

## VALORACIÓN ECONÓMICA DOS EFECTOS DO CAMBIO CLIMÁTICO NA PESQUEIRA DE SARDIÑA

M.<sup>a</sup> D. Garza Gil<sup>1</sup>, M. M. Varela Lafuente<sup>2</sup> e J. Torralba Cano<sup>3</sup>

Universidade de Vigo

FCC Económicas e Empresariais

Lagoas-Marcosende s/n. 36310 Vigo.

Correo\_e: <sup>1</sup>dgarza@uvigo.es, <sup>2</sup>mmvarela@uvigo.es, <sup>3</sup>jtorralba@uvigo.es

### RESUMO

Preténdense avaliar os posibles efectos económicos do cambio climático nunha das pesqueiras relevantes para o sector pesqueiro español: a pesqueira de sardiña iberoatlántica, especialmente sensible aos cambios ambientais. Para isto, introdúcese no problema de xestión a temperatura da auga superficial do mar, a cal permite recoller evidencias do cambio climático e a súa repercusión nos ecosistemas e especies mariños, que serán a base das funcións de produción pesqueira. Utilízase unha estrutura determinista para describir a evolución da biomasa da pesqueira e, a partir da sensibilidade desa función de crecemento respecto a flutuacións nas condicións oceanográficas, analízanse os impactos no rendemento económico óptimo da pesqueira derivados dun posible cambio nas condicións de temperatura do ecosistema. Formúlanse, ademais, diversos escenarios posibles nas tendencias da temperatura superficial do mar. Os resultados mostran que, de manterse a tendencia de quentamento na auga superficial do caladoiro iberoatlántico, tanto a biomasa de sardiña como os beneficios esperados descenderían notablemente, aínda que nun escenario de control e mitigación do quentamento global descenderían nun menor grao.

### SUMMARY

The economic effects of climate change on one of the most relevant Spanish fisheries, the Iberoeatlantic sardine, are evaluated. For this, the temperature in the surface water of the sea is included in the management problem. This variable takes evidence from climate change and its effect on the marine ecosystem and species. Using a deterministic structure of the biomass dynamic, the impacts of the changes in temperature on optimum economic profits are analyzed. Several scenarios regarding temperature changes are proposed. The results show both biomass and profit decrease if the temperature of the surface water of the sea increases. The greater the intensity of global warming, the lower the profits. And if global warming is mitigated, profits diminish at a lower rate.

### INTRODUCCIÓN

Ao longo dos últimos anos acumuláronse evidencias do cambio climático e dos impactos sobre distintos sectores e sistemas deste. O quentamento global representa unha das principais ameazas para o desenvolvemento sustentable e, en consecuencia, supón un dos retos ambientais máis significativos dos últimos lustros con efectos sobre a economía, a saúde e o benestar social. Cómpre, polo tanto, identificar as evidencias do impacto sobre a biodiversidade e realizar unha valoración económica del.

No caso concreto dos ecosistemas mariños, os cambios na frecuencia e intensidade das precipitacións, a acidez, a temperatura das augas, o vento, o CO<sub>2</sub> disolto e a salinidade, combinados coa

contaminación antropoxénica por nutrientes e toxinas, poden afectar á calidade da auga tanto en zonas costeiras como en mar aberto e, en consecuencia, á produtividade do medio mariño. E dado que a pesca é unha das actividades económicas que depende de forma máis crítica das condicións ou características naturais, a influencia dos cambios ambientais sobre esta actividade é notablemente superior á que se pode producir nas restantes actividades primarias<sup>1</sup>.

Asúmese con bastante probabilidade que o quentamento global alterará a intensidade e configuración das correntes oceánicas e iso repercutirá, entre outros efectos, nun incremento das temperaturas oceánicas<sup>2</sup>. Os impactos diferirán por ecosistemas e zonas costeiras ou oceánicas, e afectarán a diversos grupos de organismos, desde ao fitoplancto e zooplancto a peixes e algas<sup>3</sup>. Entre estes organismos, as especies peláxicas serán, polo seu elevado grao de inestabilidade e sensibilidade a impactos ambientais, as especies máis afectadas polos impactos do cambio climático sobre os mares e os océanos. Estas especies son especialmente sensibles aos cambios de temperatura e de afloramentos de nutrientes no medio mariño; polo tanto, calquera variación na temperatura repercutirá en maior ou menor medida nos niveis de produtividade destas especies.

E entre as especies peláxicas, e aos nosos efectos, destaca a pesqueira de sardiña europea nos caladoiros iberoatlánticos. Trátase dunha especie de elevado consumo por parte dos fogares españois e galegos, obxectivo dunha parte substancial das frotas española e galega e, en consecuencia, dunha pesqueira de gran relevancia socioeconómica para o sector pesqueiro e para determinadas comunidades do litoral.

A avaliación económica dos efectos do cambio climático sobre a actividade pesqueira foi abordada nos últimos anos na literatura económica de pesqueiras. Entre outras referencias, destacamos as seguintes. Arnason (2005) avalía o posible impacto do cambio climático sobre a produción pesqueira de Islandia formulando diferentes escenarios de incremento de temperatura; na mesma liña, Eide (2005) analiza o posible impacto nas pesqueiras do mar de Barents; Gallagher (2005) realiza unha aplicación á pesqueira de bacallau en Nova Zelandia diferenciando por zona e método de pesca; Röckmann (2005) analiza os efectos de posibles cambios na salinidade sobre a pesqueira de bacallau no Báltico; Sissener e Bjørndal (2005) estudan os efectos do cambio climático sobre a traxectoria migratoria do arenque noruegués; Arnason (2006) formula un modelo teórico no que introduce os riscos derivados do quentamento global; Briones *et al.* (2006) desenvolve un modelo aplicado a pequenos peláxicos en pesqueiras da India, Filipinas e Tailandia; Hannesson (2006) analiza os efectos do quentamento sobre a pesqueira do arenque noruegués; e Herrick *et al.* (2006) realizan unha aplicación á pesqueira de sardiña en augas norteamericanas do Pacífico.

Neste capítulo preténdese estimar o impacto de previsibles incrementos na temperatura dos océanos sobre a explotación económica da pesqueira obxecto de estudo. Para iso, en primeiro lugar descríbese a pesqueira de sardiña iberoatlántica no seu conxunto e resáltase a correlación existente entre a temperatura do mar e a variación de biomasa ao longo do tempo e, polo tanto, das capturas desembarcadas. A continuación, centrándonos na pesqueira en augas galegas, débúxase o escenario cero que se utilizará como referencia para a valoración económica do impacto. En terceiro lugar, desenvólvese o modelo bioeconómico aplicado á pesqueira. En cuarto lugar, e tendo en conta previsións de variación da temperatura da auga do mar nestes caladoiros, formularanse os posibles escenarios futuros para, a continuación, estimar os efectos económicos de tales escenarios. Por último, resaltaránse as conclusións máis significativas da análise económica.

<sup>1</sup> Hannesson (2006).

<sup>2</sup> ACIA (2004), IPCC (2007).

<sup>3</sup> Ministerio de Medio Ambiente (2006).



## A PESQUEIRA DE SARDIÑA IBEROATLÁNTICA

A sardiña europea (*Sardina pilchardus*) é unha especie peláxica que se distribúe nunha ampla zona das augas do Atlántico nordeste e áreas adxacentes (desde o mar Negro, no leste, ata as augas das illas dos Azores, no oeste). Igual que a maior parte das especies peláxicas, a sardiña habita en augas pouco profundas, en zonas de elevada produtividade primaria (fitoplancto e zooplancto), situadas xeralmente ao bordo de áreas de anticiclóns, e onde se producen intensos fenómenos de afloramento cara á superficie dos nutrientes primarios.

Os científicos estiman que os límites norte e sur na distribución desta especie posiblemente estean relacionados coa temperatura media das augas, pois necesitan situarse en augas con temperaturas entre os 10 e 20 °C. Polo tanto, trátase dunha pesqueira especialmente sensible aos efectos do cambio climático, o cal podería repercutir ben nun descenso de produtividade ben nun desprazamento da biomasa cara a augas máis frías. Desde o ano 1980, o Consello Internacional para a Exploración do Mar (ICES), como institución encargada de avaliar a situación da sardiña europea, considera como unidade de xestión a zona comprendida entre a fronteira marítima franco-española e o estreito de Xibraltar. A maior parte das capturas desta especie realízanse en augas da plataforma continental iberoatlántica, na zona que se coñece como área de distribución do stock de sardiña nas divisións ICES VIIIc e IXa.

Cadro 1. Pesqueira de sardiña iberoatlántica. 1987-2006

	<b>Biomasa</b> (toneladas)	<b>Capturas totais</b> (toneladas)	<b>Esforzo</b> (días de pesca)
1987	595.386	176.283	--
1988	519.120	157.273	46.734
1989	437.032	146.539	43.555
1990	398.049	142.966	49.359
1991	404.135	132.785	43.773
1992	523.878	131.196	49.988
1993	583.768	144.949	47.080
1994	591.399	138.725	39.767
1995	648.862	126.755	35.936
1996	441.428	115.179	34.199
1997	391.637	117.250	34.882
1998	337.598	112.033	36.050
1999	337.627	95.793	31.171
2000	270.662	87.272	21.702
2001	309.425	102.903	27.302
2002	437.401	101.741	31.617
2003	439.777	99.113	29.519
2004	444.147	98.464	30.451
2005	385.976	97.282	29.996
2006	545.459	--	--

Fonte: Biomasa e capturas, International Council for Exploration of Sea (ICES), Report 2007; Esforzo, elaboración propia a partir de información facilitada polo Instituto Nacional de Agricultura e Pesca de Portugal, o Instituto Español de Oceanografía e enquisas ao sector pesqueiro.

A especie captúrase utilizando a modalidade do cerco. Neste momento existen en Galicia 175 embarcacións dedicadas á captura desta especie, destinándose a totalidade destas ao consumo humano. Pero estes buques tamén se dirixen á captura doutras especies peláxicas, fundamentalmente o xurelo, a xarda e, máis recentemente, a anchoa (ata o establecemento dunha moratoria na pesqueira desta especie en 2006).

