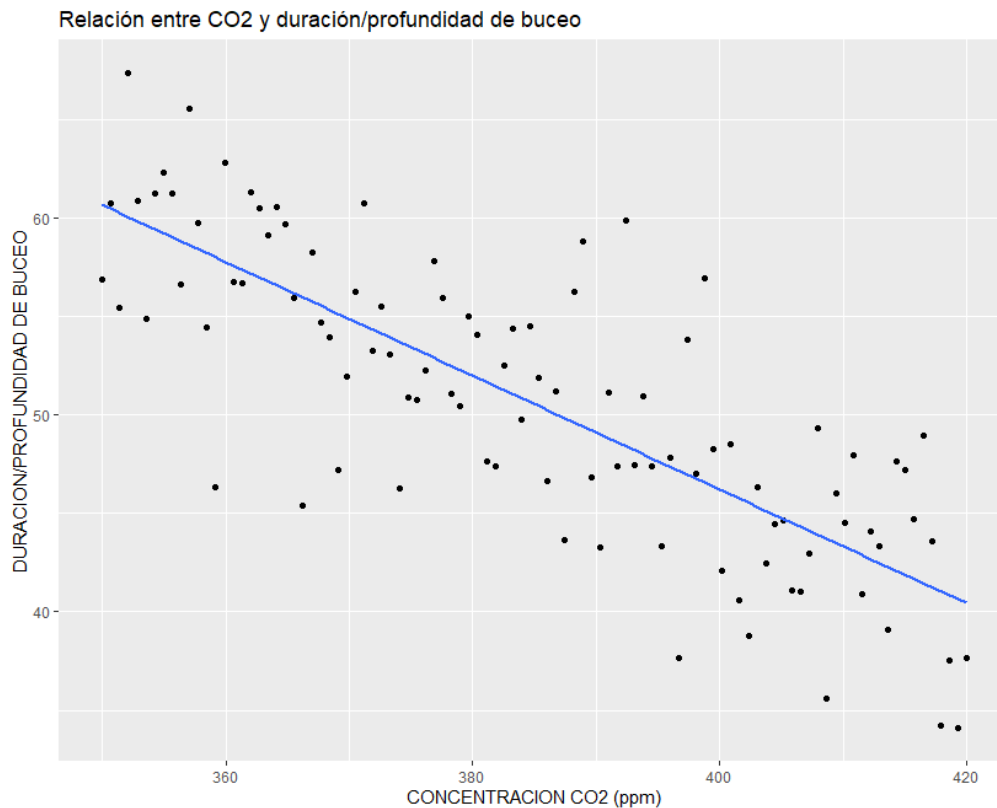


Figura 4. Hipótesis planteadas en este proyecto, a medida que las concentraciones de dióxido de carbono (CO₂) en la atmósfera aumentan, la duración y profundidad (eje Y con valores negativos) del buceo disminuye, producto de la acidificación de la sangre, y en consecuencia la hemoglobina pierde afinidad con el oxígeno, generando menores reservas de O₂ para el buceo

6 OBJETIVOS

6.1 Objetivo General:

Evaluar la variación en los registros de profundidad y tiempos máximos de inmersión en Cetáceos.

6.2 Objetivo Específico 1:

Evaluar si existe una relación entre los tiempos de buceo máximo registrados y la concentración de CO₂ atmosférico.

6.3 Objetivo Específico 2:

Evaluar si existe una relación entre la profundidad máxima registrada y la concentración de CO₂ atmosférico.

7 METODOLOGÍA

7.1 Búsqueda y selección de artículos relevantes

Siguiendo las directrices internacionales (PRISMA) (Ellis et al., 2017; Rahmani et al., 2018), se utilizó un protocolo de mapa sistemático para realizar una revisión extensa y exhaustiva de la literatura existente que contuviera datos de comportamientos de buceo en grupos diferentes de animales. Se utilizó como motor de búsqueda Web of Science. No se limitó la búsqueda por el año de publicación.

Se utilizaron diferentes combinaciones de palabras clave para encontrar la combinación más adecuada. Se utilizó la combinación de palabras clave "*Diving time AND marine mammals*", con esta combinación de palabras el 30% al 40% representaba publicaciones de interés dentro del número total de publicaciones proporcionadas por la búsqueda.

Revisión sistemática			
	WOS		
Combinación de palabras claves	Total, de resultados	Recolectados	Porcentaje de recolección
Diving marine mammals	1067		
Diving time marine mammals	412		
Diving and time marine mammals	412	27 de 50	54
Diving or time marine mammals	26661		
Behavior of freely diving animals.	18		
Behavior of diving animals.	1418		
diving capacity marine mammals	137		
diving behavior* and marine mammals*	431	27 de 50	54
beaked whales and diving time	83	18 de 50	36
beaked whales* and diving time*	73		
beaked whales* and diving behavior*	138	11 de 50	22
elephant seal* and diving time*	325	20 de 50	40
elephant seal* and diving behavior*	434		
mirounga leonina* and diving time*	111		
mirounga leonina and diving time	113		
weddell seal* and diving behavior*	311		
weddell seal* and diving time*	214		

Figura 5. Tabla de combinaciones de palabras claves probadas, con los resultados totales que arrojaba el motor de búsqueda “Web of Science”. Columna de publicaciones que sirven para la investigación “Recolectados” y el porcentaje de publicaciones de interés dentro de los primeros 50 resultados.

7.2 Criterios de inclusión.

Cada uno de los estudios que aparecieron en las búsquedas se clasificó como relevante o no relevante, en base a su título y resumen. Los criterios de inclusión fueron, 1) Texto completo disponible, 2) Registro de los tiempos y profundidad de buceo y año en que se obtuvieron los datos, 3) Modelo de estudio fueran Cetáceos.

A los datos obtenidos de los trabajos seleccionados se les sumaron datos de acceso libre en la base de datos “The Penguiness Book”, se adjunta link <http://polaris.nipr.ac.jp/~penguin/penguiness/index2.html>.

Para obtener la concentración de CO₂ atmosférico que hubo en el mismo año que se tomaron las muestras de los artículos seleccionados se utilizó la base de datos

NOAA-ESRL y **CO2.earth**. Se adjunta enlace <https://www.co2.earth/historical-co2-datasets>.

7.3 Criterios de exclusión

Dentro de los trabajos publicados sobre el comportamiento de buceo en mamíferos marinos no existe una estándar para la categorización de los datos. Algunos trabajos diferenciaron entre individuos, otros hicieron diferencia entre tipos de buceo, y otros trabajos consideraron los datos promedio contando el número de inmersiones total sin separar entre individuos. Dentro de este contexto los trabajos que tuvieran un n (número de inmersiones) menor a 5 no se integraron. También en los trabajos que diferenciaron entre tipos de buceo, se consideraron relevante los buceos profundos (>30mts). Por lo tanto, buceos superficiales no se integraron a este trabajo.

8 RESULTADOS

8.1 Publicaciones obtenidas

De un total de 419 publicaciones disponibles en WOS por la búsqueda “Diving time marine mammals” 32 correspondieron a publicaciones con datos de comportamiento de buceo en cetáceos que pudiesen incorporarse a la base de datos.

En “The penguiness book” los datos disponibles son desde 1968 hasta 2010, las publicaciones posteriores a 2010 (alrededor de 10) fueron agregadas en el set de datos de este trabajo, y se construyeron gráficos de regresión lineal para evaluar si existe correlación entre las variables.

