

**SUPPLEMENTARY ELECTRONIC MATERIAL (APPENDIX 1)**

ARDEOLA 69(2)

**PHENOLOGY AND WINTERING POPULATION ESTIMATES OF  
AUKS IN THE MEDITERRANEAN SEA BASED ON COUNTS FROM A  
STRATEGIC COASTAL LOCATION IN THE STRAIT OF  
GIBRALTAR**

**FENOLOGÍA Y ESTIMAS DE LA POBLACIÓN INVERNANTE DE ÁLCIDOS EN EL  
MAR MEDITERRÁNEO A TRAVÉS DE CONTEOS DESDE COSTA EN UN  
PUNTO ESTRATÉGICO, EL ESTRECHO DE GIBRALTAR**

Andrés DE LA CRUZ<sup>1,2,3\*</sup> Laura ROLLÁN<sup>4</sup> Blanca PÉREZ<sup>5</sup>, Marina GUERRERO<sup>6</sup>, Javier ELORRIAGA<sup>7</sup>, Rafael BENJUMEA<sup>5</sup>, Miguel GONZÁLEZ<sup>6</sup>, Yeray SEMINARIO<sup>7</sup>, Gonzalo M. ARROYO<sup>1,2</sup> and Juan RAMÍREZ<sup>8</sup>

<sup>1</sup> Institute of Marine Research (INMAR), Cadiz University, Puerto Real, 11510, Cádiz, Spain.

<sup>2</sup> Biology Department, Faculty of Marine and Environmental Sciences, Cadiz University, Puerto Real, 11510 Cádiz, Spain.

<sup>3</sup> Oceanographic Center of Cádiz, Spanish Institute of Oceanography (IEO) - Spanish National Research Council (CSIC), Cádiz, Spain.

<sup>4</sup> Cybertracker Conservation Spain, 21750 El Rocio, Huelva, Spain.

<sup>5</sup> Vida Silvestre Iberica Association, 11380 Tarifa, Cádiz, Spain.

<sup>6</sup> Tumbabuey Ornithological Group, 11380 Tarifa, Cádiz, Spain.

<sup>7</sup> Birding The Strait, 11380 Tarifa, Cádiz, Spain.

<sup>8</sup> Malaga University, Animal biology Department, 29071 Málaga, Spain.

Twitter: @Andres\_dlaC

**TABLE A1**

Number of counts conducted from Tarifa Island per month during the monitoring of auk migration in the Strait of Gibraltar during autumn 2020 and spring 2021.

*[Número de jornadas de conteos realizados desde la isla de Tarifa al mes durante el seguimiento de la migración de álcidos en el estrecho de Gibraltar durante el otoño de 2020 y la primavera de 2021.]*

Year	2020					2021			
Month	Oct	Nov	Dec	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun
<b>Nº of censuses</b>	2	10	10	7	9	7	6	6	4

**TABLE A2**

Bivariate Spearman rank p-values and correlations between migratory auk species at the Strait of Gibraltar and the environmental variables considered as relevant during coastal counts at Tarifa Island included as variables analysed in the models. alctor\_E: number of Razorbills per hour counted heading east; alctor\_W: number of Razorbills per hour counted heading west; fraarc\_E: number of Atlantic Puffins per hour counted heading east; fraar\_W: number of Atlantic Puffins per hour counted heading west; auks\_E: numbers of auk spp. per hour counted heading east; auks\_W: numbers of auk spp. per hour counted heading west; julian: julian date; wave: significant wave height (m) average during census hours (0800-1100); windspeed: average wind speed (m/s) during census hours (0800-1100).

*[Resultados del test de correlación de Spearman y significación entre las especies de álcidos en el estrecho de Gibraltar y las variables ambientales consideradas relevantes durante el conteo costero en la isla de Tarifa que se incluyeron como variables para su análisis en los modelos. alctor\_E: número de alcas por hora contadas hacia el este; alctor\_W: número de alcas por hora contadas hacia el oeste; fraarc\_E: número de frailecillos atlánticos por hora contados en dirección este; fraar\_W: número de frailecillos atlánticos por hora contados en dirección oeste; auks\_E: número de álcidos sp. por hora contados en dirección este; auks\_W: número de álcidos sp. por hora contados en dirección oeste; julian: fecha juliana; ola: altura significativa de ola (m) promedio durante horas de censo (0800-1100); velocidad del viento: velocidad promedio del viento (m/s) durante las horas del censo (0800-1100).]*

	alctor_ E	alctor_ W	fraarc_ E	fraar_ W	auks_ E	auks_ W	julian	wave
<b>alctor_E</b>								
<b>alctor_W</b>	-0,07							
<b>fraarc_E</b>	0,37**	-0,16						
<b>fraar_W</b>	-0,31*	0,31*	-0,30*					
<b>auks_E</b>	0,29*	-0,14	0,30*	-0,04				
<b>auks_W</b>	-0,13	0,46***	-0,13		0,01			
<b>julian</b>	0,26*	-0,56***	0,22	-0,16	0,25	-0,32*		
<b>wave</b>	0,27*	0,15	0,05	-0,33*	-0,2	-0,19	-0,23	
<b>windspeed</b>	0,41**	-0,07	0,09	-0,36**	-0,21	-0,26*	0,03	0,62***