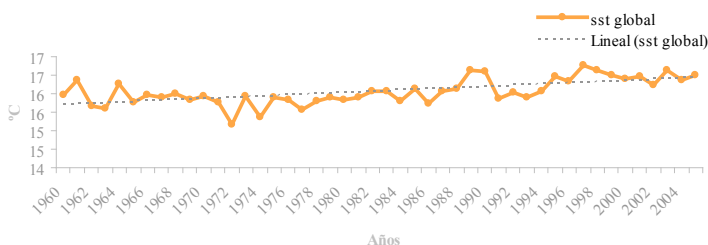
A UE regula esta pesqueira unicamente a través do establecemento de tamaños mínimos de capturas desde 1999 (11 cm). O Goberno central limitou as capturas por embarcación e día (7.500 kg para tamaños superiores a 15 cm e 500 para tamaños comprendidos entre 11 e 15 cm) e estableceu un paro biolóxico durante o cal non é posible pescar (desde o 1 de febreiro ata o 31 de marzo de cada ano). Pola súa parte, o Goberno autonómico estableceu un descanso semanal de dous días co obxectivo de regular o esforzo pesqueiro exercido na pesqueira.

No cadro 1 pódese observar a evolución de biomasa de sardiña no período 1987-2006 a partir de datos facilitados polo ICES. Tal e como se pode apreciar no cadro, a biomasa de reprodutores de sardiña iberoatlántica experimentou grandes oscilacións nese período, podéndose establecer en xeral dúas etapas (con algunha excepción en anos concretos): 1987-2000, na que se detecta unha diminución progresiva da biomasa de sardiña, e 2000-2006, etapa na que se rexistra un lixeiro incremento desta.

Estas fases na evolución da biomasa non parecen reflectirse con igual ritmo e intensidade nas capturas totais desembarcadas desta especie. Se na segunda metade da década dos oitenta as capturas se situaron en torno ás cento cincuenta mil toneladas, a partir de entón non deixaron de diminuír paulatinamente, especialmente nos últimos anos do período estudado e a pesar do incremento estimado para a biomasa de sardiña. Isto último pode estar relacionado co descenso progresivo no número de buques que traballan na pesqueira desde comezos dos noventa.

Por outro lado, ao tratarse dunha especie peláxica, a sardiña é extremadamente sensible a cambios ambientais, en xeral, e a incrementos da temperatura nos océanos, en particular. Nas figuras 1 e 2 recóllese, respectivamente, a evolución da temperatura da auga superficial do mar para o conxunto da pesqueira e por zona xeográfica. E na figura 3 pódese observar a evolución da biomasa reprodutora e da temperatura media da auga no litoral Cantábrico-noroeste no período 1978-2006.

Figura 1. Evolución da media anual da temperatura superficial do mar. 1960-2005.

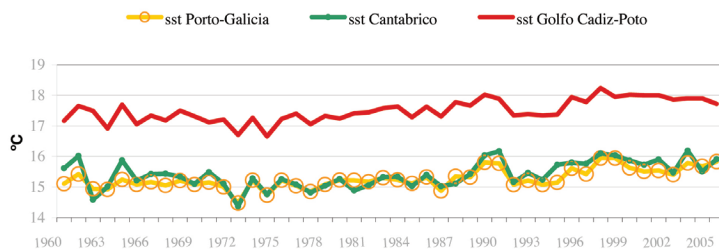


Fonte: Elaboración propia a partir de Departamento de Oceanografía do Instituto de Investigacións Mariñas (CSIC).

Pódese apreciar como, tras períodos de lixeiros incrementos na temperatura da auga, se produce un descenso da poboación de peixes. Isto é especialmente significativo nos períodos 1986-1990 e 1994-1998. En cambio, tras períodos de diminución de temperaturas (1990-1992 e 1997-2003) experimentase un incremento no nivel de biomasa de sardiña.



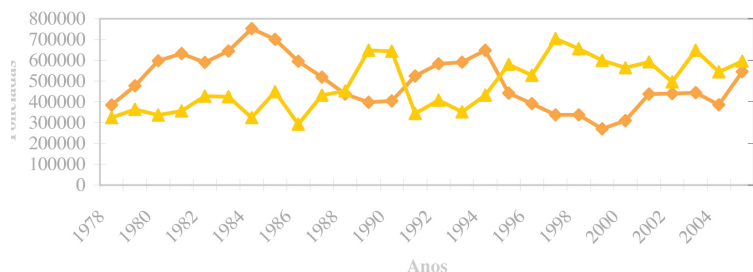
Figura 2. Evolución da media anual da temperatura superficial do mar por zona xeográfica. 1960-2005



Fonte: Elaboración propia a partir de Departamento de Oceanografía do Instituto de Investigacións Mariñas (CSIC).

Cabe destacar, asemade, a tendencia crecente na temperatura media observada ao longo do período 1978-2006 en torno a  $0,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ , o cal supón un incremento anual medio de  $0,025\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Este incremento foi especialmente significativo nos últimos trinta anos do período analizado, de tal maneira que a temperatura media anual da auga superficial aumentou a un ritmo de  $0,27\text{ }^{\circ}\text{C}$  por década<sup>4</sup>. Este último dato será o que utilizemos como referencia no modelo aplicado e asumiremos que se mantén esa tendencia no incremento de temperatura da auga superficial do mar para as próximas décadas, aínda que tamén formularemos outros escenarios posibles.

Figura 3. Evolución da biomasa reprodutora de sardiña e da temperatura do mar. 1978-2006



Fonte: Elaboración propia a partir de datos facilitados polo IEO e CSIC.

No cadro 2 móstranse os datos de correlación de biomasa e capturas desembarcadas coa temperatura media do mar. O signo negativo da temperatura denota que ante variacións nesa variable se producen variacións de signo contrario na biomasa e nas capturas desembarcadas.

Cadro 2. Correlación entre as variables biomasa, capturas e temperatura.

CORRELATION MATRIX OF VARIABLES - 28 OBSERVATIONS				
SSB	1.0000			
SSBPOST	0.78188	1.0000		
CAPTUR	0.68326	0.72044	1.0000	
TEMP	-0.49112	-0.67648	-0.68779	1.000
SSB	SSBPOST	CAPTUR	TEMP	

Fonte: Elaboración propia a partir de datos facilitados polo IEO.

<sup>4</sup> Rosón (2008).

De todo o anterior despréndese que oscilacións na temperatura do mar repercutirán na produtividade natural deste stock de peixes e, en consecuencia, afectarán á xeración de rendementos económicos futuros. Daquela, e ante o incremento de temperatura previsto en augas do Cantábrico-noroeste (como consecuencia do cambio climático global), neste capítulo realizaremos unha estimación do seu impacto económico na pesqueira. Previamente situaremos o *escenario cero*, a nosa situación de partida, coa que realizaremos a comparación de posibles escenarios futuros.

A frota galega achega en torno ao 13% das capturas totais xeradas na pesqueira de sardiña iberoatlántica. No cadro 3 pódese observar a evolución dos desembarcos da frota galega e os ingresos xerados coa súa venda en lonxa nos últimos dez anos. Respecto aos desembarcos, obsérvase unha tendencia decrecente nos últimos anos dos noventa, momento a partir do cal comezan a aumentar paulatinamente, salvo en 2002 como consecuencia en gran medida do peche das pesqueiras de litoral tras o afundimento do buque *Prestige* ata estabilizarse en torno ás vinte mil toneladas. Os ingresos experimentaron en xeral unha tendencia descendente igual que o prezo medio alcanzado nas vendas dos desembarcos de sardiña e en consonancia coa evolución observada na produción (véxase a figura 4).

Cadro 3. Evolución das capturas e ingresos na pesqueira de sardiña en Galicia. 1997-2007.

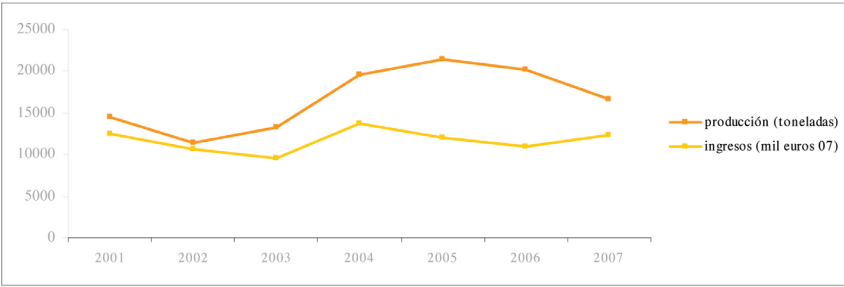
	Desembarcos (toneladas)	Ingresos (euros constantes 2007)	Prezo medio (euros/kg)
1997	19.303,04		
1998	8.548,63		
1999	6.474,87		
2000	5.930,54		
2001	14.546,12	12.493.800,2	0,86
2002	11.491,22	10.661.267,3	0,93
2003	13.237,87	9.632.988,3	0,73
2004	19.668,66	13.715.626,4	0,70
2005	21.511,70	11.969.763,4	0,56
2006	20.227,14	10.951.081,8	0,54
2007	16.714,95	10.741.674,3	0,64

Fonte: Consellería de Pesca e Asuntos Marítimos, Servizo de Información Pesqueira.

Respecto aos custos de explotación derivados desta actividade pesqueira, a partir de EU (varios anos) e de enquisas realizadas a representantes do sector implicado, dispoñemos de información relativa á estrutura de custos desta frota en relación co valor anual dos desembarcos de sardiña. Tal e como se pode observar no cadro 4, a maior proporción dos gastos da frota destínase ao pagamento dos soldos e salarios da tripulación (representan algo máis do 55% de media en todo o período), seguido do excedente bruto de explotación/renda mixta –renda do armador/propietario do buque–, que supoñen o 17% aproximadamente, e os custos do buque –fundamentalmente reparacións e mantemento das embarcacións e do equipamento de pesca–, que representan en torno ao 14%. Destaca tamén o paulatino incremento dos custos de fuel, especialmente significativo no último ano do período dispoñible.



