Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada

Estimación de abundancia de crías de ballena gris (*Eschrichtius robustus*) con base en observaciones desde tierra en Costa Azul, Ensenada, Baja California, en los años 2004-2006

TESIS

MAESTRÍA EN CIENCIAS

HÉCTOR PÉREZ PUIG

ENSENADA BAJA CALIFORNIA, MÉXICO, OCTUBRE DE 2007.

CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y DE EDUCACIÓN SUPERIOR
DE ENSENADA

Ecología Marina

PROGRAMA DE POSGRADO EN CIENCIAS
EN ECOLOGÍA MARINA

Estimación de abundancia de crías de ballena gris (*Eschrichtius robustus*) con base en observaciones desde tierra en Costa Azul, Ensenada, Baja California, en los años 2004-2006

TESIS

que para cubrir parcialmente los requisitos necesarios para obtener el grado de
MAESTRO EN CIENCIAS

Presenta:

HÉCTOR PÉREZ PUIG

Ensenada, Baja California, México, octubre de 2007.

TESIS DEFENDIDA POR

Héctor Pérez Puig

Y APROBADA POR EL SIGUIENTE COMITÉ

Dra. Gisela Heckel Dziendzielewski
Director del Comité

Dr. Juan Pablo Lazo Corvera
Miembro del Comité

Dr. Oscar Sosa Nishizaki
Miembro del Comité

Dr. Luis Eduardo Calderón Aguilera
Coordinador del programa de posgrado en Ecología Marina

Dr.David Hilario Covarrubias Rosales
Encargado del despacho de la Dirección de Estudios de Posgrado

5 de octubre de 2007

RESUMEN de la tesis que presenta **Héctor Pérez Puig**, como requisito parcial para la obtención del grado de MAESTRO EN CIENCIAS en ECOLOGÍA MARINA, Ensenada, Baja California, octubre de 2007.

Resumen aprobado por:

Dra. Gisela Heckel Dziendzielewski

Estimación de abundancia de crías de ballena gris (*Eschrichtius robustus*) con base en observaciones desde tierra en Costa Azul, Ensenada, Baja California, en los años 2004-2006.

Se realizaron estimaciones de abundancia de crías de ballena gris que pasaron durante su migración al norte, a partir de observaciones sistemáticas de parejas de hembra-cría desde un punto fijo en tierra en Costa Azul, B. C. de 2004 a 2006. Se realizaron un total de 129 días de esfuerzo, donde se llevaron a cabo 756.48hr de observación, en las que se contó un total de 162 crías (42, 41 y 79 crías para 2004, 2005 y 2006, respectivamente). La duración de la migración de parejas de hembra-cría fue de aproximadamente dos meses y medio (desde marzo a mediados de mayo) y la distribución temporal de las crías observadas mantuvo el mismo patrón reportado en otros sitios a lo largo de su migración. Nuestras estimaciones de abundancia de crías tomaron en cuenta correcciones sólo para aquellas crías que pasaron sin ser vistas dentro del área de visión durante los periodos de observación y aquéllas que pasaron sin ser vistas durante los periodos de no-observación. La tasa diferencial de paso diurna/nocturna de las hembras-cría se supuso constante. Además, se analizó la distancia a la costa de seguimientos con teodolito de parejas de hembras-cría, y todas pasaron muy cerca de la costa (50-600m); por lo tanto, no se ajustaron nuestras estimaciones de abundancia para aquellas crías que pudieran no haber sido detectadas por pasar alejadas de la costa (>7000m, distancia máxima desde la costa a la que se observaron ballenas durante la migración al sur). Para estimar el número de crías que pasaron sin ser detectadas durante los periodos de observación, fue necesario estimar nuestra probabilidad de detección, la cual fue calculada a partir de conteos simultáneos e independientes ajustados a un modelo de Huggins que incluyó covariantes (nubosidad, crías/hr y día). La probabilidad de detección fue de 0.93 (ES=0.031; IC 95%=0.84, 0.97). El total de crías estimadas durante los periodos de esfuerzo fueron 45 (ES=1.91), 44 (ES=1.34) y 82 (ES=3.5) crías para 2004, 2005 y 2006, respectivamente. Estas estimaciones fueron corregidas para los periodos de no-observación con ajustes de polinomiales Hermite. Las estimaciones finales del número de crías de ballena gris que pasaron por Costa Azul fueron de 375 (ES=73), 241 (ES=62) y 493 (ES=121) crías para 2004, 2005 y 2006, respectivamente. Las diferencias interanuales en las estimaciones se sugiere se deben a temporadas cortas de alimentación en el Ártico en años previos. Nuestras estimaciones fueron de menor magnitud que las reportadas para Piedras Blancas, California, para los mismos años, y sugerimos que una de las causas puede ser que, debido a la conformación de la costa adyacente a Ensenada, una cantidad importante de las parejas hembra-cría migran muy alejadas de la costa (>10km) para poder detectarse desde Costa Azul.

Palabras clave: ballena gris, *Eschrichtius robustus*, parejas de hembra con cría, observaciones desde costa, estimación de abundancia.

ABSTRACT of the thesis presented by **Héctor Pérez Puig**, as a partial requirement to obtain the MASTER OF SCIENCE degree in MARINE ECOLOGY, Ensenada, Baja California, México, October 2007.

Abstract approved by:

Gisela Heckel Dziendzielewski, PH. D.

Gray whale (*Eschrichtius robustus*) calf abundance estimation from shore-based sighting surveys at Costa Azul, Ensenada, Baja California, 2004-2006.

Gray whale calf abundance was estimated from shore-based surveys in Costa Azul, Baja California, during their northbound migration. A total of 129 effort days, and 756.48 observation hours were carried out during which 162 calves where counted (42, 41 and 79 calves for 2004, 2005 and 2006, respectively). Cow/calf migration lasted almost two and a half months (from March to early May); calf migration timing followed the same pattern that has been reported in others observation sites throughout their migration. Corrections were made for calves missed that passed the survey area during observation periods as well as for those who passed during off-effort periods. Cow/calf pair diel migration rate was assumed to be constant. In addition, we analyzed the distance from shore of gray whale paths (theodolite tracking), which revealed that cow/calf pairs travel very close to shore (50-600m); hence no adjustment to the final abundance estimation was made for calves missed because they may have passed too far from shore to be detected (>7000m, maximum distance observed for southbound migrating whales). To estimate the number of calves that passed undetected during observation periods, we estimated our detection probability by means of simultaneous and independent counts adjusted to a Huggins model (including covariates, e. g. cloud cover, calves/hr, and day). The detection probability was 0.93 (SE=0.031; 95% CI =0.84, 0.97). Total calves estimated during the effort periods where 45 (SE=1.91) for 2004, 44 (SE=1.34) for 2005, and 82 (SE=3.5) calves for 2006. These estimates were corrected for calves passing during non-observation periods using a Hermite polynomial fit. The final gray whale estimations were 375 (SE=73) for 2004, 241 (SE=62) for 2005 and 493 (SE=121) calves for 2006. Inter-annual differences in these estimates suggest that a short feeding period in the Artic might have occurred in previous years. Our estimates were lower than those reported for Piedras Blancas, California, during the same years, and we suggest that one of the explanations may be that because of the coastal morphology near Ensenada, an important amount of cow/calf pairs migrate too far from shore (>10km) to be detected from Costa Azul.

Key words: gray whale, *Eschrichtius robustus*, cow-calf pairs, shore-based sighting, abundance estimation.

Dedicatoria

A mis padres Guadalupe y Héctor por todo el apoyo incondicional y a distancia que siempre me brindarón. Siempre estaré en deuda con ustedes; reciban este nuevo logro personal como uno propio. Esto es para y por ustedes con mucho cariño. Los llevo siempre conmigo y gracias por sus bendiciones.

Para quien a sido el pilar y sustento de la familia, para mi hermano Jonathan, para ti con mucho cariño y admiración. Para mi sobrina Allison, quien estoy seguro será muy sobresaliente en todo lo que realice. Con cariño para ambos.

A mi familia. Mis tías Martha, Lourdes, Bety y Lucy. A mis primos Erika, Mitzi, Fernando y Sinahi. Extraño esos sabados con ustedes. Para quienes desde arriba me cuidan, para mis abuelos Maria y Carlos, los tengo siempre presentes.

Con especial dedicatoria para Daffne Celeste, para ese gran ser humano y admirable mujer a quien le agradezco a la vida me haya presentado en mi camino y a quien le doy gracias por todos los momentos que ha compartido conmigo. Como amor para ti.

Agradecimientos

Este escrito no hubiera sido posible sin todo el apoyo y ayuda desinteresados de innumerables personas, sin duda entre ellas, mis padres Guadalupe y Héctor. Muchas gracias por darme fuerzas para seguir adelante y realizar lo que siempre me ha apasionado, no tengo palabras para agradecerles todo lo que han hecho por mi, pero que este escrito sirva como recompensa a todos sus desvelos y preocupaciones, reciban esto con mucho cariño. Gracias por estar siempre cerca de mí, aunque fisicamente nos separen algunos kilómetros. GRACIAS NUEVAMENTE.

Agradezco al Posgrado de Ecología Marina del CICESE por haberme aceptado dentro del programa y darme la oportunidad de obtener mi grado. Gracias por el apoyo económico que me fue asignado para concluir este trabajo. Gracias de manera muy especial al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por la beca otorgada, sumamente esencial para poder concluir esta etapa de mi vida académica, gracias ya que sin la beca no se que hubiera hecho.

No tengo palabras para agradecer todo el apoyo que recibí por parte de la Dra. Gisela Heckel Dziendzielewski, no podría terminar de agradecerle todas y cada una de las cosas que ha hecho por mi. Gracias por aceptarme como un miembro más de tu equipo de trabajo, gracias por confiar en mí y darme la gran oportunidad de seguir reafirmando que mi pasión y vocación son los mamíferos marinos. La palabra es muy corta, pero sabes que envuelve tantas y tantas cosas, Gisela muchas, muchas GRACIAS por todo.

Mi agradecimiento y reconocimiento a los sinodales Dr. Oscar Sosa y Dr. Juan Pablo Lazo, por sus valiosos comentarios y sugerencias que enriquecieron este escrito. Gracias por todas las atenciones que siempre tuvieron para conmigo. Gracias Dr. Sosa por enseñarme que un buen investigador no debe perder nunca su amabilidad y camaradería hacia los estudiantes, gracias por su apoyo.

A los Drs. Stephen B. Reilly y Wayne Perryman, por su ayuda y todos sus comentarios, gracias a ambos por su amabilidad durante las charlas que llevamos a cabo y una disculpa por mi ingles. Gracias al Dr. Perryman por compartir sus datos que fueron esenciales para la comparación con los míos y la elaboración de mi discusión.

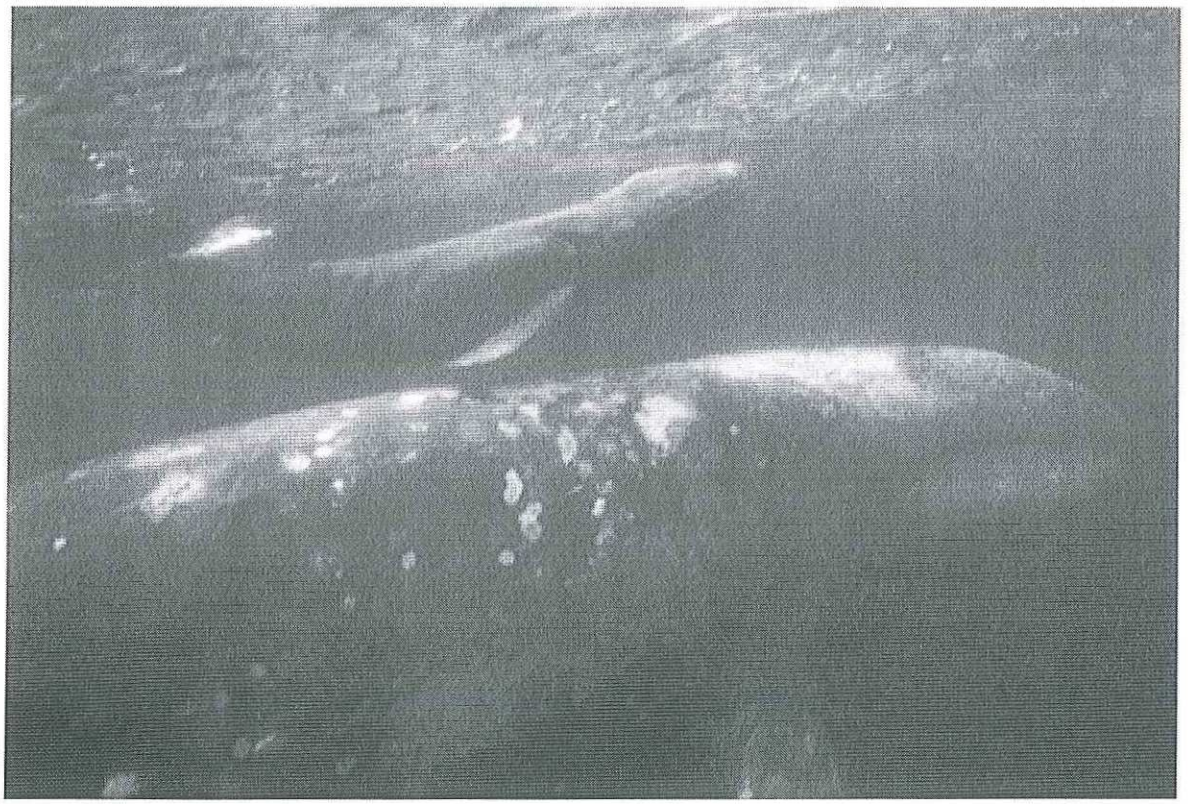
Gracias a todos aquellos que sin conocerme y de manera totalmente desinteresada me ayudaron con lo relacionado al programa MARK (totalmente ajeno para mí), gracias al Dr. Richard Hobbs, Dr. Carl Schwarz, Dr. Jeff Laake y Dr. Jeff Breiwick por las multiples asesorias por correo eletrónico. Quiero agradecer muy en especial al Dr. Breiwick por su paciencia, ayuda y tiempo tomado en cada una de sus repuestas a mis enormes dudas (cuando más desesperado me encontraba) expresadas en correos electrónicos, que de haber querido pudo no haber costestado. Espero en algún momento coincidir y agradecerles a todos personalmente. Gracias a todos aquellos desconocidos que forman parte del foro sobre el programa MARK que de igual forma se tomaron la molestia de dar respuesta a mis dudas, a todos gracias.

A todas y cada una de las personas que participaron en las salidas de campo y que sin ellas no hubiera sido posible obtener los datos para esta y más tesis. Gisela Heckel, Yolanda Schramm, Luis Enríquez (gracias por las largas y entretenidas platicas y gracias por tus buenos comentarios para este trabajo), Gemma Rivera, Melba de Jesús, Samantha Rodríguez (gracias por los divertidos momentos cuando se volvía tediosa la busqueda de las ballenas, siempre había un comentario que nos hacía doblarnos de risa), Denise Lubinsky, Nelva Victoria, Guadalupe Gómez, Alejandra Báez, Guadalupe Espinosa (Lupis), Eulogio López, Jorge López, Concepción Aguilar, Esther Araiza, Ligeia del Toro y Roció González, a todos gracias por esos momentos durante las salidas de campo.

A los grandes amigos y compañeros de desvelos, fiestas y demás durante la maestría que sin ellos seguro las cosas se hubieran vuelto más pesadas. A Carina (gracias por brindarme tu amistad sobre todas las cosas, eres una persona sumamente valiosa), Yecenia (que bueno que encontraste de nuevo tu verdadero camino), Erica (gracias por considerarme uno de tus amigos), a Melba (gracias por las asesorias mutuas) y muy especialmente a Gemma (gracias por las largas, largas platicas en donde podíamos hablar de todo y de nada, gracias por el asilo previo al día D, sabes que cuentas con un verdadero amigo siempre). A Victor, Diana y el Panita (por adoptarme como de su familia, recien cuando todos desembarcamos en Ensenada y por hacer más llevadero los momentos de reajuste en el inicio de esta etapa). A todos los panboleros con quienes cada martes y jueves me echaba mis cascaritas esenciales para mi buen desempeño en la maestría, sin ellas no se que hubiera sido de mi condición mental jeje).

A mis amigos/hermanos a quienes extraño Adrian, Gaby (gracias por la visita a Ensenada siempre es grato compartir contigo), Fabiola, Monse y Karla. A mi gran amigo Carlos Alberto (El Coreano), porque aunque lejos, cuando la distancia ha sido poca hacemos lo posible para vernos y platicar y seguir mateniendo nuestra amistad.

Mi especial agradecimiento a Daffne Celeste por todo el apoyo que de ti recibí, gracias por estar en los momentos más difíciles durante este proceso, gracias por compartir conmigo cada uno de esos momentos de multiples platicas, caminatas, risas, alegrias, desvelos, despertares, enojos, lágrimas, desesperaciones, enfermedades, caidas y levantadas y más, mucho más que han hecho de nosotros mejores seres humanos. Gracias por las porras cuando más las necesitaba. Perdona la luz encendida durante mis multiples desvelos que te molestaban al dormir. Gracias por tu infinta paciencia para conmigo, se que no soy una persona fácil de entender, Tu sabes lo importante que eres para mí y sólo me queda decir... GRACIAS por todo tu apoyo y por estar a mi lado.



"Un científico tiene la libertad, y debe tomársela, de plantear cualquier cuestión, de dudar de cualquier afirmación, de buscar cualquier evidencia, de corregir errores."

J. Robert Openheimer

Contenido

Página

RESUMEN iii
ABSTRACT iii
Dedicatoria iv
Agradecimientos v
Lista de figuras x
Lista de Tablas xii
I. Introducción. 1
I.1 Migración y reproducción de la ballena gris. 1
I.2 Abundancia de la población de ballena gris del Pacífico nororiental. 5
II. Antecedentes 10
II.1 Conteos y estimaciones de crías de ballena gris. 10
III. Justificación. 12
IV. Hipótesis 13
V. Objetivos. 13
V.1 Objetivo general. 13
V.2 Objetivos particulares. 13
VI. Área de estudio. 15
VII. Métodos. 19
VII.1 Trabajo de campo. 19
VII.1.1 Conteos desde tierra. 19
VII.1.2 Factores de corrección. 21
VII.1.2.1 Distribución con respecto a la costa. 23
VII.1.2.2 Conteos simultáneos e independientes. 24
VII.2 Análisis de datos. 26
VII.2.1 Distribución temporal. 26
VII.2.2 Estimación de las crías que pasaron durante periodos de observación sin ser detectadas. 27
VII.2.2 Estimación de las crías que pasaron durante los periodos de no-observación. 30
VIII. Resultados. 33
VIII.1 Esfuerzo de observación y abundancia relativa. 33
VIII.2 Distribución temporal. 35
VIII.3 Distribución con respecto a la costa. 39
VIII.4 Estimación de abundancia. 41
VIII.4.1 Estimación de probabilidad de detección a partir de conteos simultáneos. 41
VIII.4.2 Estimación de abundancia de crías. 46
IX. Discusión 48
XI.1 Esfuerzo de observación y abundancia relativa. 48
XI.2 Distribución temporal 49
XI.3. Distribución con respecto a la costa. 53

Contenido (continuación)

Página

XI.4 Estimación de abundancia. **55**
9.4.1 Estimación de probabilidad de detección. **55**
9.4.2 Estimación de abundancia de crías. **58**
X. Conclusiones. **67**
XI. Literatura citada. **69**
XII. Apéndice I: Modelo de Huggins para poblaciones cerradas utilizando observaciones simultáneas e independientes. **78**

Lista de figuras

Figura **Página**

Figura 1. Distribución y ruta migratoria de la población del Pacífico Nororiental de la ballena gris (tomado de COSEWIC, 2004). 8

Figura 2. Estimaciones de abundancia de la población de ballena gris del Pacífico Nororiental, a partir de conteos realizados por el Servicio Nacional de Pesquerías de los Estados Unidos (NMFS, por sus siglas en inglés) durante la migración al sur en California. Estas estimaciones cuentan con mejores evaluaciones de errores estándar que años anteriores e incorporan algunos factores de corrección (datos tomados de Rugh *et al.*, 2005) 9

Figura 3. Región de Ensenada, B.C., México, mostrando la ubicación geográfica de Costa Azul 18

Figura 4. Conteos de crías de ballena gris migrando al norte que pasan por Costa Azul. Ensenada, B. C. 37

Figura 5. Conteos de crías acumulados a lo largo de los periodos de observación para los tres años del estudio. La flecha vertical muestra la fecha mediana (19 de abril), es decir, el día en que había pasado el 50% de las crías en el año. 38

Figura 6. Distribución de las distancias con respecto a la costa a las que pasaron ballenas grises sin crías durante la migración al sur (a) y al norte (b) por Costa Azul, Ensenada, B. C. durante los años de 2004-2006. El tamaño de la esfera indica la cantidad de seguimientos, la cual también está indicada por el número a un lado de la esfera. 40

Figura 7. Distribución de distancias con respecto a la costa de parejas de madre-cría que pasaron por Costa Azul, Ensenada, B. C. durante los años de 2004-2006. Nótese el cambio en la escala del eje Y con respecto a la figura 6. 41

Figura 8. Duración de la migración de parejas de hembras-cría de ballena gris reportada en distintos sitios a lo largo de su corredor migratorio, a) Yaquina Head, Oregon (Herzing y Mate, 1984), b) Piedras Blancas, California (Perryman *et al.*, 2002), c) Piedras Blancas, California (Poole, 1984a), d) Coal Oil Point, California (Smith, 2006), e) Palos Verdes, California (Schulman-Janiger, 2005) y f) Costa Azul, Baja California (este trabajo) 51

Lista de figuras (continuación)

Figura **Página**

Figura 9. Localización de los sitios de observación de ballenas grises a lo largo de las costas de California, E.U.A. (Piedras Blancas, Coal Oil Point y Palos Verdes) considerados en la comparación de las fechas de máximo de parejas de hembras-cría con Costa Azul, B.C., México. Los sitios (Piedras Blancas, Coal Oil Point y Palos Verdes, en ese orden) se encuentran a aproximadamente 650, 440 y 270km de Costa Azul. **52**

Figura 10. Imágenes mensuales promedio de la extensión de la capa de hielo marino total en el Ártico de los meses en que se alimenta la ballena gris en esas zonas (julio, agosto, septiembre y octubre) para los años 2003, 2004 y 2005. El óvalo muestra las principales zonas de alimentación de la ballena gris en los mares de Bering y Chukchi. Se indica al pie de cada imagen la extensión total de la capa de hielo (en millones de km^2). La línea en rosa indica la mediana historica del límite de la extensión de la capa de hielo para ese mes en particular. **60**

Figura 11. Trayectoría de una ballena gris radio-marcada durante su migración al norte desde la Laguna San Ignacio hacia la parte central de California, se aprecia lo lejos que paso de Costa Azul, Ensenada (adaptado de Mate y Urbán R., 2003). **64**

Lista de Tablas

Tabla **Página**

Tabla I. Esfuerzo de observación de crías de ballena gris llevados a cabo de 2004 a 2006 en Costa Azul, Ensenada, total de crías contadas y abundancia relativa. **34**

Tabla II. Horas de observación y tasas de avistamiento de crías de ballena gris de acuerdo a los códigos ambientales para los años 2004, 2005 y 2006. ..... **35**

Tabla III. Fechas de mediana y máximo de migración para los años de 2004 a 2006 en Costa Azul, Ensenada. La diferencia entre las fecha de mediana no fue significativa (Prueba de Medianas, p =0.7722). **38**

Tabla IV. Modelos de Huggins para determinar las covariantes que tienen mayor influencia en la probabilidad de detección. El mejor modelo es el que sólo consideró las covariantes nubosidad, crías/hr y día (modelo 1) debido a que presenta el QAICc más bajo. **44**

Tabla V. Comparación mediante la prueba de razón de verosimilitud entre los primeros dos modelos (Tabla 4) que incluyen covariantes con el modelo sin covariantes. Las diferencias se marcan como significativas con valores de $p \leq 0.05$. Modelo 0: sin covariantes. Modelo 1: nubosidad+crías/hr+día. Modelo 2: mar de fondo+nubosidad+crías/hr+día. **45**

Tabla VI. Parámetros ajustados de nuestro mejor modelo que incluyó sólo tres covariantes **45**

Tabla VII. Modelos de polinomiales Hermite ajustados a los conteos de crías de ballena gris de los cuales se estimó el número de crías que pasaron durante los periodos de no-observación. Se muestran los factores multiplicativos para cada modelo y su error estándar (ES). **47**

I. Introducción.

I.1 Migración y reproducción de la ballena gris.