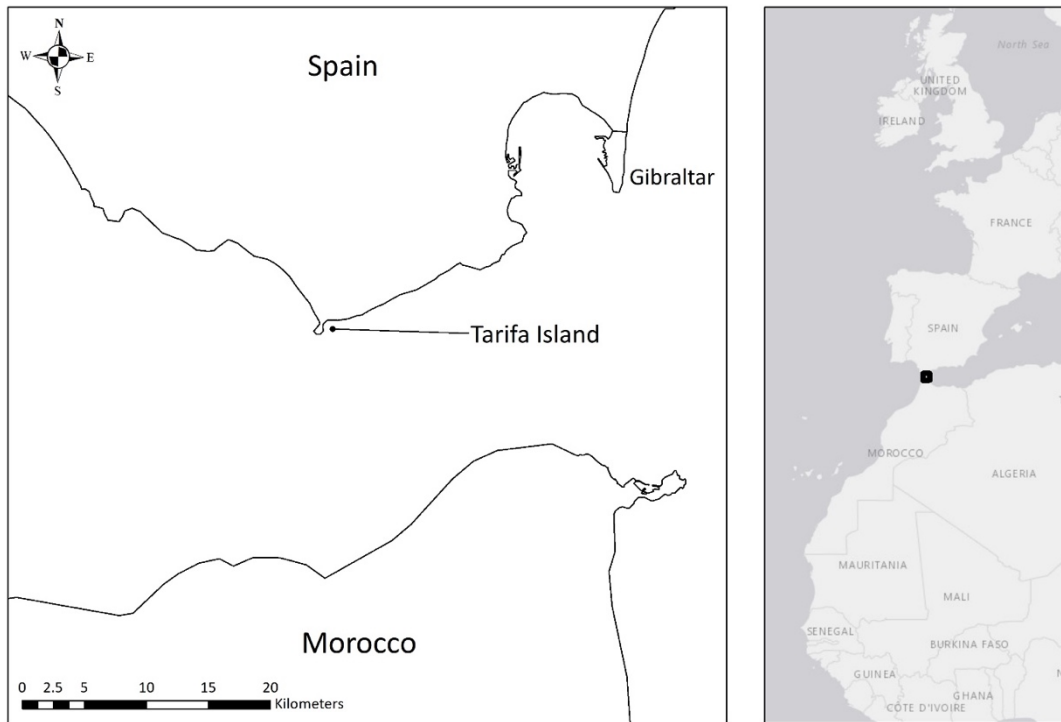
TABLE A3

Best explanatory models obtained for the migratory auk passage at the Strait of Gibraltar ordered by AIC (Akaike's Information Criterion). Best model for each species and season is shaded.

[Resultado de los mejores modelos explicativos obtenidos para el paso migratorio de álcidos en el estrecho de Gibraltar ordenados por AIC (Akaike's Information Criterion). El mejor modelo para cada especie y temporada se muestra sombreado.]