Figura 4. Evolución da produción e ingresos na pesqueira galega de sardiña. 2001-2007.



Fonte: Elaboración propia

Cadro 4. Estrutura de custos da frota de cerco galega. 2001-2006

%	2001	2002	2003	2004	2005	2006	Media 2001-2006
Valor desembarcos	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Custos fuel	5,70	7,14	7,96	7,14	5,00	7,47	6,74
Outros custos correntes	5,37	6,43	6,23	9,09	7,22	10,33	7,44
Custos do buque	16,11	14,29	13,15	12,34	16,67	10,55	13,85
Custos tripulación	53,69	53,93	57,09	54,87	56,39	55,60	55,26
EBE/RMx	19,13	18,21	15,57	16,56	14,72	16,04	16,71
VAB	72,82	72,14	72,66	71,43	71,11	71,65	71,97

Fonte. Elaboración propia a partir de European Commission (varios anos) e entrevistas persoais.

Por outro lado, aínda que o obxectivo do traballo é estimar os efectos do incremento de temperatura do mar sobre a frota galega, e dado que a unidade biolóxica de stock de sardiña afecta ao conxunto das zonas ICES VIIIc e IXa, previamente debemos estimar os impactos sobre o conxunto da pesqueira iberoatlántica para despois estimar os correspondentes ao sector galego. Polo tanto, os parámetros de prezo unitario das capturas desembarcadas ( $p$ ), custo por unidade de esforzo exercido ( $w$ ) e taxa de desconto ( $\delta$ ) que se utilizarán nas estimacións corresponden ao conxunto da pesqueira iberoatlántica. Estes datos reflíctense no cadro 5.

Cadro 5. Parámetros económicos do conxunto do caladoiro para as estimacións do estado estacionario

	Unidade	Valor
Prezo por unidade de captura	€/tonelada	613,07
Custo por unidade de esforzo	€/día de pesca	912,47
Taxa social de desconto	%	4,88

Fonte. Elaboración propia a partir de European Commission (varios anos) e cadros 1-3.

Con estas premisas, estamos en disposición de formular o modelo bioeconómico que se utilizará para estimar os efectos derivados de cambios na temperatura da auga superficial do mar tanto sobre os beneficios do conxunto da pesqueira como para o sector pesqueiro galego. Empregaremos como horizonte temporal un período de aproximadamente 25 anos, ata 2030, tal e como se propón como un dos horizontes posibles en VV.AA. (2007).

## MÉTODO

Para desenvolver e resolver o modelo bioeconómico aplicado á pesqueira de sardiña iberoatlántica, é necesario determinar as formas funcionais da dinámica de crecemento natural da biomasa de sardiña e da tecnoloxía pesqueira existente na pesqueira.

Comezando pola función de crecemento natural, téñense estimado diversas formas funcionais considerando, tal e como se constatou en seccións previas, que a restrición biolóxica da dinámica do recurso mariño incorpora as condicións ambientais a través da temperatura da auga superficial do mar. En concreto, estimamos as seguintes formas funcionais:

$$\begin{aligned} X_{t+1} &= aX_t - bX_t^2 + cT_t - h_t \\ X_{t+1} &= a e^{bX_t + cT_t} - h_t \\ X_{t+1} &= aX_t^b T_t^c - h_t \\ X_{t+1} &= aX_t^{b+cT_t} - h_t \end{aligned} \quad [1]$$

Onde  $X$  denota a biomasa de peixes,  $h$  as capturas e  $a$ ,  $b$  e  $c$  son parámetros que recollen condicións ambientais do ecosistema.

En xeral, as formas funcionais recollidas en [1] achegan parámetros significativos para os niveis aceptados habitualmente nos contrastes de hipóteses de inferencia estatística (menos do 5% de significación), salvo a primeira expresión (véxase o cadro 6). Para comparar estas expresións, utilizamos criterios de selección de modelos baseados na capacidade explicativa do modelo. En particular, utilizamos o coeficiente de determinación corrixido,  $\bar{R}^2$  (o valor máximo de todos eles), e o criterio baseado nos erros de predición, o estatístico AIC de Akaike (valor mínimo de todos eles).

O modelo que mellor se axusta á serie de datos é o último deles, no cal se asume que a función de crecemento natural da sardiña é lineal respecto ao stock de peixes de sardiña no período anterior e exponencial respecto á temperatura da auga superficial do mar do ano anterior:

$$X_{t+1} = 440.2752 X_t^{0.99196 - 0.026965 T_t} - h_t \quad [2]$$

Polo tanto, esta será a forma funcional que utilizaremos para describir a dinámica do stock de sardiña no desenvolvemento do modelo bioeconómico. Dependendo das condicións ambientais definidas implicitamente no modelo a través da temperatura da auga superficial do mar, o stock de peixes futuro será máis ou menos sensible á biomasa do recurso en cada instante do tempo.





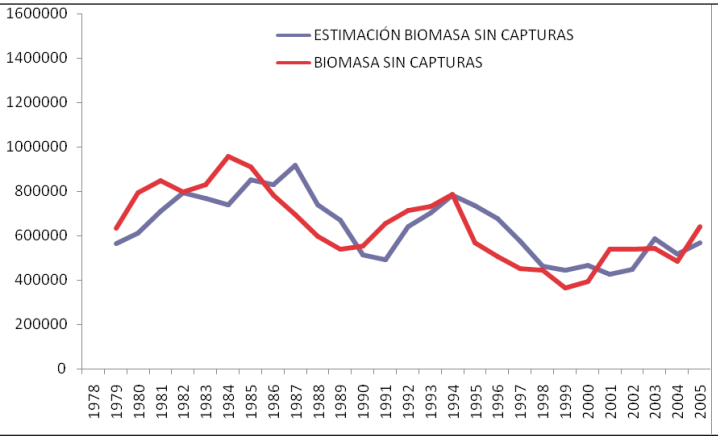
Cadro 6. Resultados das estimacións econométricas das funcións de crecemento natural da biomasa de sardiña

Forma funcional			Criterios de selección
Modelo 1	$\hat{X}_{t+1} = 2.8888X_t - 0.22895 \cdot 10^{-5} X_t^2 - 15042T_t - h_t$ (1.5600)      (0.1712*10 <sup>-5</sup> )      (0.2103*10 <sup>-5</sup> ) $R^2 = 0.5103$	$\bar{R}^2 = 0.4450$ AIC de Akaike = 0.84325*10 <sup>10</sup>	
Modelo 2	$\hat{X}_{t+1} = 98051165.76 e^{0.11567 \cdot 10^{-5} X_t - 0.34739 T_t} - h_t$ (1.491)      (0.2117*10 <sup>-6</sup> )      (0.8876*10 <sup>-1</sup> ) $R^2 = 0.7753$	$\bar{R}^2 = 0.7574$ AIC de Akaike = 0.17248*10 <sup>-1</sup>	
Modelo 3	$\hat{X}_{t+1} = e^{0.58432 \cdot 10^7 X_t^{0.34931 \cdot 10^6} T_t^{-0.35067 \cdot 10^7}} - h_t$ (0.2920*10 <sup>7</sup> )      (0.6155*10 <sup>5</sup> )      (0.8801*10 <sup>6</sup> ) $R^2 = 0.7823$	$\bar{R}^2 = 0.7649$ AIC de Akaike = 0.65255*10 <sup>10</sup>	
Modelo 4	$\hat{X}_{t+1} = 440.2752 X_t^{0.99196 - 0.026965 T_t} - h_t$ (1.279)      (0.1052)      (0.6633*10 <sup>-2</sup> ) $R^2 = 0.7859$	$\bar{R}^2 = 0.7688$ AIC de Akaike = 0.16436*10 <sup>-1</sup>	

Nota: Entre parénteses figuran os erros estándar dos parámetros nas regresións lineais (MCO).  
 Fonte: Elaboración propia a partir do cadro 1.

Na figura 5 comparamos os datos obtidos para a biomasa a través da estimación da expresión [2] e a biomasa observada no caso de que as capturas fosen nulas ao longo do período analizado. Asemade, a correlación observada entre ambas (coeficiente de Pearson = 0,75) indica unha relación significativa entre as dúas series de datos. O valor medio é de 628.180 e 641.300 toneladas, respectivamente, e os erros estándar na mostra correspóndense cos valores 140.640 e 160.000 toneladas para cada unha das dúas series de datos.

Figura 5. Biomasa estimada fronte a biomasa observada\*. 1978-2005.



$$^* X_{t+1} = 440.2752 X_t^{0.99196 - 0.026965 T_t} \text{ para } h_t = 0.$$

Fonte: Elaboración propia.

En relación coa tecnoloxía pesqueira, a forma funcional habitualmente utilizada na literatura económica de pesqueiras é de tipo Cobb-Douglas:

$$h_t = \alpha X_t^{\beta_1} E_t^{\beta_2} \quad [3]$$

Onde  $\alpha$  denota o coeficiente de capturabilidade e  $\beta_1$  e  $\beta_2$  recollen as elasticidades stock e esforzo, respectivamente, é dicir, a variación nas capturas ante modificacións unitarias nos inputs biomasa e esforzo pesqueiro. No cadro 7 pódense observar os resultados das estimacións econométricas.

Cadro 7. Resultados da estimación econométrica da tecnoloxía pesqueira.

$$\ln h_t = \ln \alpha + \beta_1 \ln X_t + \beta_2 \ln E_t$$

$$\ln h_t = 3.3659 + 0.0830 \ln X_t + 0.6887 \ln E_t$$

$$(1.043) \quad (0.0994) \quad (0.0997)$$

$$R^2 = 0.8573$$

Nota: Entre parénteses figuran os erros estándar dos parámetros nas regresións lineais (MCO).

Fonte: Elaboración propia a partir do cadro 1.