8.2 Análisis estadísticos sin diferenciar entre Mysticetos y Odontocetos.

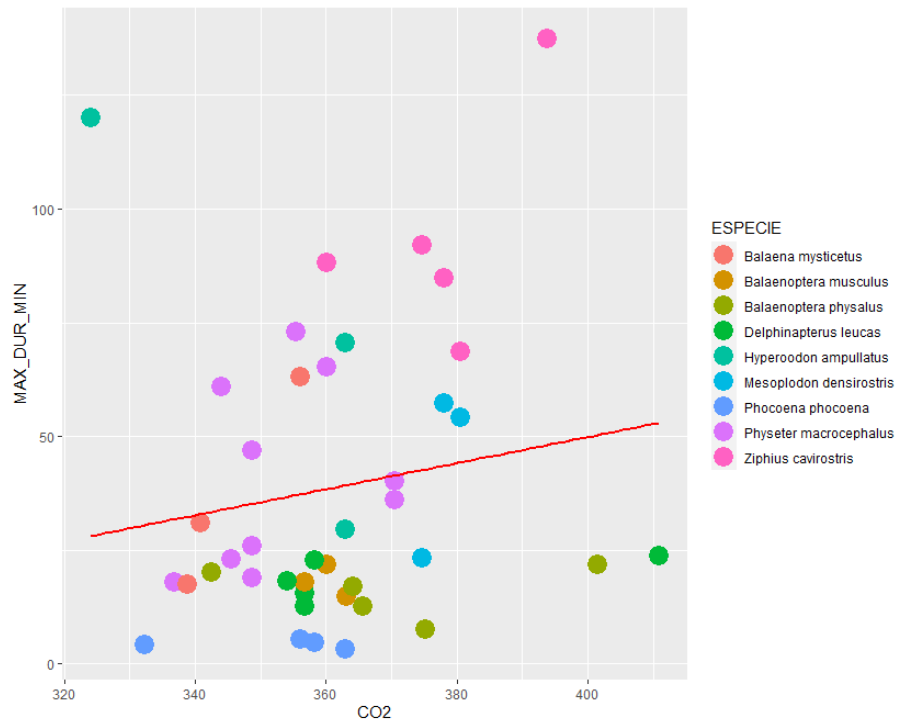


Figura. 6: Grafico obtenido con eje x (concentración de CO₂ ppm), vs eje y (Tiempo máximo de inmersión en min), se considera todas las especies con datos en este gráfico. **R² = 0.02433, p-valor: 0.3301.**

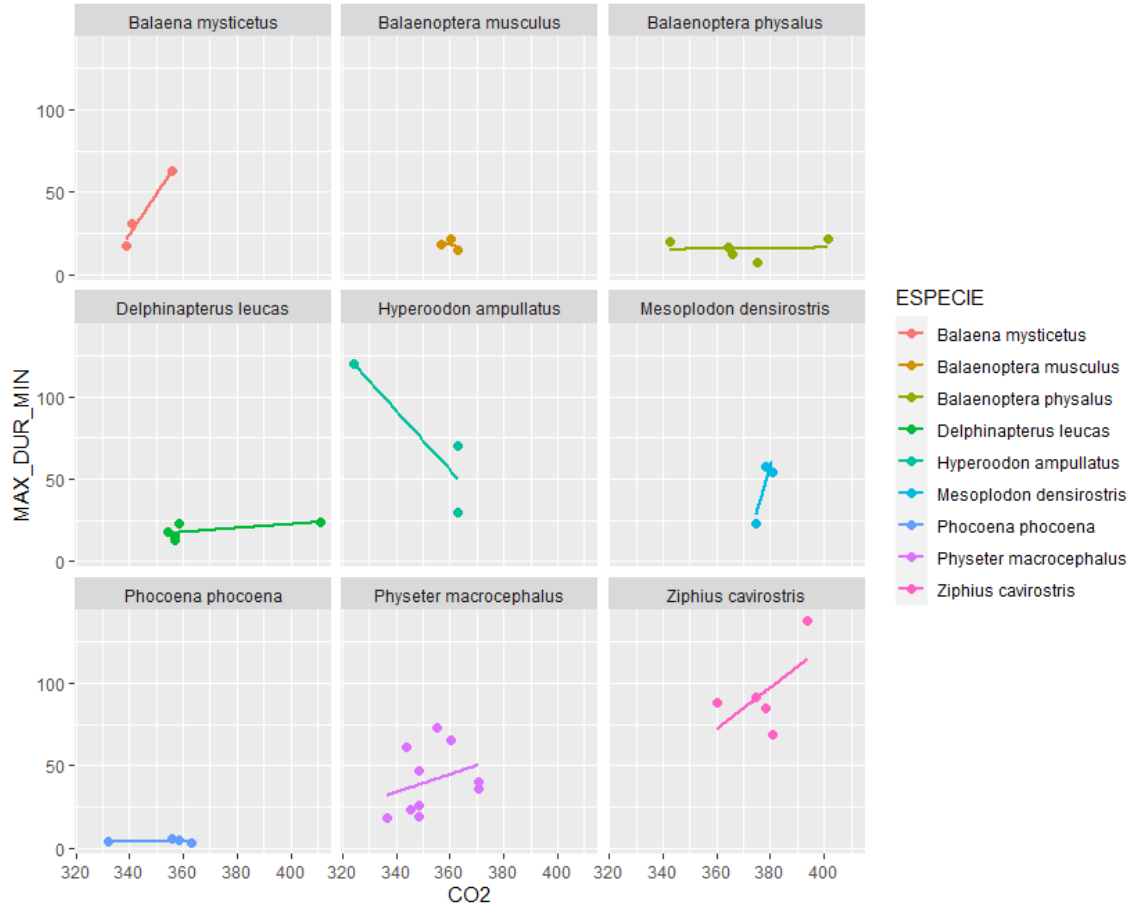


Figura. 7: Eje X, concentración de CO₂ atm en (ppm), vs Eje Y tiempo de inmersión máximo en (min), separados por especie.

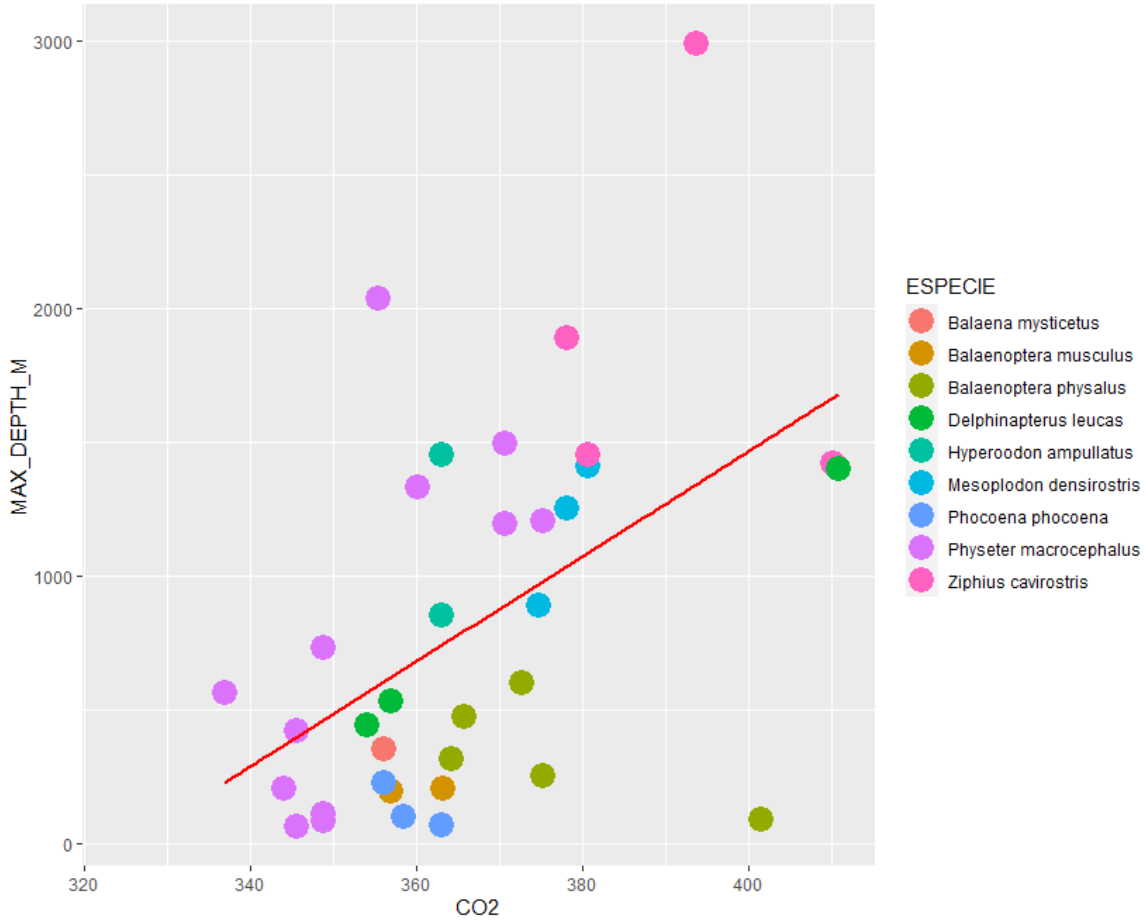


Figura. 8: Grafico obtenido con eje X (concentración de CO₂ ppm), vs eje Y (Profundidad máximo de inmersión en mts), se considera todas las especies con datos en este gráfico. **R² = 0.2525, p-valor: 0.002094***.