La ballena gris (*Eschrichtius robustus*), es la única especie representante de la familia Eschrichtiidae. Actualmente, se distribuye en el Océano Pacífico y se reconocen dos poblaciones: la población del Pacífico Noroccidental y la del Pacífico Nororiental. Sin embargo, existió una población alopátrica en el Atlántico Norte hasta finales del siglo XVII y principios del XVIII (Mead y Mitchell, 1984; Urbán R., 1998; Fleischer, 2002; Jones y Swartz, 2002; Reeves *et al.*, 2003; COSEWIC, 2004). Las poblaciones del Pacífico Noroccidental y Nororiental son conocidas en la literatura científica como la población "coreana" y la población "californiana", respectivamente (Reilly, 1992; Fleischer, 2002; COSEWIC, 2004). La separación de estas dos poblaciones en el Pacífico Norte es geográfica (IWC, 1993a; IWC, 1993b) y también genética (LeDuc *et al.*, 2002). Esta tesis se centra en el estudio de la población de ballena gris del Pacífico Nororiental, principalmente en la estimación de abundancia de crías esta población con base en observaciones sistemáticas desde tierra.

La ballena gris es la especie de ballena más nerítica dentro de los misticetos, la cual habita principalmente aguas costeras y someras (< 200m) (Pike, 1962). Además, cada año realizan la migración más larga de todos los cetáceos, incluso de cualquier mamífero, pues viaja una distancia aproximada de 15,000 a 20,000 km. La ballena gris se deplaza a lo largo de una ruta migratoria costera entre sus principales zonas de reproducción y crianza en invierno en aguas de Baja California, México (Lagunas Ojo de Liebre, San Ignacio, Bahía Magdalena y aguas aledañas) y sus zonas de alimentación en verano en aguas productivas en los mares de Bering y Chukchi en el Ártico (Figura 1) (Wolman, 1985; Fleischer, 2002; Jones y Swartz, 2002; COSEWIC, 2004). Esta migración es realizada en grupos segregados en sexo y edad (Rice y Wolman, 1971). Se supone

que la distribución histórica de la ballena gris del Pacífico Nororiental es similar a la actual, la cual abarca los países de México, Estados Unidos de Norteamérica, Canadá y Rusia (CITES, 2000).

Para entender la migración de la ballena gris es importante considerar la relación que ésta tiene con el ciclo reproductivo de esta ballena. La reproducción de la ballena gris es estacional. La madurez sexual en machos y hembras se alcanza a los 8 años, cuando los animales presentan una longitud mayor a 11m (los machos alcanzan la madurez sexual a una longitud ligeramente mayor) (Rice y Wolman, 1971; Rice *et al.*, 1984; Wolman, 1985; Jones y Swartz, 2002; Guerrero *et al.*, 2006). El ciclo reproductivo completo de las hembras abarca dos años y consiste de un estro (periodo de receptividad sexual), ovulación, concepción, gestación, lactancia y un periodo de anestro. La concepción ocurre durante un periodo de tres semanas principalmente a finales de noviembre y principios de diciembre mientras las ballenas están migrando al sur desde sus zonas de alimentación, pero algunas no conciben hasta el invierno cuando se encuentran en sus zonas invernales, o aún durante la migración al norte en primavera (Rice y Wolman, 1971; Wolman, 1985; Guerrero *et al.*, 2006). La duración de la gestación generalmente se considera que termina a los 11 ó 13 meses, lo que significa que las hembras preñadas no tendrán a su cría hasta que ellas concluyan con la siguiente migración anual hacia el sur (Rice y Wolman, 1971; Wolman, 1985; Guerrero *et al.*, 2006). La mayoría de las hembras paren a sus crías (usualmente una sola cría) en años alternos, aunque algunas pueden descansar 2 o más años entre crías dependiendo de la abundancia de alimento en esos años (COSEWIC, 2004). Las hembras continúan criando a una edad avanzada (80 años) (Rice y Wolman, 1971; Berta y Sumich, 2003). Los machos se reproducen anualmente. Éstos presentan un máximo de actividad espermatogénica a finales de otoño o principios de invierno que coincide con el tiempo en que las hembras entran en estro. En general, cada año entre el 30 y el 50% de las hembras adultas están pariendo (y no son receptivas a los machos después de parir) y el

resto están teniendo actividades de cortejo y cópula, alternándose estos roles cada año (Jones y Swartz, 2002).

El periodo de nacimientos abarca 5-6 semanas aproximadamente desde finales de diciembre a principios de febrero, registrándose el máximo de nacimientos en las lagunas de reproducción entre enero y febrero (Rice y Wolman, 1971; Wolman, 1985; Jones y Swartz, 2002; Guerrero *et al.*, 2006). Se han observado algunas crías nacidas durante la migración al sur en las costas de California (Shelden y Rugh, 2001; Shelden *et al.*, 2004). Las crías al nacer miden entre 4.0 y 4.5m y pesan 500kg (Rice y Wolman, 1971; Wolman, 1985). El lazo entre madres y crías es estrecho en las lagunas de reproducción y durante la migración, pues las crías permanecen muy cerca de sus madres. Las madres con sus crías son las últimas ballenas en dejar las lagunas de reproducción (Rice y Wolman, 1971). Las crías permanecen con sus madres durante su primera migración al norte y posiblemente aprenden la localización de las zonas de alimentación. Las crías son totalmente dependientes de sus madres hasta que son destetadas en las zonas de alimentación en el verano, aproximadamente a los 7-8 meses de edad, o quizá 1 ó 2 meses más, cuando han alcanzado una longitud promedio de 8.7m. Después de que las crías son destetadas se pierde toda relación entre la madre y la cría. Posterior al destete, alrededor de agosto, las madres entran en un periodo de 3 o 4 meses sin estro y posteriormente de noviembre a diciembre comienzan un nuevo periodo reproductivo (Wolman, 1985; Jones y Swartz, 2002; Guerrero *et al.*, 2006).

El ciclo reproductivo de la ballena gris se ve restringido a intervalos de tiempo muy estrictos por su larga migración y la ubicación de sus zonas de reproducción. En las ballenas grises, la nutrición es un factor crítico; las hembras preñadas deben acumular suficiente energía durante el verano para sostenerse a ellas mismas y a su feto a lo largo de su migración para llegar en buenas condiciones a las zonas de reproducción. Después deben sostenerse a ellas mismas y a su cría

recién nacida, al menos dos meses o más durante su permanencia en las zonas de reproducción y por último, sostenerse ellas mismas y a su cría, en rápido crecimiento, durante su larga migración de regreso a las zonas de alimentación en verano (Wolman, 1985; Guerrero *et al.*, 2006). Bajo estas condiciones, puede presentarse una presión selectiva para suprimir la ovulación cuando la hembra no está fisiológicamente capacitada para soportar un nuevo embarazo (Guerrero *et al.*, 2006).

La migración al norte de la ballena gris presenta una marcada separación en dos grupos, ballenas sin crías y parejas madre-cría (Sumich, 1983; Poole, 1984a; Rodríguez de la Gala, 2006), a lo largo de corredores migratorios cercanos a la costa de Norteamérica (Poole, 1984a) y la parte occidental de la Península de Baja California. Durante su migración, no se ha visto a la ballena gris detenerse a descansar por largos periodos de tiempo, a excepción de las hembras con crías, las cuales además de detenerse a descansar, se detienen para cuidar y amamantar a su cría a lo largo de su ruta migratoria (Jones y Swartz, 2002). En general, la ballena gris es relativamente lenta pero nadadora constante en su migración, aunque las velocidades varían desde el comienzo a finales de su ruta migratoria. La ballena gris realiza en promedio 55 días de viaje hacia el sur desde sus zonas de alimentación hacia sus zonas de reproducción, nadando aproximadamente a 7-9km/hr y cubriendo una distancia aproximada de 144-185km/día. Durante su migración hacia al norte, la ballena gris se mueve a una velocidad más lenta, en promedio 4.5km/hr (88-127km/día) (Jones y Swartz, 2002). La velocidad de nado promedio registrada de las hembras con crías migrando al norte que pasan por Costa Azul, Ensenada, B. C. fue de 1.2 m/s (ES=0.1) (Rodríguez de la Gala, 2006), es decir, de 4.3km/hr y 95-112km/día. Se han realizado estudios que indican que no existen diferencias entre las tasas de migración durante la noche y el día en esta fase de la migración (Swartz *et al.*, 1987; Perryman *et al.*, 2002).

I.2 Abundancia de la población de ballena gris del Pacífico nororiental.

El tamaño histórico (es decir, antes de que iniciara la cacería comercial en 1846) de la población del Pacífico nororiental de la ballena gris se estimó en menos de 30,000 ballenas de acuerdo a Scammon (1874) y de alrededor de 15,000 a 20,000 ballenas con base en las capturas conocidas (Henderson, 1972; Henderson, 1984). Recientemente este tamaño histórico se estimó entre 23,000 y 35,000 ballenas (Reilly, 1992; Punt y Butterworth, 2002; Wade, 2002). La ballena gris fue cazada desde embarcaciones durante su migración en lugares cercanos a la costa entre Baja California, México, y Columbia Británica, Canadá, de 1854 a 1901 (Sayers, 1984 en COSEWIC, 2004) y en las lagunas de reproducción entre 1846 y 1874 (Henderson, 1984). A raíz de esta explotación, la población tuvo una disminución importante (es decir, llegó a números cercanos a los 4,000 individuos) a finales del siglo XIX (Rice *et al.*, 1984; IWC, 1993a; IWC, 1993b). En 1937 se acordó por primera vez la protección internacional de la ballena gris por medio del Acuerdo Internacional para la Regulación de la Caza de Ballenas, y fue hasta finales de la II Guerra Mundial que la población fue protegida legalmente por la Comisión Ballenera Internacional (Reeves, 1984; CITES, 2000). Desde entonces, la población se recuperó hasta alcanzar su tamaño histórico. En 1994, la ballena gris fue retirada de la lista de especies en peligro de extinción de los Estados Unidos (U.S. Endangered Species Act) (Rugh *et al.*, 1999). México ha contribuido a la recuperación de esta ballena, principalmente por la protección de las lagunas de reproducción de esta especie en la costa occidental de la Península de Baja California (D.O.F., 1972; D.O.F., 1979; D.O.F., 1988).

Actualmente, la ballena gris es quizá la ballena mejor estudiada del mundo. Su abundancia, distribución, conducta, historia de vida y ecología son algunos aspectos en los que se han realizado numerosas investigaciones. Sin embargo, dentro de estos temas existen algunos aspectos que aún

resultan poco entendidos o controversiales (por ejemplo, los datos relacionados a la cacería comercial) para poder ayudar a determinar el estatus de esta población (Reilly, 1992). La principal manera de determinar el estatus de una población es por medio de la evaluación de su abundancia. Tradicionalmente, en el caso de la ballena gris, se realizaron estimaciones de abundancia usando información derivada de la explotación, por ejemplo, capturas por unidad de esfuerzo, marca-recaptura o datos relacionados (Allen, 1980 en Reilly *et al.*, 1983). Recientemente, con la disminución en la explotación de la ballena gris, incrementó la importancia de técnicas de muestreo basadas en conteos de individuos. Además, tomando en cuenta que la ballena gris durante su migración viaja muy cerca de la costa (Shelden y Laake, 2002), es posible contar a la población entera desde puntos estratégicos a lo largo de su corredor migratorio (Reilly *et al.*, 1980; Reilly *et al.*, 1983; Rugh, 1984; Buckland *et al.*, 1993; Buckland y Breiwick, 2002; De Jesús, en preparación). De esta manera han existido numerosos programas para estimar la abundancia de la ballena gris en distintos sitios a lo largo de la costa del Pacífico Norte (Reilly *et al.*, 1980; Reilly, 1984). Los tres tipos de muestreo para estimar la abundancia implementados en esta población (Reilly, 1992) son: muestreos aéreos en las zonas de reproducción en México durante el invierno y en algunas otras zonas durante su migración (Hubbs y Hubbs, 1967; Gard, 1974; Gard, 1978; Withrow, 1990), muestreos a partir de conteos desde tierra a lo largo de la costa de California durante las migraciones al sur y al norte (Reilly *et al.*, 1980; Reilly *et al.*, 1983; Reilly, 1984; Rugh *et al.*, 1990; Rugh *et al.*, 1993; Rugh *et al.*, 2002; Hobbs *et al.*, 2004) y muestreos aéreos y navegaciones en las zonas de alimentación en los mares de Bering y Chukchi durante el verano (Darling, 1984; Rugh, 1984; Calambokidis *et al.*, 2000). De estos muestreos, el que ha resultado más confiable para estimar la abundancia y sus tendencias, es el conteo anual desde tierra durante su migración al sur, como el llevado a cabo por el National Marine Fisheries Services (NMFS) desde 1967/68 desde

sitios cercanos a Monterey, California (Reilly *et al.*, 1980; Reilly *et al.*, 1983; Buckland y Breiwick, 2002; Rugh *et al.*, 2002; Hobbs *et al.*, 2004; Rugh *et al.*, 2005). El resto de los muestreos resultaron ser incompletos y carecieron de datos que pudieran ser corroborados para permitir estimaciones de abundancia reales o absolutas (Reilly, 1984; Reilly, 1992).

Desde 1967 se han realizado más de 20 conteos anuales a largo de la costa de California durante un periodo de 4 décadas. Los primeros datos de los conteos (de 1967/68 a 1979/80) fueron analizados por Reilly *et al.* (1980, 1983) para estimar la tendencia en la abundancia de esta población. Los conteos posteriores, realizados por diversos investigadores, fueron analizados con mayor precisión incorporando nuevas correcciones y técnicas de muestreo. De las estimaciones resultantes de estos conteos se detectó un crecimiento poblacional por año de aproximadamente 2.5% para el periodo entre 1967/68 y 1995/96 (Figura 2) (Buckland *et al.*, 1993; Laake *et al.*, 1994; Hobbs *et al.*, 1996; Gerber *et al.*, 1999; Buckland y Breiwick, 2002; Hobbs *et al.*, 2004). Se propuso que las diferencias en las estimaciones de abundancia para esos años pudieron deberse en parte a las variaciones en los muestreos no documentadas o a las diferencias en la proporción de ballenas que migraron muy alejadas de la costa central de California (Hobbs y Rugh, 1999).

Las estimaciones de abundancia más recientes para esta población fueron de 19,448 individuos en 2001 y de 18,178 individuos en 2002 (Rugh *et al.*, 2005) indicando una disminución anual de aproximadamente el 10% desde 1998 (Figura 2) (COSEWIC, 2004). No está claro si estas bajas estimaciones reflejan una disminución verdadera o son el resultado de que muchos animales no realizaron todo el recorrido hacia las lagunas de reproducción en esos años (COSEWIC, 2004). Sin embargo, se ha propuesto que éstos parecen ser indicios de que las estimaciones de abundancia están respondiendo a limitaciones ambientales y que aumentarán o disminuirán conforme la población encuentre un balance con la capacidad de carga de su ambiente (Perryman *et*

al., 2002; Wade, 2002; Punt *et al.*, 2004; Rugh *et al.*, 2005). A pesar de que no se han realizado conteos durante 2003 y 2004, un monitoreo continuo de la población puede garantizar la reevaluación de las tendencias poblacionales (COSEWIC, 2004).

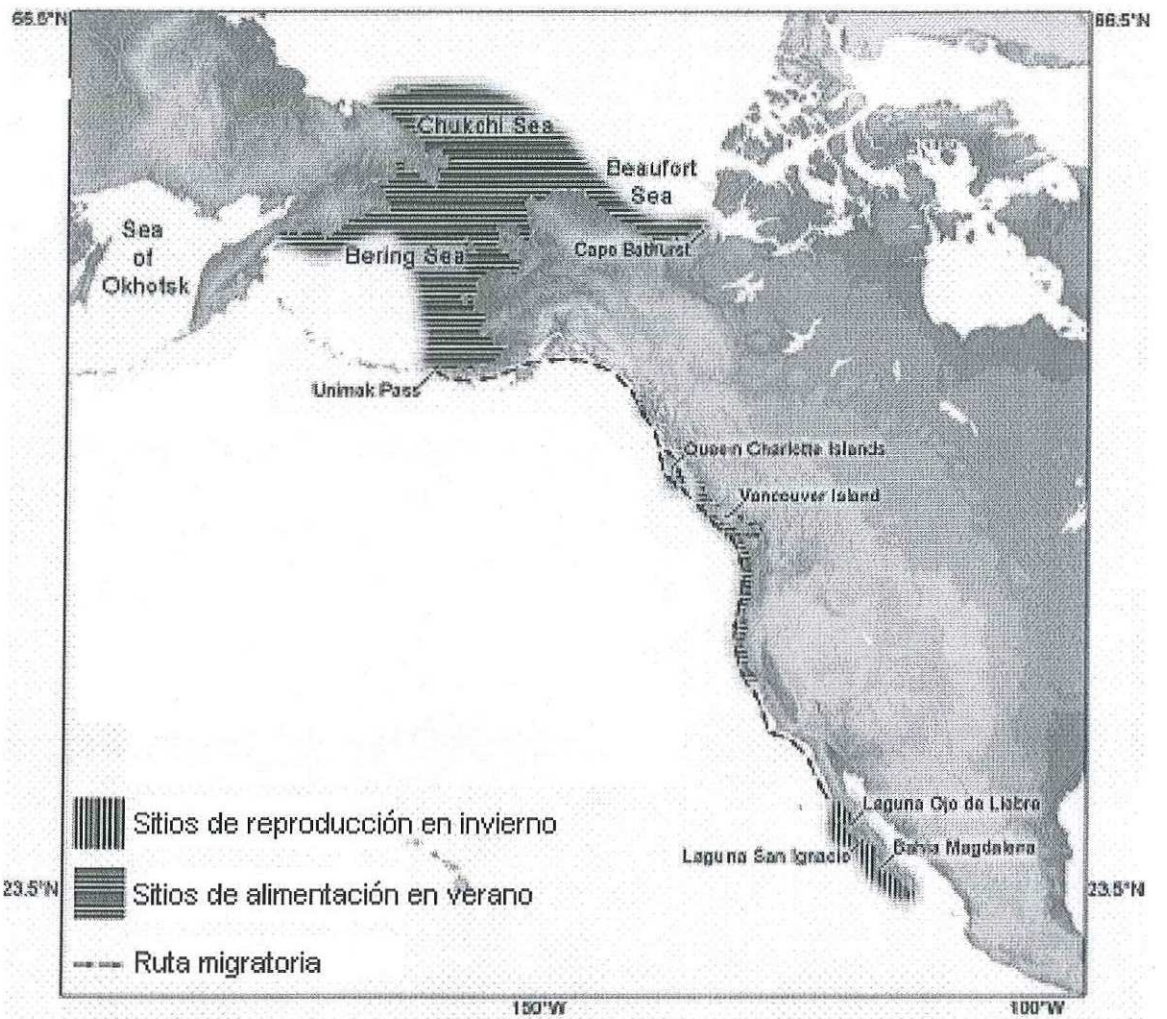


Figura 1. Distribución y ruta migratoria de la población del Pacífico Nororiental de la ballena gris (tomado de COSEWIC, 2004).

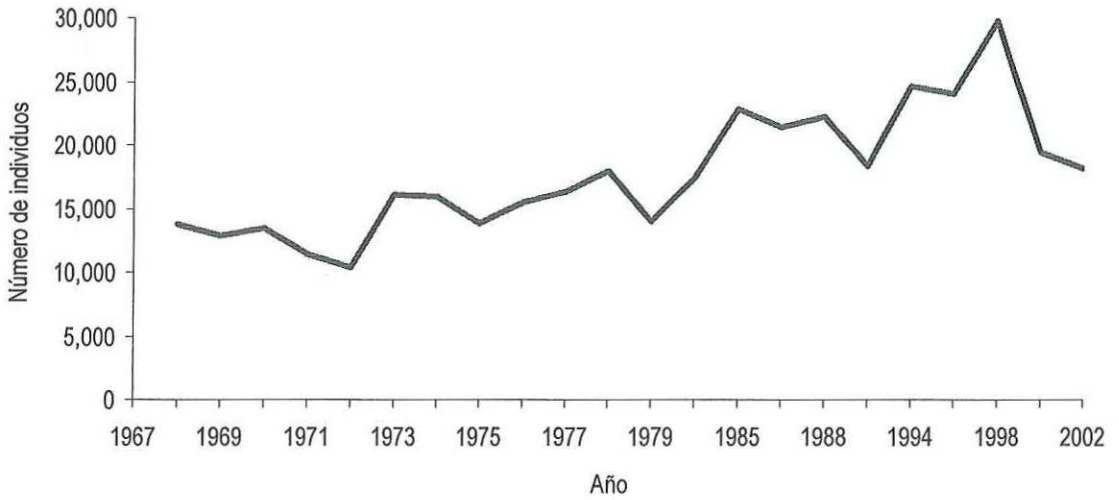


Figura 2. Estimaciones de abundancia de la población de ballena gris del Pacífico Nororiental, a partir de conteos realizados por el Servicio Nacional de Pesquerías de los Estados Unidos (NMFS, por sus siglas en inglés) durante la migración al sur en California. Estas estimaciones cuentan con mejores evaluaciones de errores estándar que años anteriores e incorporan algunos factores de corrección (datos tomados de Rugh *et al.*, 2005).

II. Antecedentes.

II.1 Conteos y estimaciones de crías de ballena gris.

Las crías de ballena gris han sido contadas en áreas costeras de California central, durante la migración al sur (Shelden *et al.*, 1995; Schulman-Janiger, 1999b; Shelden y Rugh, 2001; Schulman-Janiger, 2005). En Granite Canyon, California, los resultados de estos conteos indicaron un aparente incremento en el porcentaje de los avistamientos de crías durante esta fase de su migración de 0.0%-0.2% durante 1952-74, 0.1%-0.9% durante 1984-95 (Shelden *et al.*, 1995), y 0.3%-1.5% durante 1996-2000 (Shelden y Rugh, 2001). Este incremento al parecer estuvo relacionado con la tendencia de migraciones más tardías durante el periodo de observación (Rugh *et al.*, 2001; Buckland y Breiwick, 2002), o debido al incremento en la distribución espacial y temporal de las crías conforme la población se incrementó (NOAA, 2002).

