

Modelado de captura incidental de lobo marino común en la Pesquería de Cerco

Joaquin Cavieres G.

METODOLOGÍA

En estadística frecuentista un modelo de regresión lineal generalmente considera lo siguiente; si tenemos $(x_i, \dots, x_{ip}, y_i)$, donde $i = 1, \dots, n$, n representa el número de observaciones, (x_1, \dots, x_p) representa el número de predictores p e y representa la variable respuesta, entonces un modelo lineal multivariado puede expresarse de la siguiente manera:

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_{i1} + \dots + \beta_p x_{ip} + \epsilon_i \quad (1)$$

el cual podemos escribirlo en forma matricial como:

$$\mathbf{y} = \mathbf{X}\boldsymbol{\beta} + \boldsymbol{\epsilon} \quad (2)$$

El modelo presentado en (2) generalmente asume que el vector de errores aleatorios $\boldsymbol{\epsilon}$ sigue una distribución Normal $(\mathbf{0}, \mathbf{I}\sigma^2)$, donde \mathbf{I} es la matriz de Identidad y σ^2 es la varianza asumida como constante. Los Modelos Lineales Generalizados (GLM, Nelder and Wedderburn, 1972) permiten que la variable respuesta no tenga exclusivamente una distribución Normal. Un GLM tiene la siguiente estructura básica:

$$\mathbf{g}(\mu_i) = \mathbf{X}_i \boldsymbol{\beta}, \quad (3)$$

donde $\mu_i \equiv E(\mathbf{y}_i)$, \mathbf{g} es la función de enlace, \mathbf{X}_i es la i -ésima observación de la matrix de covariables \mathbf{X} y $\boldsymbol{\beta}$ es el vector de parámetros desconocidos. Las observaciones \mathbf{y}_i son independientes y pertenecen a la familia de exponencial de distribuciones. Dentro de la familia exponencial de distribuciones podemos encontrar, por ejemplo, a la distribución de Poisson, Binomial, Gamma y la distribución Normal. En este tipo de modelos se asume que la distribución de los datos son modelados en función de una función de enlace para generar la linealidad entre la variable respuesta y el predictor lineal, por tanto, podemos incorporar dentro del predictor variables categóricas y continuas.

Sin embargo, aunque la flexibilidad de los GLM permite modelar distintas formas funcionales, una extensión de estos permite incluir una suma funciones “suaves” de covariables. Este tipo de modelos son los Modelos Aditivos Generalizados (GAM, Hastie and Tibshirani, 1990). Una estructura general de este tipo de modelos es la siguiente:

$$\mathbf{g}(\mu_i) = \mathbf{A}_i \boldsymbol{\theta} + f_1(x_{1i}) + f_2(x_{2i}) + \dots +, \quad (4)$$

donde $\mu_i \equiv E(\mathbf{y}_i)$ y $\mathbf{y}_i \sim EF(\mu_i, \phi)$. El vector \mathbf{y}_i denota la variable respuesta que pertenece a la familia Exponencial con media μ_i y un parámetro de escala ϕ . \mathbf{A}_i es una fila correspondiente a la matrix de observaciones \mathbf{A} parametrizada por el vector de parámetros $\boldsymbol{\theta}$ y f_j es una función ‘suave’ para las covariables x_k . La estimación de f se hace generalmente a través de funciones de base mediante la siguiente ecuación:

$$f(x) = \sum_{j=1}^k b_j(x) \beta_j, \quad (5)$$

donde b_j son funciones de base y β_j corresponde a los parámetros desconocidos a estimar.

Para estimar un valor medio por lance de capturas incidentales de lobos marinos, se modelaran las observaciones de acuerdo a las metodologías propuestas anteriormente y se evaluara el modelo con mejor desempeño estadístico a través del criterio AIC.

Las observaciones contienen una gran cantidad de valores '0', lo quiere decir que en el lance de pesca no se produjeron capturas incidentales de lobo marino común, por tanto el modelado a través de una distribución de Poisson no debería ser adecuado en este tipo de problemas (ya que asume que su media y varianza son iguales). Por lo anterior es que se modelaran las observaciones a través de una distribución Binomial-Negativa y Zero-Inflated Binomial Negativa con el fin de evitar la baja/sobre dispersión en los datos.

A continuación se presentan las pesquerías a evaluar junto con el número de valores '0' registrados y el número total de observaciones (**Tabla 1**).

Tabla 1. Información relacionada a las capturas incidentales de lobo marino común en la Pesquería de Cerco entre los años 2015 y 2019.

Información	Valores '0'	N° Observaciones
Base de datos total	4877	6670
Información por pesquería		
JUREL INDUSTRIAL CENTRO SUR	1674	1913
ANCHOVETA ARTESANAL ZONA NORTE	347	486
ANCHOVETA JUREL ARTESANAL CENTRO NORTE	85	120
SARDINA-ANCHOVETA ARTESANAL CENTRO SUR	528	959
SARDINA-ANCHOVETA INDUSTRIAL CENTRO SUR	171	308
ANCHOVETA INDUSTRIAL ZONA NORTE	1972	2700
SARDINA AUSTRAL ARTESANAL CENTRO SUR	100	184

RESULTADOS

Sólo para tener una mayor comodidad en el modelado se re-categorizaron los nombres de las variables de la base de datos original. Los nuevos nombres de estas variables son los siguientes:

Tabla 2. Variables de entrada a los modelos iniciales propuestos.

Nombre variable	Codificación
codpesq	cod_pesq
nom_pesque	nom_pesq
esp_obj_la	esp_obj
year_l	ano
mes_l	mes

Dado lo anterior es que las variables utilizadas para modelar las capturas incidentales de lobo marino común son:

- num_lam = Número del lance aleatorio en donde se registró el lance.
- ano = Año en el cual se registró la observación. La serie con observaciones contempla desde el año 2015 a 2019.
- trim = Trimestre dentro del año cuando se realizó el lance.
- repro = Época de reproducción del lobo marino. La etiqueta '1' indica época reproductiva del lobo marino común en que se registró el lance y la etiqueta '2' indica que el lance fue realizado en una época no reproductiva.
- estado_mar = Estado del mar cuando se registró el lance de pesca. Las etiquetas son: 0 = Calma, 1 = Llana, 2 = Rizada, 3 = Marejadilla, 4 = Marejada, 5 = Gruesa, 6 = Muy gruesa, 7 = Arbolada, 8 = Montañosa y 9 = Confusa.
- dist_lob = Distancia en kilómetros de la lobera más cercana en donde se tomó el registro del lance.
- dis_cost = Distancia a la costa desde donde se registró el lance.
- prof_med = Profundidad media en la cual se registraron las capturas asociadas al lance de pesca.
- Tsm = Temperatura superficial del mar registrada en el momento del lance de pesca.
- captura.to = Capturas totales de la especie objetivo en el lance de pesca.
- total_aves = Capturas totales de aves asociadas a cada lance de pesca.

La variable respuesta es 'loboc' que indica el número de lobos capturados incidentalmente por cada lance de pesca.

a) Jurel Industrial Centro Sur

La frecuencia de capturas '0' (sin capturas incidentales de lobo marino) es bastante alta y los lances con capturas positivas (mayores a 0) alcanzaron un máximo de 60 lobos capturados por lance (Figura 1).

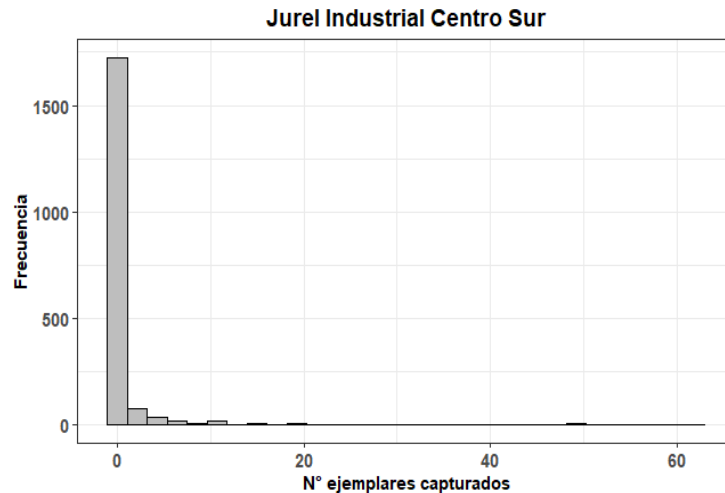


Figura 1. Frecuencia de capturas por cada lance de pesca. Los valores '0' indican lances sin captura incidental de lobo marino y los valores positivos indican lances con capturas incidentales. Pesquería Jurel Industrial Centro Sur.

Las estimaciones del modelo muestran que las variables significativas dentro del modelo son el año ('ano') y el trimestre ('trim'). Los niveles relacionados al año con mayor importancia son el año 2018 y 2019, mostrando un incremento de las capturas con valores '0' el año 2018. La distancia a la lobera ('dist_lob') aparece como una variable importante en la explicación de la variable respuesta seguida por la profundidad media ('prof_med') con el mismo nivel de significancia estadística en ambas variables (**Tabla 3**).