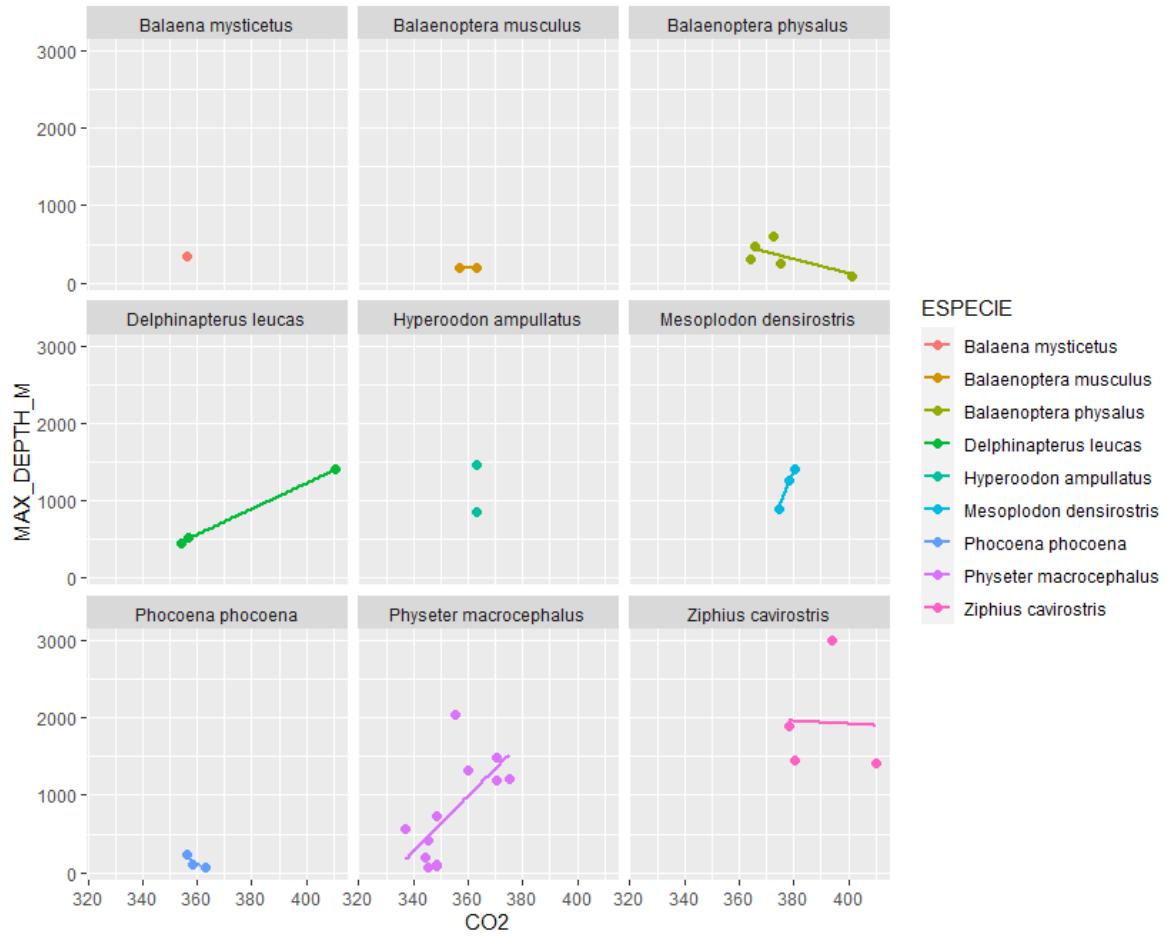


Figura. 9: Eje X, concentración de CO₂ atm en (ppm), vs Eje Y tiempo de inmersión máximo en (min), separados por especie.

8.3 Análisis estadísticos para Mysticetos

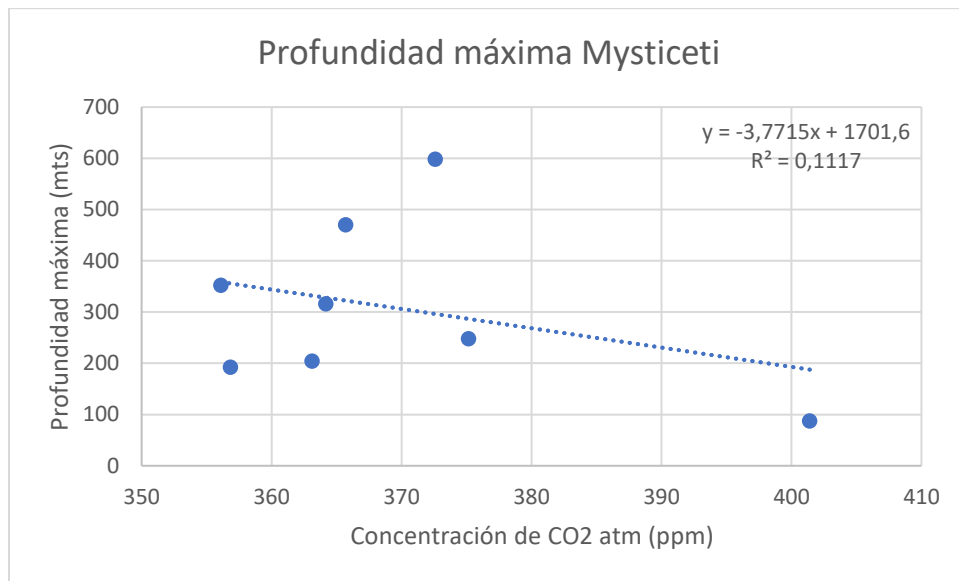


Figura 10. Eje x (Concentración de CO₂ atm (ppm)), vs eje y (Profundidad máxima (mts)). $R^2= 0.1117$. Solo los ejemplares correspondientes a Mysticeti.

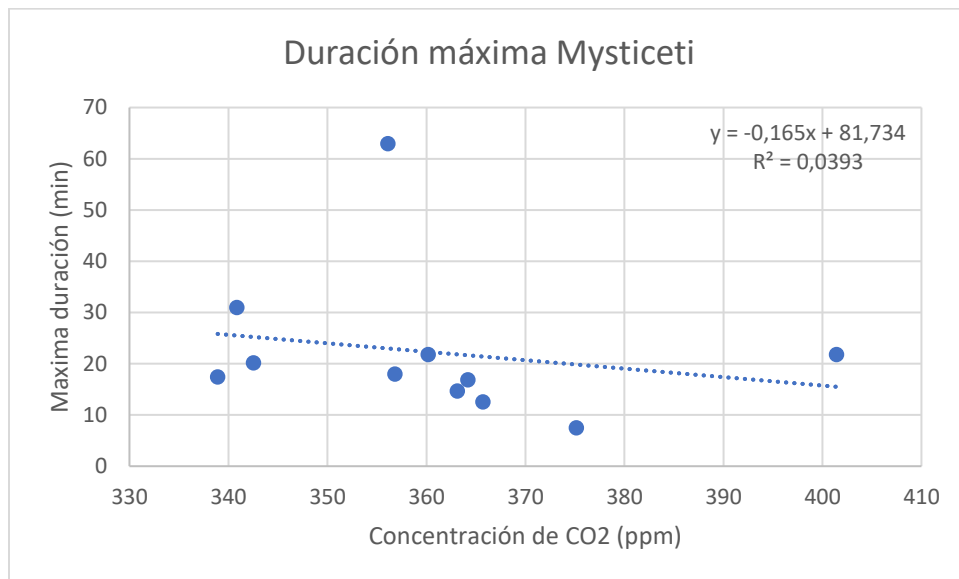


Figura 11. Eje X (Concentración de CO₂ atm (ppm)), vs eje Y (Duración máxima (min)). $R^2= 0.0393$. Solo los ejemplares correspondientes a Mysticeti.