Polo tanto, a tecnoloxía pesqueira utilizada na pesqueira obxecto de estudo vén dada pola seguinte expresión:

$$h_t = 28.9595 X_t^{0.0830} E_t^{0.6887} \quad [4]$$

Tal e como se pode observar na expresión [4] a través das elasticidades, a produción pesqueira de sardiña iberoatlántica é relativamente máis sensible ao esforzo pesqueiro exercido na pesqueira ( $\beta_2 = 0.6887$ ) e menos á abundancia de biomasa de peixes ( $\beta_1 = 0.0830$ ). Asemade, o coeficiente de capturabilidade (capturas por unidade de inputs produtivos) é relativamente elevado ( $\alpha = 28.9595$ ).

Unha vez estimadas a dinámica do recurso e a tecnoloxía pesqueira, podemos formular o modelo bioeconómico aplicado á pesqueira de sardiña iberoatlántica. No caso de xestión centralizada, como é o caso da pesqueira obxecto de estudo, determínase o nivel de capturas que permitiría obter os maiores beneficios posibles derivados da explotación pesqueira tendo en conta a dinámica da biomasa de sardiña. É dicir,

$$\underset{h(t)}{\text{Max}} \int_0^{\infty} e^{-\delta t} (p h(t) - w E(t)) dt$$

$$\text{s.a. } \dot{X} = \frac{\partial X}{\partial t} = X(t+1) - X(t) = a X(t)^b + cT(t) - X(t) - h(t)$$

$$X(t) > 0$$

$$0 \leq h(t) \leq h_{\max}$$



Despexando o esforzo na expresión [4]:

$$h(t) = \alpha X(t)^{\beta_1} E(t)^{\beta_2} \Rightarrow E(t) = \frac{1}{\alpha^{1/\beta_2}} X(t)^{-\beta_1/\beta_2} h(t)^{1/\beta_2} \quad [5],$$

e recorrendo á teoría de control óptimo para resolver o problema bioeconómico<sup>5</sup>, a función Hamiltoniana asociada a este problema vén dada pola seguinte expresión:

$$H(X, h, t; \lambda) = e^{-\delta t} \left( p h(t) - \frac{w}{\alpha^{1/\beta_2}} X(t)^{-\beta_1/\beta_2} h(t)^{1/\beta_2} \right) + \lambda(t) \left( a X(t)^{b+cT(t)} - X(t) - h(t) \right) \quad [6]$$

e as condicións de primeira orde correspondentes a [6] son as seguintes:

$$\frac{\partial H(\cdot)}{\partial h(t)} = 0 \Rightarrow e^{-\delta t} \left( p - \frac{w}{\beta_2 \alpha^{1/\beta_2}} X(t)^{-\beta_1/\beta_2} h(t)^{(1-\beta_2)/\beta_2} \right) - \lambda(t) = 0 \quad [7]$$

$$\frac{\partial H(\cdot)}{\partial X(t)} = -\dot{\lambda}(t) \Rightarrow e^{-\delta t} \frac{\beta_1 w}{\beta_2 \alpha^{1/\beta_2}} X(t)^{(-\beta_1-\beta_2)/\beta_2} h(t)^{1/\beta_2} + \lambda(t) \left( a (b+cT(t)) X(t)^{b+cT(t)-1} - 1 \right) = -\dot{\lambda}(t) \quad [8]$$

$$\frac{\partial H(\cdot)}{\partial \lambda(t)} = \dot{X}(t) \Rightarrow \dot{X}(t) = a X(t)^{b+cT(t)} - X(t) - h(t) \quad [9]$$

Operando no sistema de ecuacións [7]-[9], e tendo en conta que nun estado estacionario  $\dot{X}(t) = 0$  e  $\dot{\lambda} = 0$ , a ecuación de equilibrio para a pesqueira vén dada pola seguinte expresión:

$$\begin{aligned} & \beta_1 A X(t)^{-(\beta_1+\beta_2)/\beta_2} \left( a X(t)^{b+cT(t)} - X(t) \right)^{1/\beta_2} \\ & + \left( p - A X(t)^{-\beta_1/\beta_2} \left( a X(t)^{b+cT(t)} - X(t) \right)^{(1-\beta_2)/\beta_2} \right) \left( a (b+cT(t)) X(t)^{b+cT(t)-1} - 1 \right) \\ & - \delta \left( p - A X(t)^{-\beta_1/\beta_2} \left( a X(t)^{b+cT(t)} - X(t) \right)^{(1-\beta_2)/\beta_2} \right) = 0 \end{aligned} \quad [10]$$

onde  $A = \frac{w}{\beta_2 \alpha^{1/\beta_2}}$

<sup>5</sup> Véxanse Kamien e Schwartz (1991) para maior detalle sobre este método.

A partir da expresión [10] obtense o valor de equilibrio para a biomasa de sardiña. Nótese que estes valores dependerán do nivel de temperatura da auga superficial do mar en cada instante do tempo. Unha vez estimada a biomasa, pódense obter os niveis de capturas a partir da expresión [2] que recolle a dinámica natural da sardiña, e o correspondente nivel de esforzo a partir da expresión [4]. Coñecidos os valores de capturas e esforzo pesqueiro para cada  $T$ , pódense estimar os beneficios que se xerarían na pesqueira. No cadro 6 figuran os valores obtidos para unha temperatura media da auga superficial do mar de 16,52 °C na pesqueira de sardiña para o ano de partida (2006).

Cadro 6. Valores estacionarios de biomasa, capturas, esforzo e beneficios.

	Total pesqueira	Galicia
Biomasa	242566.85	--
Capturas	143765.02	19135.12
Beneficios	40571394.16	5400052.56

Fonte. Elaboración propia.

Tal e como se pode apreciar no cadro 6, tanto a biomasa de sardiña como as capturas son sensiblemente inferiores aos valores correspondentes ao último ano da serie de datos, o cal podería indicar que o incremento na temperatura da auga superficial do mar está repercutindo na produtividade do stock de sardiña.

## RESULTADOS

Para obter resultados numéricos do impacto sobre os beneficios, e dado que os niveis de biomasa no noso modelo van depender da temperatura da auga superficial do mar ( $T$ ) nos próximos anos, imos asumir tres posibles escenarios para esta última variable. No primeiro escenario asumiremos que a temperatura da auga superficial do mar se incrementará ao mesmo ritmo que o aumento observado nas últimas décadas (0,027 °C por ano). No segundo escenario, asumiremos que o quentamento global se intensifica, e iso afecta á temperatura superficial do mar, aumentando en maior proporción que a experimentada ata o momento (formularemos incrementos do 5 e 10% sobre a tendencia das últimas décadas). E no terceiro escenario, en cambio, pero nun contexto de temperaturas crecentes, asumiremos que se controla en maior medida o quentamento global e iso repercutirá nunha diminución da temperatura da auga superficial en relación coa que se tivese producido de seguir a tendencia observada nas últimas décadas (diminución nun 5 e 10% sobre a tendencia pasada).

No cadro 7 resúmese os tres escenarios formulados. Por outro lado, tal e como temos comentado en epígrafes anteriores, traballaremos cun horizonte temporal ata o ano 2030 (este é un dos horizontes formulados para o caso español, VV.AA. 2007).



Cadro 7. Posibles escenarios de variación da temperatura da auga superficial do mar.

	Descrición	Variación en T
Escenario 1	Tendencia últimas décadas	Incremento anual en 0,027 °C
Escenario 2	Aceleración do quentamento global e do incremento en T	Incremento do 5 e 10% sobre a tendencia de décadas pasadas
Escenario 3	Control e mitigación do quentamento global e da variación en T	Diminución nun 5 e 10% sobre a tendencia de décadas pasadas

Fonte: Elaboración propia.

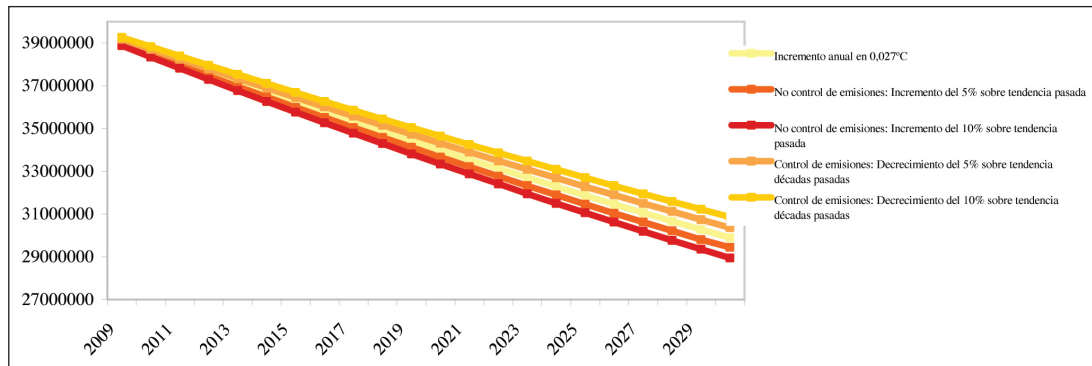
Os resultados obtidos para os diferentes escenarios considerados móstranse no cadro 8 para a pesqueira no seu conxunto e no cadro 9 para o caso do sector pesqueiro galego. Por outro lado, no anexo I figuran as estimacións de biomasa e capturas de sardiña para o período obxecto de estudo en cada escenario.

Cadro 8. Estimación de beneficios xerados no conxunto da pesqueira. 2009-2030.