Razorbill_East	Parametric coefficients	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z )	Deviance explained (%)	AIC
<b>Razorbill_E ~ factor(winddir)</b>	E	0,674	0,407	1,654	0,098	12,6	182,803
	NW	-1,125	1,083	-1,038	0,299		
	S	-42,040	3,88E+07	0	1,000		
	SE	-0,704	1,730	-0,407	0,684		
	SW	-0,658	0,859	-0,767	0,443		
	W	0,712	0,545	1,307	0,191		
	<b>Smooth terms</b>	<b>edf</b>	<b>Ref,df</b>	<b>Chi,sq</b>	<b>p-value</b>		
<b>(Razorbill_E ~ s(julian))</b>	s(julian)	5,236	6,212	18,61	0,012	56,6	152,146
<b>(Razorbill_E ~ s(wave))</b>	s(wave)	2,176	2,766	8,779	0,030	15,9	176,140
<b>(Razorbill_E ~ s(windspeed))</b>	s(windspeed)	2,051	2,613	17,88	<0,001	30,8	166,048
<b>(Razorbill_E ~ s(julian)+s(windspeed))</b>	s(julian)	4,179	5,073	14,97	0,013	62	149,601
	s(windspeed)	2,028	2,572	10,61	0,011		
<b>(Razorbill_E ~ s(julian)+s(wave))</b>	s(julian)	4,784	5,772	18,923	0,008	57,3	153,343
	s(wave)	1,199	1,368	3,136	0,096		
<b>(Razorbill_E ~ s(wave)+s(windspeed))</b>	s(wave)	1,357	1,635	1,974	0,394	32	167,650
	s(windspeed)	1,764	2,235	15,095	<0,001		
<b>(Razorbill_E ~ s(julian)+s(windspeed)+s(wave))</b>	s(julian)	4,846	5,819	15,746	0,033	63,7	148,215
	s(windspeed)	1	1	6,914	0,009		
	s(wave)	1	1	1,061	0,303		
<b>Razorbill_West</b>	<b>Parametric coefficients</b>	<b>Estimate</b>	<b>Std. Error</b>	<b>z value</b>	<b>Pr(&gt; z )</b>	<b>Deviance explained (%)</b>	<b>AIC</b>
<b>Razorbill_W ~ factor(winddir)</b>	E	0,195	0,468	0,418	0,676	13	172,810
	NW	-40,040	2,74E+07	0,000	1,000		
	S	0,753	1,361	0,553	0,580		
	SE	1,466	1,631	0,899	0,369		
	SW	0,115	0,865	0,132	0,895		
	W	0,355	0,621	0,572	0,567		
	<b>Smooth terms</b>	<b>edf</b>	<b>Ref,df</b>	<b>Chi,sq</b>	<b>p-value</b>		
<b>Razorbill_W ~ s(julian)</b>	s(julian)	4,622	5,570	30,830	<0,001	68,4	132,757
<b>Razorbill_W ~ s(wave)</b>	s(wave)	3,009	3,790	6,599	0,114	19,1	166,759
<b>Razorbill_W ~ s(windspeed)</b>	s(windspeed)	2,860	3,608	4,500	0,319	61	169,533

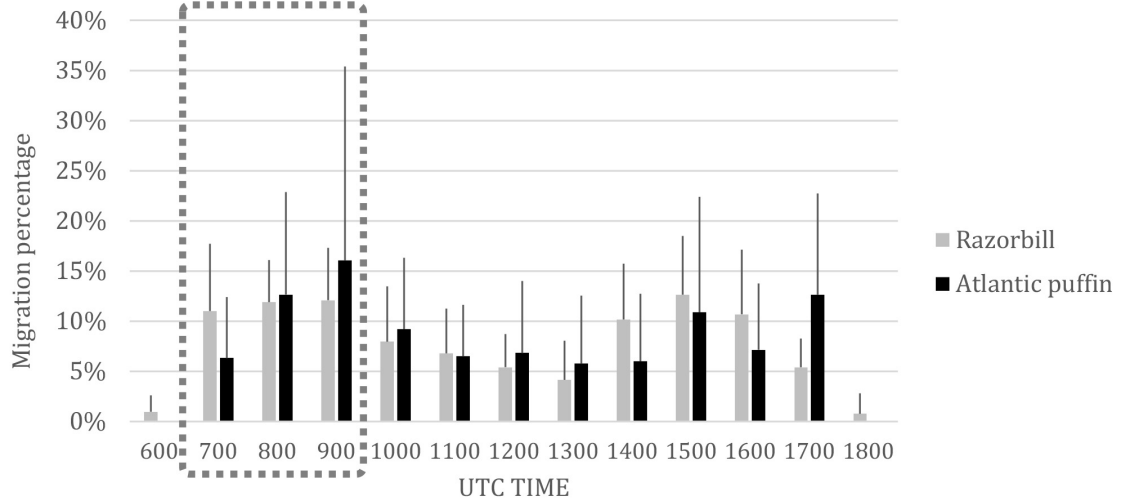
Atlantic Puffin_East	Parametric coefficients	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z )	Deviance explained (%)	AIC