El gráfico cuantil-cuantil muestra una buena bondad de ajuste pero con una leve dispersión hacia el cuantil 0.75 pero dentro del intervalo de confianza estimado (**Figura 3**).

El efecto aleatorio espacial integrado a través de un Thin Plate Spline muestra una alta significancia estadística y reflejando que la variabilidad espacial de las observaciones se concentra mayormente en entre los puntos -30 latitud y -76 longitud (**Figura 4**).

El número promedio de lobos capturado por lance de pesca estimado es de 3.06.

Tabla 3. Estimación de parámetros de interés mediante un Modelo Aditivo Generalizado (GAM) para el Jurel Industrial Centro Sur.

Parametric coefficients:				
	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z)
(Intercept)	1.121	2.061	0.544	0.587
ano2016	-0.605	0.550	-1.100	0.271
ano2017	-1.445	0.566	-2.554	0.011*
ano2018	-2.362	0.562	-4.200	0.000***
ano2019	-2.817	0.602	-4.677	0.000***
repro2	0.594	0.371	1.601	0.109
dist_lob	-0.005	0.013	-0.411	0.681
prof_med	-0.015	0.007	-2.131	0.033*
trim2	-1.413	0.386	-3.660	0.000***
trim3	-1.258	0.452	-2.784	0.005**
trim4	-0.111	0.409	-0.270	0.787

Approximate significance of smooth terms:				
	edf	Ref.df	Chi.sq	p-value
s(lon,lat)	62.05	85.04	165	0.000**

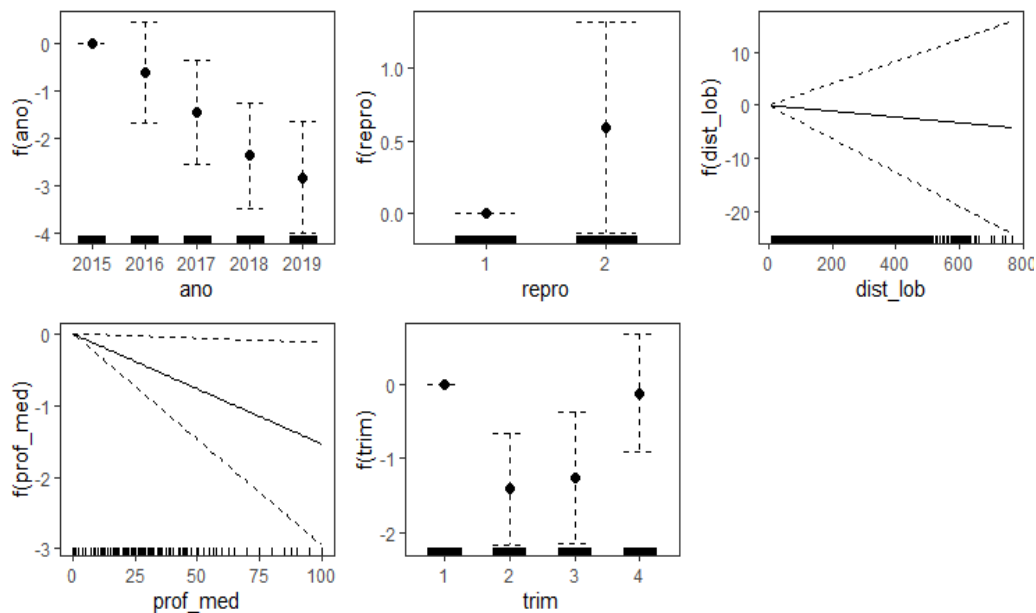


Figura 2. Efecto fijos de las variables dentro del modelo para Jurel Industrial Centro Sur

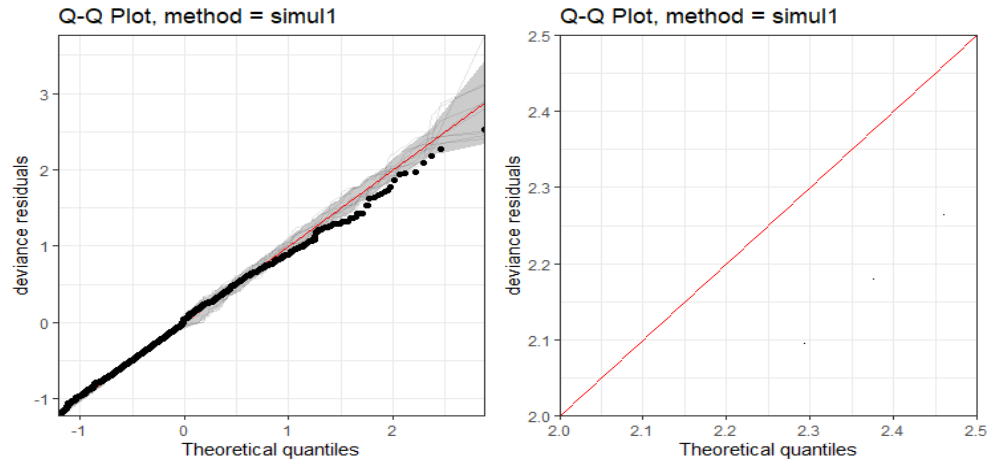


Figura 3. Gráfico cuantil-cuantil para el modelo propuesto en el Jurel Industrial Centro Sur

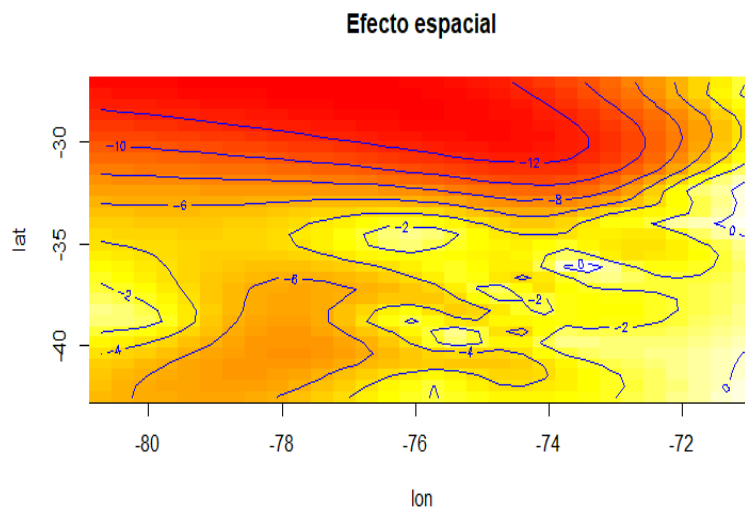


Figura 4. Efecto aleatorio espacial con un Thin Plate Spline generalizado (Duchon Spline) dentro del modelo para Jurel Industrial Centro Sur.

b) Anchoveta Artesanal Zona Norte

La figura X muestra la distribución de capturas incidentales relacionadas con la Anchoveta Artesanal de la Zona Norte. Como se aprecia la cantidad de lances sin lobos capturados incidentalmente (valor '0') es mayor a las 300 observaciones, teniendo un máximo de 40 lobos capturados incidentalmente en un mismo lance (Figura 5)

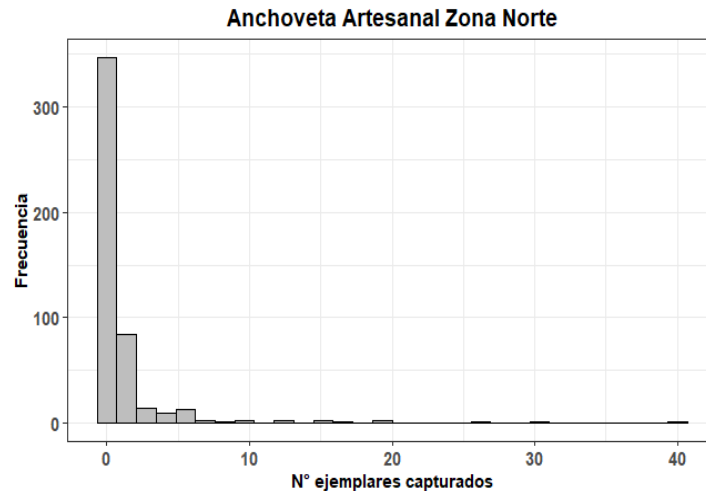


Figura 5. Frecuencia de capturas por cada lance de pesca. Los valores '0' indican lances sin captura incidental de lobo marino y los valores positivos indican lances con capturas incidentales. Pesquería Anchoveta Artesanal Zona Norte.

El modelo con mejor desempeño estadístico fue un GAM en donde la variable respuesta 'loboc' fue modelada mediante una distribución Zero-Inflated Binomial Negativa. Los efectos fijos (covariables) que tienen una significativa influencia en el comportamiento de la variable respuesta son: 'repro', 'estado_mar' y la variable 'captura.to'. Adicionalmente, dentro del predictor lineal, se incorporaron las coordenadas geográficas latitud – longitud con el fin de determinar si la variación espacial tiene algún grado de importancia dentro del modelo propuesto. Las coordenadas fueron modeladas mediante un efecto aleatorio espacial (Thin Plate Spline generalizado) y representaron una leve mejoría en relación a un GLM sin el efecto espacial. Los resultados se presentan en la siguiente tabla (Tabla 4).