A finales de los años setenta y principios de los ochenta los conteos de parejas de hembras con cría durante su migración al norte se realizaron desde sitios en Alaska, Oregon y California, principalmente para calcular la producción anual de crías para esta población (Hessing, 1981; Herzing y Mate, 1984; Poole, 1984a; Poole, 1984b). Hessing (1981) reportó que las crías representaron el 4.6% de la cantidad total de ballenas que migran hacia el norte pasando por Unimak Pass, Alaska. Herzing y Mate (1984) también estimaron que las crías representaron el 4.6% de la población basados en registros llevados a cabo en ballenas que migraron hacia el sur y hacia el norte desde Yaquina Head, Oregon. Poole (1984) llevó a cabo un estudio con el registro más intenso de hembras con crías, el cual fue realizado en 1980 y 1981 desde Piedras Blancas, California. A partir de este estudio se estimó que los individuos sexualmente maduros comprendían

el 60% de la población y que las crías que pasaron por esta zona representaban del 4.7% al 5.2% de la población.

Una de las medidas para la conservación de la ballena gris que se tomaron en Estados Unidos a raíz de que fue retirada de su Lista de Especies en Peligro de Extinción (en 1994), fue continuar con los monitoreos poblacionales para establecer el estatus de esta ballena, dándole importancia a estudios enfocados en el reclutamiento de la población (Rugh *et al.*, 1999). Desde entonces (1994) se comenzaron a realizar conteos de parejas de hembras con crías durante su migración al norte, por medio de observaciones desde tierra, para calcular índices de producción de crías (es decir, el número de crías estimadas con respecto al tamaño poblacional estimado de ballenas que migran hacia el sur) en sitios cercanos a California, principalmente en Los Ángeles y Piedras Blancas, California (Schulman-Janiger, 1999a; Schulman-Janiger, 1999b; Perryman *et al.*, 2002). En un principio, se planteó realizar estos estudios durante un periodo de 5 años posteriores a su remoción de dicha lista. Sin embargo, a partir del trabajo realizado por Perryman *et al.* (2002), durante ese periodo y hasta la fecha se ha encontrado que las estimaciones tanto de abundancia de crías, como la abundancia del total de la población, han presentado fluctuaciones anuales (Perryman *et al.*, 2002). Los valores de los índices de producción de crías obtenidos desde 1994 al 2000 fueron de 4.2%, 2.7%, 4.8%, 5.8%, 5.5%, 1.7% y 1.1%, respectivamente. Esto representó estimaciones finales de 945 crías para 1994; 619 crías para 1995; 1,146 crías para 1996; 1,431 crías para 1997; 1,388 crías para 1998; 427 crías para 1999 y por último 279 crías para el año 2000 (Perryman *et al.*, 2002).

III. Justificación.

Debido al acentuado interés por el conocimiento del estado actual de la ballena gris en los últimos años, sobre todo por el impacto antropogénico y ambiental, real y potencial al que se ha sometido a lo largo de su rango de distribución, es que existe el interés y preocupación porque se continúen realizando monitoreos de abundancia en esta población durante su migración al norte, la cual es menos estudiada que la migración al sur, aún cuando esta migración resulta muy significativa, dado que incluye a las hembras que se encuentran migrando con sus crías recién nacidas de ese año. Esto último es importante tomando en cuenta que el número de crías da evidencia del reclutamiento y condición actual de la población.

Con base en lo antes mencionado, se realizó este estudio con el fin de aportar información sobre el estatus de la población de la ballena gris del Pacífico Nororiental, mediante la estimación de abundancia de crías a partir de observaciones desde tierra. La importancia de realizar las observaciones desde Costa Azul, Ensenada, Baja California, radica en que este sitio se encuentra en el sur de la ruta migratoria, entre las principales zonas de reproducción/crianza y los sitios en donde por años, se han realizado los conteos de crías en migración de este cetáceo en Piedras Blancas, California. Además, es importante extender los monitoreos de abundancia de crías a otras regiones a lo largo de su amplio rango de distribución, lo cual puede contribuir a tomar decisiones de manejo y conservación en el seno de la Comisión Ballenera Internacional. Por lo tanto, se plantearon las siguientes hipótesis:

IV. Hipótesis.

Con base en los conteos de crías derivados de las observaciones en Costa Azul, Baja California, la distribución temporal de los mismos presenta un patrón similar al reportado para Punta Piedras Blancas, California central (≈650km al norte de Costa Azul), pero con un desfase aproximado de 6 días debido al tiempo de recorrido que realizan las ballenas con sus crías entre ambos sitios.

Las estimaciones de abundancia de crías en Costa Azul, B. C. presentan una variación interanual como se han venido presentando en años recientes.

Las estimaciones de abundancia de crías de ballena gris obtenidas a partir de observaciones sistemáticas desde tierra en Costa Azul, B. C. para 2004-2006 resultan similares a las reportadas para Punta Piedras Blancas, California, para los mismos años.

V. Objetivos.

V.1 Objetivo general.

Estimar la abundancia de crías de ballena gris con base en observaciones sistemáticas desde tierra en Costa Azul, Ensenada, B. C. en los años 2004-2006.

V.2 Objetivos particulares.

1. Caracterizar la distribución temporal del número de crías de ballena gris que pasaron por Costa Azul durante su migración hacia el norte de 2004 a 2006.

2. Calcular la distancia a la costa de los avistamientos de las crías que migraron por Costa Azul.
3. Realizar una comparación entre las estimaciones de abundancia de crías entre los años que abarca el estudio.
4. Contrastar las estimaciones de abundancia de crías obtenidas en 2004-2006 para Costa Azul, B. C. con las reportadas para Punta Piedras Blancas, CA.para los mismo años.

VI. Área de estudio.

El sitio desde donde se llevaron a cabo las observaciones se ubica en la costa entre el desarrollo turístico de Bajamar y la Bahía de Salsipuedes, en el lugar conocido como "Costa Azul", el cual se encuentra en la delegación El Sauzal de los Rodríguez, a 80km al sur de la ciudad de Tijuana y aproximadamente a 28 km. al noroeste de la ciudad de Ensenada, B. C., México. (Figura 3). El sitio se ubica en las coordenadas geográficas 31°58.95' latitud norte y 116°50.16' longitud oeste.

La topografía de Costa Azul es moderada con acantilados y vistas panorámicas, con pendientes menores a 15%. La zona de Costa Azul está formada por una franja costera de riscos entre 10 y 15m de altura, posterior a éstos, el terreno asciende suavemente y a partir de los 100m hacia tierra adentro, el terreno presenta de manera pronunciada, elevaciones que pueden alcanzar hasta los 200 m.s.n.m. (Anónimo, 2003*a;* CRE, 2003*a;* Anónimo, 2003*b;* CRE, 2003*b;* Juaréz y Heisler, 2006).

De acuerdo con la clasificación climática para la República Mexicana, el tipo de clima en la zona de estudio, es de tipo mediterráneo, el cual se caracteriza por ser un clima seco templado extremoso con lluvias en invierno (donde los meses con mayor precipitación son diciembre, enero, febrero y marzo, mientras los meses más secos son junio, julio y agosto) y veranos frescos registrándose nieblas frecuentes sobre el mar y a lo largo del litoral costero (Anónimo, 2003*a;* Anónimo, 2003*b*). Los meses en los que se registran mayores temperaturas son julio, agosto y septiembre, mientras que los meses de menores temperaturas son diciembre, enero, febrero y marzo, con una media de 16°C que puede presentar oscilaciones de hasta 9.6°C. El frente de playa en Costa Azul tiene una orientación noroeste-sureste (Anónimo, 2003*b*). Durante el verano y el otoño, la dirección dominante de las olas es del suroeste y durante el invierno y primavera del noroeste y el oeste. La dirección dominante del viento durante el invierno y la primavera es del oeste

y en el verano y el otoño del noroeste. La temperatura superficial del mar tiene un promedio de 16.9°C en invierno y de 19.9°C en el verano (CRE, 2003*a*). Durante septiembre a marzo y con mayor persistencia durante los meses de diciembre a febrero, Costa Azul es afectada por masas de aire polar que provocan descensos en temperatura con ocasionales y ligeras heladas, presencia de vientos de moderados a fuertes del norte y noroeste, y cielo de despejado a medio nublado (Anónimo, 2003*b*).

Costa Azul forma parte de la porción sur de la Ensenada del Sur de California (ESC), y se encuentra al norte de la Bahía de Todos Santos. Por su ubicación geográfica, el principal factor oceanográfico que tiene influencia en Costa Azul, es la presencia de la Corriente de California (CC). La CC está constituida por un amplio flujo de aguas frías superficiales de origen subártico, la cual en la zona de estudio se aproxima a la costa durante la primavera (abril y mayo), retirándose a finales del verano (Lynn y Simpson, 1987; Ramírez-Manguillar, 2005), la cual genera fuertes cambios en las características oceanográficas en estas regiones (Hickey, 1993). En Costa Azul, en su porción oeste la batimetría tiene una pendiente promedio de 2.3° desde los 8 hasta los 35 m de profundidad. La pendiente cambia a un promedio de 5.5° hasta los 55m de profundidad. El suelo marino conserva esta apariencia desde la porción más al oeste con dirección al sureste, con incrementos graduales en la pendiente hasta llegar a 8.0°. Existen 2 crestas en la porción este de Costa Azul, las cuales tienen pendientes variables a lo largo de sus límites. Estas crestas rocosas tienen profundidades menores a 20m (Anónimo, 2003*b*). Los afloramientos rocosos se aprecian en las aguas poco profundas, con riscos que afloran a lo largo del lecho marino hasta profundidades de 5 a 30m. Las cubiertas de algas marinas (principalmente bancos de sargazos, *Macrocystis pyrifera*) coinciden aproximadamente con las áreas rocosas del fondo. Este banco de sargazos cubre aproximadamente un área de 400 metros de largo por 300 metros de ancho, el cual inicia en la playa y alcanza

profundidades de hasta 17 metros (CRE, 2003*a;* Anónimo, 2003*b*). Al sur de Costa Azul, la Bahía de Salsipuedes presenta una profundidad media de 50m a unos 600m de la línea de costa (Anónimo, 2003*b*).

En las aguas adyacentes a Costa Azul se han observado grupos de delfines como tursiones (*Tursiops truncatus*), delfines comunes (*Delphinus* spp.), delfines de costados blancos del Pacífico (*Lagenorhynchus obliquidens*) y pinnípedos como lobos marinos (*Zalophus californianus*) y focas comunes (*Phoca vitulina*).Otros cetáceos ocupan la zona de manera esporádica, como la ballena de aleta (*Balaenoptera physalus*) y la ballena azul (*Balaenoptera musculus*). Cabe mencionar que la Bahía de Salsipuedes es una zona de ocupación temporal de muchos de estos mamíferos marinos (Anónimo, 2003*b;* Juaréz y Heisler, 2006; Rivera Galicia, en preparación).

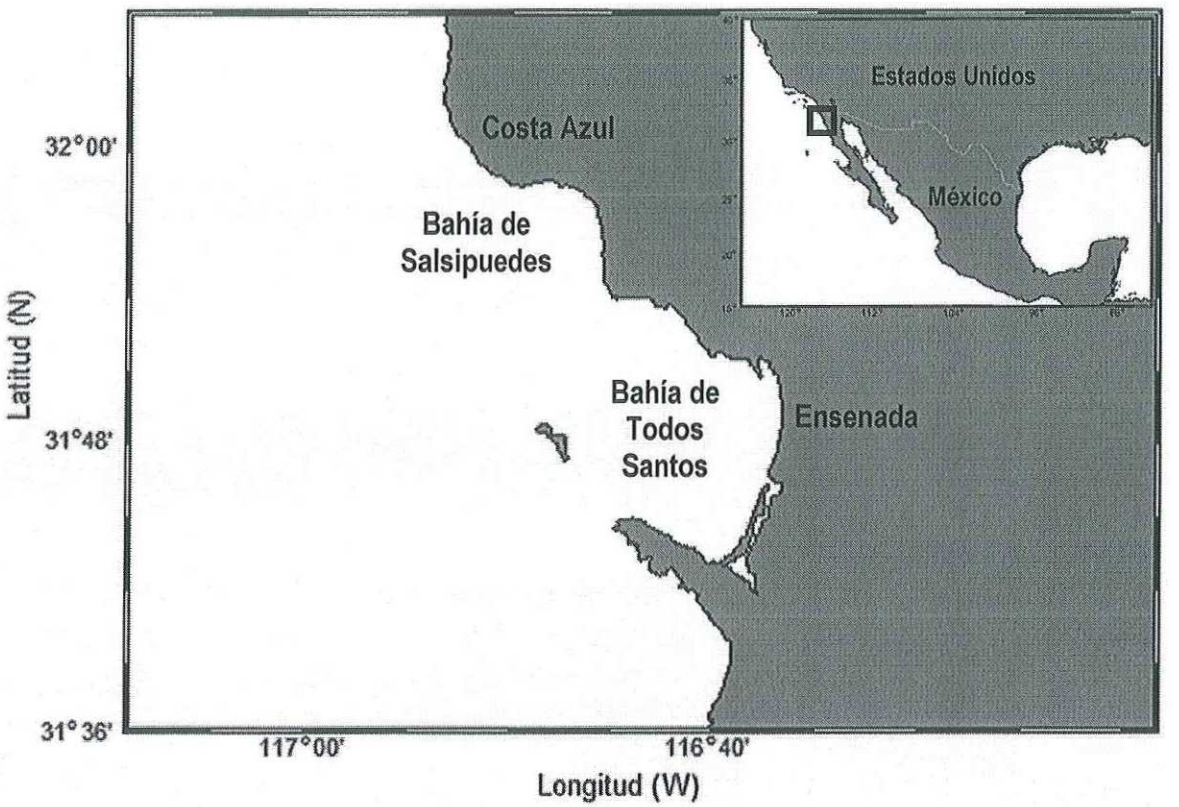


Figura 3. Región de Ensenada, B.C., México, mostrando la ubicación geográfica de Costa Azul.

VII. Métodos.

VII.1 Trabajo de campo.

Se llevaron a cabo observaciones sistemáticas desde un punto fijo en tierra de grupos de ballenas grises que pasan por Costa Azul, B. C., durante su migración al norte, para contar el número de parejas de hembras con cría con el fin de estimar la abundancia de las crías (Poole, 1984a; Perryman *et al.*, 2002). Las observaciones comenzaron el 1 de marzo y concluyeron a mediados de mayo de cada año. El puesto de observación se ubicó a 59m de altitud sobre el nivel medio del mar, el cual presentó condiciones favorables para la realización de dichas observaciones según Würsig *et al.* (1991), como ausencia de obstáculos visuales (vegetación o construcciones) para la observación de los animales y desde el cual se tiene cubierta en su totalidad el área de observación. Además, la ubicación del puesto de observación se eligió considerando las dificultades específicas para observación, técnicas de campo y análisis según Reilly (1984).

VII.1.1 Conteos desde tierra.

Un total de 12 personas participaron en las observaciones sistemáticas en el año 2004, 9 personas en 2005, y 15 en 2006 (ver Agradecimientos). En cada día de observación se estableció un equipo de observadores (al menos de 4 personas, llamado equipo base) que realizó búsquedas de ballenas grises que pasaron por el área de observación (campo visual de 125º). Las observaciones se iniciaron aproximadamente a las 7:00 a.m. y terminaban regularmente a las 2:00 p.m. Estas observaciones se realizaron cinco días a la semana siempre y cuando las condiciones meteorológicas lo permitieran (p. ej. buena visibilidad, ausencia de viento, lluvia o niebla), y se suspendieron o terminaron cuando estas condiciones empeoraban.

La principal técnica de búsqueda fue realizar barridos a simple vista o con binoculares (7X50) de toda la zona, además, se utilizó un teodolito (Topcon DT102) con telescopio 30X para confirmar la presencia de una hembra con su cría y realizar búsquedas alejadas de la costa. Los observadores fueron instruidos para realizar su búsqueda en todo el campo visual concentrándose en la parte sur del mismo, debido al recorrido de las parejas de hembras con cría hacia el norte (de izquierda a derecha según la perspectiva de los observadores). Las crías detectadas migrando al sur fueron excluidas de los análisis. Cuando se presentó un avistamiento de una hembra con su cría se registraron en formatos especiales los datos: hora del día y número de avistamiento, número total de individuos, rumbo horizontal del observador hacia el avistamiento (obtenido por el compás interno de los binoculares) y cuando fue posible su comportamiento. Asimismo, se registró la hora de inicio y fin de cada uno de los periodos de esfuerzo de búsqueda y la hora en el cambio de las condiciones ambientales, las cuales incluyeron el estado del mar (escala Beaufort), mar de fondo, visibilidad y cobertura de nubes (en porcentaje). La visibilidad fue registrada como la distancia (en km) a la que los observadores podían ver puntos de referencia en tierra (p. ej. Islas Todos Santos, Punta Banda, Punta Santo Tomás). No se siguió el código de visibilidad según Reilly *et al.* (1983), el cual resume en códigos la combinación de condiciones ambientales; va de un código de visibilidad de 1 para condiciones excelentes hasta un código 6 para condiciones inaceptables. En cambio, se crearon 3 códigos (código 1, condiciones excelentes; código 2, condiciones buenas y código 3, condiciones regulares), para los cuales se tomó en cuenta la relación entre las condiciones ambientales antes mencionadas y se valoró su efecto sobre las observaciones. Tomando en cuenta que Poole (1984a) y Perryman *et al.* (2002) excluyen esfuerzo y avistamientos para periodos con condiciones de visibilidad pobres (códigos 5 y 6, visibilidad <0.8km), no se realizó esfuerzo de búsqueda con un código propio mayor a 3, el cual correspondería a un código 4 según Reilly *et al.* (1983). Los

cambios en las condiciones ambientales se registraron constantemente a lo largo del día y para registrar estos cambios los observadores estuvieron de acuerdo en el cambio de al menos una de las condiciones.

El objetivo de las observaciones fue contar el número de crías que pasaron por el sitio, sin embargo, la presencia de las madres incrementó nuestra oportunidad de detectar a las crías, considerando la asociación tan cercana que existe entre una hembra y su cría al nadar. Además, debido a que la mayoría de los soplos de las crías son pequeños y en ocasiones no visibles aún a pocos metros de distancia (<200m), durante los avistamientos se puso énfasis en observar señales características de las ballenas adultas como exposición del lomo o soplos, los cuales son bajos (entre 3 y 4m) y densos (Tinker, 1988) que pueden ser vistos a distancias considerablemente grandes (>4km) incluso a simple vista. Las crías de ballena gris fueron identificadas por su tamaño pequeño, color y carencia de cicatrices de balanos, que sí se presentan en animales maduros (Mead y Mitchell, 1984; Fleischer, 2002; Perryman *et al.*, 2002). Suponemos que los organismos más grandes son las madres de las crías, tomando en cuenta que las hembras adultas tienen una longitud mayor (11.7 a 15.2m) en comparación a la longitud total que presentan las crías (5.5 a 8.1m) durante su migración (Rice y Wolman, 1971; Evans, 1987; Perryman y Lynn, 2002).

Como en Perryman *et al.* (2002) en este trabajo se hará referencia a parejas de hembras con crías cuando se hable de la detección de crías que pasan por el sitio y sólo de crías cuando se trate de la estimación de abundancia total.

VII.1.2 Factores de corrección.

Las estimaciones de abundancia realizadas a partir de conteos desde tierra de individuos de la población de ballena gris han tomado en cuenta correcciones para: 1) los grupos no vistos dentro del

rango de visión de los observadores, 2) grupos no vistos por su distancia alejada de la costa, 3) grupos no avistados por las pobres condiciones de visibilidad, 4) grupos que pasan durante periodos de no monitoreo en la noche, 5) grupos no registrados antes o después del periodo de estudio y 6) el no conteo de individuos dentro de un grupo avistado (Reilly *et al.*, 1980; Reilly *et al.*, 1983; Reilly, 1984; Breiwick *et al.*, 1988; Reilly, 1992; Buckland *et al.*, 1993; Buckland y Breiwick, 2002; Hobbs *et al.*, 2004; Rugh *et al.*, 2005). Se han propuesto algunas soluciones para cuantificar estas correcciones y proporcionar estimaciones de abundancia más exactas, como son: el uso de los datos de los avistamientos con muy buenas condiciones de observación, la aplicación de modelos para estimar las tasa de migración en los días de pobre visibilidad (incluyendo en las noches), de los periodos de no observación y de los días antes de comenzar y después de finalizar la temporada de muestreo (Reilly, 1992). Asimismo, se han mejorado las técnicas de conteo con el uso de binoculares de largo alcance (Rugh *et al.*, 2002), conteos por observadores simultáneos e independientes (Rugh *et al.*, 1990; Rugh *et al.*, 1993), uso de radio marcas en ballenas (Swartz *et al.*, 1987) y el uso de sensores térmicos para estimar las tasas de paso durante el día y la noche (Perryman y Laake, 1994; Perryman *et al.*, 2002). Además, se han hecho estudios para corregir el número de ballenas que pasan más allá del rango de visión de los observadores (Reilly *et al.*, 1983; Reilly, 1992; Rugh *et al.*, 2002) y para corregir los sesgos en la estimación del número de individuos dentro de los grupos observados (Rugh *et al.*, 1990; Rugh *et al.*, 2002).

Algunas de las correcciones arriba mencionadas también son aplicadas a las estimaciones de abundancia de crías (Perryman *et al.*, 2002) como son: 1) la tasa diferencial de paso diurna/nocturna de las hembras con cría; 2) calcular las crías que pasan alejadas de la costa, y que pueden no haber sido detectadas, 3) el cálculo de las crías que pasan sin ser vistas dentro del área de búsqueda durante los periodos de observación; 4) calcular las crías que pasaron sin ser vistas

durante periodos de no observación (antes y después del periodo de estudio, durante la noche o cuando las condiciones de visibilidad fueron pobres). Con respecto al punto uno, Perryman *et al.*, (1999; 2002), mediante un estudio de conteos durante la noche con sensores infrarrojos, encontraron que no existe diferencia entre la tasa de migración en el día y la noche de parejas de hembras con cría durante la migración al norte. Tomando en cuenta estos resultados, nuestras estimaciones de abundancia de crías no fueron corregidas sobre este punto. Los métodos para las restantes correcciones se detallan a continuación.

VII.1.2.1 Distribución con respecto a la costa.

Para determinar si existe una porción de parejas de hembras con cría que parecen no ser vistas por estar pasando muy lejos de nuestro sitio de observación, se calculó la distancia a la costa con respecto a la de los avistamientos de ballena gris que migran por Costa Azul (migración al sur, al norte sin crías y parejas madre-cría). Se realizaron seguimientos de los movimientos de ballenas grises conforme pasaron por nuestra área de observación durante los tres años que abarcó el estudio. El seguimiento de una ballena solitaria o de un grupo comenzó con una primera señal de la ballena (usualmente un soplo o parte del cuerpo) y concluyeron después de 15min de haber observado la última señal. Debido a que se realizó un esfuerzo de observación desde diciembre, es decir, previo a la migración al norte de hembras con cría, fue posible obtener seguimientos de grupos de ballenas grises migrando al sur. Los seguimientos se realizaron sin hacer distinción entre estatus reproductivo o tamaño de grupo, excepto para las parejas de hembras-cría.