<b>Atlantic Puffin_E ~ factor(winndir)</b>	E	-0,303	0,594	-0,510	0,610	61	135,157
	NW	-1,312	1,408	-0,932	0,351		
	S	-0,089	1,758	-0,051	0,960		
	SE	-41,040	4,75E+07	0	1,000		
	SW	-1,047	1,174	-0,892	0,372		
	W	0,627	0,762	0,822	0,411		
	<b>Smooth terms</b>	<b>edf</b>	<b>Ref,df</b>	<b>Chi,sq</b>	<b>p-value</b>		
<b>Atlantic Puffin_E ~ s(julian)</b>	s(julian)	2,135	2,657	17,36	<0,001	36,9	117,009
<b>Atlantic Puffin_E ~ s(wave)</b>	s(wave)	1,001	1,002	1,425	0,233	3	129,438
<b>Atlantic Puffin_E ~ s(windspeed)</b>	s(windspeed)	1	1	1,224	0,269	61	129,162
Atlantic Puffin_West	Parametric coefficients	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z )	Deviance explained (%)	AIC
<b>Atlantic Puffin_W ~ factor(winndir)</b>	E	1,555	0,701	2,220	0,026	17,2	183,381
	NW	-1,232	1,657	-0,744	0,457		
	S	3,386	2,088	1,622	0,105		
	SE	8,72E-01	2,5943	0,336	0,737		
	SW	1,790	1,285	1,393	0,164		
	W	-0,793	1,008	-0,786	0,432		
	<b>Smooth terms</b>	<b>edf</b>	<b>Ref,df</b>	<b>Chi,sq</b>	<b>p-value</b>		
<b>Atlantic Puffin_W ~ s(julian)</b>	s(julian)	4,613	5,493	30,99	0,000	71,3	149,205
<b>Atlantic Puffin_W ~ s(wave)</b>	s(wave)	3,163	3,991	7,774	0,098	23,8	178,113
<b>Atlantic Puffin_W ~ s(windspeed)</b>	s(windspeed)	1,852	2,316	13,06	0,002	27,9	172,805
<b>Atlantic Puffin_W~s(julian)+s(windspeed)</b>	s(julian)	4,459	5,374	29,317	0,000	77,8	147,452
	s(windspeed)	1,953	2,424	9,955	0,010		
Atlantic Puffin_W~s(julian)+s(windspeed)+factor(winndir)	Parametric coefficients	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z )	Deviance explained (%)	AIC
<b>Atlantic Puffin_W~s(julian)+s(windspeed)+factor(winndir)</b>	E	-1,496	0,876	-1,708	0,088	76	159,,394
	NW	-3,619	2,171	-1,667	0,096		
	S	-4,228	1,941	-2,179	0,029		
	SE	-3,132	1,87	-1,675	0,094		
	SW	-2,689	1,427	-1,884	0,060		
	W	-2,644	1,318	-2,005	0,045		
	<b>Smooth terms</b>	<b>edf</b>	<b>Ref,df</b>	<b>Chi,sq</b>	<b>p-value</b>		
s(julian)	4,045	4,938	18,820	0,002			
s(windspeed)	1	1	9,976	0,002			