Tabla 4. Estimación de parámetros de interés mediante un Modelo Aditivo Generalizado (GAM) para la Anchoveta Artesanal Zona Norte.

Parametric coefficients:				
	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z)
(Intercept)	-0.897	2.084	-0.430	0.667
ano2018	0.119	0.385	0.309	0.758
ano2019	-0.041	0.365	-0.112	0.910
repro2	2.836	1.075	2.639	0.008**
estado_mar1	0.693	0.320	2.164	0.030*
estado_mar2	0.411	0.312	1.317	0.188
estado_mar3	0.010	0.351	0.029	0.977
estado_mar4	-12.172	145.471	-0.084	0.933
tsm	-0.093	0.096	-0.963	0.336
captura.to	0.000	0.000	-2.048	0.041*
dist_lob	-0.017	0.013	-1.374	0.169
Approximate significance of smooth terms:				
	edf	Ref.df	Chi.sq	p-value
s(lon,lat)	15	15	18.630	0.252

Realizando la conversión a escala natural para la estimación de intercepto (-0.897) obtenemos un valor de 0.41 lobos capturados incidentalmente por lance en la pesquería de Anchoveta Artesanal Zona Norte. Aunque la significancia del efecto espacial no es alta (0.252 p-value), si se logra alcanza una leve mejora en el criterio de AIC en comparación con otros modelos y otras distribuciones de probabilidad. La variable 'repro' aparece como significativa dentro del análisis, específicamente la categoría '2', dando a comprender que los lances se concentran en épocas donde no hay época reproductiva. La variable 'estado_mar' y con una condición 'llana' permite que se realice la operación de pesca normalmente ya que los demás niveles dentro de este factor no aparecen como significativos o importantes. Importante resaltar es que las capturas totales ('capturas.to') de la especie objetivo tiene una directa relación con las capturas incidentales de lobos marinos (**Figura 6**).

El gráfico cuantil-cuantil indica una buena bondad de ajuste del modelo en donde sólo se presenta una leve dispersión en el tercer cuartil pero dentro del intervalo de confianza estimado (**Figura7**)

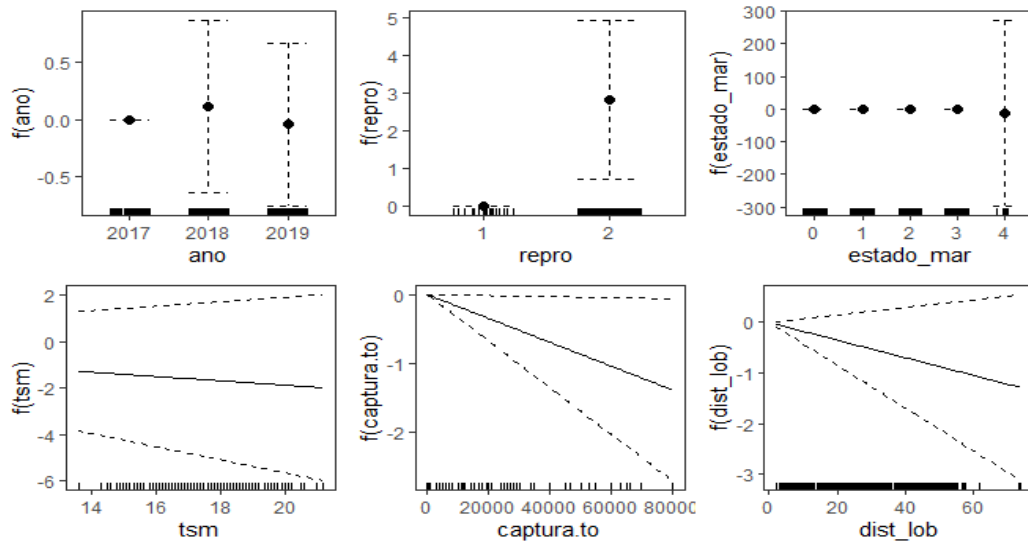


Figura 6. Efecto fijos de las variables dentro del modelo para Anchoveta Artesanal Zona Norte

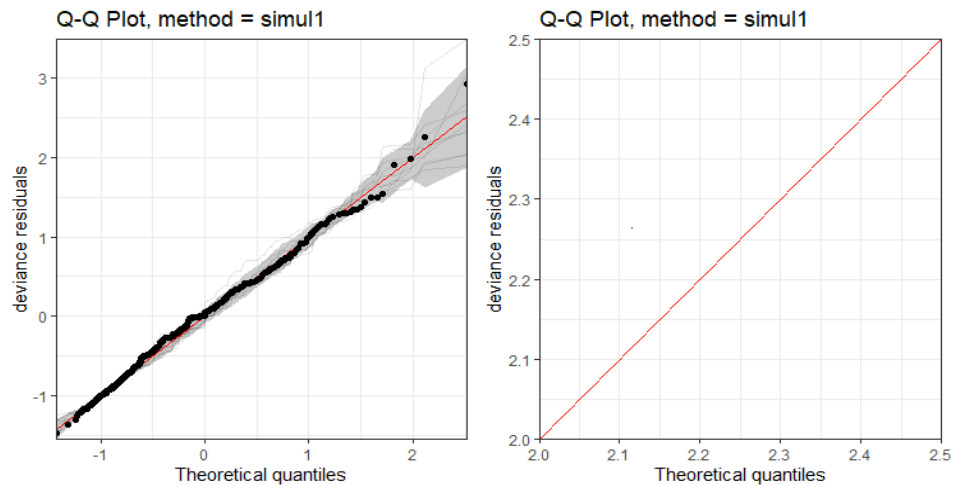


Figura 7. Gráfico cuantil-cuantil para el modelo propuesto en la Anchoveta Artesanal Zona Norte.

Aunque el efecto aleatorio espacial no aparece con una alta significancia estadística nos permite obtener un modelo más robusto considerando el criterio de AIC en comparación con un modelo Binomial Negativo. La mayor correlación y dependencia de las observaciones se concentran entre los -22 grados latitud y los -71.5 grados longitud (**Figura 8**).

El número promedio de capturas incidentales de lobo marino común en la pesquería de Anchoveta Artesanal Zona Norte fue de 0.41 por lance de pesca.

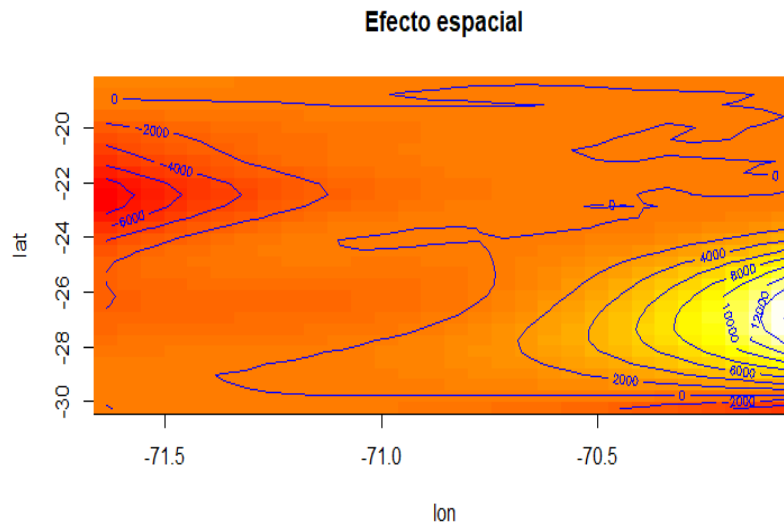


Figura 8. Efecto aleatorio espacial con un Thin Plate Spline generalizado (Duchon Spline) dentro del modelo para Anchoveta Artesanal Zona Norte.

c) Anchoveta Jurel Artesanal Centro Sur

La frecuencia de las capturas incidentales en los lances de pesca orientados a la Anchoveta Jurel Artesanal Centro Sur se presenta en la siguiente figura (**Figura 9**). Nuevamente existe una gran cantidad de lances sin capturas incidentales (valores '0'), sobrepasando los 85 lances, en cambio la cantidad de lances con capturas incidentales positivas se distribuye desde los 1 lobo capturados por lance hasta los 45 individuos capturados por lance.