La técnica que se usó durante todos los periodos de esfuerzo de búsqueda fue seguir y fijar la posición en superficie de una ballena detectada utilizando un teodolito electrónico Topcon DT102 (Heckel, 2001; Heckel *et al.*, 2001; Rodríguez de la Gala, 2006). El teodolito mide dos ángulos, uno

vertical y otro horizontal (en grados a partir del norte verdadero). Estos ángulos fueron registrados en microcassettes con una grabadora portátil, posteriormente estos ángulos fueron transformados en coordenadas *x, y* con el programa T-Trak (Cipriano, 1990) y estas coordenadas fueron graficadas en un mapa (sistema de coordenadas Universal Transversa de Mercator, UTM por sus siglas en inglés) para obtener la trayectoria completa de los movimientos de cada uno de los avistamientos de ballena gris. Como en Heckel (2001) y Rodríguez de la Gala (2006) se consideraron las principales fuentes de error en la medición de la posición de una señal de una ballena (altura del sitio de observación, fluctuaciones en el nivel del mar y la curvatura de la tierra).

Cada una de las trayectorias de las ballenas fueron dibujadas con el paquete AutoCAD 2000 en un archivo con la línea de costa de Costa Azul. Con una herramienta propia del programa AutoCAD ("distance"), se midió la distancia completamente perpendicular a la costa de cada una de las trayectorias a nuestro sitio de observación.

VII.1.2.2 Conteos simultáneos e independientes.

Para estimar la fracción de hembras con cría que pasan cerca de la costa dentro de nuestro campo visual sin ser detectadas por el principal equipo de observadores (ver *Conteos desde tierra*), se estableció un segundo equipo (2 personas, al menos con un observador experimentado, llamado equipo réplica) que realizó observaciones simultáneas e independientes durante las mismas horas de esfuerzo de búsqueda realizadas por el primer equipo (Rugh, 1984; Rugh *et al.*, 1990; Rugh *et al.*, 1993; Perryman *et al.*, 2002; Rugh *et al.*, 2002). Estas observaciones simultáneas se realizaron sólo durante el año 2006. El segundo equipo de observadores se mantuvo a una distancia aproximada de 15m del principal sitio de observación. Ambos grupos tuvieron un campo visual idéntico, permitiendo la comparación de los avistamientos y la estimación de las parejas de

hembras-cría no detectadas por alguno de los equipos (Rugh *et al.*, 1990; Rugh *et al.*, 1993; Rugh *et al.*, 2002). Para mantener un esfuerzo de búsqueda independiente, no existió comunicación visual o auditiva entre ambos equipos mientras realizaban sus observaciones. El aislamiento visual fue proporcionado por las paredes del puesto de observación principal. El ruido del viento y el oleaje evitaron un contacto auditivo entre ambos equipos. Los observadores fueron rotados entre ambos equipos a lo largo de la temporada de estudio.

Cuando una pareja de hembra-cría fue vista por primera vez los dos equipos registraron la hora del avistamiento y el rumbo horizontal del observador hacia el avistamiento. La pareja de hembra-cría fue seguida a lo largo del campo visual conforme ésta viajaba hacia el norte. Durante el seguimiento se registraron todos los tiempos en superficie (los cuales son los datos más importantes para reconocer "empates" según Rugh *et al.*, 2002). Asimismo, se registraron los rumbos horizontales asociados a cada uno de estos tiempos en superficie. Para ayudar a mantener los seguimientos ambos equipos de observadores dibujaron la trayectoria sobre una impresión en papel de todo el campo visual, además de usar elementos del paisaje de la costa (cantiles, montículos de rocas, etc.). Para minimizar errores en los registros entre los equipos, existió una sincronización diaria entre los relojes digitales y los compases de los binoculares usados (Perryman, com. pers.[1]; Apéndice 1: Dibujos del campo visual y trayectorias observadas simultáneamente).

Para establecer cuáles avistamientos fueron registrados por ambos equipos ("empates") se usaron, en orden de importancia: los tiempos en superficie registrados, los rumbos horizontales, la trayectoria descrita por la pareja de hembra-cría, la conducta (es decir, saltos, golpeteo de las aletas en la superficie, el arqueo del cuerpo previo a una inmersión, etc.) e incluso el patrón de coloración

[1] Método recomendado por Wayne Perryman, Southwest Fisheries Science Center-National Oceanic and Atmospheric Administration, La Jolla, California, E. U.

de los individuos que en ocasiones fue registrado. Nosotros suponemos que no hubo conteos dobles (es decir que una pareja de hembra-cría fuera contada dos veces por un mismo equipo) ni "falsos positivos" (parejas registradas sin ser detectadas) (Rugh *et al.*, 1993). La comparación y revisión de los avistamientos entre los equipos para establecer "empates" inequívocos se realizó al final de cada día de esfuerzo de búsqueda; y posteriormente se realizó una segunda revisión para esclarecer "empates" ambiguos.

7.2 Análisis de datos.

VII.2.1 Distribución temporal.

Se construyeron gráficos con los conteos diarios de hembras-cría observados durante los periodos de esfuerzo para cada temporada de observación, para definir las fechas de inicio y fin de migración, es decir la fecha en la que se registraron la primera y la última madre con su cría que pasaron por Costa Azul, respectivamente. Asimismo, para comparar con otros trabajos se consideró la fecha de inicio y fin de la migración como el día en que habían pasado por el sitio de observación el 10% y 90% de las parejas de hembras-cría observadas durante toda la temporada (Rugh *et al.*, 2001). La fecha de mediana, corresponde a la fecha en la que había pasado el 50% de las parejas de hembras-cría por el sitio. Finalmente, la fecha del máximo fue definida como la fecha de conteos máximos observados (p. ej. Jones y Swartz, 1984; Herzing y Mate, 1984).

VII.2.2 Estimación de las crías que pasaron durante periodos de observación sin ser detectadas.

Para poder estimar el número de parejas de hembras-cría que pasaron por Costa Azul sin ser detectadas durante los periodos de observación, primero fue necesario estimar nuestra probabilidad de detección, la cual fue calculada a partir de los datos de los conteos simultáneos e independientes realizados por ambos equipos de observadores (ver *Conteos simultáneos e independientes*).

Para el cálculo de la probabilidad de detección se usó el programa MARK (White y Burnham, 1999). Este programa permite calcular la probabilidad de detección y el tamaño de una población analizando datos de captura-recaptura para poblaciones cerradas (geográfica y demográficamente). Uno de los principales argumentos para marcar individuos en una población fue motivado para estimar su abundancia comparando la proporción de animales marcados y no-marcados en muestras sucesivas (Cooch y White, 2006). MARK analiza estos datos enfocándose en modelos basados en la verosimilitud, separando así entre modelos que calculan la abundancia dentro de la verosimilitud (Otis *et al.*, 1978) y aquellos modelos que la calculan fuera de la verosimilitud (Huggins, 1989). Los conteos de parejas de hembras-cría obtenidos de las observaciones simultáneas e independientes proporcionaron los datos de captura-recaptura. La base de datos de entrada reconocida por el programa fue hecha con las historias de encuentro de cada una de las parejas de hembra-cría. Para establecer las historias de encuentro, cada uno de los equipos de observación se consideraron como una ocasión de encuentro (es decir, experimentos simples de Petersen). El equipo base se consideró como la ocasión uno y el equipo réplica como la ocasión dos. Las historias de encuentro fueron representadas por variables ficticias 1, si la pareja fue detectada por cualquier ocasión de encuentro y 0, si ocurrió el caso contrario. En nuestro caso sólo existieron tres posibles historias de encuentro (10, 11, 01, en cualquier orden). Como se utilizaron historias de encuentro individuales (es decir, para cada pareja de hembra-cría) la frecuencia de cada

una de estas historias fue de uno. También se tomaron en cuenta las covariantes registradas asociadas a cada pareja (Donovan *et al.*, 2005; Cooch y White, 2006): estado del mar (Beaufort 1, 2 ó 3), mar de fondo (presente/ausente), visibilidad (en km), nubosidad (en %), crías/hr, día y distancia a la costa (en m).

La probabilidad de detección se calculó ajustando un modelo de capturas cerradas de Huggins. El modelo es una regresión logística (Ec. 1 y Apéndice 2) que a diferencia de modelos de capturas cerradas permite estimar el tamaño de una población cerrada (*N*) cuando las probabilidades de detección son heterogéneas y permite que dichas probabilidades dependan de covariantes observables. El modelo puede ser representado de manera general como:

log p= βo+ β 1(covariante 1)+ β 2(covariante 2)+β 3(covariante 3) +β *n*(covariante *n*).....(1)

Donde:

log p = Logaritmo de la probabilidad de detección

βo = Intercepto

β1, β 2 y β 3 = Coeficientes de las covariantes 1, 2 y 3.

En este modelo, la verosimilitud es condicional sobre el número de animales detectados y *N* por lo tanto es retirada de la verosimilitud, en donde N[2] es estimada como un parámetro derivado (Huggins, 1989; Huggins, 1991; Donovan *et al.*, 2005; Cooch y White, 2006). El modelo supone independencia en la detección entre parejas de hembras-cría y entre equipos de observadores. Esto no significa que todas las parejas de hembras-cría tengan la misma probabilidad de detección, por lo cual resulta

[2] La *N* estimada por el programa MARK se refiere al número de crías que pasaron por Costa Azul sólo durante los periodos de observación, no la estimación total de crías.

importante que la probabilidad esté en función de covariantes incluidas en el análisis (Buckland *et al.*, 1993; Perryman *et al.*, 2002).

Para estimar la probabilidad de detección, antes de examinar cada uno de los modelos que consideraron las covariantes, hubiera sido necesario realizar primero una prueba de bondad de ajuste a nuestro modelo de Huggins para establecer si ajustaba a nuestros datos. Sin embargo, hasta ahora no existen métodos para probar ajuste de modelos que consideran covariantes, por lo cual se recomienda ajustar el valor de ĉ (factor de inflación de varianza [3]) reportado para el modelo sin covariantes sobre el resto de los modelos, aún sobre aquéllos que sí incluyen las covariantes. Si las covariantes individuales sirven para reducir (o al menos explicar) algo de la variación, entonces esto implica que el valor de ĉ del modelo sin covariantes es diferente y más grande, y de acuerdo a esto el uso de ĉ será de alguna manera más conservador. Después del ajuste del valor de ĉ, se fueron ingresando las covariantes una a una de manera aditiva. Las covariantes fueron examinadas como variables continuas, excepto el mar de fondo, la cual fue tratada como categórica. Para conocer y explicar el efecto individual de cada una de las covariantes y mantener un modelo simple y fácil de interpretar no fueron consideradas las interacciones entre covariantes. La herramienta general de selección del mejor modelo ajustado fue su valor de AIC (por sus siglas en inglés Akaike Information Criterion) (Akaike, 1973; Burnham y Anderson, 2002; Hobbs *et al.*, 2004; Donovan *et al.*, 2005; Rugh *et al.*, 2005; Cooch y White, 2006). Es importante señalar que el criterio de información de Akaike (AIC) cambia a QAICc debido a que la verosimilitud del modelo es dividida por ĉ, produciendo lo que se conoce como *quasi*-verosimilitud ajustada de AIC, de ahí la Q de QAICc

[3] ĉ es un parámetro conocido como factor de inflación de varianza, el cual indica la carencia de ajuste, donde ĉ=1 indica un ajuste perfecto y valores menores o mayores a 1 indican subdispersión o sobredipersión, respectivamente. Existen evidencias que indican que si ĉ≤3, podemos sentirnos relativamente seguros de que las estimaciones de nuestros parámetros son tan robustos y válidos como fue posible (Cooch y White, 2006).

(Cooch y White, 2006). El mejor modelo que sustentó nuestros datos se eligió después de comparar los valores de QAICc dentro del set de modelos corridos, en donde el mejor modelo ajustado se determinó como aquel modelo con un menor valor de QAICc (Cooch y White, 2006). Se sabe que QAICc es un criterio muy bueno y bien justificado para seleccionar el modelo más parsimonioso, sin embargo se realizaron pruebas de razón de verosimilitud (LRT por sus siglas en ingles, Likelihood Ratio Test[4]) para comparar de manera estadística los mejores modelos.

Una vez determinado el mejor modelo ajustado, se obtuvieron los coeficientes de cada uno de los parámetros y finalmente se estimó la probabilidad de detección de las parejas de hembras-cría que pasaron durante los periodos de observación. Con el cálculo de la probabilidad de detección se estimó el número de crías no detectadas durante los periodos de observación. MARK reporta los valores de los errores estándar (calculados por el Método Delta) y los intervalos de confianza al 95% (estimados por verosimilitud perfil) de los parámetros estimados (Cooch y White, 2006).

Debido a que no se realizaron observaciones simultáneas e independientes durante los dos primeros años del estudio (2004 y 2005), para estimar el número de crías durante los periodos de observación en esos años, se decidió utilizar la probabilidad de detección calculada para 2006, en el supuesto de que fue la misma en 2004 y 2005.

VII.2.2 Estimación de las crías que pasaron durante los periodos de no-observación.

Esta estimación se realizó ajustando la tasa de paso de los conteos de crías a una distribución normal mediante curvas polinomiales de Hermite ajustadas por máxima verosimilitud y usando el método de momentos. Los parámetros μ y σ corresponden al primer y segundo momento, por lo que

[4] En donde las diferencias entre los modelos están distribuidas como x^2 con grados de libertad dados como las diferencias en el número de parámetros estimables entre dos modelos (Cooch y White, 2006).

los siguientes polinomiales agregados ajustaron para el sesgo, la kurtosis y los momentos más altos (Buckland, 1992a; Buckland, 1992b; Buckland *et al.*, 1993; Buckland y Breiwick, 2002; Hobbs *et al.*, 2004; Rugh *et al.*, 2005). Se ha demostrado que la modelación con polinomiales Hermite es útil para la interpolación entre periodos de observación (p. ej. durante horas de oscuridad, días con condiciones climáticas pobres y/o días en que no se hizo esfuerzo de observación). Aún cuando los periodos de visibilidad pobre son un serio problema o el financiamiento es reducido (que provoca periodos de observación limitados tanto en número como en duración), todavía es posible realizar estimaciones confiables (Buckland, 1992a; Buckland, 1992b). La modelación de las crías que pasaron en periodos de no-observación usando el método de polinomiales Hermite se realizó con el programa *gwnormf77* (proporcionado por el Dr. Jeff Breiwick del National Marine Mammal Laboratory del Alaska Fisheries Science Center, Estados Unidos).

La base de datos utilizada fue una serie de intervalos de tiempo de longitud variable (que en conjunto formaron un periodo de observación) y el número de crías registradas en cada uno de ellos. La base de datos presentó vacíos correspondientes a periodos de no-observación. Un intervalo de tiempo fue definido por el código ambiental presente, por lo tanto las crías registradas fueron agrupadas (Buckland, 1992a; Buckland *et al.*, 1993). Los intervalos de tiempo son relativos al primer día de observación (1º de marzo). Ningún conteo de crías registradas fue excluido del análisis debido a que se presentaron en códigos ambientales que no excedieron de un código 3 (similar al código 4 de Reilly *et al.*, 1983). Los conteos de crías fueron corregidos *a priori* utilizando la probabilidad de detección. En el caso de la temporada 2006 fue posible corregir el número de crías por su probabilidad de detección en cada uno de los intervalos de tiempo con la ayuda de Mark.

Para la estimación de las crías que pasan antes del primer día de esfuerzo de observación y después del último (durante las colas de la migración) se agregaron dos conteos cero a la base de

datos (Buckland, 1992a; Buckland *et al.*, 1993), uno que corresponde al día cero, definido como el 1º de marzo, el cual parece ser el inicio de la migración y el segundo en el día 78 (17 de mayo para los años 2004, 2005 y día 76, 15 de mayo para el 2006) cuando se estima que la migración concluyó en Costa Azul.

Después de correr el programa *gwnormf77* se analizaron los valores de verosimilitud de los ajustes de cada uno de los polinomiales Hermite resultantes. Se determinó el mejor ajuste de acuerdo al valor mínimo de verosimilitud. Para la estimación del número de crías que pasaron durante los periodos de no-observación, el número de crías detectadas durante los periodos de observación fue multiplicado por un factor de corrección (obtenido del mejor ajuste de los polinomiales Hermite), el cual se define como la proporción del área bajo la curva ajustada de las crías esperadas por día durante todo el estudio con respecto al área bajo la curva integrada sólo de los periodos de observación. El programa *gwnormf77* reporta el valor de error estándar de este factor de corrección.

En síntesis, la estimación del número total de las crías de ballena gris que pasaron cada año (2004-2006) por Costa Azul durante su migración al norte a partir de conteos desde tierra, se obtuvo directamente del mejor modelo de los polinomiales Hermite. Esta estimación resultó de multiplicar el número de crías registradas durante los periodos de observación corregidas por la probabilidad de detección (obtenida con el programa Mark), por el factor de corrección (obtenido de los polinomiales Hermite) calculado para las crías que pasaron durante los periodos de no-observación. No se aplicaron correcciones para la tasa de migración diferencial entre el día y la noche, ni para las crías que pasaron más allá del rango de visión de los observadores desde la costa, esto último de acuerdo a los resultados de la distribución con respecto a la costa.

VIII. Resultados.

VIII.1 Esfuerzo de observación y abundancia relativa.

Durante los tres años de estudio se realizaron un total de 129 días de esfuerzo, en donde se llevaron a cabo 756.48 horas de observación ($\bar{x}$ = 5.86 hr/día, con un rango de 1.43 a 10.5 hr/día), en las cuales se contó un total de 162 crías de ballena gris migrando al norte por Costa Azul. En 2005 se contaron menos crías, a pesar de que se realizaron casi las mismas horas de esfuerzo que en 2006, y aunque en 2004 se contó una cría más con respecto a 2005, en ese año se realizaron menos horas de esfuerzo (38% menos). Para estandarizar por las horas de esfuerzo se calculó un índice de abundancia relativa (Tabla I). El menor esfuerzo en 2004 se debió a factores logísticos, ya que fue el primer año en el que se llevaron a cabo observaciones formales para monitorear el número y diversidad de especies de mamíferos marinos que se distribuyen o transitan por la zona de Costa Azul.

Los esfuerzos de observación en los tres años de estudio comenzaron prácticamente en las mismas fechas, es decir, durante la primera semana de marzo y concluyeron durante la segunda semana de mayo, después de una semana de haber registrado la última pareja de hembra-cría (Tabla I).

Tabla I. Esfuerzo de observación de crías de ballena gris llevados a cabo de 2004 a 2006 en Costa Azul, Ensenada, total de crías contadas y abundancia relativa.

Año	Periodo		Días de esfuerzo	Horas de esfuerzo	Total de crías contadas	Abundancia relativa (No. crías/hora de esfuerzo)
	Fecha de inicio	Fecha de fin				
2004	05-marzo	16-mayo	33	180.97	42	0.23
2005	01-marzo	16-mayo	48	290.22	41	0.14
2006	01-marzo	14-mayo	48	285.3	79	0.28

La mayoría de las observaciones se realizaron en condiciones de buenas a regulares (códigos 2 y 3, con 397.17 y 317.12 horas, respectivamente), realizando muy pocas observaciones bajo condiciones excelentes (código 1, con 42.2 horas) (Tabla II).

Ocasionalmente se registraron parejas de hembras-cría migrando junto con otras parejas o con otros individuos adultos o juveniles, sin embargo la mayoría de las parejas de hembras-cría que pasaron el sitio de observación fueron parejas solas (94.4%). La agregación más grande de parejas de hembras-cría registrada fue de tres.

Aunque las crías que se observaron migrando al sur no fueron consideradas para los análisis de distribución temporal y las estimaciones de abundancia, sí fueron registradas. El número de crías observadas fue de 15, 3 y 6 crías en 2004, 2005 y 2006, respectivamente.

Tabla II. Horas de observación y tasas de avistamiento de crías de ballena gris de acuerdo a los códigos ambientales para los años 2004, 2005 y 2006.

Condiciones	Código	Horas de esfuerzo	Crías contadas	Crías/hr
2004				
Excelentes	1	11.05	9	0.81
Buenas	2	66.77	23	0.34
Regulares	3	103.15	10	0.10
Totales	1-3	180.97	42	0.23
2005				
Excelentes	1	15.87	1	0.06
Buenas	2	159.90	20	0.13
Regulares	3	114.45	20	0.17
Totales	1-3	290.22	41	0.14
2006				
Excelentes	1	15.28	0	0.00
1				
Regulares	3	99.52	19	0.19
Totales	1-3	285.30	79	0.28

VIII.2 Distribución temporal.

La migración al norte de las parejas de hembras-cría que pasaron por Costa Azul se presentó desde principios de marzo hasta mediados de mayo. Las primeras parejas de hembras-cría fueron vistas en la primera semana de abril en 2004 (dos avistamientos), mientras que las primeras parejas migrando en 2005 y 2006 (uno y dos avistamientos, respectivamente) fueron vistas durante la primera y segunda semana de marzo, casi un mes de diferencia con respecto a 2004 (Figura 4). Las últimas parejas de hembras-cría fueron vistas durante la segunda semana de mayo, por lo que parece existir una diferencia sólo de algunos días entre los tres años. Considerando las fechas en las que pasaron el 10% y 90% de las parejas de hembras-cría como las fechas de inicio y fin de la

migración, encontramos que el inicio de la migración en Costa Azul se presentó entre finales de marzo y principios de abril (donde el año 2006 presentó el inicio de migración más temprano, 31 de marzo), mientras que el fin de la migración se presentó entre finales de abril y principios de mayo (donde 2005 presentó el fin de migración más tardío, 4 de mayo). Las fechas de mediana de migración en los tres años se presentaron entre el 18 y 19 de abril, y la diferencia no fue significativa (Prueba de Medianas, p =0.7722), (Tabla III, Figura 5). Las fechas de máximo se presentaron durante la segunda y tercera semanas de abril (en 2004, 5 días después de la fecha de mediana; en 2005, 7 días antes, y en 2006, 3 días después) (Tabla III).