**Figure A1.** Strait of Gibraltar. Location of the coastal bird observatory at Isla de las Palomas (Tarifa Island).

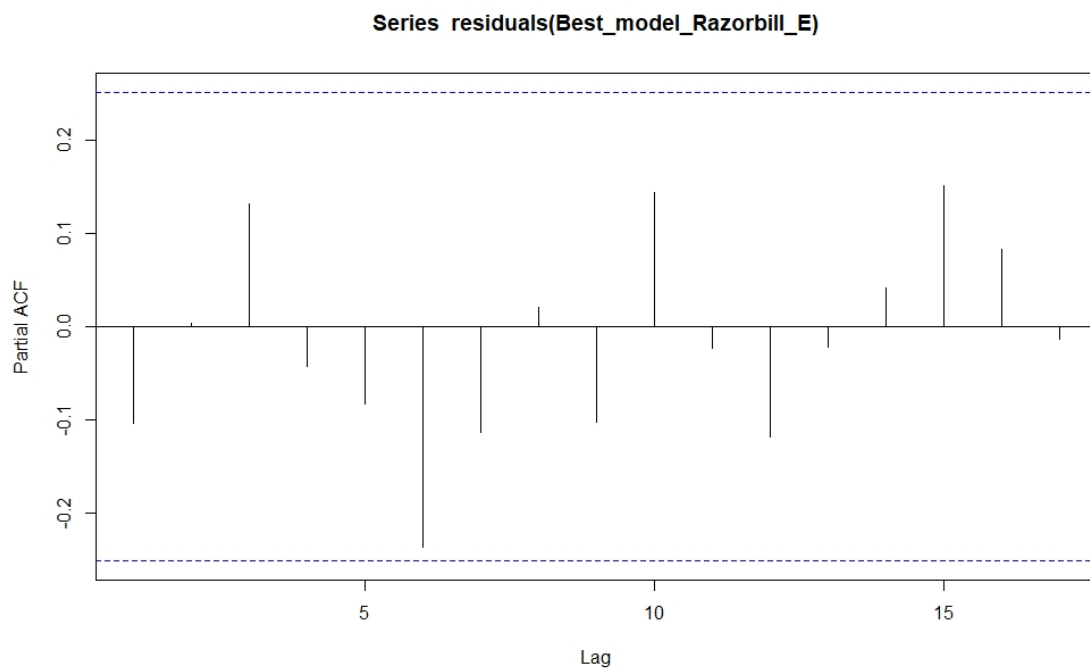
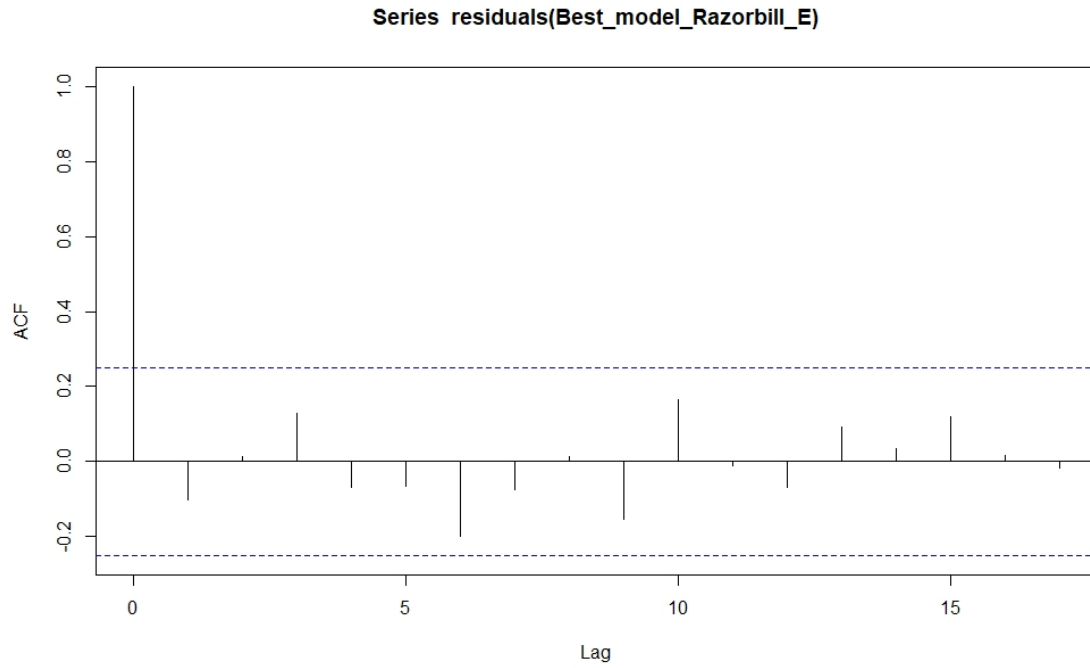
*[Área de estudio del estrecho de Gibraltar. Ubicación del observatorio costero de aves Isla de las Palomas (Isla de Tarifa).]*

Average hourly pattern of auk passages in the Strait of Gibraltar  
(2005-2011)