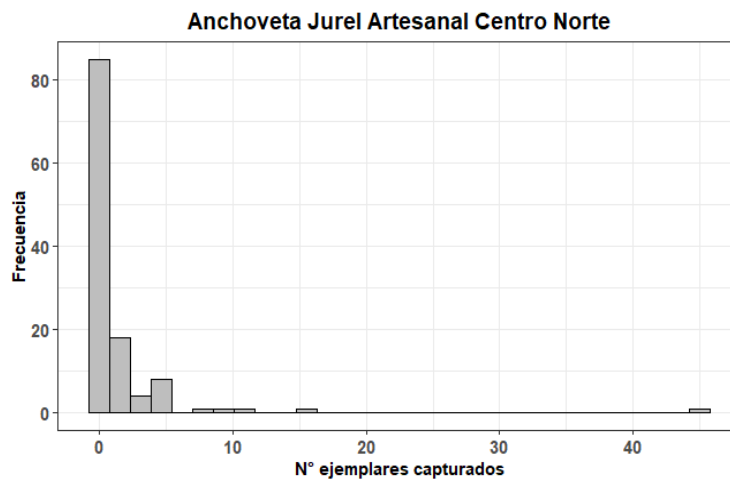


Figura 9. Frecuencia de capturas por cada lance de pesca. Los valores '0' indican lances sin captura incidental de lobo marino y los valores positivos indican lances con capturas incidentales. Pesquería Anchoveta Jurel Artesanal Centro Norte.

A continuación se presentan los resultados de un modelo GAM el cual también incorpora la variabilidad espacial como un factor relevante para explicar las capturas incidentales de lobo marino común en esta pesquería (**Tabla 5**). Una de las variables que aparece como relevante es la época de reproducción (en este caso la categoría '2') y que demuestra que las capturas se realizan generalmente en épocas donde no hay periodo reproductivo de los lobos. Otra variable que aparece importante pero no significa dentro del análisis es el número del lance ('num_lan'), si bien estos son aleatorios dentro del muestreo a bordo de los barcos, los registros indican que son 5 las observaciones que se hacen generalmente y la mayor concentración de ellos se encuentra en los lances 1 y 2. El año también aparece como una variable importante dentro del análisis pero esto se da preferentemente ya que el año ('ano') es tratado como un factor dentro del modelo, por lo tanto las combinaciones entre los niveles de esta variable (2018 y 2019 son los años con observaciones), se concentran en un solo nivel (**Figura 10**). El gráfico cuantil-cuantil indica un buen ajuste del modelo pero los intervalos de confianza presentan una mayor expansión hacia el tercer cuartil, sin embargo las observaciones se mantienen en la recta esperada por cada cuartil (**Figura 11**).

Tabla 5. Estimación de parámetros de interés mediante un Modelo Aditivo Generalizado (GAM) para la Anchoqueta Jurel Artesanal Centro Sur.

Parametric coefficients:				
	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z)
(Intercept)	-1.476	1.468	-1.005	0.315
num_lan	-0.421	0.253	-1.666	0.096
ano2019	0.558	1.377	0.405	0.685
repro2	2.217	0.629	3.525	0.000***

Approximate significance of smooth terms:				
	edf	Ref.df	Chi.sq	p-value
s(lon,lat)	2	2	4.36	0.11

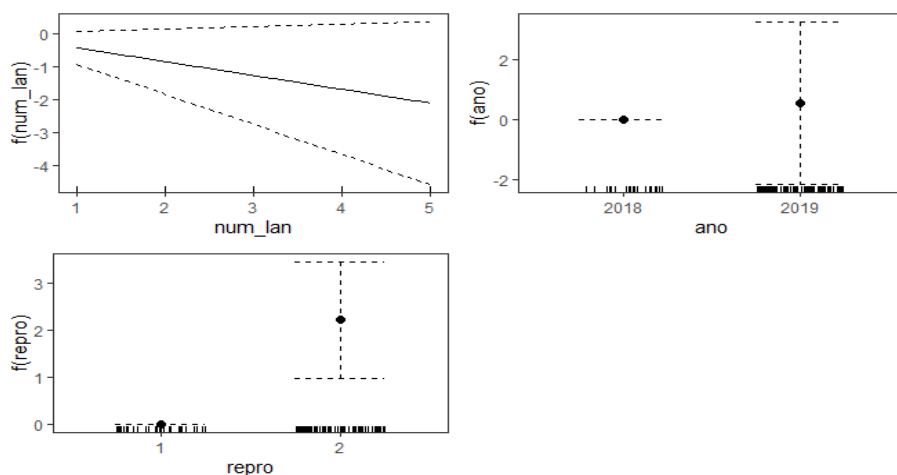


Figura 10. Efecto fijos de las variables dentro del modelo para Anchoqueta Jurel Artesanal Centro Sur.

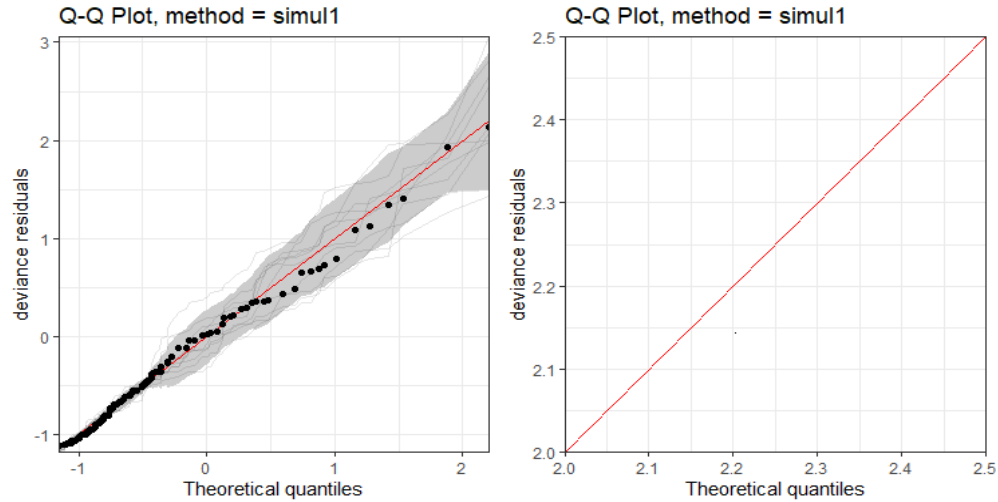


Figura 11. Gráfico cuantil-cuantil para el modelo propuesto en la Anchoveta Jurel Artesanal Centro Sur.

En este caso el efecto aleatorio espacial es introducido mediante un Thin Plate Spline con aproximación de matrices dispersas que no contempla una forma definida de la matriz de covarianza sino que a través de funciones de base radial. La mayor concentración de capturas incidentales está entre los -24 grados latitud y -71.4 grados longitud (**Figura 12**).

El número promedio de capturas incidentales de lobo marino común en la pesquería de Anchoveta Jurel Artesanal Centro Sur fue de 0.22 por lance de pesca.

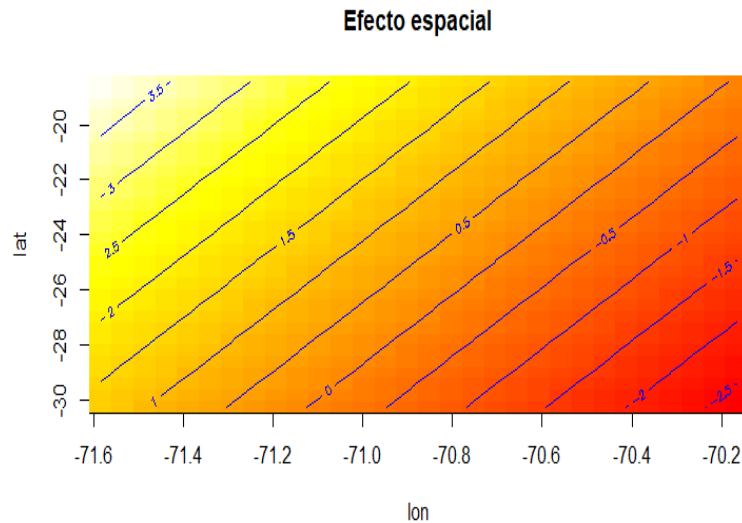


Figura 12. Efecto aleatorio espacial Thin Plate Spline dentro del modelo para Anchoveta Jurel Artesanal Centro Sur

d) Sardina Anchoqueta Artesanal Centro - Sur

Las capturas incidentales de lobo marino común en la pesquería de Sardina Anchoqueta Artesanal Centro Sur tienen un máximo de 100 lobos por lance en el año 2016, siendo un registro bastante alto considerando las otras pesquerías, sin embargo esto no significa que la mortalidad en este tipo de lance sea alta debido a los dispositivos de escapes que las redes presentan o simplemente pueden escapar en la cubierta del barco cuando la red es subida a bordo (**Figura 13**).

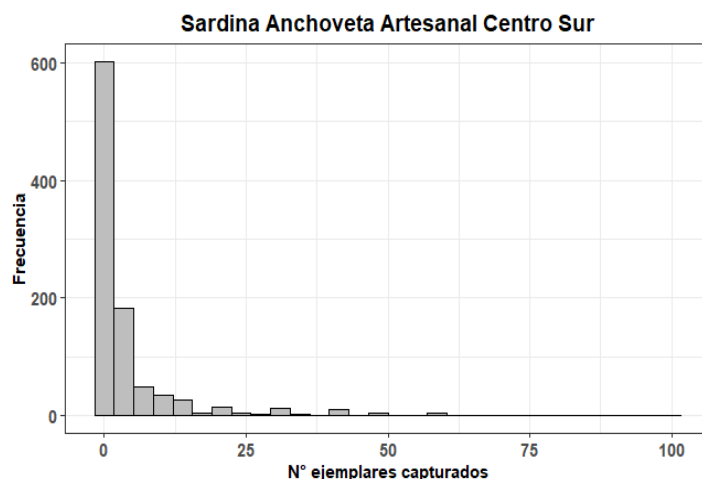


Figura 13. Frecuencia de capturas por cada lance de pesca. Los valores '0' indican lances sin captura incidental de lobo marino y los valores positivos indican lances con capturas incidentales. Pesquería Sardina Anchoqueta Artesanal Centro Sur.