Ano	INCREMENTO S/TENDENCIA	NON CONTROL EMISIÓN S		CONTROL EMISIÓN S	
	0,027 °C	Incremento 5% sobre a previsión	Incremento 10% sobre previsión	Diminución 5% sobre previsión	Diminución 10% sobre previsión
2009	39073864	38975687,10	38877718,22	39172247,57	39270839,10
2010	38585057	38463590,57	38342606,83	38706772,21	38828811,63
2011	38053772	37957381,08	37813777,22	38245988,11	38390987,96
2012	37623032	37456738,00	37291225,71	37789888,67	37957381,08
2013	37149801	36961960,38	36774948,80	37338471,00	37527970,86
2014	36681754	36472751,37	36264937,18	36891733,91	37102763,08
2015	36218883	35989385,32	35761178,01	36449671,77	36681753,73
2016	35761178	35511570,40	35263655,02	36012276,98	36264937,18
2017	35308627	35039585,34	34772377,64	35579539,98	35852306,22
2018	34861242	34573117,75	34287286,25	35151449,35	35443852,10
2019	34418970	34112422,38	33808372,62	34728022,50	35039585,34
2020	33981810	33657219,70	33335610,52	34309201,65	34639465,92
2021	33549742	33207739,29	32868971,12	33894989,47	34243493,74
2022	33122745	32763707,12	32408423,15	33485369,26	33851655,62
2023	32711048	32325339,02	31953933,03	33080322,86	33463937,17
2024	32283872	31892366,52	31505464,93	32679830,73	33080322,86
2025	31871947	31464992,42	31062980,91	32283871,99	32700796,05
2026	31464992	31042953,76	30626441,08	31892424,51	32325339,02
2027	31062981	30626441,08	30195803,65	31505464,93	31953933,03
2028	30665882	30215196,97	29771025,07	31122968,71	31586558,35
2029	30273664	29809400,38	29352060,16	30744910,25	31223194,30
2030	29886295	29437269,85	28938862,18	30371262,85	30863819,31

Fonte. Elaboración propia.

Figura 6. Evolución dos beneficios no conxunto da pesqueira baixo diferentes escenarios de oscilación térmica.

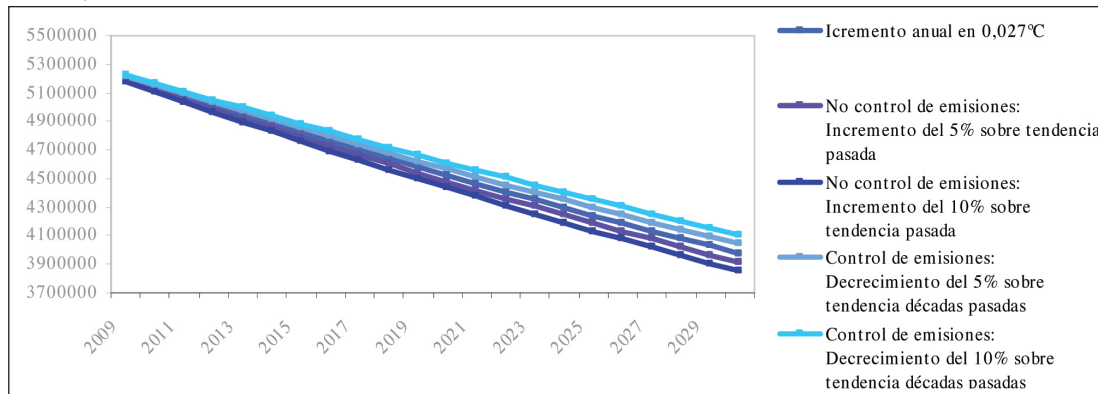


Fonte: Elaboración propia.

Comezando polo conxunto da pesqueira, como era previsible, os beneficios esperados son maiores no escenario de mitigación dos efectos do cambio climático (escenario 3), no cal, con temperaturas crecentes na auga superficial do mar pero inferiores ás formuladas para os restantes escenarios, os beneficios diminuírían entre un 1,1 e 1,2% (se a temperatura diminuíse, respectivamente, nun 10 e 5% sobre o incremento de 0,027 °C anuais). Nos restantes escenarios, os beneficios diminuírían en aproximadamente o 1,25% (escenario 1) e entre o 1,32% e o 1,40% (escenario 2) por termo medio en cada ano do período a medida que se incrementa a temperatura anual da auga superficial do mar (véxase a figura 6).

De xeito similar, no cadro 9 móstranse os resultados obtidos para o sector galego. Tal e como se pode observar, a variación experimentada nos beneficios é similar ao caso global para o conxunto da pesqueira. En concreto, os maiores beneficios obtéñense no escenario de mitigación dos efectos do cambio climático e menor incremento esperado na temperatura da auga superficial do mar. E as taxas de variación anuais experimentan a mesma tendencia e contía que para o conxunto da pesqueira de sardiña iberoatlántica (véxase figura 7).

Figura 7. Evolución dos beneficios para o sector pesqueiro galego con diferentes escenarios de oscilación térmica.



Fonte: Elaboración propia.



Por outra banda, tanto o prezo da sardiña como o custo do esforzo aumentaron lixeiramente nos últimos anos do período dispoñible. Isto é especialmente significativo no caso dos custos pesqueiros motivado polo encarecemento do prezo do combustible desde 2005. Se eses parámetros se modificasen, iso afectaría ás solucións de equilibrio obtidas e, polo tanto, aos beneficios estimados. Neste contexto, sería conveniente realizar unha análise de sensibilidade das solucións de equilibrio (aos nosos efectos, os beneficios) ante modificacións nos parámetros económicos. De acordo co anterior, consideramos introducir *incrementos nun 10% sobre ambos os parámetros económicos* e para o escenario de aumento futuro na temperatura da auga superficial do mar segundo a tendencia pasada en 0,027 °C anuais (escenario 1 do cadro 7). Os resultados móstranse nos cadros 10 e 11 para o conxunto da pesqueira de sardiña iberoatlántica e os correspondentes ao sector pesqueiro galego, respectivamente. No anexo II figuran as correspondentes estimacións de biomasa e capturas globais.

Cadro 9. Estimación de beneficios xerados no sector galego. 2009-2030.

Ano	BENEFICIOS ÓPTIMOS GALICIA				
	INCREMENTO S/TENDENCIA	NON CONTROL EMISIÓN		CONTROL EMISIÓN	
	0,027 °C	Incremento do 5% sobre a previsión	Incremento do 10% sobre a previsión	Diminución 5% sobre a previsión	Diminución 10% sobre a previsión
2009	5200731	5187663,95	5174624,30	5213826,15	5226948,68
2010	5135671	5119503,90	5103400,97	5151871,38	5168114,83
2011	5064957	5052127,42	5033013,75	5090541,02	5109840,50
2012	5007626	4985491,83	4963462,14	5029834,18	5052127,42
2013	4944639	4919636,93	4894745,68	4969750,49	4994972,92
2014	4882341	4854523,21	4826863,14	4910289,78	4938377,77
2015	4820733	4790187,19	4759812,79	4851451,31	4882341,42
2016	4759813	4726590,02	4693592,48	4793234,07	4826863,14
2017	4699578	4663768,81	4628203,46	4735636,77	4771941,96
2018	4640031	4601681,97	4563637,80	4678657,91	4717576,71
2019	4581165	4540363,42	4499894,40	4622299,80	4663768,81
2020	4522979	4479775,94	4436969,76	4566554,74	4610512,91
2021	4465471	4419950,10	4374860,06	4511423,10	4557809,02
2022	4408637	4360849,42	4313561,12	4456902,65	4505655,36
2023	4353840	4302502,62	4253068,49	4402990,97	4454050,04
2024	4296983	4244873,98	4193377,38	4349685,47	4402990,97
2025	4242156	4187990,49	4134482,76	4296983,36	4352475,95
2026	4187990	4131817,15	4076379,31	4244881,70	4302502,62
2027	4134483	4076379,31	4019061,47	4193377,38	4253068,49
2028	4081629	4021642,72	3962523,44	4142467,14	4204170,92
2029	4029425	3967631,19	3906759,21	4092147,55	4155807,16
2030	3977866	3918100,62	3851762,56	4042415,09	4107974,35

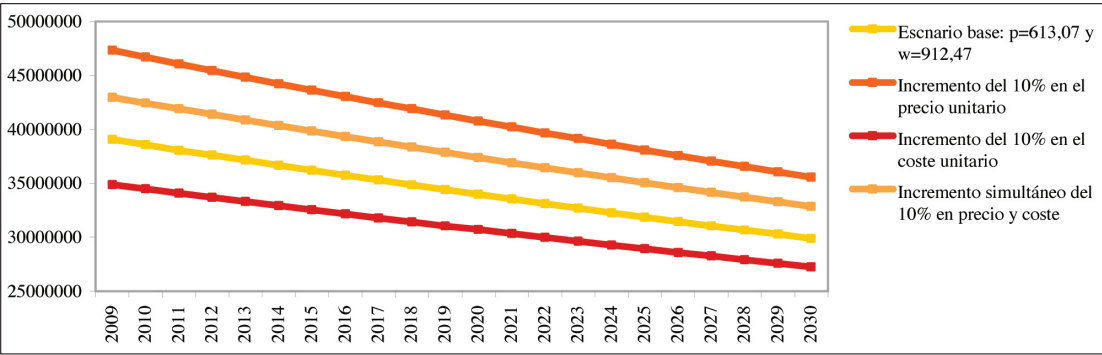
Fonte. Elaboración propia.

Cadro 10. Análise de sensibilidade. Estimación de beneficios xerados ante cambios en prezos/custos.

Ano	ESCENARIO INCREMENTO 0,027 °C POR ANO			
	Escenario base: p= 613,07; w= 912,47	p aumenta 10%	w aumenta 10%	p e w aumentan 10%
2009	39073863,56	47347293,07	34888007,36	42981196,38
2010	38585057,19	46709341,24	34489980,93	42443510,58
2011	38053772,07	46079485,60	34095287,44	41911546,24
2012	37623032,07	45457674,32	33703946,75	41385285,30
2013	37149800,97	44843883,30	33315977,60	40864732,22
2014	36681753,73	44238022,35	32931397,55	40349881,36
2015	36218882,74	43640049,01	32550225,00	39840724,36
2016	35761178,01	43049905,09	32172472,51	39337250,21
2017	35308627,18	42467530,52	31798154,95	38839445,32
2018	34861241,69	41892863,46	31427284,84	38347322,29
2019	34418970,19	41325840,40	31059873,28	37860824,62
2020	33981809,85	40766396,31	30720469,48	37379949,21
2021	33549741,58	40214464,74	30335463,10	36904675,05
2022	33122744,51	39669977,92	29978479,54	36434979,19
2023	32711047,92	39145191,89	29634186,39	35982113,94
2024	32283871,99	38603061,49	29274982,31	35512221,19
2025	31871946,54	38080490,70	28928475,11	35059104,04
2026	31464992,42	37565082,48	28585464,16	34611455,33
2027	31062980,91	37056764,01	28268350,54	34169243,49
2028	30665881,98	36555461,71	27909928,80	33732435,46
2029	30273664,29	36061113,97	27577399,98	33300996,76
2030	29886295,28	35573625,68	27248371,38	32874891,62

Fonte: Elaboración propia.