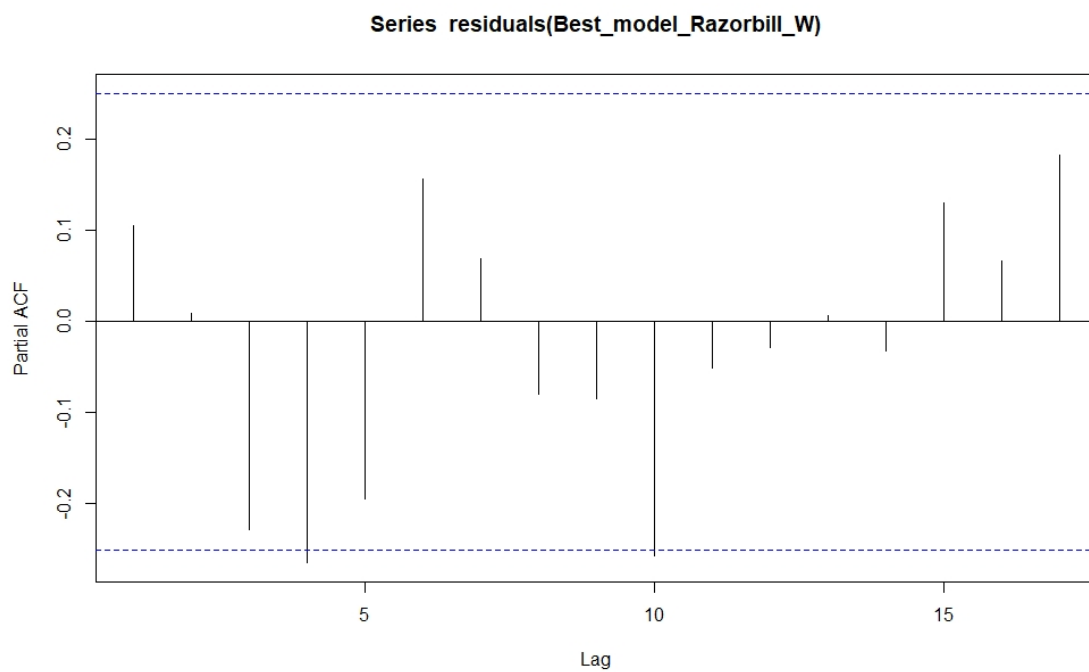
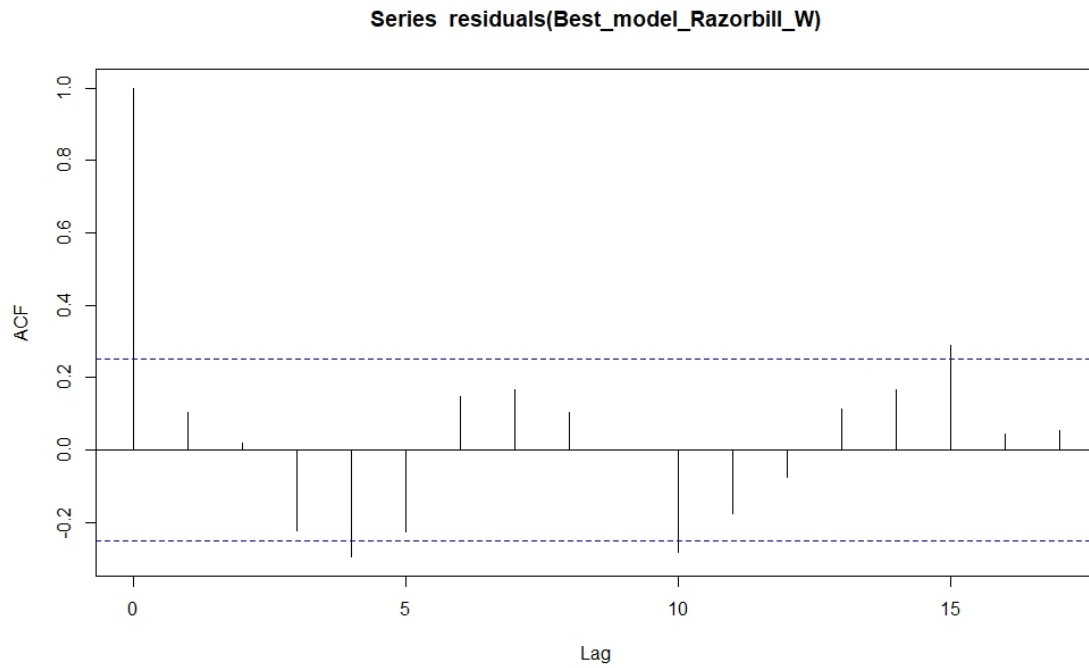
**Figure A2.** Hourly pattern (%) of auk movements through the Strait of Gibraltar during the autumn migrations of 2005-2011 (Junta de Andalucía, unpublished data). Narrow line indicates positive standard deviation. The square indicates the time window employed in the present study.

*[Patrón horario de paso de los álcidos por el estrecho de Gibraltar (en porcentaje) durante la migración otoñal de los años 2005-2011 (Junta de Andalucía, datos no publicados). La línea estrecha indica desviación estándar positiva. El cuadro de líneas discontinuas indica la ventana de tiempo considerada en el análisis del presente estudio.]*