Las estimaciones muestran que la categoría '2' relacionada a la época de reproducción también es significativa en esta pesquería. En este modelo aparece la variable 'dist_lob' y la variable 'dis_cost' como importantes pero no significantes dentro del análisis, en cambio el efecto aleatorio espacial modelado como un Thin Plate Spline generalizado si tiene una alta significancia estadística (p-value) lo que nos indica una alta correlación de las observaciones entre los -41 grados latitud y -73 grados longitud (**Figura 16**). La variable 'prof_med' también aparece como importante a la hora de explicar el comportamiento de las capturas incidentales de lobo marino común en esta pesquería pero no significativa estadísticamente (**Tabla 6**).

Tabla 6. Estimación de parámetros de interés mediante un Modelo Aditivo Generalizado (GAM) para la Sardina Anchoqueta Artesanal Centro Sur.

Parametric coefficients:				
	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z)
(Intercept)	-0.492	0.848	-0.580	0.562
repro2	2.013	0.696	2.892	0.004**
dis_cost	-0.007	0.014	-0.459	0.646
dist_lob	-0.004	0.010	-0.427	0.670
prof_med	-0.002	0.010	-0.183	0.855

Approximate significance of smooth terms:				
	edf	Ref.df	Chi.sq	p-value
s(lon,lat)	19.8	99	55.58	9.76E-08***

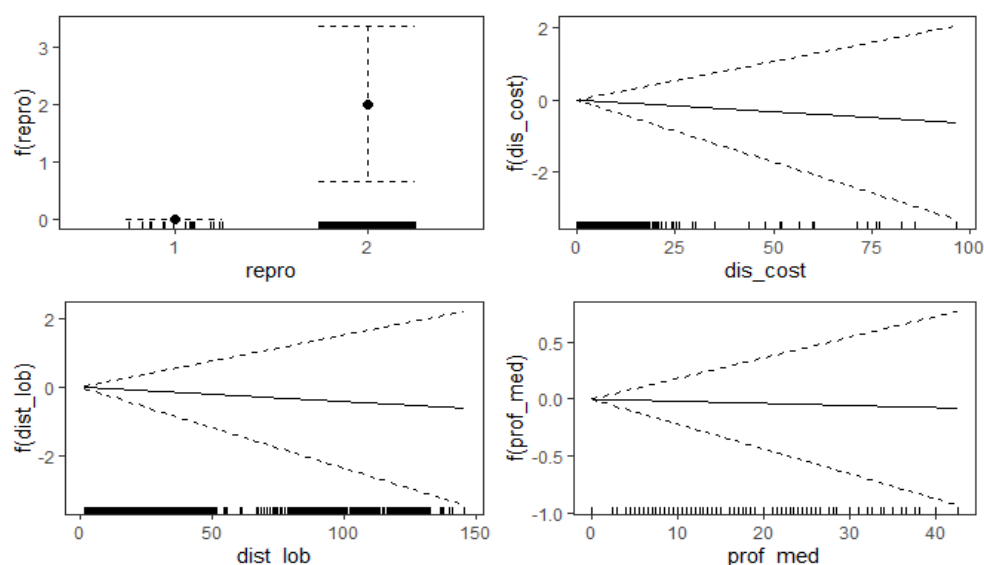


Figura 14. Efecto fijos de las variables dentro del modelo para la Sardina Anchoqueta Artesanal Centro Sur

El diagnostico de cuantil-cuantil teórico versus la devianza de los residuales muestra que en el último cuartil se presenta una leve inclinación pero dentro del intervalo de confianza estimado (**Figura 15**).

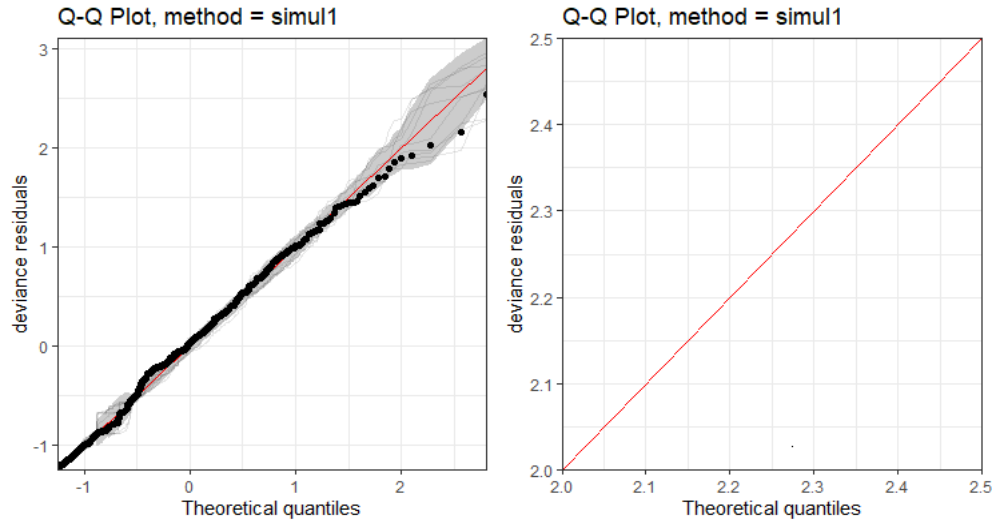


Figura 15. Gráfico cuantil-cuantil para el modelo propuesto en la Sardina Anchoqueta Artesanal Centro Sur

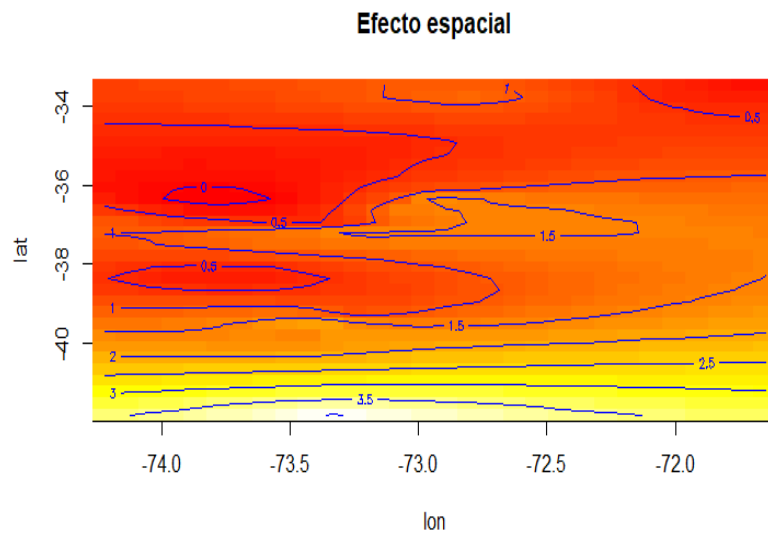


Figura 16. Efecto aleatorio espacial Thin Plate Spline generalizado dentro del modelo para la Sardina Anchoqueta Artesanal Centro Sur.

El número promedio de capturas incidentales de lobo marino común en la pesquería de la Sardina Anchoqueta Artesanal Centro Sur fue de 0.61 por lance de pesca.

e) Sardina Anchoveta Industrial Centro Sur

En los lances de pesca orientados a la Sardina Anchoveta Industrial Centro Sur se contabilizó un máximo de 80 lobos capturados por lance en la serie analizada, valor menor en comparación a los 100 lobos máximos capturados en la pesquería Artesanal de esta misma especie. La frecuencia de valores '0' observada alcanzo los 171 lances sin pesca incidental de lobos marinos (**Figura 17**).

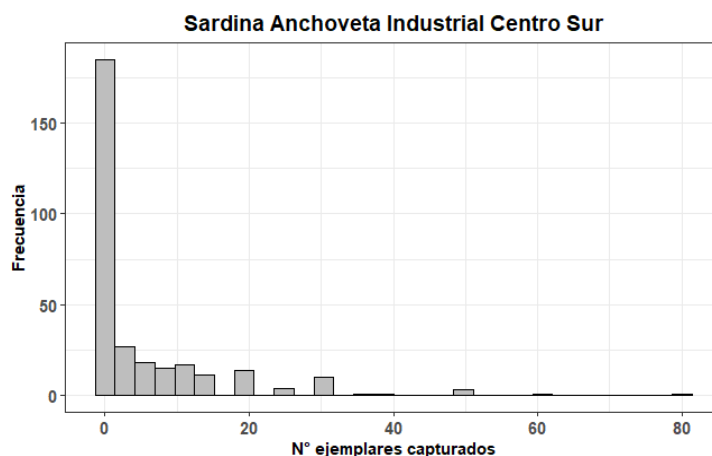


Figura 17. Frecuencia de capturas por cada lance de pesca. Los valores '0' indican lances sin captura incidental de lobo marino y los valores positivos indican lances con capturas incidentales. Pesquería Sardina Anchoveta Industrial Centro Sur.