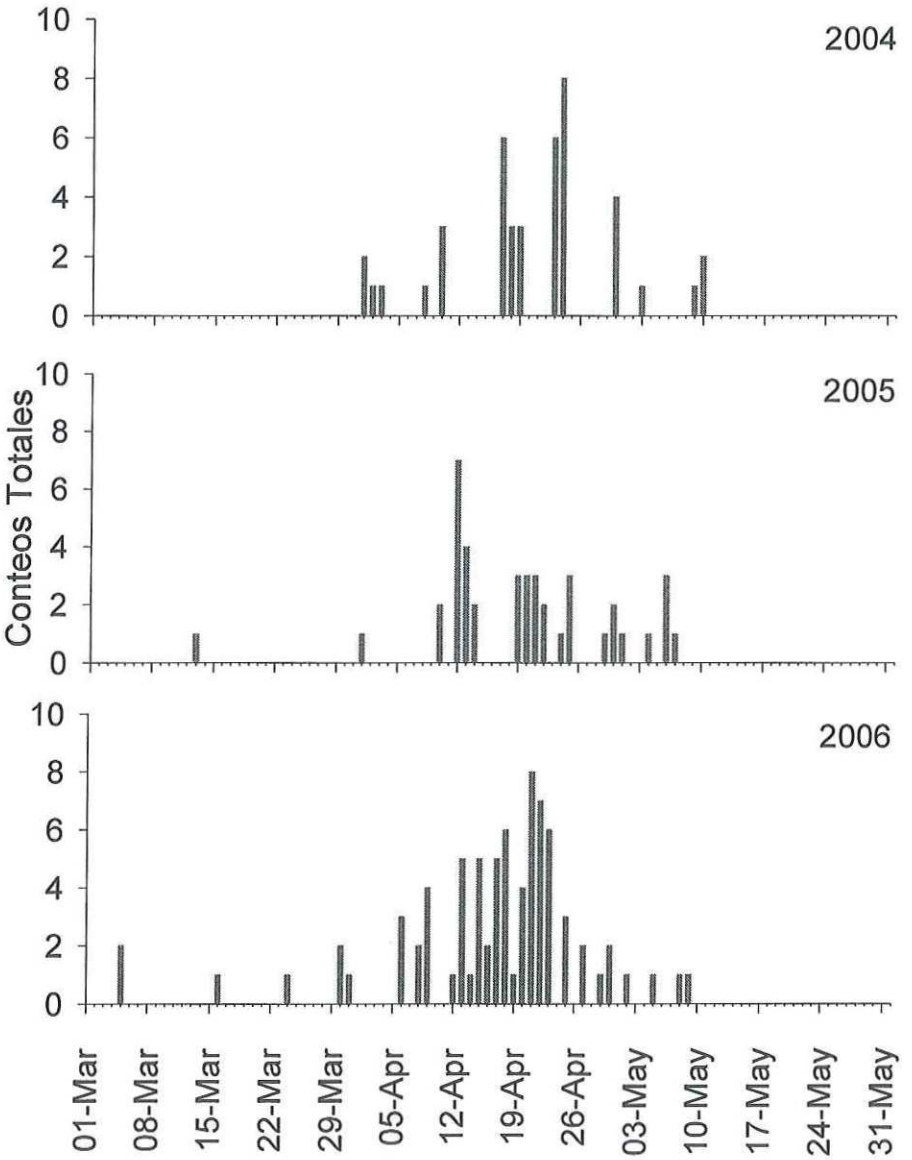


Figura 4. Conteos de crías de ballena gris migrando al norte que pasan por Costa Azul. Ensenada, B. C.

Tabla III. Fechas de mediana y máximo de migración para los años de 2004 a 2006 en Costa Azul, Ensenada. La diferencia entre las fecha de mediana no fue significativa (Prueba de Medianas, p =0.7722).

Año	Fecha mediana de migración	Fecha de máximo de migración
2004	19-abril	24-abril
2005	19-abril	12-abril
2006	18-abril	21-abril

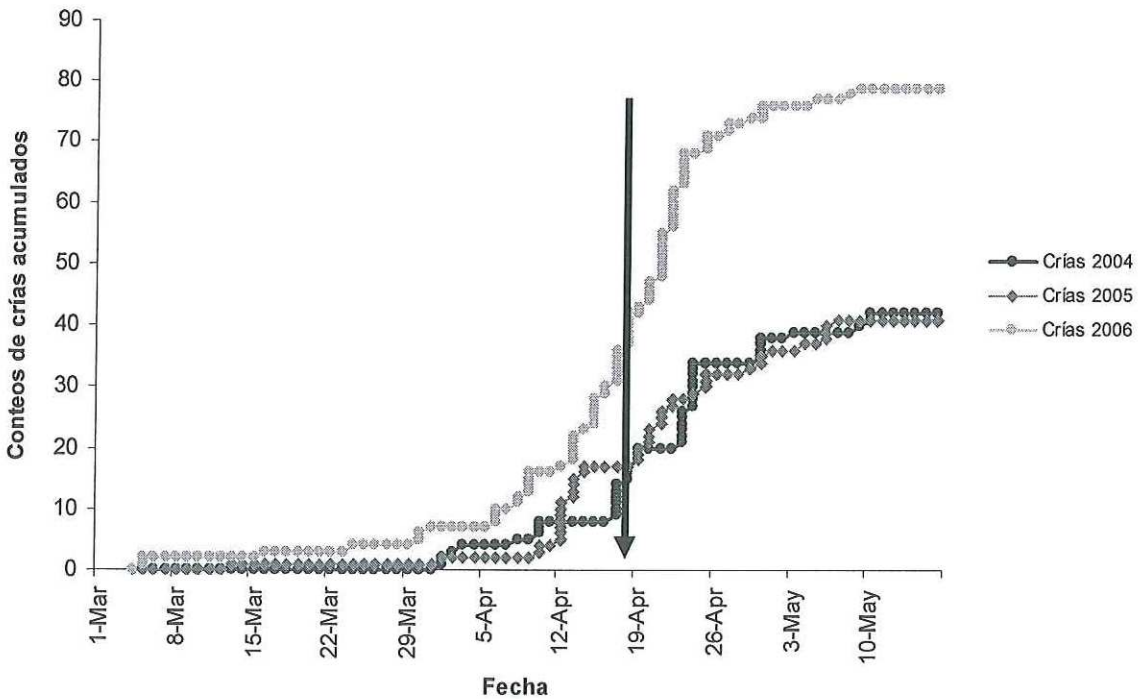
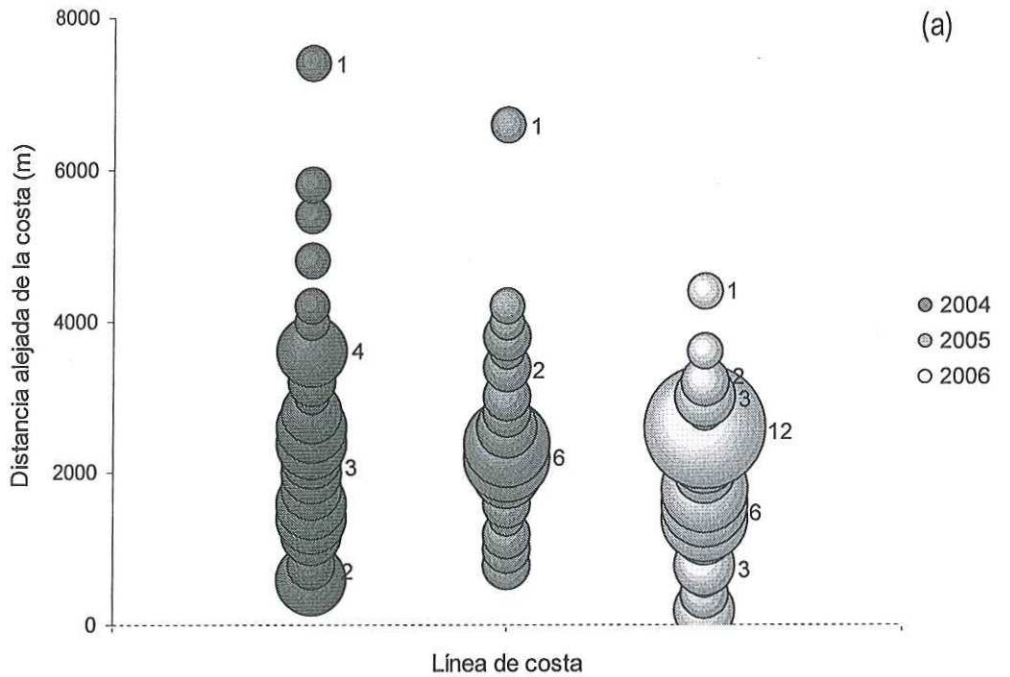


Figura 5. Conteos de crías acumulados a lo largo de los periodos de observación para los tres años del estudio. La flecha vertical muestra la fecha mediana (19 de abril), es decir, el día en que había pasado el 50% de las crías en el año.

VIII.3 Distribución con respecto a la costa.

Se realizaron un total de 239 seguimientos de ballenas grises durante su migración al sur (51, 40 y 59 seguimientos en 2004, 2005 y 2006, respectivamente) y al norte exceptuando parejas de hembras-cría (25, 41 y 23 seguimientos en 2004, 2005 y 2006, respectivamente), de los cuales se obtuvieron sus trayectorias y su distancia perpendicular al sitio de observación. El intervalo de distancias calculadas durante la migración al sur en los tres años de estudio fue de 0.12 a 7.2km (Figura 6a). Para la migración al norte sin crías, el intervalo de distancias fue de 0.10 a 7.1km (Figura 6b).



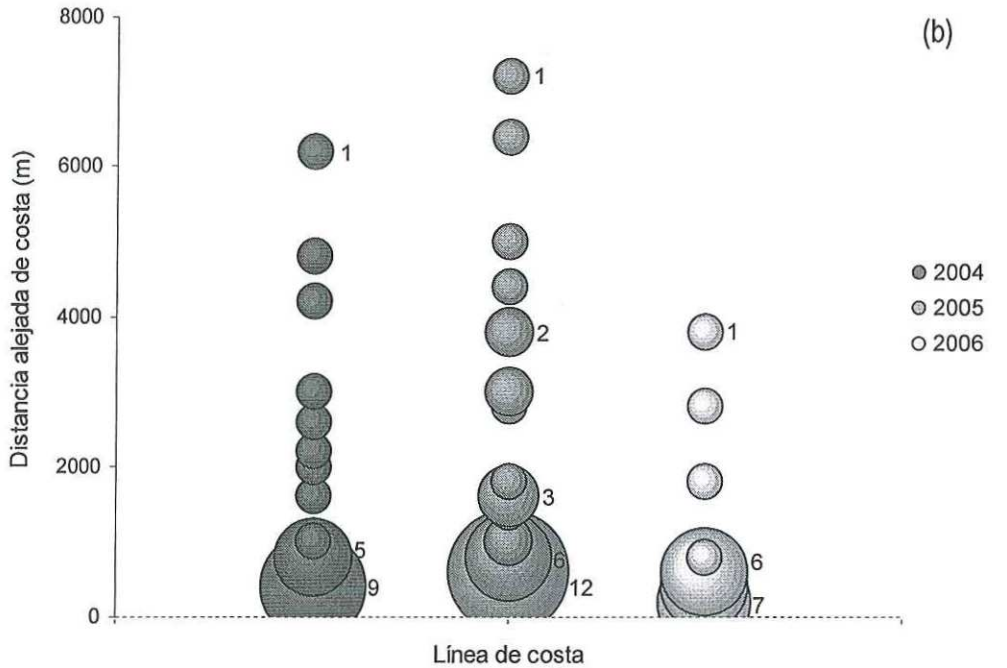


Figura 6. Distribución de las distancias con respecto a la costa a las que pasaron ballenas grises sin crías durante la migración al sur (a) y al norte (b) por Costa Azul, Ensenada, B. C. durante los años de 2004-2006. El tamaño de la esfera indica la cantidad de seguimientos, la cual también está indicada por el número a un lado de la esfera.

Se llevaron a cabo un total de 101 seguimientos de parejas de hembras con su cría (27, 23 y 51 seguimientos para 2004, 2005 y 2006, respectivamente). Las trayectorias de estas parejas hembras-cría indicaron que la distancia a la costa a la que consistentemente se observaron fue entre los 50 y 600 m (Figura 7). Esto muestra que las parejas de hembras-cría pasan más cerca a la costa, en comparación a las ballenas que migran al sur y al norte sin crías. Con base en estos resultados se decidió no ajustar las estimaciones de abundancia por crías que pudieran haber pasado frente al puesto de observación a una distancia tan alejada a la costa que no se hubieran detectado.

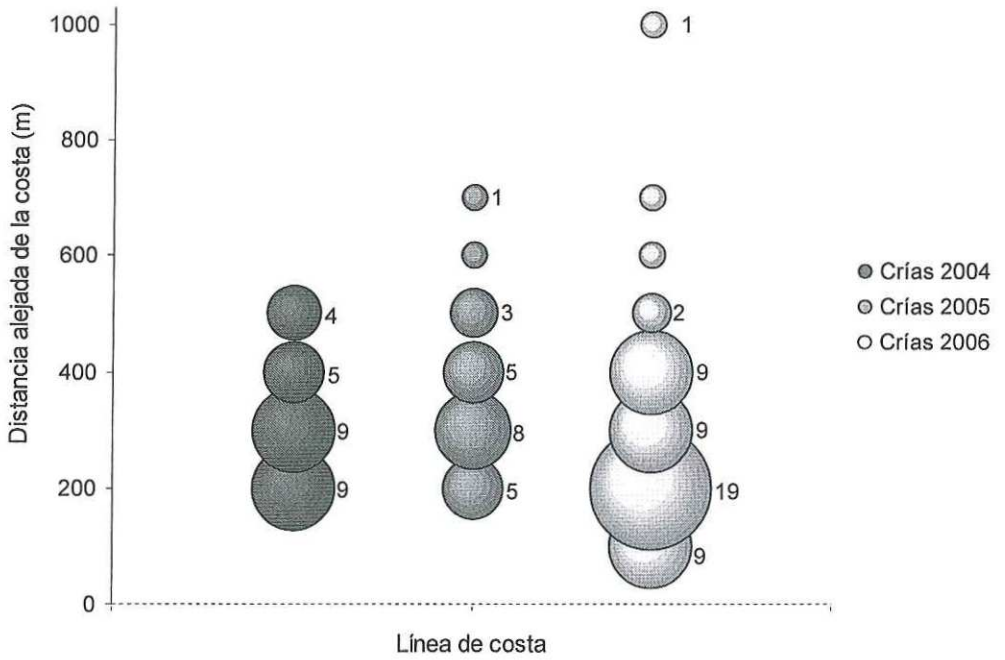


Figura 7. Distribución de distancias con respecto a la costa de parejas de madre-cría que pasaron por Costa Azul, Ensenada, B. C. durante los años de 2004-2006. Nótese el cambio en la escala del eje Y con respecto a la figura 6.

VIII.4 Estimación de abundancia.

VIII.4.1 Estimación de probabilidad de detección a partir de conteos simultáneos.

Durante el año 2006, el primer y segundo equipo de observación llevaron a cabo el mismo número de horas de esfuerzo (285.3 horas, desde el inicio hasta el fin de la migración) para realizar los conteos pareados e independientes. Durante este periodo se contaron un total de 79 crías (73 por el primer equipo y 69 el segundo, de las cuales 63 fueron crías detectadas por ambos equipos).

De acuerdo a Cooch y White (2006), no era posible realizar una prueba de bondad de ajuste para modelos de Huggins que consideran covariantes observables, para saber si en principio nuestro modelo de entrada ajustaba a nuestros datos. Por lo tanto, se tuvo que ajustar el valor de ĉ del modelo sin covariantes (ĉ=1.3050725, lo cual indica una ligera sobre dispersión en los datos) y aplicarlo al resto de los modelos para su posterior comparación. Después del ajuste de este valor de ĉ, se fueron ingresando las covariantes una a una de manera aditiva. El primer modelo que se examinó fue el que sólo consideró la covariante beaufort. Sin embargo, fue eliminado del set de modelos, debido a que el valor reportado de su coeficiente (β=36.28) presentó un error estándar muy amplio (ES=566.46, intervalo de confianza al 95%, IC=1073.98, 1146.54). Esto fue debido al número reducido de observaciones con beaufort mayor a 1 y además porque ambos equipos de observadores detectaron a todas aquellas parejas de hembras-cría presentes aún en beaufort 2 ó 3, probablemente debido a la corta distancia de la costa a la que pasaron durante su migración. La eliminación de este modelo, también obedece a que tiene influencia en todos los rangos de los modelos restantes, en los puntajes de ΔQAICc (indica la diferencia que existe entre dos modelos) y en los valores de los pesos de Akaike normalizados (que indican si un modelo tiene mucho más sustento que el resto) de los modelos. Posterior a esta eliminación, se examinaron el resto de los modelos de la manera antes mencionada. El mejor modelo que sustentó nuestros datos se eligió después de comparar los valores de QAICc dentro del set de modelos examinados, donde el mejor modelo (por su menor valor de QAICc), fue el modelo que incluyó sólo las covariantes nubosidad, crías/hr y día (Tabla IV).

Aún cuando la diferencia entre los valores de ΔQAICc entre el primer y segundo modelos fue mínima (0.357 unidades, Tabla IV) y que los valores de los pesos de Akaike normalizados demostraron que el modelo 1 tiene un sustento ligeramente mayor en comparación al modelo 2

(0.3952 contra 0.3306 unidades), se decidió usar el modelo 1 como base para la estimación de los parámetros. Es importante mencionar que se ha establecido que si la diferencia entre dos o más modelos es menor a 2 unidades, los modelos tienen una fuerte evidencia de sustento en los datos (Cooch y White, 2006). Lo anterior ocurre entre nuestros modelos 1 y 2, sin embargo, el modelo 1 consigue un mayor sustento con un número menor de parámetros. Además, los modelos que cuentan con más parámetros, son modelos con una mayor "flexibilidad" y ajuste a los datos, pero el "costo" de un mayor número de parámetros se ve reflejado en una reducción en la precisión de sus estimaciones (Cooch y White, 2006).

Los resultados de las pruebas de razón de verosimilitud (LRT) llegaron a los mismos resultados que los derivados del análisis del los valores de QAICc, antes mencionados. Los modelos 1 y 2 sustentan estadísticamente de la misma manera los datos y todos a su vez son distintos del modelo que no considera covariantes (Tabla V).

Tabla IV. Modelos de Huggins para determinar las covariantes que tienen mayor influencia en la probabilidad de detección. El mejor modelo es el que sólo consideró las covariantes nubosidad, crías/hr y día (modelo 1) debido a que presenta el QAICc más bajo.

Modelo	QAICc[a]	ΔQAICc[b]	Pesos de QAICc[c]	Verosimilitud del modelo	Número de parámetros	QDesviación
1. *p*(nubosidad+crías/hr+día)	75.356	0.000	0.3952	1.000	4	67.09
2. *p*(mar de fondo+nubosidad+crías/hr+día)	75.713	0.357	0.3306	0.837	5	65.32
3. *p*(mar de fondo+visibilidad+nubosidad+crías/hr+día)	77.738	2.383	0.1201	0.304	6	65.18
4. *p*(mar de fondo+visibilidad+nubosidad+crías/hr+día+distancia)	78.686	3.330	0.0748	0.189	7	63.94
5. *p*(sin covariantes)	80.026	4.670	0.0383	0.097	1	78.00
6. *p*(mar de fondo)	80.949	5.593	0.0241	0.061	2	76.87
7. *p*(mar de fondo+visibilidad)	82.993	7.637	0.0087	0.022	3	76.84
8. *p*(mar de fondo+visibilidad+nubosidad+crías)	84.095	8.739	0.0050	0.013	5	73.70
9. *p*(mar de fondo+visibilidad+nubosidad)	84.956	9.600	0.0033	0.008	4	76.69

[a]QAICc= *quasi*-verosimilitud ajustada de AIC, de ahí la Q de QAICc.

[b]ΔQAICc= indica la diferencia que existe entre dos modelos.

[c]Pesos de QAICc= son los valores de los pesos de Akaike normalizados e indican si un modelo tiene mucho más sustento en los datos que el resto de los modelos.

p= simplemente es una notación para indicar el parámetro de intéres, en este caso la probabilidad de detección.

Tabla V. Comparación mediante la prueba de razón de verosimilitud entre los primeros dos modelos (Tabla IV) que incluyen covariantes con el modelo sin covariantes. Las diferencias se marcan como significativas con valores de p≤0.05. Modelo 0: sin covariantes. Modelo 1: nubosidad+crías/hr+día. Modelo 2: mar de fondo+nubosidad+crías/hr+día.

Modelo reducido	Modelo general	x^2	gl	Valor de p
modelo 1	modelo 2	1.78	1	0.1826
modelo (sin covariantes)	modelo 1	10.91	3	***0.0122***
modelo (sin covariantes)	modelo 2	12.68	4	***0.0129***

Con base en estos resultados se reforzó la decisión de usar al modelo 1(Ec. 2) como base para las estimaciones de los parámetros y del cual finalmente se estimó la probabilidad de detección para el año 2006. El modelo logístico, entonces, queda representado así:

log *p*= - 0.0674 + 0.0008 (nubosidad) - 0.4348 (crías/hr) + 0.1052 (día) .....(2)

Los valores de los parámetros ajustados obtenidos de nuestro mejor modelo se muestran en la Tabla VI.

Tabla VI. Parámetros ajustados de nuestro mejor modelo que incluyó sólo tres covariantes.

	Betas	ES	Intervalos de confianza al 95%	
			Inferior	Superior
Intercepto	-0.0674	1.579	-3.1625	3.0276
Nubosidad	0.0008	0.009	-0.0166	0.0181
Crías/hr	-0.4348	1.440	-6.2565	-0.6130
Día	0.1052	0.045	0.0176	0.1927

Finalmente, la probabilidad de detección estimada a partir de este modelo fue de 0.93 (ES=0.031; IC 95%=0.84, 0.97)[5].

VIII.4.2 Estimación de abundancia de crías.

Los conteos de crías durante su primera migración al norte en periodos de buena visibilidad durante los periodos de esfuerzo para 2004, 2005 y 2006 fueron de 42, 41 y 79 crías, respectivamente. Estos conteos fueron corregidos por las crías que pasaron por Costa Azul sin ser vistas durante los periodos de esfuerzo con la probabilidad de detección calculada para el año 2006 (0.93; ES=0.031). El total de crías estimadas durante los periodos de esfuerzo para 2004, 2005 y 2006 fueron 45 (ES=1.91), 44 (ES=1.34) y 82 crías (ES=3.5), respectivamente. Estas estimaciones fueron corregidas, finalmente, por las crías que pasaron sin ser vistas durante los periodos de no-observación con los ajustes de polinomiales Hermite. Para ningún año fue necesario un ajuste de polinomiales Hermite de orden mayor a la distribución normal sobre nuestros conteos de crías (es decir, los ajustes de los polinomiales Hermite no llegaron al 3er orden) (Tabla VII). Sólo para el año 2006 los polinomiales Hermite estimaron una cría más, posterior al final de la temporada de observaciones.

[5] Esta probabilidad representa la probabilidad de un individuo que presenta valores de covariantes promedio.

Tabla VII. Modelos de polinomiales Hermite ajustados a los conteos de crías de ballena gris de los cuales se estimó el número de crías que pasaron durante los periodos de no-observación. Se muestran los factores multiplicativos para cada modelo y su error estándar (ES).

Año	Modelo	Verosimilitud	Factor multiplicativo	ES
2004	normal	-52.45	8.93	0.169
	3^{er}	-52.07	9.05	0.224
2005	normal	-56.76	5.87	0.079
	3^{er}	-55.75	5.99	0.045
2006	normal	-136.37	5.59	0.173
	3^{er}	-122.67	5.23	0.106

Las estimaciones finales del número de crías de ballena gris que pasaron por Costa Azul fueron de 375 (ES=73), 241 (ES=62) y 493 crías (ES=121) para 2004, 2005 y 2006, respectivamente.