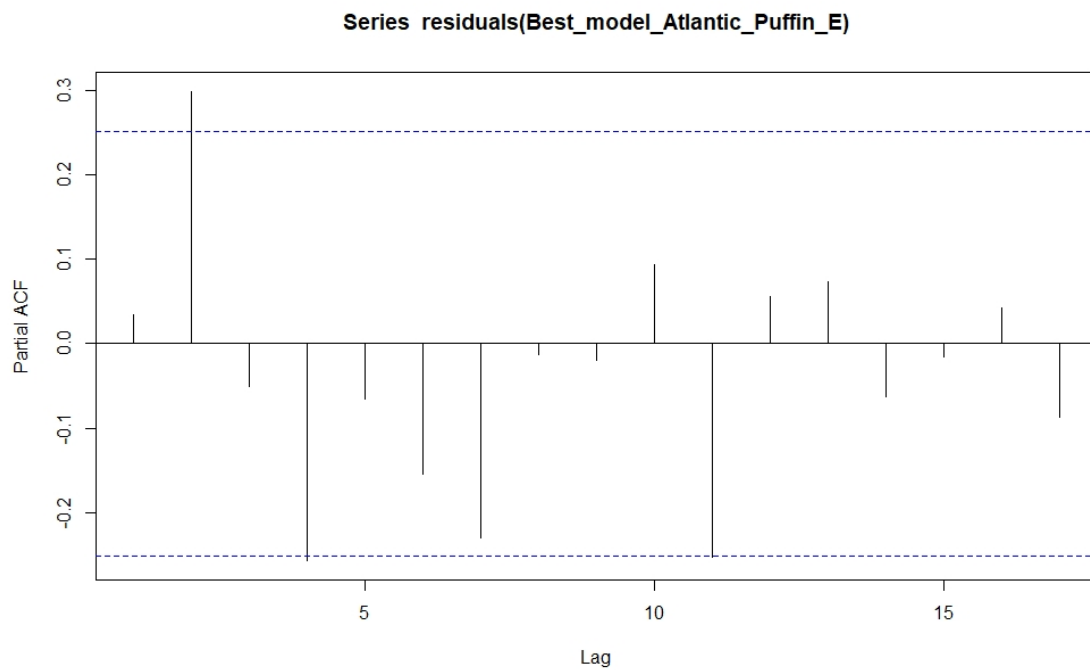
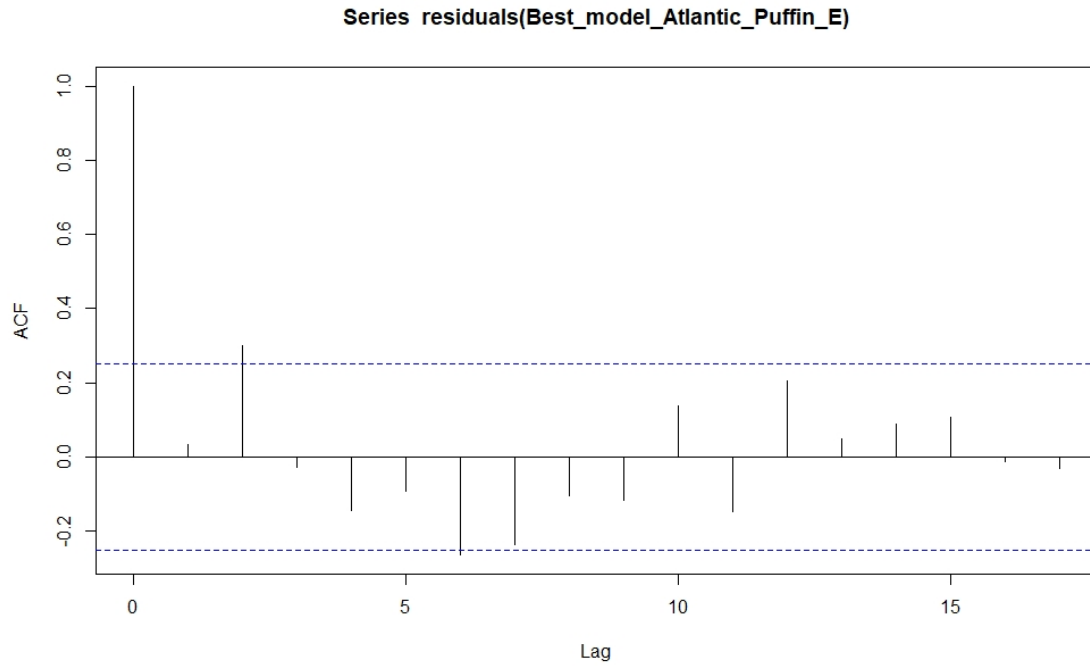
**Figure A3\_a.** Temporal autocorrelation assessment ACF and PACF plots from best-fit GzAM model for Razorbills flying east.

*[Evaluación de autocorrelación temporal mediante gráficos ACF y PACF del modelo GzAM de mejor ajuste para las alcas volando hacia el este.]*