En comparación con los modelos anteriormente presentados, el efecto espacial en esta pesquería no tiene una relación directa o dependiente en alguna forma funcional con las capturas incidentales, por lo que el modelo con mejor desempeño estadístico fue un modelo Binomial Negativo y sólo considerando efectos fijos.

Las estimaciones muestran que la variable año ('ano') es significativa especialmente en las categorías 2017 y 2018. La variable estado del mar ('estado_mar') aparece significativa y la mayoría de sus niveles son informativos a la hora de explicar el comportamiento de las capturas incidentales. La captura total de aves ('total_aves') aparece por primera vez como significativa e indica que existe una directa relación entre sus capturas dentro del lance de pesca y las capturas de lobos marinos. Por último el efecto fijo trimestre ('trim') es importante en todos sus niveles siendo el nivel '3' con una mayor significancia en comparación con los demás, indicando que la mayor cantidad de capturas incidentales se producen en este periodo del año en esta pesquería (**Tabla 7**)

Tabla 7. Estimación de parámetros de interés mediante un Modelo Binomial-Negativo para la Sardina Anchoveta Industrial Centro Sur.

	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z)
(Intercept)	-0.257	0.956	-0.269	0.788
ano2016	0.597	0.330	1.808	0.071
ano2017	1.092	0.395	2.761	0.006
ano2018	1.014	0.473	2.146	0.032
repro2	0.892	0.456	1.957	0.050
estado_mar1	-1.052	0.501	-2.102	0.036
estado_mar2	-1.515	0.499	-3.035	0.002
estado_mar3	-2.050	0.520	-3.943	0.000
estado_mar4	-2.399	0.641	-3.743	0.000
estado_mar5	-1.891	0.901	-2.097	0.036
dist_lob	0.009	0.008	1.225	0.220
total_aves	0.034	0.004	7.892	0.000
trim2	-0.597	0.527	-1.132	0.257
trim3	1.983	0.511	3.879	0.000
trim4	0.958	0.372	2.575	0.010

El valor medio de capturas incidentales por lance en esta pesquería es de 0.77 lobos, indicando un nivel bastante menor en comparación con las otras pesquerías evaluadas.

f) Anchoveta Industrial Zona Norte

El número de lances sin capturas incidentales en la pesquería de Anchoveta Industrial Zona Norte es de 1972 y el máximo de capturas incidentales (en los lances positivos) es de 100 (**Figura 18**). La frecuencia está totalmente basada en los valores 0 y la disminución hacia la derecha del histograma presenta una caída pronunciada pero la proporción de capturados/ no capturados por lance de pesca es de 27% versus un 73% respectivamente.

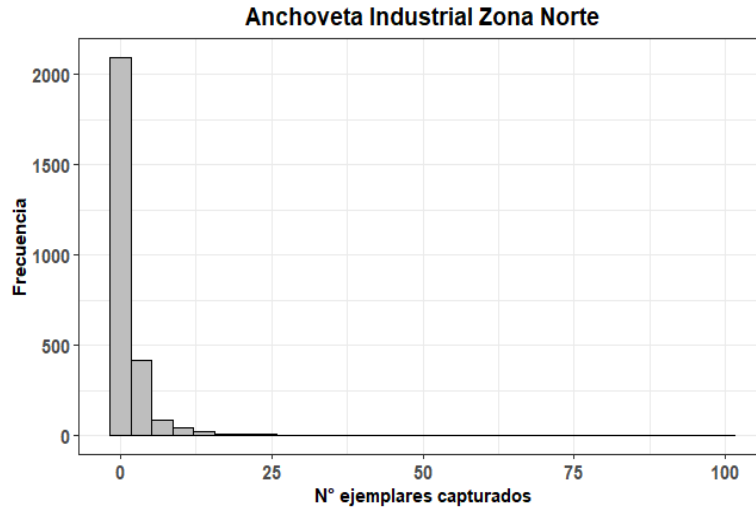


Figura 18. Frecuencia de capturas por cada lance de pesca. Los valores '0' indican lances sin captura incidental de lobo marino y los valores positivos indican lances con capturas incidentales. Pesquería Anchoveta Industrial Zona Norte.

Las estimaciones del modelo indican que la variable año ('ano') tiene una alta significancia estadística dentro del análisis indicando una importancia media sobre las capturas incidentales de lobo marino, sobretodo en el año 2019, que es cuando se registró una mayor cantidad de observaciones en todo el espectro de los registros (lances positivos como lances '0'). La variable distancia a la costa ('dis_cost') también aparece como significativa junto con la variable temperatura superficial del mar 'tsm'. En esta pesquería tampoco un efecto espacial fue apropiado o significativo para explicar las capturas incidentales (**Tabla 8, Figura 19**).

El gráfico cuantil-cuantil muestra una asimetría cerca del tercer cuantil y fuera del intervalo de confianza. Este problema se corrige en el último tramo de los residuales (**Figura 20**).

La incorporación de un efecto aleatorio espacial a través de un Gaussian Process mejoró el desempeño estadístico del modelo el cual muestra que este efecto tiene una importancia media en las capturas incidentales de lobo marino (**Figura 21**).

Tabla 8. Estimación de parámetros de interés mediante un Modelo GAM para la Anchoveta Industrial Zona Norte.

Parametric coefficients:				
	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z)
(Intercept)	0.888	0.598	1.485	0.138
ano2018	0.394	0.164	2.398	0.017*
ano2019	1.546	0.164	9.428	2E-16***
dis_cost	-0.014	0.006	-2.405	0.016*
tsm	-0.082	0.035	-2.368	0.018*
prof_med	0.004	0.007	0.524	0.600
dist_lob	0.004	0.006	0.596	0.551

Approximate significance of smooth terms:				
	edf	Ref.df	Chi.sq	p-value
s(lon,lat)	2	2	7.308	0.0492*

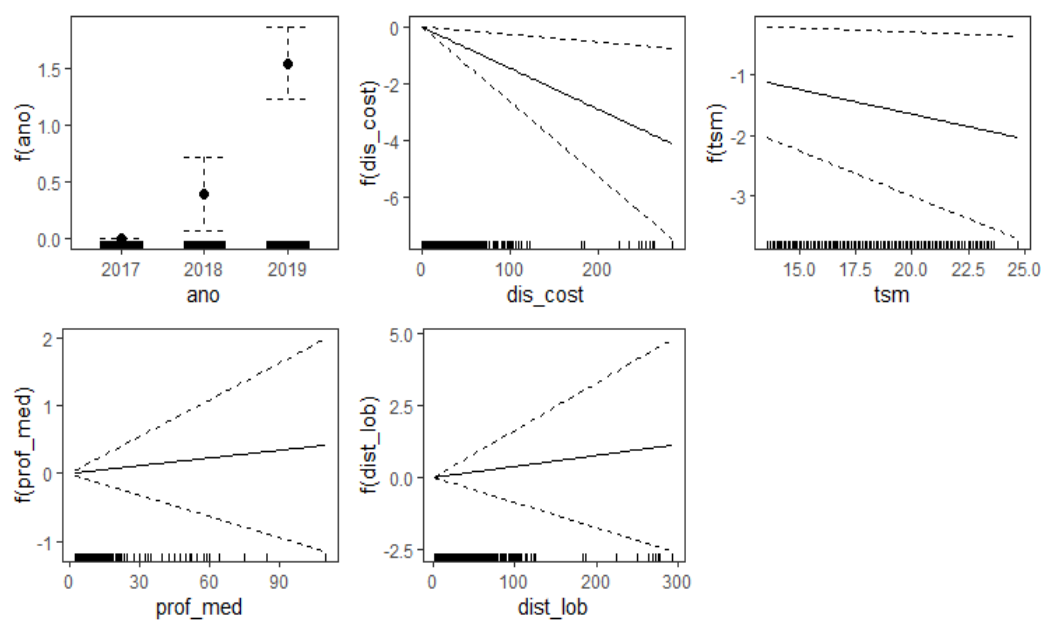


Figura 19. Efecto fijos de las variables dentro del modelo para la Anchoveta Industrial Zona Norte.