Figura 8. Análise de sensibilidade. Evolución dos beneficios estimados para o conxunto da pesqueira ante cambios en prezos/custos. 2009-2030.



Fonte: Elaboración propia.



Tal e como se pode apreciar no cadro 10, nun escenario de aumento anual da temperatura na auga superficial do mar de 0,027 °C (escenario climático 1), os maiores beneficios obteríanse ante incrementos no prezo unitario das capturas. Evidentemente, os beneficios máis baixos, en termos absolutos, lograríanse ante aumentos no custo por unidade de esforzo pesqueiro, mentres que os beneficios xerados por un incremento simultáneo neses parámetros se sitúan entre ambos os escenarios.

Cadro 11. Análise de sensibilidade. Estimación de beneficios xerados para o sector galego ante cambios en prezos/custos. 2009-2030.

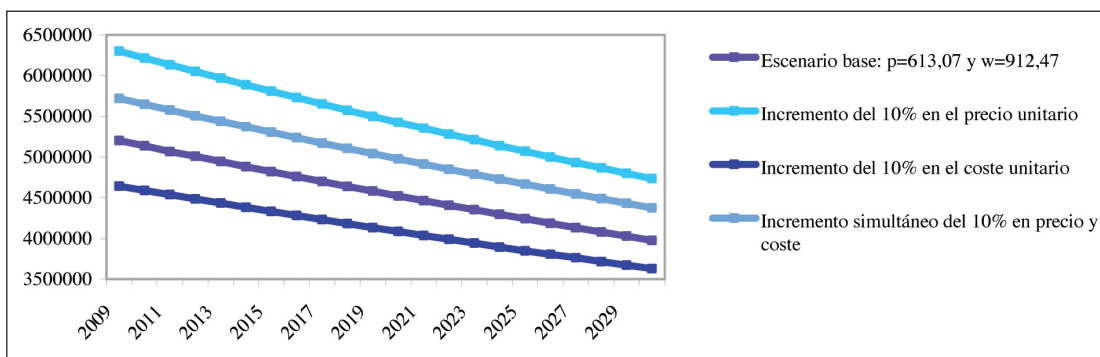
Ano	ESCENARIO INCREMENTO 0,027 °C POR ANO			
	Escenario base: $p = 613; w = 912$	$p$ aumenta 10%	$w$ aumenta 10%	$p$ e $w$ aumentan 10%
2009	5200731,24	6301924,71	4643593,78	5720797,24
2010	5135671,11	6217013,32	4590616,46	5649231,26
2011	5064957,06	6133179,53	4538082,76	5578426,80
2012	5007625,57	6050416,45	4485995,31	5508381,47
2013	4944638,51	5968720,87	4434356,62	5439095,86
2014	4882341,42	5888080,78	4383169,01	5370569,21
2015	4820733,29	5808490,52	4332434,95	5302800,41
2016	4759812,79	5729942,37	4282156,09	5235788,00
2017	4699578,28	5652428,31	4232334,42	5169530,17
2018	4640031,27	5575940,13	4182971,61	5104028,60
2019	4581164,93	5500469,36	4134069,13	5039275,76
2020	4522978,89	5426007,35	4088894,49	4975271,24
2021	4465470,60	5352545,26	4037650,14	4912012,25
2022	4408637,29	5280074,06	3990135,63	4849495,73
2023	4353840,48	5210225,04	3944310,21	4789219,37
2024	4296983,36	5138067,48	3896500,15	4726676,64
2025	4242156,08	5068513,31	3850380,04	4666366,75
2026	4187990,49	4999912,48	3804725,28	4606784,70
2027	4134482,76	4932255,29	3762517,46	4547926,31
2028	4081628,89	4865531,95	3714811,52	4489787,16
2029	4029424,72	4799734,27	3670551,94	4432362,67
2030	3977865,90	4734849,58	3626758,23	4375648,07

Fonte: Elaboración propia.

Así mesmo, un aumento no prezo por unidade de capturas xera un incremento do 19% nos beneficios globais da pesqueira respecto aos obtidos no escenario de partida, pero tamén un maior descenso nestes a medida que se incrementa a temperatura da auga superficial do mar (véxase a figura 8). Asemade, un aumento do 10% no custo por unidade de esforzo supón unha diminución do 8,8% nos beneficios xerados no conxunto da pesqueira e, a diferenza do caso anterior, unha menor diminución destes ante incrementos anuais de 0,027 °C na temperatura da auga superficial do mar. Por último, de se producir un incremento simultáneo do 10% en ambos os parámetros económicos, iso

implicaría un aumento do 10,1% nos beneficios estimados para o conxunto da pesqueira respecto aos obtidos no escenario de referencia e unha tendencia negativa na variación destes a medida que se incrementa a temperatura baseándose na traxectoria pasada, tendencia similar á que se obtivo no escenario de referencia.

Figura 9. Análise de sensibilidade. Evolución dos beneficios estimados para o sector pesqueiro galego ante cambios en prezos/custos. 2009-2030.



Fonte: Elaboración propia.

En relación coa pesqueira en Galicia (véxase a figura 9), o sentido e contía dos efectos da modificación dos parámetros económicos sobre o sector pesqueiro galego é similar aos observados para o conxunto da pesqueira. Por outro lado, e baixo o escenario de incremento na temperatura da auga superficial do mar en 0,027 °C por ano, un aumento nun 10% no prezo unitario das capturas suporía unha diminución paulatina nos beneficios xerados en aproximadamente un 1,4% (aínda que os beneficios son superiores aos obtidos nos demais casos) fronte ao 1,3% de descenso para o caso dos parámetros económicos de partida. No caso dun aumento do 10% no custo unitario do esforzo, os beneficios diminuírían ao longo do período estudado nun 1,2%. Por último, no suposto de que ambos os parámetros se incrementasen simultaneamente nun 10%, os beneficios diminuírían progresivamente nun 1,3% ante aumentos na temperatura en 0,027 °C anuais.

## CONCLUSIÓN

Neste capítulo estimáronse os efectos económicos do cambio climático sobre unha das pesqueiras de maior relevancia socioeconómica para o conxunto do sector pesqueiro español e galego. E iso a partir dos efectos que o quentamento global xera sobre a temperatura da auga superficial do mar e a súa repercusión na produtividade natural da especie mariña. Observouse que tras lixeiros incrementos de temperatura se produce unha diminución da biomasa reprodutora e viceversa. En concreto, e tras estimar a correlación entre a biomasa reprodutora de sardiña e a temperatura superficial do mar, identificouse que a temperatura captura en torno ao 30% da incerteza asociada a esta pesqueira.

De cara á estimación do impacto futuro, formuláronse tres posibles escenarios de evolución da temperatura: mantemento na tendencia observada de incremento anual da temperatura superficial do mar de 0,027 °C, intensificación do quentamento global e maior incremento na temperatura da



auga superficial do mar (aumentos do 5 e 10% sobre a tendencia anterior) e control e mitigación do quentamento global e menor incremento da temperatura superficial respecto á tendencia observada en décadas pasadas (diminución do 5 e 10%).

Os resultados mostran que, a medida que se incrementa a temperatura da auga superficial do caladoiro iberoatlántico, menores niveis de biomasa e capturas se obterían, e os rendementos económicos diminuírían. En particular, se se mantén a actual tendencia de incremento de temperatura na auga superficial do mar, os beneficios diminuírían anualmente nun 1,3% durante o período analizado (2009-2030). Se se intensifica o quentamento global e iso xera un incremento aínda maior na temperatura do caladoiro, os beneficios decrecerían en torno ao 1,5% por termo medio en cada ano do período analizado. Pero se se introducisen medidas paliativas tendentes a diminuír o quentamento e iso repercutise nun menor incremento da temperatura da auga superficial, os beneficios diminuírían aproximadamente a un ritmo do 1,2% anual.

Por outro lado, a análise de sensibilidade das solucións de equilibrio ante modificacións no prezo unitario das capturas e custo por unidade de esforzo pesqueiro mostra que, nun contexto de aumento da temperatura da auga superficial do mar baseándose na tendencia pasada, incrementos nos prezos xeran maiores beneficios, pero, a medida que se incrementa a temperatura, estes diminúen a maior ritmo (1,4%) que no escenario de referencia (1,3). Un incremento nos custos supón menores beneficios respecto ao escenario de referencia, pero estes descenden a menor ritmo (1,2%) que nese escenario. Por último, un aumento simultáneo en ambos os parámetros económicos, aínda que xera maiores beneficios que os obtidos no escenario de partida, implica un descenso medio en cada ano do período similar á variación estimada para o escenario de referencia (1,3%).

Os resultados obtidos neste traballo permiten identificar e cuantificar, baixo determinados supostos de parámetros económicos e escenarios climáticos, os efectos económicos do quentamento global sobre unha das pesqueiras máis vulnerables aos shocks ambientais, como son as pesqueiras peláxicas. Estes resultados poñen de manifesto, unha vez máis, a necesidade de realizar accións de mitigación e deseñar estratexias de adaptación ao posible novo escenario climático, tanto a nivel global como rexional. O mellor coñecemento dos efectos do quentamento global incrementa a solvencia das decisións futuras sobre a xestión sustentable dos recursos mariños e a previsible redución da presión sobre eles.