8.4 Análisis estadísticos para Odontoceti

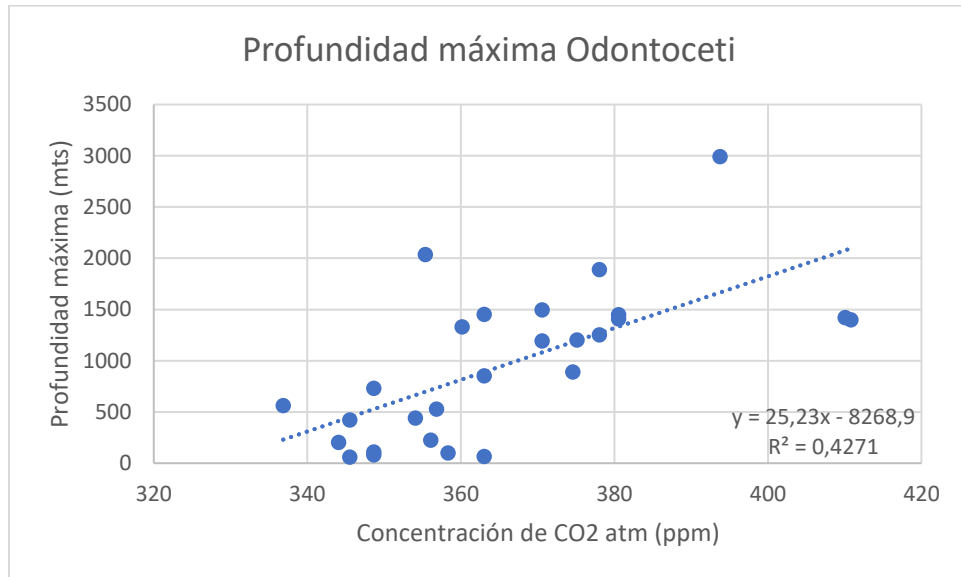


Figura 12. Eje x (Concentración de CO₂ atm (ppm)), vs eje y (Profundidad máxima (mts)). **R²= 0.4271**. Solo los ejemplares correspondientes a Odontoceti.

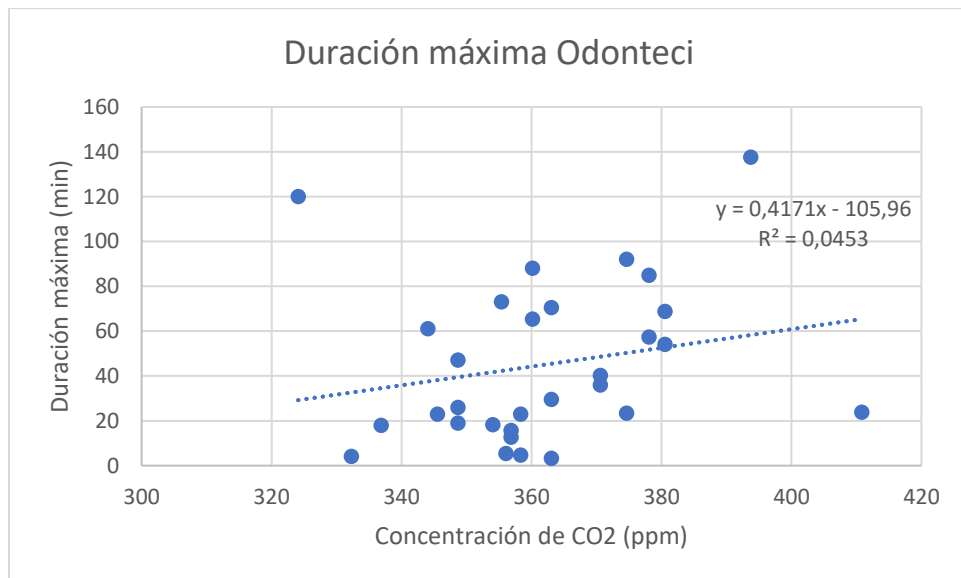


Figura 13. Eje x (Concentración de CO₂ atm (ppm)), vs eje y (Duración máxima (min)). **R²= 0.0453**. Solo los ejemplares correspondientes a Odontoceti.

9 DISCUSIÓN

9.1 Duración máxima vs CO₂.

Los resultados obtenidos de este trabajo evidenciaron que no existe una relación clara entre la duración máxima registrada en los distintos animales, versus el dióxido de carbono atmosférico. Cabe destacar, que hay tres especies con más puntos de registro que las demás, estas corresponden a *Balaenoptera physalus*, *Physeter macrocephalus* y *Ziphius cavirostris*. Cuando analizamos los resultados obtenidos por la duración de buceo máxima de *P. macrocephalus* y *Z. cavirostris* (Odontocetos) se ve una clara tendencia al aumento de dicha variable, no sucede lo mismo en *B. physalus* (Misticeto). Los odontocetos al ser cetáceos con dientes por lo general exploran profundidades mayores para alimentarse, a diferencia de los misticetos, ballenas barbadas, que se alimentan en zonas someras o pelágicas donde se acumula el krill.

9.2 Profundidad máxima vs CO₂.

Cuando analizamos los resultados obtenidos por profundidad, podemos ver que existe una relación entre la profundidad máxima registrada sin diferenciar entre especies, versus el CO₂ atmosférico. De todas formas, es importante considerar que *P. macrocephalus* presenta una mayor cantidad de registros de profundidad máxima que las demás especies, por tanto, puede estar generando un sesgo en la tendencia de todas las especies sin diferenciar. Cuando analizamos por especie, vemos que *B. physalus* (misticeto) ha disminuido su profundidad en contraste con el CO₂, esto es interesante, ya que, al igual que en la duración máxima de buceo la ballena misticeta presentaba una relación inversa a los odontocetos. Por último, *Delphinapterus leuca*, presenta una clara tendencia al aumento de profundidad, pero con solo 3 puntos de registro.

9.3 Análisis Mysticetos v/s Análisis Odontocetos

Cuando analizamos los registros separando entre ballenas barbadas y ballenas dentadas, podemos ver que la profundidad máxima y profundidad máxima se comporta de forma inversa entre los grupos. En mysticetos las variables han disminuido a través del aumento del CO₂ atm, pero en odontocetos las variables han aumentado.

Si nos remontamos un poco a los hábitos de vida de estos grupos animales, sabemos que *P. macrocephalus* y *Z. cavirostris* son depredadores de profundidades (>800 mts) con una máxima de 2030 mts. para el cachalote (Watkins et al. 1993) y 2992 mts. para ziphius (Schorr et al. 2014), mientras que *B. physalus* ha alcanzado los 598 mts. de profundidad como máximo (Panigada 2003).

9.4 Capacidad fisiológica

Es difícil determinar el punto exacto en el que los mamíferos marinos alcanzan su capacidad fisiológica máxima, ya que esta puede variar en función de factores como la especie, la edad y las condiciones ambientales (Williams 2015). En la realización de este trabajo se consideró utilizar los tiempos y buceos máximos de inmersión, ya que, están más cercanos a alcanzar las exigencias fisiológicas de los animales. Si se utilizan los promedios de duración y profundidad de inmersión, existe la posibilidad que en realidad no este reflejando la capacidad fisiológica máxima del animal, ya que, es poco probable que un animal realice todas sus inmersiones a su máxima capacidad y, por tanto, la mayoría de sus inmersiones deben mantenerse en un rango de confort para el mismo. Por lo cual, no servirían para poner a prueba la hipótesis planteada, que busca evaluar si las concentraciones de CO₂ atm han disminuido las capacidades de buceo de los cetáceos, producto de una pérdida en la afinidad por el oxígeno de la hemoglobina.

9.5 Presas de odontocetos y mysticetos

Presas de odontocetos: Los odontocetos se alimentan de una variedad de presas marinas, incluyendo peces, calamares y krill. La distribución y abundancia de las presas de los odontocetos varía según la especie y la ubicación geográfica. Pero en el contexto de cambio climático se sabe que la mayoría de las presas de estos animales han migrado a latitudes más altas buscando aguas más frías. Según Hoving et al. En 2013, los calamares de Humboldt (*Dosidicus gigas*) pueden modificar sus estrategias de historia de vida, ya sea, con altas tasas reproductivas y ejemplares más pequeños, o ejemplares de mayor tamaño, pero tasas reproductivas más reducidas, y estas estrategias pueden coexistir entre ellas, por lo tanto, pueden utilizar la columna de agua en gran proporción (Hoving et al. 2013). Otro estudio del 2003 encontró que el calamar de aleta larga patagónico *Loligo gahi*, en el transcurso de su ontogenia utilizan distintas zonas de agua, siendo limitadas por las zonas isotermas de 5,5°C (Arkhipkin et al., 2004). Por lo tanto, las presas de odontocetos tienen una amplia distribución en la columna de agua.