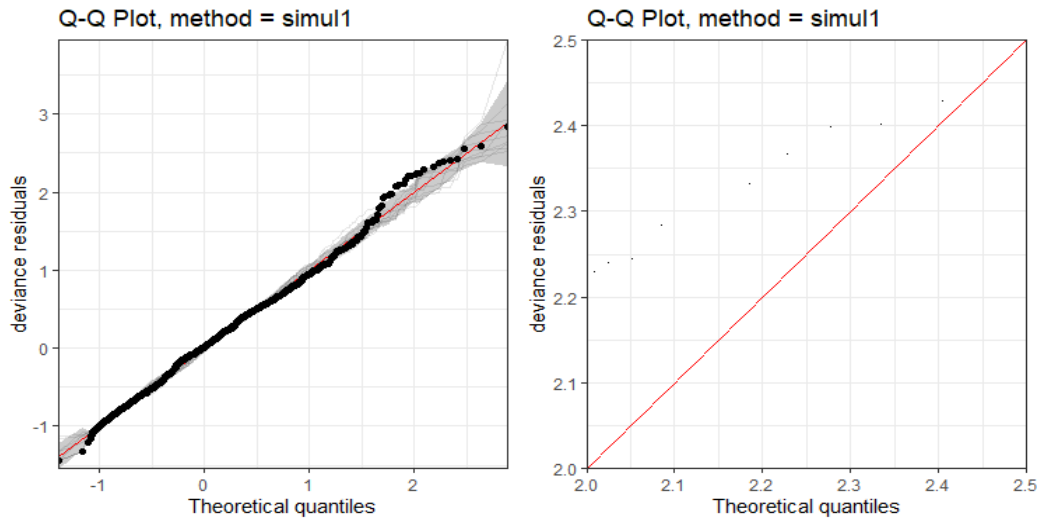


Figura 20. Gráfico cuantil-cuantil para el modelo propuesto en la Anchoveta Industrial Zona Norte.

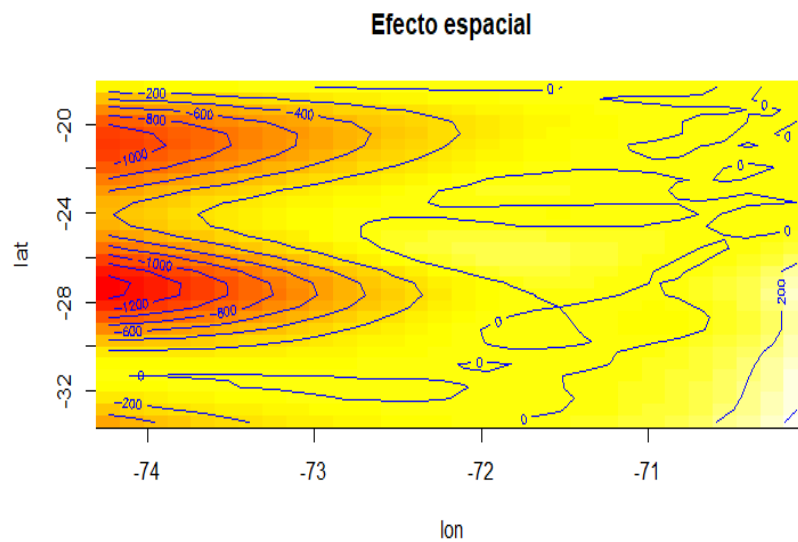


Figura 21. Efecto aleatorio espacial a través de un Gaussian Process dentro del modelo para la Anchoveta Industrial Zona Norte.

El número promedio de capturas incidentales de lobo marino común en la pesquería de la Anchoveta Industrial Zona Norte fue de 2.43 por lance de pesca.

g) Sardina Austral Artesanal Centro Sur

La frecuencia de capturas incidentales en la pesquería de Sardina Austral Artesanal Centro Sur muestra que el mayor número de lobos marinos capturados fue de 50 ejemplares en un solo lance y con una concentración de valores '0' del orden de las 100 observaciones (**Figura 22**).

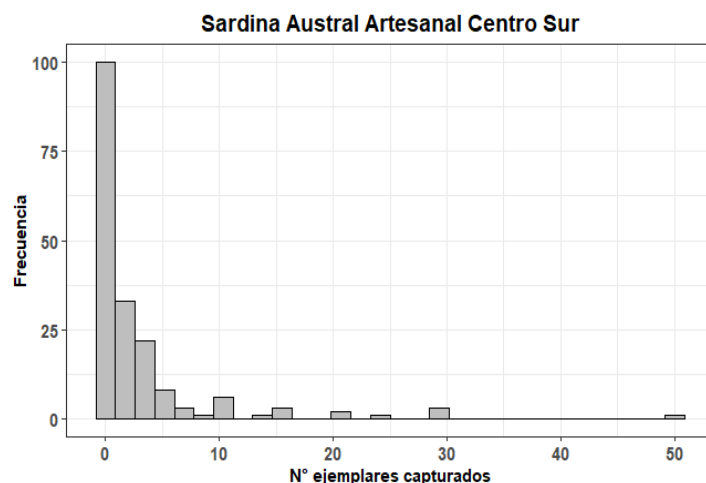


Figura 22. Frecuencia de capturas por cada lance de pesca. Los valores '0' indican lances sin captura incidental de lobo marino y los valores positivos indican lances con capturas incidentales. Pesquería Sardina Austral Artesanal Centro Sur.

La estimación de los parámetros asociados a las variables de interés se presentan en la siguiente tabla (**Tabla 9**). La tabla muestra que el nivel '2' de la variable 'trim' es altamente significativa, infiriéndose la idea de que las capturas incidentales podrían aumentar en esta época del año. La variable 'dist_lob' también tiene un grado de importancia en la variable respuesta junto con el Intercepto que lo es en mayor medida. Cabe resaltar la importancia del efecto aleatorio espacial con una alta significancia estadística, lo que nos indica una alta dependencia espacial de las observaciones en la zona de estudio (**Figura 23**).

Tabla 9. Estimación de parámetros de interés mediante un Modelo GAM para la Sardina Austral Artesanal Centro Sur

Parametric coefficients:				
	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z)
(Intercept)	-2.313	0.809	-2.860	0.004**
ano2018	0.063	0.577	0.109	0.913
ano2019	-0.405	0.458	-0.883	0.377
dis_cost	-0.047	0.192	-0.245	0.807
prof_med	0.004	0.014	0.326	0.745
dist_lob	0.035	0.014	2.537	0.011*
trim2	2.168	0.374	5.789	0.000***
trim3	1.004	0.468	2.146	0.032*
trim4	-0.232	0.535	-0.434	0.664

Approximate significance of smooth terms:				
	edf	Ref.df	Chi.sq	p-value
s(lon,lat)	2	2	26.51	0.000***

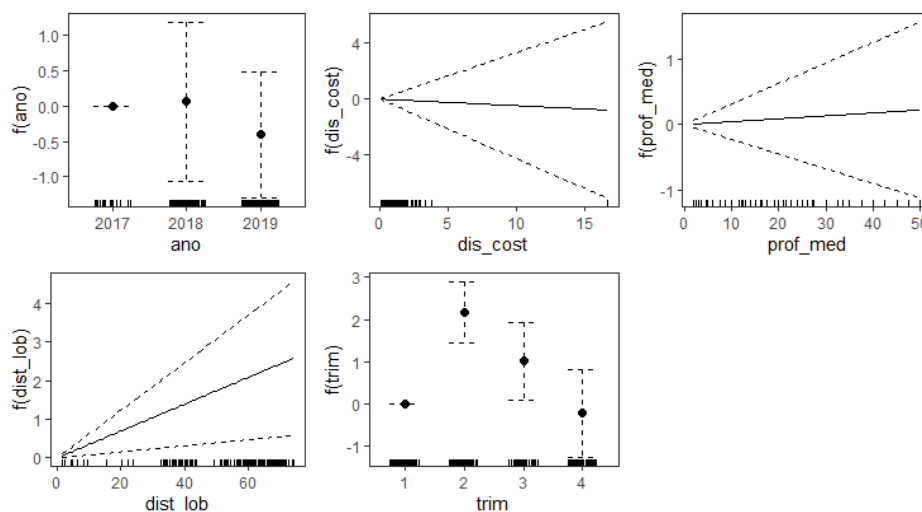


Figura 23. Efecto fijos de las variables dentro del modelo para la Sardina Austral Artesanal Centro Sur.

El diagnóstico del modelo basado en el gráfico cuantil-cuantil indica que los residuales presentan un comportamiento homogéneo a lo largo de la línea recta y sólo una observación tiene un comportamiento asimétrico en relación a las demás (**Figura 24**).

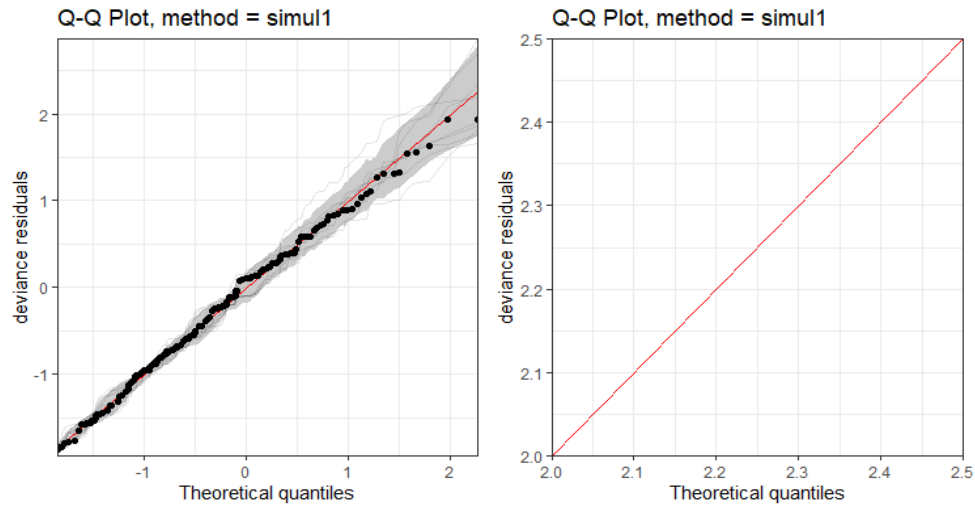


Figura 24. Gráfico cuantil-cuantil para el modelo propuesto en la Sardina Austral Artesanal Centro Sur.