## BIBLIOGRAFÍA

- ACIA (2004). *Artic climate impacts assessment: Overview Report*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Arnason R. (2005). Climate change and fisheries: assessing the economic impact in Iceland and Greenland. *Workshop on economic effects of climate change on fisheries*, Bergen.
- Arnason R. (2006). Global warming, small pelagic fisheries and risk. In: *Climate change and the economics of the world's fisheries*, R. Hannesson, M. Barange, S. Herrick (Eds.). Edward Elgar Publishing.
- Briones R., Garces L. and Ahmed M. (2006). Climate change and small pelagic in developing Asia: the economic impact on fish producers and consumers. In: *Climate change and the economics of the world's fisheries*, R. Hannesson, M. Barange, S. Herrick (Eds.). Edward Elgar Publishing.
- Eide A. (2005). Economic impacts of global warming. The case of the Barents Sea fisheries. *Workshop on economic effects of climate change on fisheries*, Bergen.

- Gallagher Ch. (2005). Variable abundance and fishery movements in New Zealand squid fisheries: Preliminary findings from global and regional investigations. *Workshop on economic effects of climate change on fisheries*, Bergen.
- European Commission (varios años). Economic Performance of important segments fleets. Brussels.
- Hannesson R. (2006). Sharing the herring: fish migrations, strategic advantage and climate change. En R. Hannesson, M. Barange, S. Herrick (Eds.). *Climate change and the economics of the world's fisheries*. Edward Elgar Publishing.
- Herrick S., Hill K. and Reiss C. (2006). An optimal harvest policy for the recently renewed United States Pacific sardine fishery. En R. Hannesson, M. Barange, S. Herrick (Eds.). *Climate change and the economics of the world's fisheries*. Edward Elgar Publishing.
- ICES (2007). *Annual Report for Sardine*. [www.ices.dk](http://www.ices.dk).
- IPCC (2007). *4th Report of International Panel for Climate Change*. [www.ipcc.ch](http://www.ipcc.ch).
- Kamien M. and Schwartz N. (1991). *Dynamic Optimization. The Calculus of Variations and Optimal Control in Economics and Management*. New York. North-Holland Ed.
- Ministerio de Medio Ambiente (2006). *Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático*, Madrid.
- Röckmann C. (2005). Rebuilding the Eastern Baltic cod stock under environmental change. *Workshop on economic effects of climate change on fisheries*, Bergen.
- Rosón G. (2008). Índices climáticos y su impacto en la hidrografía y dinámica marina, Workshop *Evidencias del cambio climático en Galicia*, Santiago de Compostela.
- Sissener E. H. and Bjørndal T. (2005). Climate change and the migratory pattern for Norwegian spring-spawning herring: implications for management. *Marine Policy*, **29**, 299-309.
- VVAA. (2007). *El cambio climático en España. Estado de situación*. Ministerio de la Presidencia, Madrid.



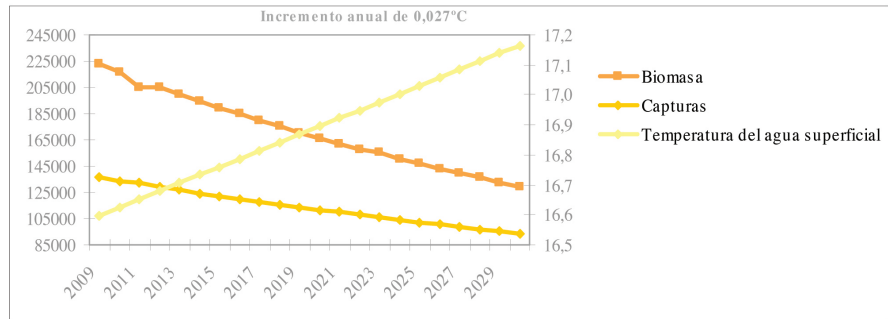
ANEXO I: RESULTADOS ESTIMADOS DE BIOMASA E CAPTURAS GLOBAIS BAIXO DIFERENTES ESCENARIOS CLIMÁTICOS

Cadro 12. Escenario 1: Incremento anual dun 0,027 °C na temperatura da auga superficial do mar. 2009-2030.

Ano	Temperatura prevista	Biomasa	Capturas
2009	16,5980	223066,5038	136173,5743
2010	16,6250	217004,9594	133735,6208
2011	16,6520	205489,3280	131987,3544
2012	16,6790	205489,3280	128994,9956
2013	16,7060	200017,6844	126691,3269
2014	16,7330	194726,9117	124431,2477
2015	16,7600	189609,7261	122214,1415
2016	16,7870	184659,1398	120039,3819
2017	16,8140	179868,4495	117906,3338
2018	16,8410	175234,5668	115813,9988
2019	16,8680	170746,8239	113762,2185
2020	16,8950	166401,3628	111750,1225
2021	16,9220	162192,7091	109777,0400
2022	16,9490	158115,6317	107842,2985
2023	16,9760	154468,2004	105814,3306
2024	17,0030	150336,4317	104085,1474
2025	17,0300	146624,9639	102261,3953
2026	17,0570	143026,3615	100473,3017
2027	17,0840	139536,4484	98720,2030
2028	17,1110	136151,2305	97001,4405
2029	17,1380	132866,8862	95316,3610
2030	17,1650	129679,7590	93664,3171

Fonte: Elaboración propia.

Figura 10. Escenario 1: Evolución de biomasa e capturas ante un incremento anual dun 0,027 °C na temperatura da auga superficial do mar. 2009-2030.



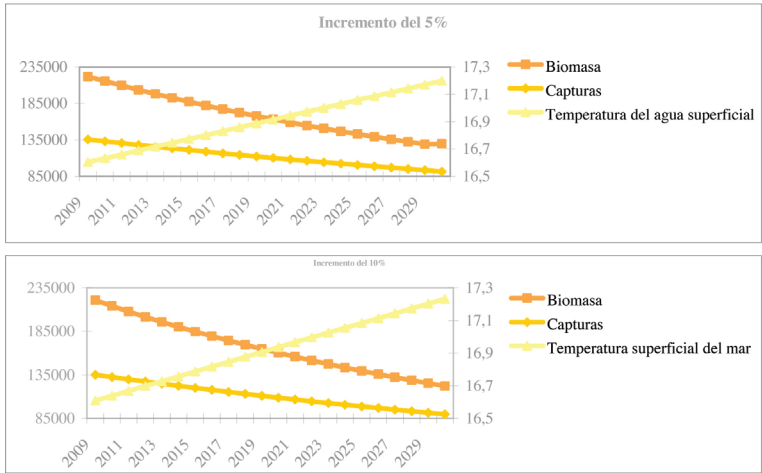
Fonte: Elaboración propia.

Cadro 13. Escenario 2: Incremento anual do 5% e 10% na temperatura da auga superficial do mar sobre a tendencia pasada (sobre 0,027 °C ). 2009-2030.

Año	Incremento do 5% sobre tendencia pasada			Incremento do 10% sobre tendencia pasada		
	Temperatura	Biomasa	Capturas	Temperatura	Biomasa	Capturas
2009	16,6034	221837,4254	135682,3271	16,6088	220616,8016	135192,9125
2010	16,6318	215510,9155	133134,5652	16,6385	214052,3148	132533,5839
2011	16,6601	209431,1502	130633,8234	16,6682	207730,3195	129928,8038
2012	16,6885	203543,0271	128184,9040	16,6979	201639,8466	127377,8229
2013	16,7168	197880,0854	125782,0988	16,7276	195770,9505	124879,8058
2014	16,7452	192393,6302	123429,3405	16,7573	190113,8346	122433,9361
2015	16,7735	187114,0336	121121,5079	16,7870	184659,1398	120039,3819
2016	16,8019	181996,0339	118862,0513	16,8167	179397,9249	117695,2985
2017	16,8302	177070,7776	116645,9722	16,8464	174325,3644	115400,4359
2018	16,8586	172292,7918	114476,6665	16,8761	169428,4999	113154,4533
2019	16,8869	167690,3921	112349,6243	16,9058	164701,7827	110956,2455
2020	16,9153	163224,6056	110267,4799	16,9355	160138,0411	108804,9187
2021	16,9436	158920,7643	108226,2118	16,9652	155730,4531	106699,5773
2022	16,9720	154742,5926	106228,1267	16,9949	151472,5285	104639,3260
2023	17,0003	150713,9525	104269,5094	17,0246	147358,0913	102623,2718
2024	17,0287	146801,0437	102352,3795	17,0543	143381,2632	100650,5254
2025	17,0570	143026,3615	100473,3017	17,0840	139536,4484	98720,2030
2026	17,0854	139358,3787	98634,0442	17,1137	135818,3183	96831,4275
2027	17,1137	135818,3183	96831,4275	17,1434	132221,7976	94983,3299
2028	17,1421	132376,7429	95067,0000	17,1731	128742,0510	93175,0500
2029	17,1704	129053,6890	93337,8162	17,2028	125374,4709	91405,7376
2030	17,1988	129680,0000	91284,1404	17,2325	122114,6653	89674,5530

Fonte: Elaboración propia.

Figura 11. Escenario 2: Evolución de biomasa e capturas ante un incremento do 5% e 10% na temperatura da auga superficial do mar sobre a tendencia de décadas pasadas. 2009-2030.



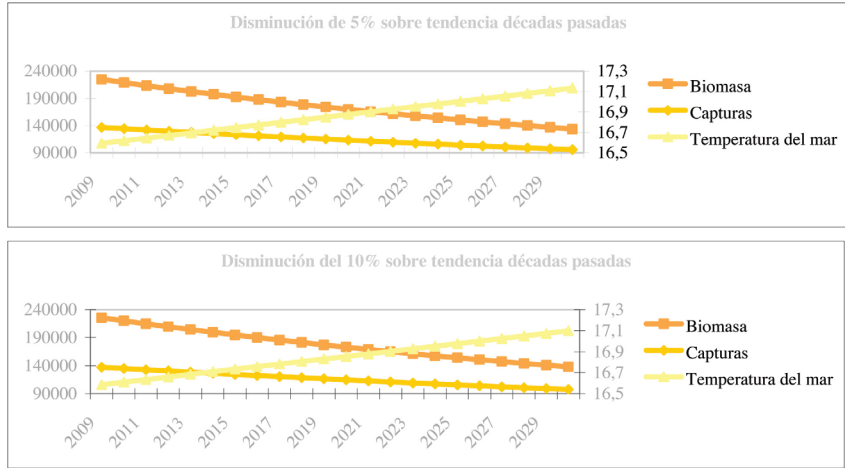
Fonte: Elaboración propia.