Presas de mysticetos: Los mysticetos se alimentan principalmente de krill y pequeños peces. La distribución y abundancia de las presas de los mysticetos también varía según la especie y la ubicación geográfica. Pero Atkinson y colaboradores afirman el desplazamiento del krill hacia latitudes más altas, y a su vez mayores profundidades, producto del calentamiento global (Atkinson et al. 2019).

9.6 Cambio climático

Como han evidenciado varios trabajos anteriores, el cambio climático ha tenido un impacto en la fauna marina, afectando su distribución, abundancia, comportamiento y fisiología, esto producto de varios factores que se han alterado, como la temperatura y CO₂. Si varios animales han migrado más hacia los polos por aguas más frías, y han cambiado sus hábitos alimenticios producto de la disponibilidad de alimento, tiene sentido evaluar el impacto del CO₂ atm en mamíferos marinos, ya que, al ser respiradores aéreos inhalan estas concentraciones de CO₂ (Jackson et al. 2001; Harvell et al., 2002; Perry et al., 2005; Learmonth et al., 2006; Harper et

al., 2006 Pinsky et al. 2013). Por tanto, se requieren más estudios con este enfoque fisiológico, evaluando por ejemplo la capacidad buffer de la sangre en las distintas especies.

9.7 Metodología de recolección de datos

La dificultad logística de instalar registradores de tiempos-profundidad (TDR) o radios marcadores (VHF), sumado al comportamiento y hábitos de vida de los cetáceos, han hecho que el avance del conocimiento del buceo no avance a un ritmo similar que, por ejemplos, los pinnípedos. También existe un escaso número de publicaciones para este grupo de animales, y poca concordancia en la forma en que se recopilan los datos o se comunican los resultados obtenidos (Hooker et al. 2001). Hooker en su mismo trabajo del 2001 propone estándares para la medición y obtención de datos en odontocetos, pero aún en la actualidad no existe ese consenso, es por esto que la comparación entre los datos de distintos trabajos deja espacio a bastantes errores o sesgos. De igual forma, trabajos que busquen entender y evaluar el comportamiento de buceo en mamíferos marinos como los cetáceos son de vital importancia, considerando el contexto de cambio climático que vivimos en la actualidad, para así obtener una idea de si existe una influencia en estas poblaciones de animales y avanzar en el conocimiento.

10 CONCLUSIONES

- 1 Existe una relación entre los registros de profundidades máximos en el pasado versus los más actuales. Según los estudios sobre distribución y abundancia de las presas de estos grupos de animales, existe un desplazamiento generalizado hacia latitudes más altas, pero los cefalópodos (presas de Odontocetos) parecen utilizar toda la columna de agua, o su mayor proporción, En cambio, el krill (presa de Mysticetos) parece estar utilizando zonas más profundas en la columna de agua, presumiblemente por el aumento de temperatura en el mar. Lo cual, no tiene mucho sentido si vemos los resultados obtenidos, donde los Mysticetos parecen alcanzar menos profundidades en la actualidad, y los Odontocetos alcanzan mayores profundidades, En consecuencia, parece ser que las presas no han afectado mayormente el comportamiento de buceo. Otra opción, es que las metodologías utilizadas en los trabajos más recientes sean más certeras y permitan obtener datos de profundidades mayores.
- 2 Las mayores profundidades alcanzadas por los odontocetos, puede responder a la actividad antrópica, el tráfico de embarcaciones en las zonas superficiales del mar, y la pesca por redes.
- 3 Existe una diferencia de tendencia entre misticetos y odontocetos, presumiblemente relacionado a los hábitos alimenticios de cada grupo animal.
- 4 Existe un margen amplio de error, ya que, no se tiene claridad sobre los límites fisiológicos de buceo de los animales.
- 5 Es necesario una estandarización para la recolección y publicación de datos, en lo que respecta al comportamiento de buceo en animales vertebrados.
- 6 Es necesario integrar más datos para evaluar la incidencia directa del CO₂ en el comportamiento de buceo, por ejemplo, incorporando datos de la capacidad buffer de la sangre (pH) en cada especie.

11 REFERENCIAS

1. Alcázar-Treviño, J., Johnson, M., Arranz, P., Warren, V. E., Pérez-González, C. J., Marques, T., ... & Aguilar de Soto, N. (2021). Deep-diving beaked whales dive together but forage apart. *Proceedings of the Royal Society B*, 288(1942), 20201905.
2. Al-Moraissi, E. A., Thaller, S. R., & Ellis, E. (2017). Subciliary vs. transconjunctival approach for the management of orbital floor and periorbital fractures: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery*, 45(10), 1647-1654.
3. Amano M, Yoshioka M (2003) Sperm whale diving behavior monitored using a suction-cupattached TDR tag. *Marine Ecology Progress Series* 258: 291-295
4. Aoki, K., Amano, M., Yoshioka, M., Mori, K., Tokuda, D., & Miyazaki, N. (2007). Diel diving behavior of sperm whales off Japan. *Marine Ecology Progress Series*, 349, 277-287.
5. Arkhipkin, A. I., R. Grzebielec, Sirota, A. M., Remeslo, A. V., Polishchuk, I. A., & Middleton, J. (2004). The influence of seasonal environmental changes on ontogenetic migrations of the squid *Loligo gahi* on the Falkland shelf. *Fisheries Oceanography*, 13(1), 1–9. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2419.2003.00269.x>
6. Baird, R. W., Webster, D. L., Schorr, G. S., McSweeney, D. J., & Barlow, J. (2008). Diel variation in beaked whale diving behavior. *Marine Mammal Science*, 24(3), 630-642.
7. Barlow J, Forney K, Saunder AV, Urban-Ramirez J (1997) A Report of Cetacean Acoustic Detection and Dive Interval Studies (CADDIS) Conducted in the Southern Gulf of California, 1995 (McArthur Cruise Number: AR-95-08? SWFSC Cruise Number: 1601). Report U.S. Department of Commerce, NOAA-TM-NMSF-SWFC-250, La Jolla, California

8. Bass, C. L., Simmonds, M. P., & Isaac, S. J. (2006). An overview of the potential consequences for cetaceans of oceanic acidification. IWC, Scientific Committee SC/58 E, 10.
9. Bert, P. 1870. De l'acte du plonger chez les mammiferes et chez les oiseaux, trentieme lon. In Leçon sur la Physiologie Comparee de la Respiration. Paris: Bailliere et Fils. 588 pp
10. Blondin, H., Abrahms, B., Crowder, L. B., & Hazen, E. L. (2020). Combining high temporal resolution whale distribution and vessel tracking data improves estimates of ship strike risk. *Biological Conservation*, 250, 108757. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2020.108757>
11. Boyd IL, Croxall JP (1992) Diving behaviour of lactating Antarctic fur seals. *Canadian Journal of Zoology* 70: 919-928
12. Boyd IL, Croxall JP (1996) Dive durations in pinnipeds and seabirds. *Canadian Journal of Zoology* 74: 1696-1705
13. Boyd IL, McCafferty D, Walker T (1997) Variation in foraging effort by lactating Antarctic fur seals: response to simulated increased foraging costs. *Behavioural Ecological Sociobiology* 40: 135-144
14. Boyd IL, Reid K, Bevan RM (1995) Swimming speed and allocation of time during the dive cycle in Antarctic fur seals. *Animal Behaviour* 50: 769-784
15. Buscheck, T. A., Bielicki, J. M., & Randolph, J. B. (2017). CO2 earth storage: enhanced geothermal energy and water recovery and energy storage. *Energy Procedia*, 114, 6870-6879.
16. C. D. Keeling, S. C. Piper, R. B. Bacastow, M. Wahlen, T. P. Whorf, M. Heimann, and H. A. Meijer, Exchanges of atmospheric CO2 and 13CO2 with the terrestrial biosphere and oceans from 1978 to 2000. I. Global aspects, SIO Reference Series, No. 01-06, Scripps Institution of Oceanography, San Diego, 88 pages, 2001.
17. Costa DP, Goebel ME, Sterling JT (2000) Foraging Energetics and Diving behavior of Antarctic Fur seal, *Arctocephalus gazella* at Cape Shirreff, Livingston Island. In: Davison W, Howard-Williams C, Broady P (eds)