Debido a que en los años 2004 y 2005 se utilizó la probabilidad de detección estimada para 2006, se consideró realizar, bajo un escenario más conservador, estimaciones de abundancia de crías para esos años utilizando el límite inferior de dicha probabilidad de detección (0.84). Bajo este escenario las estimaciones finales de crías de ballena gris fueron de 402 (ES=79) y 247 crías (ES=63) para 2004 y 2005, respectivamente, las cuales son similares a las estimaciones arriba citadas.

IX. Discusión.

IX.1 Esfuerzo de observación y abundancia relativa.

La duración de los periodos de esfuerzo para cada año estuvo adaptada a los tiempos migratorios de las parejas de hembras-cría de ballena gris, en donde al parecer se muestreó la duración completa de su migración en los tres años que abarcó este estudio. El número de horas de esfuerzo en esos años fueron menores (poco más de la mitad), tanto en promedio como totales, a las horas promedio realizadas en Piedras Blancas, California, desde 1994 (Perryman *et al.*, 2002). Asimismo, al comparar nuestras horas de esfuerzo para el 2006 (285.3hr) con las reportadas para Coal Oil Point en Santa Barbara, California para ese mismo año (Smith, 2006), encontramos que aún cuando en ese sitio se realizaron cerca del doble de horas de esfuerzo (550hr) las crías contadas no son muy diferentes (118 crías) a las contadas por nosotros (79 crías).

El reducido número de horas de esfuerzo es debido a que en Costa Azul las condiciones meteorológicas (principalmente viento y su acción en el incremento del beaufort) a partir del mediodía dificultan la realización de buenas observaciones obligándonos a concluir el esfuerzo. Otro elemento meteorológico que también tiene un fuerte efecto en la disminución de la horas de esfuerzo, es el reflejo del sol sobre la superficie del mar y su movimiento de izquierda a derecha según la perspectiva de los observadores, lo que dificulta las observaciones después de las 14:00 hrs. ya que el reflejo es amplio y se encuentra frente al sitio de observación.

Las abundancias relativas reportadas aquí fueron un orden de magnitud menor en comparación a aquellas mencionadas en otros estudios realizados para el conteo de crías (6 crías/hr en las costas de Oregon, Herzing y Mate, 1984). Las posibles causas de esta disminución se detallan más adelante en la sección de estimación de abundancia de crías.

IX.2 Distribución temporal

La duración de la migración de parejas de hembras-cría en nuestro sitio de observación fue aproximadamente de dos meses (desde marzo hasta mediados de mayo) y coincide con los tiempos migratorios reportados en las costas de California (Poole, 1984a; MBC, 1989; Perryman *et al.*, 2002; Schulman-Janiger, 2005) y Oregon (Herzing y Mate, 1984). Asimismo, la migración en Costa Azul mantiene el mismo patrón reportado para los distintos sitios a lo largo de su corredor migratorio (Figura 8).

Por otro lado, debido a que se tuvo la oportunidad de realizar observaciones desde el mes de diciembre en cada temporada de esfuerzo (previas a las observaciones realizadas para la migración al norte), se pudieron contar crías durante la migración al sur. Es posible que estas crías sean nacimientos prematuros ocurridos durante la migración a las lagunas de crianza, lo cual ha sido reportado para las costas de California central (Shelden *et al.*, 1995; Schulman-Janiger, 1999b; Shelden y Rugh, 2001; Schulman-Janiger, 2005). Las crías observadas justo antes al mes de marzo, pueden ser esas crías nacidas durante la migración al sur que se encuentran con sus madres aparentemente exhibiendo comportamientos migratorios erráticos a lo largo de las costas de Baja California.

El inicio de la migración al norte fue difícil de definir con exactitud, lo cual confirma que la migración al norte es menos predecible que la migración al sur (Perryman *et al.*, 2002). Las fechas en las que fueron vistas las primeras y últimas parejas de hembras-cría en Costa Azul variaron entre años y las diferencias (en días) fueron mayores al inicio de la migración que al final de la misma. Aunque resulta difícil establecer con exactitud el inicio y el fin de la migración; sí consideramos el tiempo que les toma a las parejas de hembras-cría migrar (tomando en cuenta su velocidad de nado

de 103km/día reportada en Costa Azul) desde Costa Azul a los distintos sitios a lo largo de la costa de California (Poole, 1984a; Perryman *et al.*, 2002; Schulman-Janiger, 2005; Smith, 2006), incluso de Oregon (Herzing y Mate, 1984), parece que las primeras y últimas parejas de hembras-cría se presentan dentro de un periodo de tiempo comparable al presentado en Costa Azul, aún cuando se trata de años distintos, y con un pequeño desfase (Figura 8). Esto sugiere un periodo de migración relativamente consistente año con año. Las fechas de salida desde las lagunas pueden no ser representativas del inicio de la migración de las hembras con sus crías (incluso de la población completa) debido al intercambio de animales que existe entre las lagunas de crianza (Harvey y Mate, 1984; Urbán R. *et al.*, 2003*b*). Esto ha sido confirmado en hembras con cría radio-marcadas (Harvey y Mate, 1984) y por la estimación de la longitud de las crías presentes al final de la temporada indicando que no son recién nacidas, así como por fotoidentificación, demostrando que algunas hembras llegan a la Laguna San Ignacio desde otras lagunas durante la misma temporada invernal (Urbán R. *et al.*, 2003*b*).

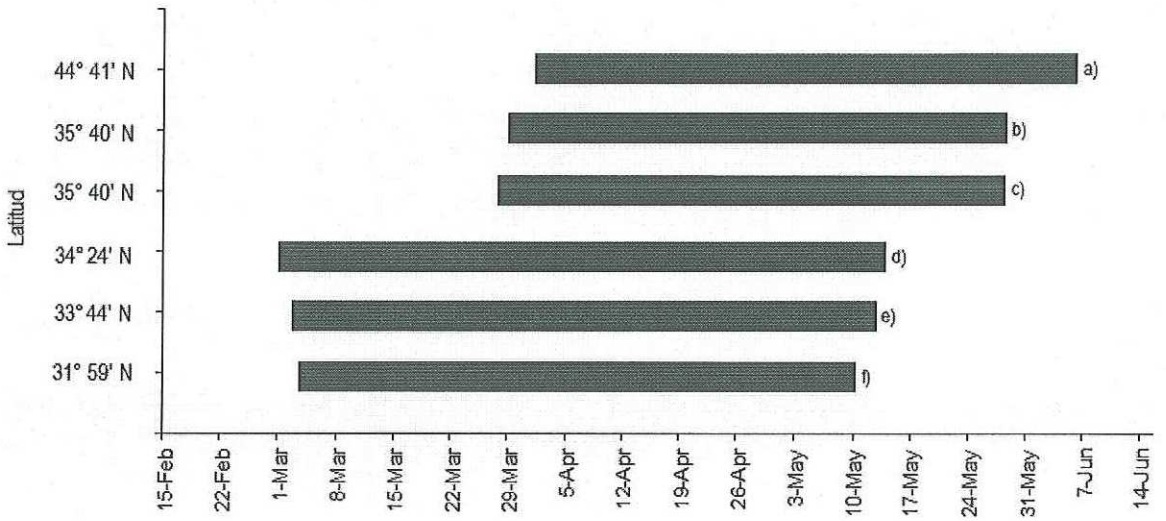


Figura 8. Duración de la migración de parejas de hembras-cría de ballena gris reportada en distintos sitios a lo largo de su corredor migratorio, a) Yaquina Head, Oregon (Herzing y Mate, 1984), b) Piedras Blancas, California (Perryman *et al.*, 2002), c) Piedras Blancas, California (Poole, 1984a), d) Coal Oil Point, California (Smith, 2006), e) Palos Verdes, California (Schulman-Janiger, 2005) y f) Costa Azul, Baja California (este trabajo).

Las fechas de los máximos de hembras con cría reportados históricamente para los distintos sitios en California concuerdan con los reportados en Costa Azul, las cuales se han presentado entre finales de abril y principios de mayo (Poole, 1984a; Perryman *et al.*, 2002; Schulman-Janiger, 2005; Smith, 2006). Para el año 2006, las fechas de máximos en Palos Verdes y Coal Oil Point, California, se presentaron el 23 y 18 de abril, respectivamente, mientras que la fecha reportada en Costa Azul se presentó el 21 de abril. Este desfase puede deberse a que las parejas de hembras-cría necesitan de dos a cuatro días para llegar a esos sitios (Palos Verdes ≈270km y Coal Oil Point ≈440km de Costa Azul considerando la misma velocidad de nado arriba mencionada) (Figura 9). Incluso el número de crías contadas durante estas fechas en estos sitios son muy simlares (Palos Verdes=10 crías, Coal Oil Point=10 crías y Costa Azul=8 crías) lo cual parece dar sustento a esta explicación. Las diferencias entre las fechas pueden deberse a que las ballenas grises son comúnmente

observadas realizando conductas reproductivas y de alimentación, así como de descanso, cuidado de la cría, entre otras, principalmente en México y en la porción sur de California (Mate y Harvey, 1984; Carretta *et al.*, 2000; Schulman-Janiger, 2005), que pueden retrasar la migración al disminuir la velocidad de nado.

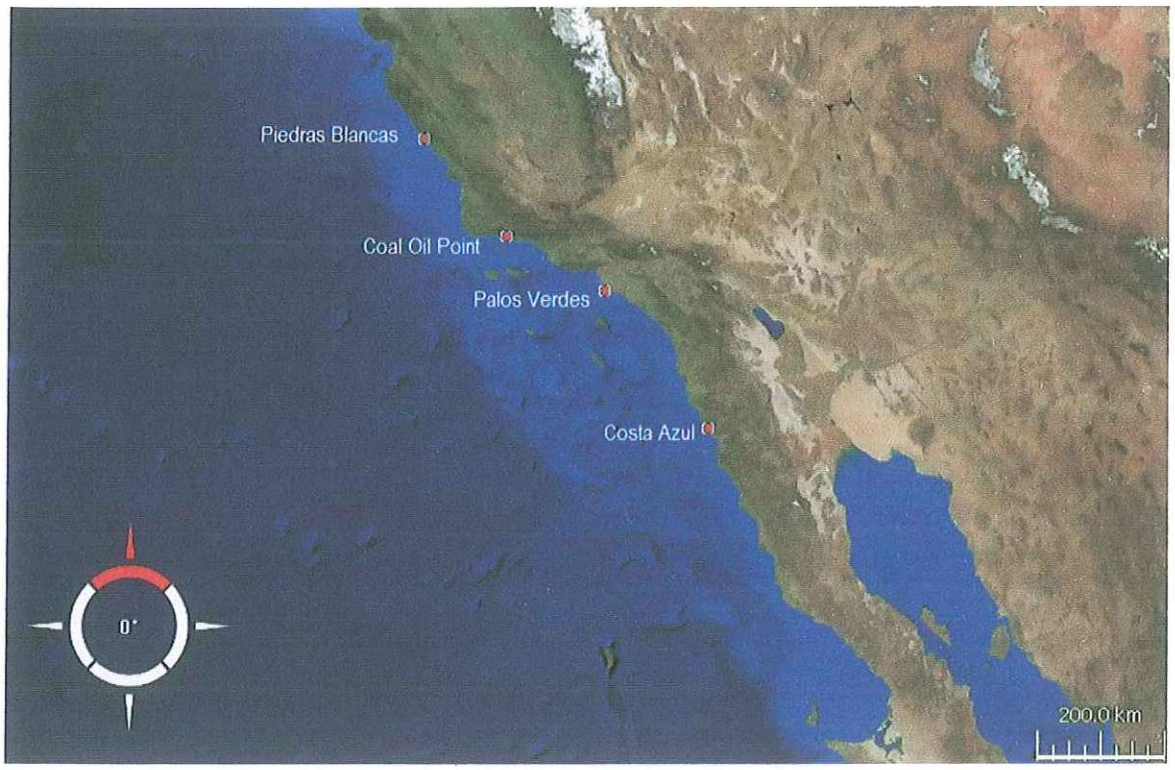


Figura 9. Localización de los sitios de observación de ballenas grises a lo largo de las costas de California, E.U.A. (Piedras Blancas, Coal Oil Point y Palos Verdes) considerados en la comparación de las fechas de máximo de parejas de hembras-cría con Costa Azul, B.C., México. Los sitios (Piedras Blancas, Coal Oil Point y Palos Verdes, en ese orden) se encuentran a aproximadamente 650, 440 y 270km de Costa Azul.

Fue posible realizar una comparación directa entre las fechas de mediana de migración entre Costa Azul y Piedras Blancas para los tres años que abarcó nuestro estudio, y se encontró la misma concordancia que en el patrón general de la migración y las fechas de máximo (19, 19 y 18 de abril en Costa Azul contra 27, 25 y 24 de abril en Piedras Blancas (Wayne Perryman [6] com. pers.) para 2004, 2005 y 2006, respectivamente), al suponer un tiempo de recorrido entre ambos lugares de aproximadamente una semana (aproximadamente 650km de separación, Figura 9). Esto sugiere que, aunque la migración pudiera empezar muy temprano o concluir muy tarde, el 50% de las hembras con cría parecen registrarse en las mismas fechas, al menos en estos dos sitios.

IX.3. Distribución con respecto a la costa.

La mayoría de las parejas de hembra-cría que fueron observadas migrando por Costa Azul pasaron entre los 50-600m de la costa, esto siginifica que fue posible verlas incluso en la zona de la rompiente de las olas. Existen estudios que han documentado que las parejas de hembras-cría presentan una tendencia a migrar extremadamente cerca de la costa durante su migración (Hessing, 1981; Herzing y Mate, 1984; Mate y Harvey, 1984; Poole, 1984a; MBC, 1989; Perryman *et al.*, 2002). Poole (1984a), a partir de observaciones desde la costa, observó que más del 90% de las parejas de hembras-cría que pasaron por Piedras Blancas, California, lo hicieron dentro de los 200m de la costa (confirmado también con registros aéreos), mientras que en Point Sal, California se encontró que cerca del 50% de las parejas de hembras-cría pasaron entre los 60 y 100m de la costa (MBC, 1989). De igual forma, Herzing y Mate (1984) encontraron que el 90% de las parejas de hembras-cría que

---

[6] Wayne Perryman, biólogo investigador del Southwest Fisheries Science Center, La Jolla, California. wayne.perryman@noaa.gov

pasaron por Oregon lo hicieron dentro de 800m. Hessing (1981) encontró este mismo patrón en Unimak Pass, Alaska.

Aunque no se contó con datos disponibles para las distancias a las que pasaron las hembras con cría en Piedras Blancas para los mismos años que abarcó este estudio para realizar una comparación directa, Perryman *et al.* (2002) encontró que la distancia a la que pasó la mayoría de las hembras con cría (87.4%) entre 1994-2000 en ese sitio fue menor a 400m de la costa. En general, esta misma tendencia fue encontrada para las parejas de hembras-cría observadas migrando por Costa Azul. Las ventajas que se han sugerido para explicar por qué las parejas de hembras-cría migran muy cerca de la costa son para alimentarse (al menos ocasionalmente) de recursos disponibles en aguas someras, así como también porque les puede ofrecer protección contra depredadores, tales como orcas (*Orcinus orca*), al esconderse entre rocas o mantos de algas (las cuales ofrecen una protección física y una pantalla acústica) (Poole, 1984a; Jones y Swartz, 2002; Schulman-Janiger, 2005; Smith, 2006).

Es importante señalar que las distancias registradas para las hembras con cría en este estudio fueron determinadas de manera más exacta (por medio del teodolito) que los estudios arriba mencionados, debido a que en esos estudios las distancias fueron estimadas a simple vista o determinadas por medio de las retículas internas de los binoculares. Aún así, al parecer se mantiene la misma tendencia cercana a la costa.

IX.4 Estimación de abundancia.

IX.4.1 Estimación de probabilidad de detección.

La probabilidad de detección reportada en este trabajo se obtuvo a partir del modelo que incluyó sólo las covariantes nubosidad, crías/hr y día (Ec. 2). Las covariantes visibilidad, distancia a la costa y mar de fondo no resultaron ser importantes dentro del mejor modelo. Con respecto a las dos primeras se esperaba que ambas tuvieran un fuerte efecto en la detección de las parejas de hembras-cría, lo cual no ocurrió; la posible explicación es porque aún cuando se presentara una visibilidad muy pobre (<7km) fue posible detectar a las parejas de hembras-cría debido a que las distancias a las que pasaron de la costa fueron muy cortas (ver *Distribución con respecto a la costa*). Perryman *et al.* (2002) después de haber analizado los datos de sus observaciones simultáneas encontraron, al igual que en este trabajo, que no existe un efecto de las condiciones de visibilidad sobre la probabilidad de detección. Con respecto a la covariante mar de fondo, aún cuando estuvo incluida en algunos modelos, se decidió no considerarla debido a que se sospechó que no fue registrada de manera sistemática durante los esfuerzos de observación.

Con respecto a las covariantes importantes incluidas en el modelo (Ec. 2), el efecto positivo (aunque pequeño) de la covariante nubosidad (β=0.0008) puede deberse a que aun en periodos de esfuerzo en los que se presentó una cobertura de nubes total (la cual parecía dificultar las observaciones), fue posible detectar a las parejas de hembras-cría. Esto también puede explicarse por la manera de búsqueda de los observadores bajo estas condiciones, en donde es posible que ambos equipos (base y réplica) centraron sus observaciones dentro de una franja visual cercana a la costa. En cuanto al efecto negativo de la covariante crías/hr (β=-0.43) puede explicarse por la no detección de parejas de hembras-cría provocado por el número de parejas que pasaron en periodos

de tiempo cortos (p. ej. durante el máximo de la migración o durante la mitad de la temporada a mediados de abril), presentándose una disminución en el número de "empates" entre equipos de observadores. Es decir, cuanto mayor fue el número de parejas de hembras-cría, existió una menor probabilidad de detectar a la mayoría. También es probable que el tiempo invertido durante el seguimiento de cada pareja de hembra-cría detectada restó concentración y tiempo de búsqueda de otras parejas que pasaron por el sitio. A diferencia de lo encontrado en este estudio, Buckland *et al.* (1993) encontraron durante la migración al sur un fuerte efecto positivo de la tasa de paso (grupos de ballenas/hr) sobre la probabilidad de detección, sugiriendo que se debe a la alta motivación que presentan los observadores cuando el número de individuos es mayor; sin embargo, es importante considerar que en los estudios llevados a cabo durante la migración al sur el campo visual que se cubre es mucho más pequeño (40-60° en Rugh *et al.*, 1993; Rugh *et al.*, 2002) que en el presente estudio (125°) y no se hace un seguimiento completo de los grupos de ballenas. Por último, el efecto positivo de la covariante día (β=0.10) parece tener relación con el patrón migratorio, donde probablemente las parejas de hembras-cría que pasaron durante los primeros días de la temporada migratoria presentaron una menor probabilidad de ser detectadas por existir aún un número mayor de individuos (adultos o juveniles) migrando al norte, mientras que al final de la temporada la migración se vuelve casi exclusivamente de parejas de hembras-cría.

La probabilidad de detección calculada en este estudio fue relativamente mayor (0.93) a las probabilidades de detección de parejas de hembras-cría reportadas en Piedras Blancas, California para 1994-2000 (0.87, Perryman *et al.*, 2002), e incluso para otros estudios realizados durante la migración al sur (0.79, Rugh *et al.*, 1990; 0.81, Rugh *et al.*, 1993; 0.87-0.97, Rugh *et al.*, 2002). Las probabilidades de detección calculadas durante la migración al sur pueden no ser comparables con

la nuestra debido a que se realizaron para componentes distintos de la población y ambos presentan diferencias en la distancia con respecto a la costa.

La probabilidad de detección promedio (0.87) calculada para la parejas de hembras-cría en Piedras Blancas (Perryman *et al.*, 2002), se obtuvo utilizando básicamente la misma metodología, sin embargo resultó menor a la calculada en este estudio. La diferencia probablemente se debe a que esta probabilidad resultó de observaciones realizadas sólo durante el máximo de la migración. Esto pudo haber provocado que no se detectaran a todos los individuos debido a la tasa de paso mayor. Nuestra probabilidad de detección resultó de observaciones simultáneas realizadas durante toda la temporada migratoria y quizá pudo ser calculada de mejor manera, al considerar las variaciones durante la toda migración.

La estimación de la probabilidad de detección que se reportó en este estudio presentó un error estándar bajo (ES=0.031), sin embargo puede ser sesgada debido a la desventaja que se tiene al usar modelos sencillos o que no toman en cuenta todas las fuentes de heterogeneidad, lo que puede provocar una dependencia entre los dos equipos de observadores. Dentro de estas fuentes de heterogeneidad podemos mencionar a las conductuales, como pueden ser las diferencias en la característica, número, extensión y duración de conductas en superficie de las parejas de hembras-cría, las cuales juegan un rol importante en su detección (p. ej. algunos soplos son altos y con una forma distinta de la característica en V, mientras que otros son bajos y crípticos). De igual forma se debe considerar ingresar nuevas covariantes (p. ej. la experiencia de los observadores, la fatiga de los mismos, etc.) y un registro más objetivo (p. ej. la utilización de un anemómetro en lugar de la escala Beaufort a veces subjetiva) de las ya utilizadas considerando su reevaluación. También sería muy importante mejorar las técnicas para establecer los "empates" entre observadores con base en

métodos más objetivos para que en conjunto se puedan obtener estimaciones de probabilidad de detección más exactas.

IX.4.2 Estimación de abundancia de crías.

Nuestras estimaciones de abundancia fueron diferentes entre todos los años. La principal diferencia se presentó entre las estimaciones de los años 2005 (241 crías) y 2006 (493 crías). Esta diferencia sugiere que las variaciones interanuales pueden no ser resultado de factores metodológicos (ya que se siguió el mismo método de estimación para todos los años) ni por las horas de esfuerzo realizadas entre estos años, ya que éstas fueron similares (285 y 290 hr, respectivamente). Aun cuando las horas de esfuerzo fueron menores para el año 2004 con respecto al 2005, la estimación del número de crías en 2004 fue mayor (375 crías). Las diferencias entre los años parecen no estar en función del número de los observadores ni de su experiencia, ya que el número de observadores "principiantes" no varió y en general se mantuvo prácticamente la misma plantilla de observadores. Aunque no se hizo un análisis del número y experiencia de los observadores o los problemas relacionados con la fatiga en la observación, es posible que éstas no sean las razones que expliquen las diferencias en las estimaciones o bien que su efecto sea mínimo. Por lo tanto, es posible que las diferencias se deban a factores ambientales que pueden afectar el reclutamiento de la población. Perryman *et al.*, (2002) mencionan que existe un efecto de la extensión de la capa de hielo en las principales zonas de alimentación de la ballena gris en el Ártico sobre el número de crías que habrá al año siguiente. Esto se debe a que las zonas de alimentación de esta ballena están restringidas a áreas someras específicas, que se encuentran libres de hielo marino durante partes del año. Si las temporadas de alimentación son acortadas por extensos periodos de hielo marino, es posible que se presente una menor disponibilidad de alimento (principalmente anfípodos bentónicos), lo cual puede

afectar la condición nutricional (reservas de grasa) de las hembras suprimiéndose la preñez, lo que posteriormente afecta el reclutamiento. Es decir, si en un verano el alimento de las ballenas adultas es escaso y no se encuentra disponible, entonces durante el siguiente invierno (o aún dos años después) habrá pocas crías en la población. Tomando en cuenta lo anterior, es posible que las diferencias en nuestras estimaciones obedezcan a estas mismas temporadas cortas de alimentación en el Ártico en años previos. A partir de imágenes mensuales promedio de la extensión de la capa de hielo marino en el Ártico obtenidas del National Snow and Ice Data Center (NSIC)[7], se encontró que en los meses en los que las ballenas grises se estuvieron alimentando en el 2004, la extensión del hielo fue mayor comparable a la presentada en 2005 (Figura 10), lo que pudo haber provocado la estimación de abundancia de crías baja y alta para los años de 2005 y 2006, respectivamente. Aunque las diferencias en la extensión de la capa de hielo entre 2003 y 2004 fueron muy similares, al parecer la abundancia de crías más baja en 2005 (241 crías) comparada a la de 2004 (375 crías) probablemente fue provocada por el efecto acumulado de los dos años con temporadas de alimentación más cortas. Este comportamiento ha sido mencionado en conteos de crías bajos reportados en la parte sur de California (Schulman-Janiger, 2005).