La dependencia de las observaciones se concentra preferentemente entre los -45 grados latitud y -72.4 grados longitud, con una fuerte interacción en esa zona donde probablemente se concentró la dinámica pesquera (**Figura 24**).

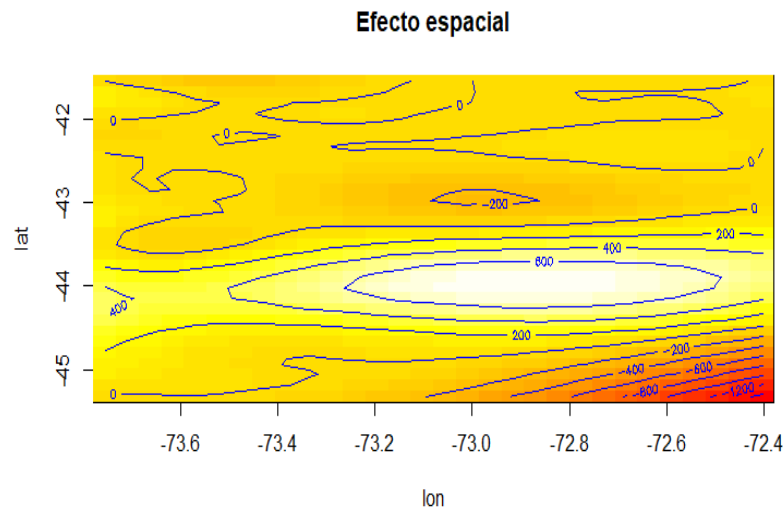


Figura 24. Efecto aleatorio espacial a través de un Gaussian Process dentro del modelo para la Sardina Austral Artesanal Centro Sur.

El número promedio de capturas incidentales de lobo marino común en la pesquería de la Sardina Austral Artesanal Centro Sur fue de 0.09 por lance de pesca.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIÓN

Se propusieron 7 modelos distintos para cada una de las pesquerías con el fin de modelar las capturas incidentales de lobo marino común en la Pesquería de Cero. Se aplicaron dos metodologías distintas, un clásico Modelo Lineal Generalizado (GLM) y, por otra parte, un Modelo Aditivo Generalizado (GAM). En ambas metodologías la distribución que presentó una mejor bondad de ajuste en función del AIC fue una distribución Binomial Negativa, pero la versatilidad de los GAM's permitió incorporar adicionalmente la distribución espacial de las observaciones a través de distintas formas funcionales de dependencia en la mayoría de los casos.

Se exploró en primera instancia la correlación entre las capturas de aves marinas asociadas a las capturas incidentales de lobo marino común. Además, se realizó un análisis de correlación entre la variable respuesta 'loboc' y la sumatoria de capturas de aves ('total_aves') por lance y tampoco se presentó un nivel importante de correlación en función del coeficiente de correlación de Pearson, presentando un valor de 0.15 (Ver anexo).

Las variables de importancia dentro del predictor lineal en cada modelo fueron variando de acuerdo a la dinámica pesquera propia de cada especie. Las variables que mayormente se repitieron en los modelos propuestos fueron: año ('ano'), época de reproducción ('repro'), trimestre ('trim') y la componente espacial asociada a cada uno de ellos. Otras variables que otorgan un peso medio relativo menor en la explicación del comportamiento de las capturas incidentales fueron: la distancia a la lobera ('dist_lob'), distancia a la costa ('dis_cost') y el estado del mar ('estado_mar'). Ya en un nivel bajo de importancia aparecen las variables capturas totales ('capturas.to') y capturas totales de aves ('total_aves').

El gráfico cuantil-cuantil que mide la bondad de ajuste de cada modelo propuesto, en la mayoría de los casos mostró un buen comportamiento, en donde los residuales se distribuyeron a lo largo de la recta teórica por cuantil. Sin embargo en algunos modelos, dentro del tercer cuantil, se presentaron observaciones con cierta asimetría. No obstante estas observaciones mayormente se encuentran dentro del intervalo de confianza estimado y, en este tipo de problemas donde la variable a modelar es discreta, la aleatoriedad de los residuales en los extremos de los cuantiles puede producirse.

Si bien siempre es importante contar con un número importante de observaciones, especialmente cuando el 'n' observado varía altamente en los objetos de estudio (en este caso las pesquerías), los resultados de ajustes y diagnósticos muestran robustez en las estimaciones. Finalmente, la media total estimada de lobos capturados incidentalmente para todas las pesquerías en conjunto es de 1.25 lobos capturados por lance de pesca.

ANEXO

- a) Matriz de correlación para las variables numéricas (capturas de aves) versus captura incidental de lobo marino común.

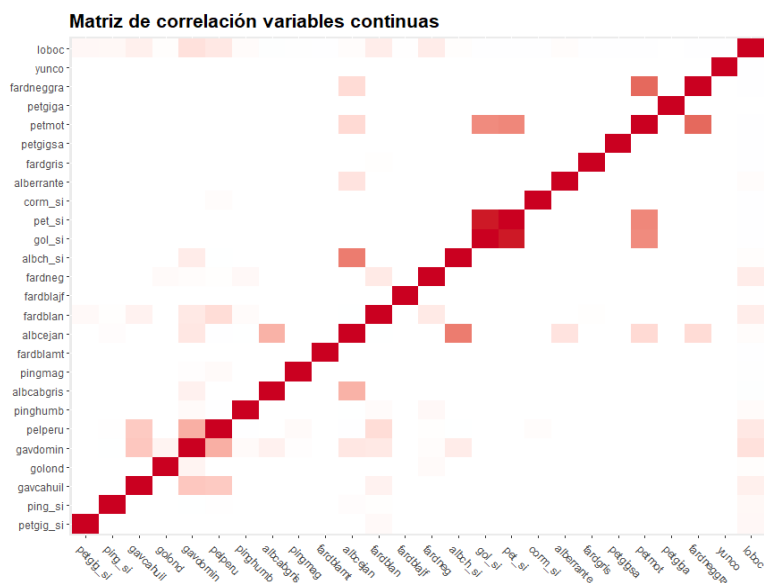


Figura 1. Matriz de correlación

- b) Coeficiente de correlación de Pearson

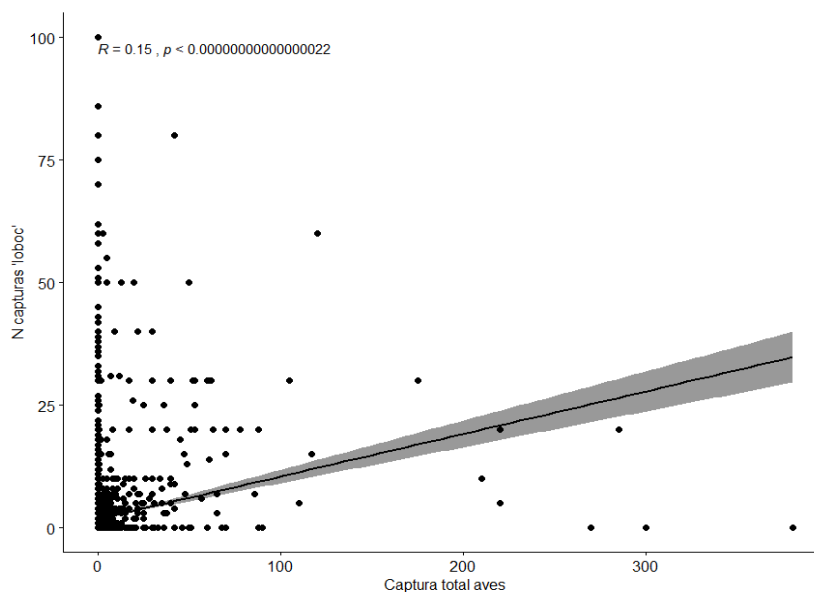


Figura 2. Coeficiente de correlación para determina dependencia lineal entre la variable respuesta (captura incidental lobo marino común) y el número total de aves marinas capturadas.

BIBLIOGRAFÍA

Nelder, J. A., & Wedderburn, R. W. (1972). Generalized linear models. *Journal of the Royal Statistical Society: Series A (General)*, 135(3), 370-384.

Hastie, T. J., & Tibshirani, R. J. (1990). *Generalized additive models* (Vol. 43). CRC press.