- Antarctic ecosystems: Models for wider ecological understanding. Caxton press, Christchurch, pp 77-84
18. Croll, D. A., Acevedo-Gutiérrez, A., Tershy, B. R., & Urbán-Ramírez, J. (2001). The diving behavior of blue and fin whales: is dive duration shorter than expected based on oxygen stores?. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, 129(4), 797-809.
 19. Dahlhoff, E. P., Baylis, J. R., & Marshall, A. J. (2018). Acid–base regulation and respiratory acidosis in a marine mammal, the harbor seal (*Phoca vitulina*). *Journal of Comparative Physiology B*, 188(4), 675-684.
 20. Davis, R. W. (2014). A review of the multi-level adaptations for maximizing aerobic dive duration in marine mammals: from biochemistry to behavior. *Journal of Comparative Physiology B*, 184, 23-53.
 21. Dhindsa, D. S., Metcalfe, J., Hoversland, A. S., & Hartman, R. A. (1974). Comparative studies of the respiratory functions of mammalian blood X. Killer whale (*Orcinus orca linnaeus*) and beluga whale (*Delphinapterus leucas*). *Respiration physiology*, 20(2), 93-103.
 22. Dorsey EM, Richardson WJ, Würsig B (1989) Factors affecting surfacing, respiration, and dive behaviour of bowhead whales, *Balaena mysticetus*, summering in the Beaufort Sea. *Canadian Journal of Zoology* 67: 1801-1815
 23. Elsner R, Gooden B. Diving and asphyxia. A comparative study of animals and man. *Monogr Physiol Soc*. 1983;40:1-168. PMID: 6685226.
 24. Fahlman, A., Moore, M. J., & Wells, R. S. (2021). How Do Marine Mammals Manage and Usually Avoid Gas Emboli Formation and Gas Embolic Pathology? Critical Clues From Studies of Wild Dolphins. *Frontiers in Marine Science*, 8. <https://doi.org/10.3389/fmars.2021.598633>
 25. Friedlaender, A. S., Bowers, M. T., Cade, D., Hazen, E. L., Stimpert, A. K., Allen, A. N., ... & Goldbogen, J. A. (2020). The advantages of diving deep: fin whales quadruple their energy intake when targeting deep krill patches. *Functional Ecology*, 34(2), 497-506.

26. Gerlinsky, C. D., Rosen, D. A., & Trites, A. W. (2014). Sensitivity to hypercapnia and elimination of CO₂ following diving in Steller sea lions (*Eumetopias jubatus*). *Journal of Comparative Physiology B*, 184, 535-544.
27. Goebel ME, Costa DP, Crocker DE, Sterling JT, Demer DA (2000) Foraging Ranges and Dive Patterns in Relation to Bathymetry and Time-of-Day of Antarctic Fur Seals, Cape Shirreff, Livingston Island, Antarctica. In: Davison W, Howard-Williams C, Broady P (eds) *Antarctic ecosystems: Models for wider ecological understanding*. Caxton press, Christchurch, pp 47-50
28. Goldbogen, J. A., Calambokidis, J., Croll, D. A., McKenna, M. F., Oleson, E., Potvin, J., ... & Tershy, B. R. (2012). Scaling of lunge-feeding performance in rorqual whales: mass-specific energy expenditure increases with body size and progressively limits diving capacity. *Functional Ecology*, 26(1), 216-226.
29. Harvell, C. D., Mitchell, C. E., Ward, J. R., Altizer, S., Dobson, A. P., Ostfeld, R. S., & Samuel, M. D. (2002). Climate warming and disease risks for terrestrial and marine biota. *Science*, 296(5576), 2158-2162.
30. Hewitt, J., Schick, R. S., & Gelfand, A. E. (2021). Continuous-Time Discrete-State modeling for deep whale dives. *Journal of Agricultural, Biological and Environmental Statistics*, 26, 180-199.
31. Hooker, S. K., & Baird, R. W. (1999). Deep-diving behaviour of the northern bottlenose whale, *Hyperoodon ampullatus* (Cetacea: Ziphiidae). *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, 266(1420), 671-676.
32. Hooker, S. K., Baird, R. W., & Fahlman, A. (2009). Could beaked whales get the bends?: Effect of diving behaviour and physiology on modelled gas exchange for three species: *Ziphius cavirostris*, *Mesoplodon densirostris* and *Hyperoodon ampullatus*. *Respiratory physiology & neurobiology*, 167(3), 235-246.
33. Hoving, H.-J. T., Gilly, W. F., Unai Markaida, Benoit-Bird, K. J., Brown, Z., Daniel, P., Field, J. K., Parassenti, L., Liu, B., & Campos, B. (2013). Extreme plasticity in life-history strategy allows a migratory predator (jumbo squid) to

- cope with a changing climate. *Global Change Biology*, 19(7), 2089–2103.
<https://doi.org/10.1111/gcb.12198>
34. Irving, L. (1937). The respiration of beaver. *Journal of Cellular and Comparative Physiology*, 9(3), 437-451.
 35. Irving, L. (1938). The insensitivity of diving animals to CO₂. *American Journal of Physiology-Legacy Content*, 124(3), 729-734.
 36. Irving, L., Scholander, P. F., & Grinnell, S. W. (1942). The regulation of arterial blood pressure in the seal during diving. *American Journal of Physiology-Legacy Content*, 135(3), 557-566.
 37. Irving, L., Solandt, O. M., Solandt, D. Y., & Fisher, K. C. (1935). The respiratory metabolism of the seal and its adjustment to diving. *Journal of Cellular and Comparative Physiology*, 7, 137-151.
 38. Isojunno, S., Aoki, K., Curé, C., Kvadsheim, P. H., & Miller, P. J. O. M. (2018). Breathing patterns indicate cost of exercise during diving and response to experimental sound exposures in long-finned pilot whales. *Frontiers in physiology*, 9, 1462.
 39. Isojunno, S., Sadykova, D., DeRuiter, S., Cure, C., Visser, F., Thomas, L., ... & Harris, C. M. (2017). Individual, ecological, and anthropogenic influences on activity budgets of long-finned pilot whales. *Ecosphere*, 8(12), e02044.
 40. Jackson, D. A. (2004). Acid–base balance during hypoxic hypometabolism: selected vertebrate strategies. *Respiratory Physiology & Neurobiology*, 141(3), 273–283. <https://doi.org/10.1016/j.resp.2004.01.009>
 41. Jackson, J. B., & Sala, E. (2001). Unnatural oceans. *Scientia Marina*, 65(S2), 273-281.
 42. Keen, E. M., Falcone, E. A., Andrews, R. D., & Schorr, G. S. (2019). Diel dive behavior of fin whales (*Balaenoptera physalus*) in the Southern California Bight. *Aquatic Mammals*, 45(2).
 43. Kooyman GL, Davis RW, Croxall JP (1986) Diving Behavior of Antarctic Fur Seals. In: Gentry RL, Kooyman GL (eds) *Fur Seals: Maternal Strategies on Land and at Sea*. Princeton University Press, New Jersey, pp 115-1250