[7] Programa sobre los Indicadores del Clima Criosférico en el Ártico del National Snow and Ice Data Center (NSIC) de la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) de los Estados Unidos. (http://nsidc.org/data/seaice_index/archives/index.html)

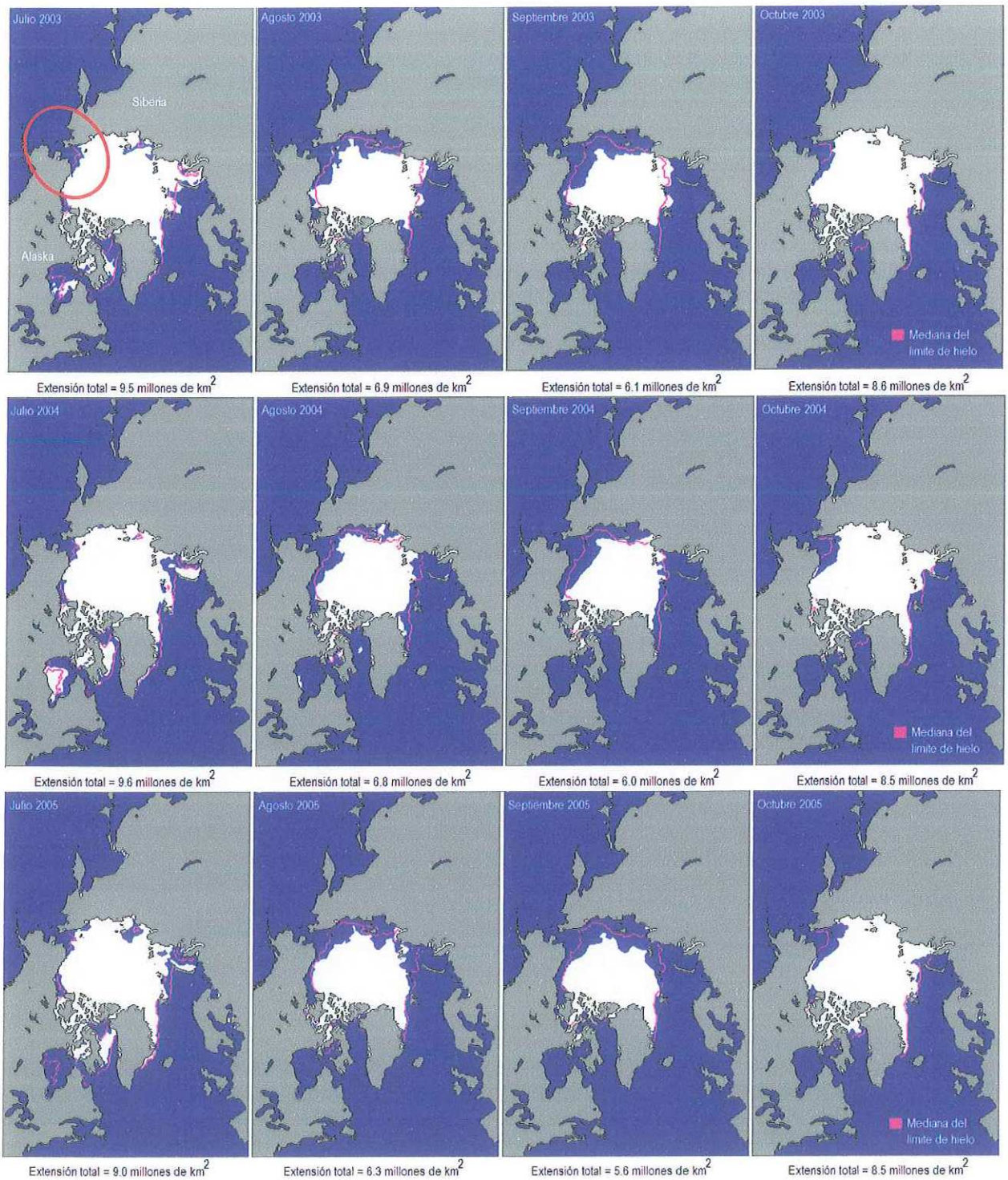


Figura 10. Imágenes mensuales promedio de la extensión de la capa de hielo marino total en el Ártico de los meses en que se alimenta la ballena gris en esas zonas (julio, agosto, septiembre y octubre) para los años 2003, 2004 y 2005. El óvalo muestra las principales zonas de alimentación de la ballena gris en los mares de Bering y Chukchi. Se indica al pie de cada imagen la extensión total de la capa de hielo (en millones de km^2). La línea en rosa indica la mediana historica del límite de la extensión de la capa de hielo para ese mes en particular.

También es posible que las variaciones en las estimaciones sean resultado de efectos provocados por eventos como El Niño y La Niña, los cuales producen cambios que afectan la productividad primaria, alterando las cadenas alimentarias y la abundancia de presas disponibles, provocando condiciones nutricionales no adecuadas (para cubrir los gastos energéticos durante la preñez y la lactancia) en las hembras. También pueden deberse a un cambio en el patrón de distribución hacia latitudes más al norte durante eventos de El Niño, donde es posible registrar números inusuales de ballenas, incluyendo crías, al sur de California y norte de Baja California, relacionado problamente por las altas temperaturas del mar (Le Boeuf *et al.*, 2000; Urbán R. *et al.*, 2003*a;* Guerrero *et al.*, 2006).

Uno de los principales objetivos en este estudio era comparar nuestras estimaciones de abundancia de crías con aquéllas reportadas en Piedras Blancas, California, para los mismos años. Las estimaciones registradas en ese sitio fueron de 1528, 945 y 1020 crías para 2004, 2005 y 2006, respectivamente, las cuales están muy por arriba de las estimaciones calculadas en este trabajo (375, 241 y 493 crías) para esos mismos años. Aunque el método de estimación que se siguió en ambos trabajos no fue exactamente igual, las estimaciones sí se realizaron tomando en cuenta los mismos supuestos y se aplicaron los mismos factores de corrección, lo cual reduce la posibilidad de que el método sea la causa de las diferencias tan altas. Aun cuando las horas de esfuerzo promedio fueron mayores para Piedras Blancas en comparación a las llevadas a cabo en Costa Azul, parece que ésta no es la causa de que nuestras estimaciones de abundacia de crías sean menores a las reportadas en ese mismo sitio, debido a que las horas de no esfuerzo son tomadas en cuenta en los análisis de polinomiales Hermite. A pesar de que se exploró un escenario más conservador con respecto a la probabilidad de detección para los años 2004 y 2005 (probabilidad de 0.84), la cual incluso fue menor a cualquiera de las reportadas por Perryman *et al.* (2002) desde 1994, las

estimaciones de abundancia de crías en Piedras Blancas siguieron siendo más altas que las nuestras.

Es muy probable que las discrepancias en los números estimados de crías no puedan ser atribuidos al tiempo de permanencia prolongado (de finales de mayo y principios de junio) de parejas de hembras-cría en las zonas de reproducción (Herzing y Mate, 1984) o a una alta mortalidad entre las zonas de reproducción y las de alimentación; ya que si fuera así, al menos se esperaría que las estimaciones en Costa Azul fueran iguales a las reportadas en Piedras Blancas.

Aunque en Piedras Blancas se ha reportado que más del 90% de las crías migrando al norte pasan muy cerca de la costa (Poole, 1984a; Perryman *et al.*, 2002), se ha mencionado que al menos en algunas áreas de la Ensenada del Sur de California una porción de parejas de hembras-cría parecen migrar alejadas de la costa (p. ej. a 15km en Point Sal, California) (Townsend, 1887 en Fleischer, 2002; Rice y Wolman, 1971; MBC, 1989, Shelden y Laake, 2002), lo cual podría explicar las diferencias en las estimaciones de abundancia de crías en ambos sitios. Se ha reportado que ballenas grises durante la migración al norte pueden tomar rutas alternas más directas alejadas de la costa para cruzar bahías o indentaciones de la línea de costa, como se ha descrito en la Ensenada del Sur de California y Baja California (Rice y Wolman, 1971; MBC, 1989; Schulman-Janiger, 1999b; Mate y Urbán R., 2003; Schulman-Janiger, 2005; Smith, 2006) o en las costas de Washington y Oregon (Green *et al.*, 1995). Se sugiere que esta conducta se realiza para minimizar el costo energético (Mate y Urbán R., 2003). Al parecer la migración alejada de la costa también está relacionada con la extensión de la plataforma continental (MBC, 1989; Green *et al.*, 1995) y la presencia de islas oceánicas, las cuales parecen tener un efecto atrayente sobre los individuos, lo cual provoca que una porción de ballenas pasen fuera del rango de visión de los observadores (MBC, 1989; Carretta *et al.*, 2000; Schulman-Janiger, 2005).

Mate y Urbán R. (2003) aportaron evidencia sobre el uso de una ruta directa que siguió una ballena radio-marcada durante su migración al norte para dirigirse hacia la Ensenada del Sur de California y su paso a través de las Islas del Canal. Al observar cuidadosamente un mapa con la ruta, se detectó que la distancia a la que pasó esta ballena frente a Costa Azul fue de casi 100km (Figura 11). Se ha sugerido que la ballena gris realiza esta viaje utilizando señales acústicas como el sonido de la rompiente de las olas y que al mantener este sonido sobre su lado derecho parece explicar cómo las ballenas pueden navegar a través de estas zonas (Mate y Urbán R., 2003), lo cual también podría explicar la presencia de este comportamiento cuando las ballenas se encuentran con las Islas de Todos Santos al pasar por Ensenada (Heckel, 2001).

Heckel (2001) observó en marzo (es decir al principio de la migración) a 12 parejas de hembras con cría migrando por la parte oeste de la isla norte de las Islas de Todos Santos (que se encuentran a 18km de Ensenada y Costa Azul) para posteriormente dirigirse al noroeste. Este número de crías equivale casi al 25% de las crías que nosotros observamos tan sólo para el 2004, aun cuando en el año 1999 reportado por Heckel se presentó una de la estimaciones más bajas reportadas en Piedras Blancas (Perryman *et al.*, 2002).

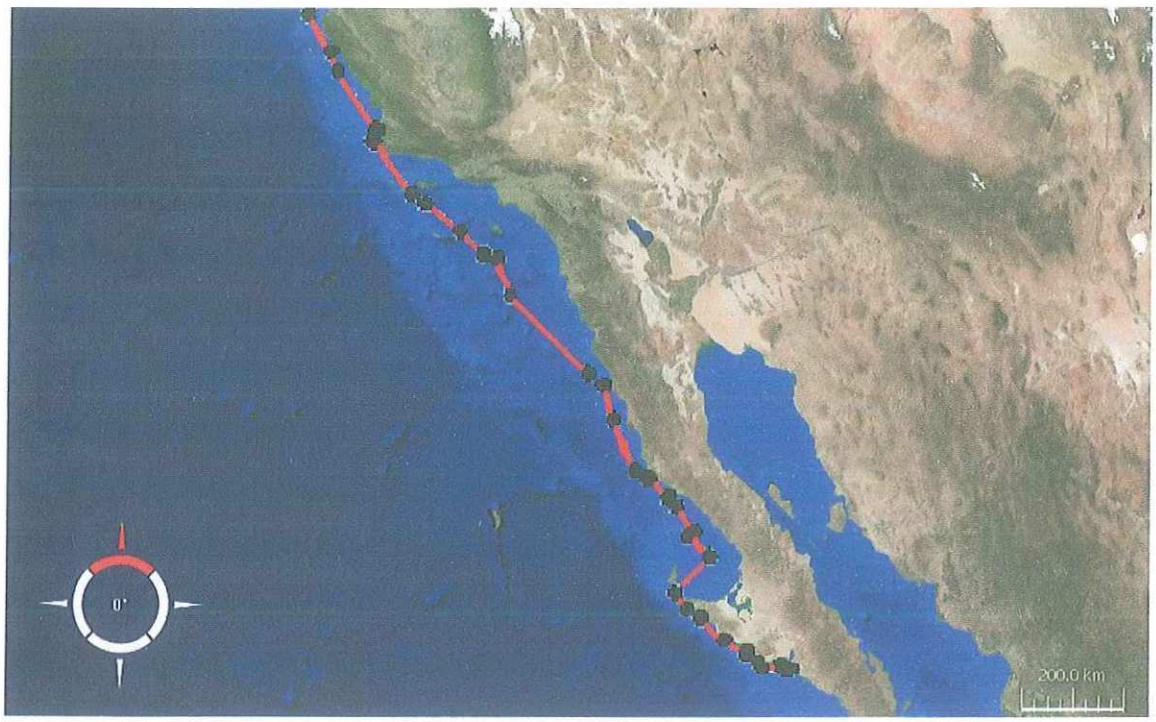


Figura 11. Trayectoría de una ballena gris radio-marcada durante su migración al norte desde la Laguna San Ignacio hacia la parte central de California, se aprecia lo lejos que paso de Costa Azul, Ensenada (adaptado de Mate y Urbán R., 2003).

También, es probable que esta ruta alejada de la costa favorezca a la ballena gris para aproximarse de manera más directa a la Ensenada del Sur de California para buscar alimento durante temporadas limitadas antes de completar su migración al norte a sus principales zonas de alimentación. La Ensenada del Sur de California es considerada una zona muy productiva debido a la presencia de surgencias de aguas ricas en nutrientes que permiten la proliferación de una variedad de presas potenciales para diferentes especies de ballenas (por ejemplo, la ballena azul (*Balaenoptera musculus*) (Fiedler *et al.*, 1998), entre otras. Aunque la ballena gris es principalmente alimentadora de fondo (principalmente de invertebrados bentónicos y epibentónicos) (Swartz *et al.*, 2006), se le ha visto alimentandose en superficie de crustáceos mísidaseos en mantos de algas en

áreas cercanas a Santa Barbara, California (Wellington y Anderson, 1978), lo cual representa la porción norte de la Ensenada del Sur de California.

Al parecer los factores arriba mencionados pueden tener un efecto sobre las parejas de hembras-cría que pasan por Costa Azul. Si comparamos nuestros conteos de crías con aquellos realizados en diferentes sitios que se encuentran en la Ensenada del Sur de California, encontramos que los conteos en ambos sitios son muy parecidos para los mismos años. Por ejemplo, los conteos de crías reportados para Coal Oil Point y Palos Verdes, California en 2006 fueron de 118 y 106 crías, respectivamente (Schulman-Janiger, 2005; Smith, 2006), los cuales resultan parecidos al número reportado en este estudio. Todos estos conteos representan *a grosso modo* una cuarta parte de los conteos hechos en Piedras Blancas (400 crías). La estimación de abundacia de crías reportada para Coal Oil Point para 2006 fue de 502 crías (Smith, 2006), muy similar a la nuestra (493 crías). Esto sugiere que factores como la ausencia de rutas alternas distantes de la costa, el efecto de las islas oceánicas y la extensión de la plataforma continental son los que provocan las diferencias en las estimaciones entre Piedras Blancas y Costa Azul. Es decir, Piedras Blancas no presenta islas adyacentes a sus costas y el ancho de la plataforma continental no es mayor a 8km, lo cual explica la migración tan cercana a la costa que realizan las ballenas en ese sitio, mientras que al sur de Costa Azul, se encuentran las Islas de Todos Santos, y la plataforma continental se puede extender a más de 20km, causando que el corredor migratorio sea más amplio. Al parecer la región del sur de California y Costa Azul comparten el mismo efecto de estos factores sobre la migración de las ballenas grises en esos sitios, que hacen que los conteos y/o estimaciones sean más parecidas entre sí.

Es probable que la porción de parejas de hembras-cría que contamos desde Costa Azul cada año, sean aquellas hembras primerizas que realizan la ruta más larga y cercana a la costa, y

que conforme se vuelven más experimentadas comienzan a migrar por las rutas más directas a las zonas de alimentación.

Nuestras estimaciones al parecer fueron afectadas por un comportamiento migratorio no costero en las aguas adyacentes a Ensenada de las hembras con cría durante su migración al norte. Por todo lo anterior, es posible hipotetizar que las parejas de hembras con cría tienen un segundo corredor migratorio (el primero es el reportado aquí) alejado de la costa en Costa Azul, es decir, a más de 10km, y que quedó fuera del alcance visual desde tierra en Costa Azul, aún con el telescopio 30X que se usó. Sería conveniente que se realizaran navegaciones o recorridos aéreos perpendiculares a la costa para determinar si existe este segundo corredor migratorio, y estimar el porcentaje de parejas hembra-cría que no se detectan desde Costa Azul y evaluar si esta proporción cambia entre años. Al integrar estos nuevos factores de corrección a las estimaciones de abundancia, sería posible comparar con mayor confiabilidad las estimaciones de abundancia de crías en Costa Azul y otros puntos en la costa de California.

X. Conclusiones.

La distribución temporal de las parejas de hembras-cría que pasaron por Costa Azul se presentó desde principios de marzo hasta mediados de mayo y exhibió el mismo patrón reportado en diferentes sitios de E.U.A. donde se han realizado este tipo de conteos a lo largo de su corredor migratorio (p. ej. California, Oregon, entre otros). Se encontraron concordancias entre las fechas en las que se contaron los números máximos y la mediana (fecha en la que pasó el 50% de las crías de la temporada) en Costa Azul con respecto a las reportadas en otros sitios tomando en cuenta el tiempo de recorrido entre ellos (considerando la velocidad de nado de 103km/día reportada en Costa Azul), lo cual puede sugerir un patrón temporal de migración relativamente consistente año con año. Seguimientos de parejas de hembra-cría dentro del rango de visión de los observadores (8 km) demostraron que estas migraron consistentemente cerca de la costa (50 a 600m).

La probabilidad de detección estimada que sirvió para calcular nuestras estimaciones de abundancia fue alta en comparación con aquellas reportadas por más de 10 años en Piedras Blancas, California (<0.89) e incluso para otros estudios durante la migración al sur. Esta probabilidad de detección parece no estar afectada por las condiciones ambientales (como el beaufort, mar de fondo y visibilidad.

Las estimaciones de abundancia calculadas en este trabajo, presentan fluctuaciones anuales (375, 241 y 493 crías en 2004, 2005 y 2006, respectivamente) las cuales pueden atribuirse a factores ambientales que afectan el reclutamiento, como son las temporadas cortas de alimentación en el Ártico en años previos o bien a efectos provocados por eventos como El Niño y La Niña que pueden producir cambios en la cantidad y disponibilidad de alimento para las hembras.

Nuestras estimaciones fueron notablemente menores a las reportadas en Piedras Blancas, California, para los mismos años y estas diferencias parecen ser el resultado de un comportamiento migratorio no costero de las parejas de hembras-cría en las aguas adyacentes a Ensenada. Este comportamiento, parece ser provocado por un segundo corredor migratorio alejeado de la costa en Costa Azul (a más de 10km) aunado a la presencia y efecto de islas oceánicas (como las Islas de Todos Santos) y la extensión de la plataforma continental entre ambos sitios.

XI. Literatura citada.

Akaike, H. 1973. Information theory and an extension of the maximum likelihood principle. En: B. N. Petrov y F. Csaaki. (eds.). 2nd International symposium on information theory. (Akadeemiai Kiadi, Budapest).

Anónimo. 2003*a*. Manifestación de impacto ambiental modalidad regional, para el proyecto: "Terminal de recibo, almacenamiento y regasificación de gas natural licuado". Resumen Ejecutivo. Energía Costa Azul. 32 pp.

Anónimo. 2003*b*. Manifestación de impacto ambiental modalidad regional, para el proyecto: "Terminal de recibo, almacenamiento y regasificación de gas natural licuado". Descripción del sistema ambiental y señalamiento de la problemática ambiental detectada en el área de inlfuencia del proyecto. Energía Costa Azul. 85 pp.

Berta, A. y J. L. Sumich. 2003. Marine mammals. Evolutionary biology. Academic Press. San Diego, California. 398 pp.

Breiwick, J. M., D. J. Rugh, D. E. Withrow, M. E. Dahlheim y S. T. Buckland. 1988. Preliminary population estimate of gray whales during the 1987/88 southward migration. Unpubl. doc. SC/40/PS12 submitted to Sci. Comm. of Int. Whal. Commn. 21 p.

Buckland, S. T. 1992a. Fitting density functions with polynomials. Appl. Statist. 41 (1): 63-76 p.

Buckland, S. T. 1992b. Maximum likelihood fitting of Hermite and Simple polynomials densities. Statist. Algorithms. 41 (1): 241-266 p.

Buckland, S. T. y J. M. Breiwick. 2002. Estimated trends in abundance of eastern Pacific gray whales from shore counts (1967/1968 to 1995/1996). J. Cetacean Res. Manage. 4: 41-48.

Buckland, S. T., J. M. Breiwick, K. L. Cattanach y L. J. L. 1993. Estimated population size of the California gray whale. Mar. Mammal Sci. 9 (3): 235-249.

Burnham, K. y D. Anderson. 2002. Model selection and multi-model inference. Spring-Verlag. Segunda edición. 496 pp.

Calambokidis, J., J. D. Darling, V. Deecke, P. Gearin, M. Gosho, W. Megill, C. M. Tombach, D. Goley, C. Toropova y B. Gisborne. 2000. Range and movements of seasonal resident gray whales from California to Southeast Alaska. 29 pp.

Carretta, J. V., M. S. Lowry, C. E. Stinchcomb, M. S. Lynn y R. E. Cosgrove. 2000. Distribution and abundance of marine mammals at San Clemente Island and surrounding offshore waters: results from aerial and ground surveys in 1998 and1999. NOAA, ADMINISTRATIVE REPORT LJ-00-02. 43 pp.

Cipriano, F. 1990. User's Manual T-TRAK Version 1.0. Theodolite-Tracking Data Analysis (for IBM-compatible computers). University of Arizona (unpublished). 38 pp.

CITES. 2000. Proposal from Japan to Transfer Gray Whales *Eschrichtius robustus* Eastern North Pacific Stock from Appendix I to Appendix II. (Eds.). Proposal from Japan to Transfer Gray Whales *Eschrichtius robustus* Eastern North Pacific Stock from Appendix I to Appendix II. Nairobi, Kenya.

Cooch, E. y G. White. 2006. Program MARK "A Gentle Introcution". 4th Edition. Ithaca, New York. 459 pp. http://www.phidot.org/software/mark/docs/book/. (Enero, 2006).