Cadro 14. Escenario 3: Diminución anual do 5% e 10% na temperatura da auga superficial do mar sobre a tendencia pasada (sobre 0,027 °C ). 2009-2030.

Ano	Diminución do 5% sobre tendencia pasada			Diminución do 10% sobre tendencia pasada		
	Temperatura	Biomasa	Capturas	Temperatura	Biomasa	Capturas
2009	16,59260	224304,1073	136666,6585	16,58720	225550,3074	137161,5839
2010	16,61825	218500,8430	134340,8336	16,61150	220009,6382	134948,8910
2011	16,64390	212885,0524	132055,9638	16,63580	214638,0696	132773,1756
2012	16,66955	207448,5297	129811,6898	16,66010	209431,1502	130633,8234
2013	16,69520	202184,2192	127607,5295	16,68440	204380,1697	128530,7455
2014	16,72085	197085,8493	125442,9283	16,70870	199480,5905	126463,3676
2015	16,74650	192147,0640	123317,3619	16,73300	194726,9117	124431,2477
2016	16,77215	187361,7530	121230,2971	16,75730	190113,8346	122433,9361
2017	16,79780	182724,0423	119181,1931	16,78160	185636,2549	120470,9765
2018	16,82345	178228,2855	117169,5027	16,80590	181289,2553	118541,9066
2019	16,84910	173872,9684	115194,2580	16,83020	177070,7776	116645,9722
2020	16,87475	169647,3378	113255,5002	16,85450	172972,5581	114783,1063
2021	16,90040	165548,8583	111352,4064	16,87880	168991,8778	112952,6555
2022	16,92605	161572,8842	109484,4010	16,90310	165124,6445	111154,1319
2023	16,95170	157714,9663	107650,9072	16,92740	161366,9307	109387,0460
2024	16,97735	153970,8430	105851,3481	16,95170	157714,9663	107650,9072
2025	17,00300	150336,4317	104085,1474	16,97600	154165,1319	105945,2250
2026	17,02865	146807,8212	102351,7305	17,00030	150713,9525	104269,5094
2027	17,05430	143381,2632	100650,5254	17,02460	147358,0913	102623,2718
2028	17,07995	140053,1655	98980,9628	17,04890	144094,3434	101006,0252
2029	17,10560	136820,0843	97342,4775	17,07320	140919,6305	99417,2853
2030	17,13125	133678,7181	95734,5086	17,09750	137830,9954	97856,5707

Fonte: Elaboración propia.

Figura 12. Escenario 3: Evolución de biomasa e capturas ante unha diminución do 5% e 10% na temperatura da auga superficial do mar sobre a tendencia de décadas pasadas. 2009-2030.



Fonte: Elaboración propia.

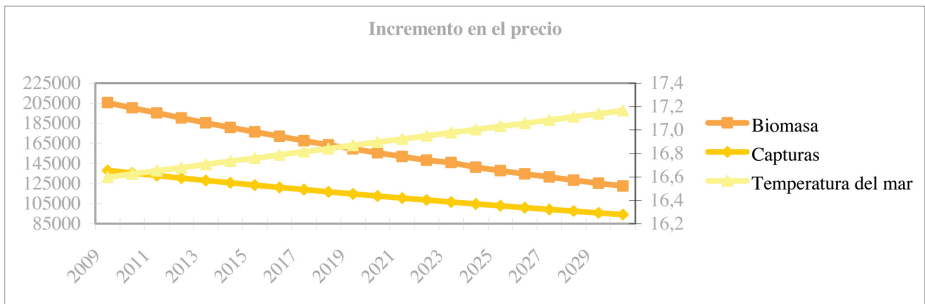
ANEXO II: RESULTADOS ESTIMADOS DE BIOMASA E CAPTURAS GLOBAIS NA ANÁLISE DE SENSIBILIDADE (ESCENARIO CLIMÁTICO DE INCREMENTO ANUAL EN 0,027 °C A TEMPERATURA SUPERFICIAL DO MAR)

Cadro 15. Incremento do 10% no prezo unitario das capturas. 2009-2030.

Ano	Temperatura prevista	Biomasa	Capturas
2009	16,5980	205598,1028	138042,8349
2010	16,6250	200307,0133	135493,0811
2011	16,6520	195183,1360	132995,8191
2012	16,6790	190219,7666	130550,0342
2013	16,7060	185413,5479	128154,4619
2014	16,7330	180754,9099	125808,4010
2015	16,7600	176239,6326	123510,7263
2016	16,7870	171862,3497	121260,4443
2017	16,8140	167617,9333	119056,5739
2018	16,8410	163501,4820	116898,1475
2019	16,8680	159508,3093	114784,2115
2020	16,8950	155633,9327	112713,8264
2021	16,9220	151874,0631	110686,0679
2022	16,9490	148224,5951	108700,0268
2023	16,9760	145851,0026	106669,0078
2024	17,0030	141241,3051	104849,5375
2025	17,0300	137900,1085	102983,3492
2026	17,0570	134654,5482	101155,3982
2027	17,0840	131501,3066	99364,8546
2028	17,1110	128437,2014	97610,9041
2029	17,1380	125460,2470	95892,6791
2030	17,1650	122565,7724	94209,5123

Fonte: Elaboración propia.

Figura 13. Evolución da biomasa de sardiña e capturas ante un incremento do 10% no prezo unitario das capturas. 2009-2030.



Fonte: Elaboración propia



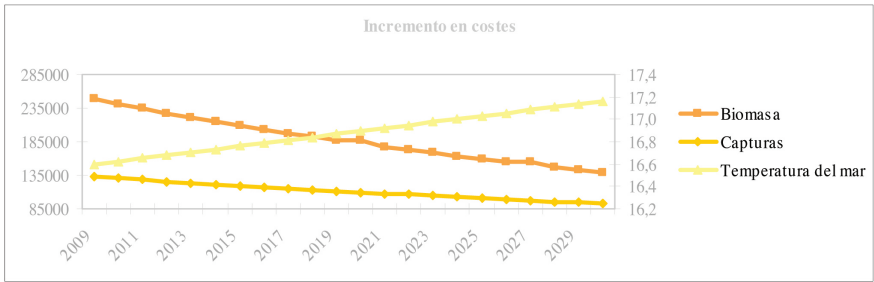


Cadro 16. Incremento do 10% no custo unitario do esforzo. 2009-2030.

Ano	Temperatura prevista	Biomasa	Capturas
2009	16,5980	248372,9247	132510,1147
2010	16,6250	241221,8913	130284,1753
2011	16,6520	234321,9507	128091,3706
2012	16,6790	227663,2976	125931,7557
2013	16,7060	221236,4787	123805,3474
2014	16,7330	215032,3848	121712,1253
2015	16,7600	209042,6082	119651,9783
2016	16,7870	203258,2766	117624,8827
2017	16,8140	197671,4823	115630,6843
2018	16,8410	192274,4564	113669,2251
2019	16,8680	187059,7374	111740,3183
2020	16,8950	187059,7374	109111,1608
2021	16,9220	177148,8547	107979,2802
2022	16,9490	172439,2229	106146,6469
2023	16,9760	169386,1550	104142,0445
2024	17,0030	163479,9613	102575,7309
2025	17,0300	159218,4722	100836,8203
2026	17,0570	155094,9237	99128,4935
2027	17,0840	155094,9237	96925,9493
2028	17,1110	147240,6299	95802,1553
2029	17,1380	143499,9471	94183,3928
2030	17,1650	139879,0492	92593,5055

Fonte: Elaboración propia.

Figura 14. Evolución da biomasa de sardiña e capturas ante un incremento do 10% no custo unitario do esforzo. 2009-2030.



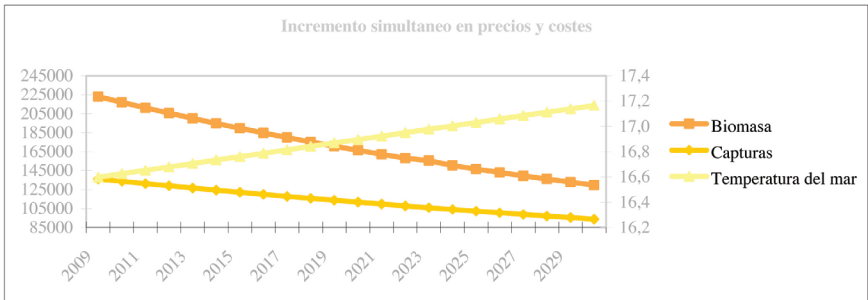
Fonte: Elaboración propia.

Cadro 17. Incremento simultáneo do 10% no prezo unitario das capturas e custo unitario do esforzo. 2009-2030

Ano	Temperatura prevista	Biomasa	Capturas
2009	16,5980	223066,5038	136173,5743
2010	16,6250	217004,9594	133735,6208
2011	16,6520	211149,4361	131342,8578
2012	16,6790	205489,3280	128994,9956
2013	16,7060	200017,6844	126691,3269
2014	16,7330	194726,9117	124431,2477
2015	16,7600	189609,7261	122214,1415
2016	16,7870	184659,1398	120039,3819
2017	16,8140	179868,4495	117906,3338
2018	16,8410	175234,5668	115813,9988
2019	16,8680	170746,8239	113762,2185
2020	16,8950	166401,3628	111750,1225
2021	16,9220	162192,7091	109777,0400
2022	16,9490	158115,6317	107842,2985
2023	16,9760	155468,2004	105814,3306
2024	17,0030	150336,4317	104085,1474
2025	17,0300	146624,9639	102261,3953
2026	17,0570	143026,3615	100473,3017
2027	17,0840	139536,4484	98720,2030
2028	17,1110	136151,2305	97001,4405
2029	17,1380	132866,8862	95316,3610
2030	17,1650	129679,7590	93664,3171

Fonte: Elaboración propia.

Figura 15. Evolución da biomasa de sardiña e capturas ante un incremento simultáneo do 10% en prezos e custos. 2009-2030.



Fonte: Elaboración propia.