44. Kooyman, G. L. (1966). Maximum diving capacities of the Weddell seal, *Leptonychotes weddelli*. *Science*, 151(3717), 1553-1554.
45. Kooyman, G. L., McDonald, B. I., Williams, C. L., Meir, J. U., & Ponganis, P. J. (2021). The aerobic dive limit: after 40 years, still rarely measured but commonly used. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, 252, 110841.
46. Kooyman, G. L., Wahrenbrock, E. A., Castellini, M. A., Davis, R. W., & Sinnett, E. E. (1980). Aerobic and anaerobic metabolism during voluntary diving in Weddell seals *Leptonychotes weddelli*—evidence of preferred pathways from blood chemistry and behavior. *J. Comp. Physiol. B*, 138, 335-346.
47. Krutzikowsky GK, Mate BR (2000) Dive and surfacing characteristics of bowhead whales (*Balaena mysticetus*) in the Beaufort and Chukchi seas. *Canadian Journal of Zoology* 78: 1182-1198
48. Lachmuth, C. L., Barrett-Lennard, L. G., Steyn, D. Q., & Milsom, W. K. (2011). Estimation of southern resident killer whale exposure to exhaust emissions from whale-watching vessels and potential adverse health effects and toxicity thresholds. *Marine pollution bulletin*, 62(4), 792-805.
49. Lan, X., Tans, P. and K.W. Thoning: Trends in globally-averaged CO₂ determined from NOAA Global Monitoring Laboratory measurements. Version 2023-03 NOAA/GML (gml.noaa.gov/ccgg/trends/)
50. Langlois, P., & Richet, C. (1891). *Influence des pressions extérieures sur la ventilation pulmonaire*. Masson.
51. Lavery, T. J., Roudnew, B., Gill, P., Seymour, J., Seuront, L., Johnson, G., ... & Smetacek, V. (2010). Iron defecation by sperm whales stimulates carbon export in the Southern Ocean. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 277(1699), 3527-3531.
52. Lea M-A, Hindell M, Guinet C, Goldsworthy S (2002) Variability in the diving activity of Antarctic fur seals, *Arctocephalus gazella*, at Iles Kerguelen. *Polar Biology* 25: 269–279

53. Learmonth, J. A., MacLeod, C. D., Santos, M. B., Pierce, G. J., Crick, H. Q. P., & Robinson, R. A. (2006). Potential effects of climate change on marine mammals. *Oceanography and Marine Biology*, 44, 431.
54. Lemieux Lefebvre, S., Lesage, V., Michaud, R., & Humphries, M. M. (2018). Classifying and combining herd surface activities and individual dive profiles to identify summer behaviours of beluga (*Delphinapterus leucas*) from the St. Lawrence Estuary, Canada. *Canadian Journal of Zoology*, 96(5), 393-410.
55. Mairbäurl, H. (2013). Red blood cells in sports: effects of exercise and training on oxygen supply by red blood cells. *Frontiers in physiology*, 4, 332.
56. Mann, J., Sánchez-Mendes, S., Green, C., Nowacek, D. P., & Patterson, T. A. (2019). The impact of ocean acidification on the physiology of marine mammals. *Animal Conservation*, 22(6), 593-603.
57. Mannucci, P. M., Harari, S., Martinelli, I., & Franchini, M. (2015). Effects on health of air pollution: a narrative review. *Internal and emergency medicine*, 10, 657-662.
58. Mano S (1990) Analysis of Diving Behaviour of Sperm Whale *Physeter catodon*. *Nippon Suisan Gakkaishi* 56: 179-18
59. Martin A, Hall P, Richard P (2001) Dive Behaviour of Belugas (*Delphinapterus leucas*) in the Shallow Waters of Western Hudson Bay. *Arctic* 54: 276-283
60. Martin A, Smith T (1993) Studying the behaviour and movements of high Arctic belugas with satellite telemetry. *Symposia of the Zoological Society of London* 66: 195-210
61. Martin A, Smith T (1999) Strategy and capability of wild belugas, *Delphinapterus leucas*, during deep, benthic diving. *Canadian Journal of Zoology* 77: 1783-1793 218-228
62. Martin A, Smith T, Cox O (1998) Dive form and function in belugas *Delphinapterus leucas* of the eastern Canadian High Arctic. *Polar Biology* 20:
63. Martin Lopez, L. M., Miller, P. J., Aguilar de Soto, N., & Johnson, M. (2015). Gait switches in deep-diving beaked whales: biomechanical strategies for long-duration dives. *The Journal of Experimental Biology*, 218(9), 1325-1338.

64. Martin, A. H., Pearson, H. C., Saba, G. K., & Olsen, E. M. (2021). Integral functions of marine vertebrates in the ocean carbon cycle and climate change mitigation. *One Earth*, 4(5), 680-693.
65. Martin, A. R., & Smith, T. G. (1992). Deep diving in wild, free-ranging beluga whales, *Delphinapterus leucas*. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 49(3), 462-466.
66. Martin, A. R., & Smith, T. G. (1999). Strategy and capability of wild belugas, *Delphinapterus leucas*, during deep, benthic diving. *Canadian Journal of Zoology*, 77(11), 1783-1793.
67. McCafferty DJ, Boyd IL, Taylor RI (1998) Diving behaviour of Antarctic fur seal (*Arctocephalus gazella*) pups. *Canadian Journal of Zoology* 76: 513-52
68. McCafferty DJ, Boyd IL, Walker TR, Taylor RI (1998) Foraging responses of Antarctic fur seals to changes in the marine environment. *Marine Ecology Progress Series* 166: 285-299
69. Michael Panneton, W. (2013). The mammalian diving response: an enigmatic reflex to preserve life?. *Physiology*, 28(5), 284-297.
70. Minamikawa, S., Iwasaki, T., & Kishiro, T. (2007). Diving behaviour of a Baird's beaked whale, *Berardius bairdii*, in the slope water region of the western North Pacific: first dive records using a data logger. *Fisheries Oceanography*, 16(6), 573-577.
71. Mortola, J. P., & Seguin, J. (2009). End-tidal CO₂ in some aquatic mammals of large size. *Zoology*, 112(2), 77-85.
72. National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). (2021). Diving Adaptations in Marine Mammals. Retrieved from www.noaa.gov/education/resource-collections/marine-life/marine-mammals
73. Otani S, Naito Y, Kato A, Kawamura A (2000) Diving behavior and swimming speed of a free-ranging Harbor porpoise, *Phocoena phocoena*. *Marine Mammal Science* 16: 811-814
74. Otani S, Naito Y, Kato A, Kawamura A (2001) Oxygen consumption and swim speed of the harbor porpoise *Phocoena phocoena*. *Fisheries Science* 67: 894-898

75. Otani S, Naito Y, Kawamura A, Kawasaki M, Nishiwaki S, Kato A (1998) Diving behavior and performance of Harbor porpoises, *Phocoena phocoena*, in Funka bay, Hokkaido, Japan. *Marine Mammal Science* 14: 209-220
76. Pabst, D. A., McLellan, W. A., & Rommel, S. A. (2016). How to build a deep diver: the extreme morphology of mesoplodonts. *Integrative and Comparative Biology*, 56(6), 1337-1348.
77. Panigada S, Pesante G, Zanardelli M, Oehen S (2003) Day and Night-Time Diving Behavior of Fin Whales in the Western Ligurian Sea. *Proceedings of the Conference Oceans 2003, San Diego*, 466-471
78. Panigada, S., Zanardelli, M., Canese, S., & Jahoda, M. (1999). How deep can baleen whales dive?. *Marine Ecology Progress Series*, 187, 309-311.
79. Papastavrou V, Smith SC, Whitehead H (1989) Diving behaviour of the sperm whale, *Physeter macrocephalus*, off the Galapagos Islands. *Canadian Journal of Zoology* 67: 839-846
80. Peck, L. S., Clark, M. S., Power, D., Reis, J., Batista, F. M., & Harper, E. M. (2015). Acidification effects on biofouling communities: winners and losers. *Global change biology*, 21(5), 1907-1913.
81. Pinsky, M. L., Worm, B., Fogarty, M. J., Sarmiento, J. L., & Levin, S. A. (2013). Marine taxa track local climate velocities. *Science*, 341(6151), 1239-1242.}
82. Pomerleau, C., Patterson, T. A., Luque, S., Lesage, V., Heide-Jørgensen, M. P., Dueck, L. L., & Ferguson, S. H. (2011). Bowhead whale *Balaena mysticetus* diving and movement patterns in the eastern Canadian Arctic: implications for foraging ecology. *Endangered Species Research*, 15(2), 167-177.
83. Ponganis, P. J. (2011). Diving mammals. *Compr Physiol*, 1(1), 447-465.
84. Pörtner, H. O., Langenbuch, M., & Michaelidis, B. (2005). Synergistic effects of temperature extremes, hypoxia, and increases in CO₂ on marine animals: From Earth history to global change. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 110(C9).
85. Pulis, E. E., Wells, R. S., Schorr, G. S., Douglas, D. C., Samuelson, M. M., & Solangi, M. (2018). Movements and dive patterns of pygmy killer whales