COSEWIC. 2004. COSEWIC assessment and update status report on the grey whale (Eastern North Pacific population) *Eschrichtius robustus* in Canada. Committee on the Status of Endangered Wildlife in Canada. Ottawa. Ottawa, Canada. vii + 31 pp. (www.sararegistry.gc.ca/status/status_e.cfm). (Agosto, 2005).

CRE. 2003*a*. Permiso G/140/ALM/03 otorgado a Energía Costa Azul. Comisión Reguladora de Energía, México.

CRE. 2003*b*. Resolución por la que se otorga a Terminal de LGN de Baja California, S. de R. L. de C. V., permiso de almacenamiento de gas natural. RESOLUCIÓN Núm. RES/146/2003. Comisión Reguladora de Energía, México. 28 pp.

D.O.F. 1972. Decreto que declara zona de refugio para ballenas y ballenatos, las aguas del área de la Laguna Ojo de Liebre, al sur de la Bahía de Sebastián Vizcaíno, en el Litoral del Océano Pacífico, Territorio de Baja California. 14 de enero de 1972.

D.O.F. 1979. Decreto por el que se declara como refugio para ballenas grávidas y ballenatos y zona de atracción turístico-marítima, las aguas de la zona interior de la Laguna San Ignacio, en el estado de Baja California Sur. 16 de julio de 1979. 23-24 pp.

D.O.F. 1988. Decreto de la Reserva de la Biosfera El Vizcaíno, ubicada en el Municipio de Mulegé, BCS. Noviembre 30 de 1988. México, D.F. Tomo CDXXII No. 22.

Darling, J. D. 1984. Gray whales off Vancouver Island, British Columbia. En: M. L. Jones, S. L. Swartz y S. Leatherwood (Eds.). The Gray Whale, *Eschrichtius robustus*. New York. 267-287 pp.

De Jesús. 2007. Gray whale (*Eschrichtius robustus*) abundance during its migration in Ensenada, Baja California, in three seasons (2003-2006). Tesis de Maestría. Ecología Marina. CICESE. Ensenada, Baja California, México. 90 pp.

Donovan, T. M., M. Alldredge y P. Lukacs. 2005. Closed capture models. USGS Vermont Cooperative Fish and Wildlife Research Unit Spreadsheet Project. 145 pp.

Evans, P. G. H. 1987. The natural history of whales and dolphins. Christopher Helm. London, U. K.

Fiedler, P. C., S. B. Reilly, R. P. Hewitt, D. Demer, V. A. Philbrick, S. Smith, W. Armstrong, D. A. Croll, B. R. Tershy y B. R. Mate. 1998. Blue whale habitat and prey in the California Channel Islands. Deep-Sea Research II. 45: 1781-1801.

Fleischer, L. A. 2002. La Ballena Gris: Mexicana por nacimiento. La Ciencia para Todos. Fondo de Cultura Económica. 171 pp.

Gard, R. 1974. Aerial census of gray whales in Baja California lagoons, 1970 and 1973, with notes on behavior, mortality and conservation. Calif. Fish and Game. 60 (3): 132-134.

Gard, R. 1978. Aerial census and a populations dynamics study of gray whale in Baja California during the 1976 calving and mating season. Rep. PB 275 297. 20 pp.

Gerber, L. R., D. P. DeMaster y P. M. Kareiva. 1999. Gray whale and the value of manitoring data in implementing the U. S. Endangered Species Act. Conservation Biology. 13 (5): 1215-1219.

Green, G. A., J. J. Brueggeman, R. A. Grotefendt y C. E. Bowlby. 1995. Offshore distances of gray whales migrating along the Oregon and Washington coasts, 1990. Northwest Science. 69 (3): 223-227.

Guerrero, R. M., J. U. Ramírez y L. R. Bracho. 2006. Las ballenas del Golfo de California. Instituto Nacional de Ecología (INE-Semarnat). Primera edición. México. 537 pp.

Harvey, J. T. y B. R. Mate. 1984. Dive characteristics and movements of ratio-tagged gray whales in San Ignacio Lagoon, Baja California Sur, Mexico. En: M. L. Jones, S. L. Swartz y S. Leatherwood (Eds.). The Gray Whale, *Eschrichtius robustus*. Academic Press. New York. 561-575.

Heckel, G. 2001. Influencia del ecoturismo en el comportamiento de la ballena gris (*Eschrichtius robustus*) en la Bahía de Todos Santos, Baja California, y aguas adyacentes: Propuesta de un plan de manejo. Tesis de doctorado. Tesis de doctorado. Universidad Autónoma de Baja California. Ensenada, Baja California, México.109 pp.

Heckel, G., S. B. Reilly, J. L. Sumich y I. Espejel. 2001. The influence of whale watching on the behaviour of migrating gray whales (*Eschrichtius robustus*) in Todos Santos Bay and surrounding waters, Baja California México. J. Cetacean Res. Manage. 3 (3): 227-237.

Henderson, D. A. 1972. Men and whales at Scammon's Lagoon. Dawson's Book Shop. Los Angeles California. 315 pp.

Henderson, D. A. 1984. Nineteenth century gray whaling: Grounds, catches and kills, practices and depletion of the whale population. En: M. L. Jones, S. L. Swartz y S. Leatherwood (Eds.). The Gray Whale. Academic Press, London, UK. London, UK. 159-186 pp.

Herzing, D. L. y B. R. Mate. 1984. Gray whale migrations along the Oregon coast, 1978-1981. En: M. L. Jones, S. L. Swartz y S. Leatherwood (Eds.). The Gray Whale. Academic Press. London, UK. 289-308 pp.

Hessing, P. 1981. Gray whale (*Eschrichtius robustus*) migration into the Bering Sea, Spring 1981. Final contract report (#NA 61RGA 00080) prepared for the NOAA. Available from NMML, 7600 Sand Pt. Way, NE, Seattle, WA 98115. Seattle, WA.

Hickey, B. M. 1993. Physical oceanography. En: M. D. Dailey, D. J. Reish y J. W. Anderson (Eds.). Ecology of the Southern California Bight. A Síntesis and Interpretation. University California Press, Berkeley. 19-70 pp.

Hobbs, R. C. y D. J. Rugh. 1999. The abundance of gray whales in the 1997/98 southbound migration in the eastern North Pacific. Unpubl. doc. SC/51/AS10 submitted to Sci. Comm. of Int. Whal. Commn. 13 p.

Hobbs, R. C., D. J. Rugh, J. M. Waite, J. M. Breiwick y D. P. DeMaster. 1996. Preliminary estimate of the abundance of gray whales in the 1995/96 southbound migration. SC/48/AS9 presented to the IWC Scientific Commission, Junio 1996, Aberdeen, Escocia.

Hobbs, R. C., D. J. Rugh, J. M. Waite, J. M. Breiwick y D. P. DeMaster. 2004. Abundance of eastern North Pacific gray whales on the 1995/96 southbound migration. J. Cetacean Res. Manage. 6 (2): 115-120.

Hubbs, C. L. y L. C. Hubbs. 1967. Gray whale census by airplane in Mexico. Calf. Fish Games. 53 (1): 23-27.

Huggins, R. M. 1989. On the statistical analysis of capture experiments. Biometrika. 76 133-140.

Huggins, R. M. 1991. Some practical aspects of a conditional likelihood approach to capture experiments. Biometrics. 47 725-732.

IWC. 1993a. Report of the Special Meeting of the Scientific Committee on the Assessment of Gray Whales. Rep. Int. Whal. Commn. 43. 43: 241-259.

IWC. 1993b. Report of the Special Meeting of the Scientific Committee on the Assessment of Gray Whales. Annex E. Input used in the Hitter/Fitter simulation run. Rep. Int. Whal. Commn. 43:257.

Jones, M. L. y S. L. Swartz. 2002. Gray Whale Eschrichtius robustus. En: (Eds.). Enciclopedia of Marine Mammals. Academic Press San Diego. 1414 pp.

Juaréz, P. J. R. y W. H. F. Heisler. 2006. Caso 4: Terminal de Recibo, Almacenamiento y Regasificación de Gas Natural Licuado "Energía Costa Azul". En: (Eds.). Serie: Estudios de Casos. SEMARNAT, Subsecretaría de Gestión para la Protección Ambiental, Dirección General de Impacto y Riesgo Ambiental. 70 pp.

Laake, J. L., D. J. Rugh, J. A. Lerczak y S. T. Buckland. 1994. Preliminary estimates of population size of gray whales from the 1992/93 and 1993/94 shore-based surveys. Unpubl. doc. SC/46/AS7 submitted to Sci. Comm. of Int. Whal. Commn. 13 p.

Le Boeuf, B., M. H. Pérez-Cortés, J. R. Urbán, B. R. Mate y F. U. Ollervides. 2000. High gray whale mortality and low recruitment in 1999: potential causes and implications. J. Cetacean Res. Manage. 2 (2): 85-99.

LeDuc, R. G., D. W. Weller, J. Hyde, A. M. Burdin, P. E. Rosel, R. L. B. Jr., B. Würsig y A. E. Dizon. 2002. Genetic differences between western and eastern gray whales (*Eschrichtius robustus*). J. Cetacean Res. Manage. 4 (1): 1-5.

Lynn, R. J. y J. J. Simpson. 1987. The California current system: the seasonal variability of its physical characteristics. Journal of Geophysical Research. 92 (C12): 12947-12966.

Mate, B. R. y J. T. Harvey. 1984. Ocean movements of radio-tagged gray whales. En: M. L. Jones, S. L. Swartz y S. Leatherwood (Eds.). The Gray Whale, *Eschrichtius robustus*. Academic Press. New York. 577-589.

Mate, B. R. y J. Urbán R. 2003. A note on the route and speed of a gray whale on its northern migration from Mexico to central California, tracked by satellite-monitored radio tag. Journal of Cetacean Resource Management. 5 (2): 155-157.

MBC. 1989. Gray whale monitoring study. Final Report. U. S. Department of the Interior Minerals Management Service Pacific OCS Region. August 1989. Los Angeles, California. 169 pp.

Mead, J. G. y E. D. Mitchell. 1984. Atlantic gray whales. En: M. L. Jone, S. L. Swartz y S. Leatherwood (Eds.). The Gray Whale. Academic Press. London, UK. 33-53 pp.

NOAA. 2002. Gray whale stock assessment. NOAA Fisheries, Office of Protected Resources. 136-144 pp. http://www.nmfs.noaa.gov/prot_res/PR2/Stock_Assessment_Program/Cetaceans/Gray_Whale_(Eastern_N._Pacific)/AKO2graywhale_E.N.Pacific.pdf.(Octubre, 2005).

Otis, D. L., K. P. Burnham, G. C. White y D. R. Anderson. 1978. Statistical inference from capture data on closed animal populations. Wildlife Monographs 62. 135 pp.

Perryman, W., M. A. Donahue, J. L. Laake y T. E. Martin. 1999. Diel variation in migration rates of eastern Pacific gray whales measured with thermal imaging sensors. Marine Mammal Science. 15 (2): 426-445.

Perryman, W. L., M. A. Donahue, P. C. Perkins y S. B. Reilly. 2002. Gray whale calf production 1994-2000: Are observed fluctuations related to changes in seasonal ice cover? Marine Mammal Science. 18 (1): 121-144.

Perryman, W. L. y J. L. Laake. 1994. Gray whale day/night migration rates determined with infrared sensor. Unpubl. doc. SC/46/AS1 submitted to Sci. Comm. of Int. Whal. Commn. 16 p.

Perryman, W. L. y M. S. Lynn. 2002. Evaluation of nutritive condition and reproductive status of migrating gray whales (*Eschrichtius robustus*) based on analysis of photogrammetric data. J. Cetacean Res. Manage. 4 (2): 155-164.

Pike, G. C. 1962. Migration and feeding of the gray whale (*Eschrichtius gibbosus*). J. Fish. Res. Board Can. 19 (5): 815-838.

Poole, M. M. 1984a. Migration corridors of gray whales along the central California coast, 1980-1982. En: M. L. Jones, S. L. Swartz y S. Leatherwood (Eds.). The Gray Whale, *Eschrichtius robustus*. Academic Press. New York. 389-407 pp.

Poole, M. M. 1984b. Preliminary assessment of annual calf production in the gray whale, *Eschrichtius robustus*, from Pt. Piedras Blancas, California. Rep. Int. Whal. Comm. (Special Issue 6): 223-231.

Punt, A. E., C. Allison y G. Fay. 2004. An examination of assessment models for the eastern North Pacific gray whale based on inertial dynamics. J. Cetacean Res. Manage. 6 (2): 121-132.

Punt, A. E. y D. S. Butterworth. 2002. An examination of some of the assumptions made in the Bayesian approach used to assess the eastern North Pacific stock of gray whales (*Eschrichtius robustus*). J. Cetacean Res. Manage. 4 99-110.

Ramírez-Manguillar. 2005. Variabilidad estacional e interanual en el sistema de la Corriente de California frente a la costa de Baja California, México. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias Marinas. Universidad Autónoma de Baja California. Ensenada, B. C.

Reeves, R. R. 1984. Modern commercial pelagic whaling for gray whales. En: M. L. Jones, S. L. Swartz y S. Leatherwood (Eds.). The Gray Whale, *Eschrichtius robustus.* Academic Press. New York. 187-200 pp.

Reeves, R. R., B. D. Smith, E. A. Crespo y G. N. di Sciaria. 2003. Dolphins, whales and porpoise 2002-2010 Conservation Action Plan for the World's Cetaceans. IUCN/SSC Cetacean Specialist Group. 140 pp.

Reilly, S. B. 1984. Assessing gray whale abundance: A review. En: M. L. Jones, S. L. Swartz y S. Leatherwood (Eds.). The Gray Whale, *Eschrichtius robustus*. Academic Press. New York. 203-223.

Reilly, S. B. 1992. Population biology and status of eastern Pacific gray whales: Recent developments. pp. 1062-1074. En: D. R. M. y. R. H. Barrett (Eds.). Wildlife 2001: Populations. Elsevier Applied Science, N.Y.

Reilly, S. B., D. W. Rice y A. A. Wolman. 1980. Preliminary population estimate for the California gray whale based upon Monterrey shore censuses, 1967/68 to 1978/79. Rep. Int. Whal. Comm. 30 359-368.

Reilly, S. B., D. W. Rice y A. A. Wolman. 1983. Population assessment of gray whale, *Eschrichtius robustus*, from California shore censuses, 1967-80. Fishery Bulletin. 81 (2): 267-281.

Rice, D. W. y A. A. Wolman. 1971. The life history and ecology of the gray whale (*Eschrichtius robustus*). The American Society of Mammalogists. (Special Publication 3): 1-142.

Rice, D. W., A. A. Wolman y H. W. Braham. 1984. The gray whale, *Eschrichtius robustus*. Mar. Fish. Rev. 46 7-14.

Rivera Galicia, G. C. en preparación. Diversidad y distribución de odontocetos en aguas adyacentes a Ensenada, Baja California. Tesis de Maestría. Ecología Marina. Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada Ensenada, Baja California, México. 82 pp.

Rodríguez de la Gala, S. 2006. Cost of transport of migrating gray whales (*Eschrichtius robustus*), along Costa Azul, Baja California, Mexico. Tesis Maestría en Ciencias. Posgrado en Ciencias en Ecología Marina. Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada Ensenada, Baja California, México. 82 pp.

Rugh, D. J. 1984. Census of gray whales at Unimak Pass, Alaska, November-December 1977-1979. En: M. L. Jones, S. L. Swartz y S. Leatherwood (Eds.). The Gray Whale, *Eschrichtius robustus*. Academic Press. New York. 225-248.

Rugh, D. J., J. M. Breiwick, M. E. Dahlheim y G. C. Boucher. 1993. A comparison of independent, concurrent sighting records from a shore-based count of gray whales. Vildl. Soc. Bull. 21 427-437.

Rugh, D. J., R. C. Ferrero y M. E. Dahlheim. 1990. Inter-observer count discrepancies in shore-based census of gray whales (*Eschrichtius robustus*). Marine Mammal Science. 6 (2): 109-120.

Rugh, D. J., R. C. Hobbs, J. A. Lerczak y J. M. Breiwick. 2005. Estimates of abundance of the eastern North Pacific stock of gray whales (*Eschrichtius robustus*) 1997-2002. J. Cetacean Res. Manage. 7 (1): 1-12.

Rugh, D. J., J. A. Lerczak, R. C. Hobbs, J. M. Waite y J. L. Laake. 2002. Evaluation of high-powered binoculars to detect inter-year changes in offshore distribution of eastern North Pacific gray whales. J. Cetacean Res. Manage. 4 (1): 57-61.

Rugh, D. J., M. M. Muto, S. E. Moore y D. P. DeMaster. 1999. Status Review of the Eastern North Pacific Stock of Gray Whales. U.S. Dep. Commer., NOAA. Tech. Memo. NMFS-AFSC-103. 93 pp.

Rugh, D. J., K. E. W. Shelden y A. Schulman-Janiger. 2001. Timing of the gray whale southbound migration. J. Cetacean Res. Manage. 3 (1): 31-39.

Scammon, C. M. 1874. The marine mammals of the Northwestern Coast of North America. John H. Carmany & Co., San Francisco, California. 319 pp.

Schulman-Janiger, A. 1999a. Southbound gray whale migration timing off Los Angeles, 1985-99. Unpubl. doc. submitted to the Workshop to Review the Status of the Eastern North Pacific Stock of Gray Whales. 16-17 Marzo 1999. Seattle, WA.

Schulman-Janiger, A. 1999b. Southbound and northbound gray whale calf sightings off Los Angeles, 1984-99. Unpubl. doc. submitted to the Workshop to Review the Status of the Eastern North Pacific Stock of Gray Whales. Seattle, WA. 16-17 March 1999.

Schulman-Janiger, A. 2005. ACS/LA Gray whale census and behaviour project. American Cetacean Society's Los Angeles Chapter. 8 pp. http://www.acs-la.org/census06.htm.(Julio, 2007).

Shelden, K. E. W. y J. L. Laake. 2002. Comparison of the offshore distribution of southbound migrating gray whales from aerial survey data collected off Granite Canyon, California, 1979-96. J. Cetacean Res. Manage. 4 (1): 53-56.

Shelden, K. E. W. y D. J. Rugh. 2001. Gray whale calf sightings in California during southbound migrations, 1995-2001. Unpubl. doc. Submitted to Int. Whal. Comm. (SC/53/BRG4).

Shelden, K. E. W., D. J. Rugh y S. A. Boeve. 1995. Gray whale calf sightings during southbound migrations, 1952-95. J. Cetacean Res. Manage. (Special Issue 2.): (SC/47/AS4).

Shelden, K. E. W., D. J. Rugh y A. Schulman-Janiger. 2004. Gray whale born north of Mexico: indicator of recovery or consequence of regime shift? Ecological Applications. 14 (6): 1789-1805.

Smith, M. M. 2006. Gray whale count report 2006. Research and education project of American Cetacean Society–Channel Islands, CA and Cascadia Research Collective, Olympia, WA. September 19th. Santa Barbara, CA. 9 pp.

Sumich, J. L. 1983. Swimming velocities, breathing patterns, and estimated costs of locomotion in migrating gray whales, *Eschrichtius robustus*. Can. J. Zol. 61 (1): 647-652.

Swartz, S. L., M. L. Jones, J. Goodyear, D. E. Withrow y R. V. Miller. 1987. Radiotelemetric studies of gray whale migration along the California coast: a preliminary comparison of day and night migration rates. Rep. Int. Whal. Commn. 37:295-299.

Swartz, S. L., B. L. Taylor y D. J. Rugh. 2006. Gray whale *Eschrichtius robustus* population and stock identity. Mammal Rev. 36 (1): 66-84.

Tinker, S. W. 1988. Whales of the World. Bees Press, Inc. Honolulu, Hawaii. 310 pp.

Urbán R., J. 1998. La Ballena Gris en Baja California Sur 1996-1998. Informes Finales correspondiente a los permisos INE-SEMARNAP No. DOO 70 (2) 4772, No. DOO 750.-7458/97, No. DOO 750.-0427/98. México, D. F. 88 pp.

Urbán R., J., U. A. Gómez-Gallardo y S. Ludwig. 2003*a*. Abundance and mortality of gray whales at Laguna San Ignacio, Mexico, during the 1997-98 El Niño and the 1998-99 La Niña. Geofísica Internacional. 42 (3): 1-7.

Urbán R., J., L. Rojas-Bracho, H. Pérez-Cortés, A. Gómez-Gallardo, S. L. Swartz, S. Ludwig y R. L. Brownell Jr. 2003*b*. A review of gray whales (*Eschrichtius robustus*) on their wintering grounds in Mexican waters. J. Cetacean Res. Manage. 5 (3): 281-285.

Wade, P. R. 2002. A Bayesian stock assessment of the eastern Pacific gray whale using abundance and harvest data from 1967-1996. J. Cetacean Res. Manage. 4 85-98.

Wellington, G. M. y S. Anderson. 1978. Surface feeding by a juvenile gray whale *Eschrichtius robustus*. Fishery Bulletin. 76: 290-293 p.

White, G. C. y K. P. Burnham. 1999 Program MARK: Survival estimation from populations of marked animals Bird Study. 46 (Suplemento): 1-39.

Withrow, D. 1990. Aerial surveys of gray whales off the central California coast during the 1988 southbound migration. Paper SC/A90/G3 submitted to International Whaling Commission.

Wolman, A. A. 1985. The Gray Whale. Journal of Mammalogy. 66 (4): 829-830.

Würsig, B., F. Cipriano y M. Würsig. 1991. Information from ratio and teodolite tracking. University of California Press. Berkeley, California. USA. 397 pp.

XII. Apéndice I: Modelo de Huggins para poblaciones cerradas utilizando observaciones simultáneas e independientes.

Los modelos de Huggins se basan en un esquema de observaciones simultáneas e independientes, donde la verosimilitud condicional de *n* parejas de hembras-cría detectadas por uno o ambos equipos de observadores (base y réplica) está dada por la ecuación:

$$L_c(\beta, y) = \prod_{i=1}^{n} \frac{P_{i,\,base}{}^{y_{i,base}} (1 - P_{i,\,base})^{1-y_{i,base}} P_{i,\,réplica}{}^{y_{i,réplica}} (1 - P_{i,\,réplica})^{1-y_{i,réplica}}}{1 - (1 - P_{i,\,base})(1 - P_{i,\,réplica})}$$

la probabilidad condicional esta dada por el término del numerador de la ecuación, la cual representa la probabilidad que tiene una hembra-cría que fue detectada al menos una vez durante el estudio. Además

$$P_i = \frac{e^{xi,\,eq'\beta}}{1 + e^{xi,\,eq'\beta}}$$

es la probabilidad no condicional de detección para el equipo de observación *eq* (base y réplica) para la pareja de hembra-cría *i*, $xi,_{eq}$ representa la serie de covariantes asociadas a cada pareja de hembra-cría, β es la serie de coeficientes que serán estimados y

$$y_i = \begin{cases} 1, & \text{si la pareja de hembra-cría } i \text{ fue detectada por el equipo } eq \\ 0, & \text{si no ocurrió así} \end{cases}$$

representa las variables binarias que indican la detección específica de cada equipo de observación (Adaptado de Huggins, 1991; Buckland *et al.*, 1993; Perryman *et al.*, 2002).