- (*Feresa attenuata*) released in the Gulf of Mexico following rehabilitation. *Aquatic Mammals*, 44(5), 555-567.
86. Rahmani, A. M., Gia, T. N., Negash, B., Anzanpour, A., Azimi, I., Jiang, M., & Liljeberg, P. (2018). Exploiting smart e-Health gateways at the edge of healthcare Internet-of-Things: A fog computing approach. *Future Generation Computer Systems*, 78, 641-658.
 87. RICHET, C. De l'influence de l'éducation sur la résistance du canard B l'asphyxie. *COT@% Rend. SOG. Biof.* 5: 481-483, 1898.
 88. RICHET, C. Influence de l'atropine sur la durée de l'asphyxie chez le canard. *Compt. Rend. SOL Biol. I* : 789-790s 1894.
 89. Richet, C. La résistance des canards asphyxie. *Compt. Rend. Svc. Bid. I* : 244-245, 1894
 90. Ridgway, S. H. (1986). Diving by cetaceans. *Diving in animals and man*, 33-62.
 91. Robinson S, Goldsworthy S, Hoff Jvd, Hindell MA (2002) The foraging ecology of two sympatric fur seal species, *Arctocephalus gazella* and *Arctocephalus tropicalis*, at Macquarie Island during the austral summer. *Marine and Freshwater Research* 53: 1071-1082
 92. Roncon, G., Bestley, S., McMahon, C. R., Wienecke, B., & Hindell, M. A. (2018). View from below: inferring behavior and physiology of Southern Ocean marine predators from dive telemetry. *Frontiers in Marine Science*, 464.
 93. Ropert-Coudert, Y. (2006). *The Penguin book*. <http://polaris.nipr.ac.jp/~penguin/penguiness/index.html>.
 94. Ropert-Coudert, Y., Beaulieu, M., Hanuise, N., & Kato, A. (2009). Diving into the world of biologging. *Endangered Species Research*, 10, 21-27.
 95. Scholander, P. F. (1940). Experimental investigations on the respiratory function in diving mammals and birds (No. 22). I kommisjon hos Jacob Dybwad.

96. Scholander, P. T., & Irving, L. (1941). Experimental investigations on the respiration and diving of the Florida manatee. *Journal of Cellular and Comparative Physiology*, 17(2), 169-191.
97. Shearer, J. M., Quick, N. J., Cioffi, W. R., Baird, R. W., Webster, D. L., Foley, H. J., ... & Read, A. J. (2019). Diving behaviour of Cuvier's beaked whales (*Ziphius cavirostris*) off Cape Hatteras, North Carolina. *Royal Society Open Science*, 6(2), 181728.
98. Stimpert, A. K., Peavey, L. E., Friedlaender, A. S., & Nowacek, D. P. (2012). Humpback Whale Song and Foraging Behavior on an Antarctic Feeding Ground. *PLoS ONE*, 7(12), e51214.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0051214>
99. Storrie, L., Hussey, N. E., MacPhee, S. A., O'Corry-Crowe, G., Iacozza, J., Barber, D. G., ... & Loseto, L. L. (2022). Year-round dive characteristics of male beluga whales from the Eastern Beaufort Sea population indicate seasonal shifts in foraging strategies. *Frontiers in Marine Science*, 8, 715412.
100. Sweeney, C., Karion, A., Wolter, S., Newberger, T., Guenther, D., Higgs, J. A., ... & Tans, P. P. (2015). Seasonal climatology of CO₂ across North America from aircraft measurements in the NOAA/ESRL Global Greenhouse Gas Reference Network. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 120(10), 5155-5190.
101. Sweeney, D. A., Schorr, G. S., Falcone, E. A., Rone, B. K., Andrews, R. D., Coates, S. N., ... & Moretti, D. J. (2022). Cuvier's beaked whale foraging dives identified via machine learning using depth and triaxial acceleration. *Marine Ecology Progress Series*, 692, 195-208.
102. Tian, R., Wang, Z., Niu, X., Zhou, K., Xu, S., & Yang, G. (2016). Evolutionary genetics of hypoxia tolerance in cetaceans during diving. *Genome biology and evolution*, 8(3), 827-839.
103. Tyack, P. L., Johnson, M., Soto, N. A., Sturlese, A., & Madsen, P. T. (2006). Extreme diving of beaked whales. *Journal of Experimental Biology*, 209(21), 4238-4253.

104. Vacquié-García, J., Lydersen, C., & Kovacs, K. M. (2019). Diving behaviour of adult male white whales (*Delphinapterus leucas*) in Svalbard, Norway. *Polar Research*.
105. VERA, L. F. (2010). La hemoglobina: una molécula prodigiosa. *Revista de la Real Academia de Ciencias Exactas Físicas y Naturales*, 104(1), 213-232.
106. Wahlberg M (2002) The acoustic behaviour of diving sperm whales observed with a hydrophone array. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 281: 53-62
107. Warren, V. E., Miller, P. J., & Tyack, P. L. (2020). Short-term responses of sperm whales *Physeter macrocephalus* to the attachment of suction cup tags. *Marine Ecology Progress Series*, 645, 219-234.
108. Watkins WA, Daher MA, DiMarzio NA, Samuels A, Wartzok D, Fritstrup KM, Howey PW, Maiefski RR (2002) Sperm Whale dives tracked by radio tag telemetry. *Marine Mammal Science* 18: 55-68
109. Watkins WA, Daher M-A, Fristrup KM, Howald TJ, Notarbatolo Di Sciara G (1993) Sperm whales tagged with transponders and tracked underwater by sonar. *Marine Mammal Science* 9: 55-67
110. Watson A, Gaskin D (1983) Observations on the ventilation cycle of the harbour porpoise *Phocoena phocoena* (L.) in coastal waters of the Bay of Fundy. *Canadian Journal of Zoology* 61: 126-132
111. Watwood SL, Miller PJ, Johnson M, Madsen PT, Tyack PL (2006) Deep-diving foraging behaviour of sperm whales (*Physeter macrocephalus*). *Journal of Animal Ecology* 75: 814-825
112. Watwood, S. L., Miller, P. J., Johnson, M., Madsen, P. T., & Tyack, P. L. (2006). Deep-diving foraging behaviour of sperm whales (*Physeter macrocephalus*). *Journal of Animal Ecology*, 75(3), 814-825.
113. Westgate AJ, Read AJ, Berggren P, Koopman HN, Gaskin DE (1995) Diving behaviour of harbour porpoises, *Phocoena phocoena*. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science* 52: 1064-1073

114. Williams, T. M., Davis, R. W., Fuiman, L. A., Francis, J., Le Boeuf, B. J., Horning, M., ... & Galli, G. L. (2018). Decreased pulmonary compliance in response to acute and chronic hypercapnia in a marine mammal, the northern elephant seal. *American Journal of Physiology-Lung Cellular and Molecular Physiology*, 315(5), L830-L840.
115. Williams, T. M., Davis, R. W., Fuiman, L. A., Francis, J., Le Boeuf, B. J., Horning, M., & Calambokidis, J. (2015). Sink or swim: strategies for cost-efficient diving by marine mammals. *Science*, 349(6244), 415-418. doi: 10.1126/science.aac7042
116. Williams, T. M., Fuiman, L. A., Horning, M., & Davis, R. W. (2004). The cost of foraging by a marine predator, the Weddell seal *Leptonychotes weddellii*: pricing by the stroke. *Journal of experimental biology*, 207(6), 973-982.
117. Williams, T. M., Kendall, T. L., Richter, B. P., Ribeiro-French, C. R., John, J. S., Odell, K. L., ... & Stamper, M. A. (2017). Swimming and diving energetics in dolphins: a stroke-by-stroke analysis for predicting the cost of flight responses in wild odontocetes. *Journal of Experimental Biology*, 220(6), 1135-1145.
118. Williams, T. M., Kendall, T. L., Richter, B. P., Ribeiro-French, C. R., John, J. S., Odell, K. L., ... & Stamper, M. A. (2017). Swimming and diving energetics in dolphins: a stroke-by-stroke analysis for predicting the cost of flight responses in wild odontocetes. *Journal of Experimental Biology*, 220(6), 1135-1145.
119. Würsig B, Dorsey EM, Fraker MA, Payne RS, Richardson WJ, Wells RS (1984) Behavior of bowhead whales, *Balaena mysticetus*, summering in the Beaufort Sea: surfacing, respiration, and dive characteristics. *Canadian Journal of Zoology* 62: 1910-1921