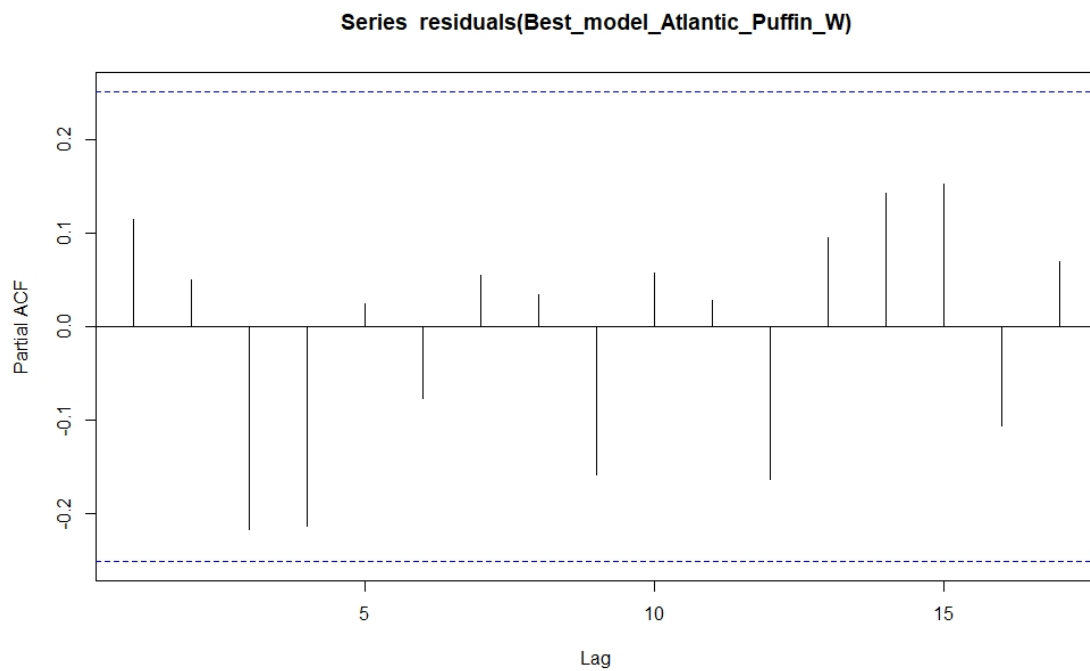
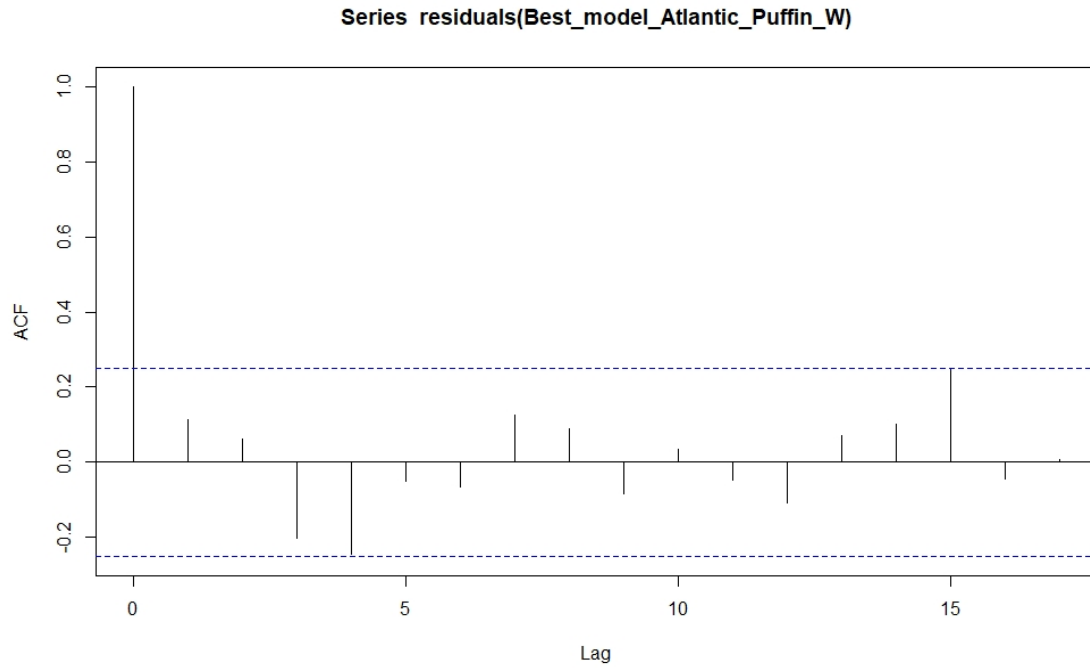
**Figure A3\_b.** Temporal autocorrelation assessment ACF and PACF plots from best-fit GzAM model for Razorbills flying west.

*[Evaluación de autocorrelación temporal mediante gráficos ACF y PACF del modelo GzAM de mejor ajuste para las alcas volando hacia el oeste.]*



**Figure A3\_c.** Temporal autocorrelation assessment ACF and PACF plots from best-fit GzAM model for Puffins flying east.

*[Evaluación de autocorrelación temporal mediante gráficos ACF y PACF del modelo GzAM de mejor ajuste para los frailecillos atlánticos volando hacia el este.]*



**Figure A3\_d.** Temporal autocorrelation assessment ACF and PACF plots from best-fit GzAM model for Puffins flying west.

*[Evaluación de autocorrelación temporal mediante gráficos ACF y PACF del modelo GzAM de mejor ajuste para los frailecillos atlánticos volando hacia el oeste.]*

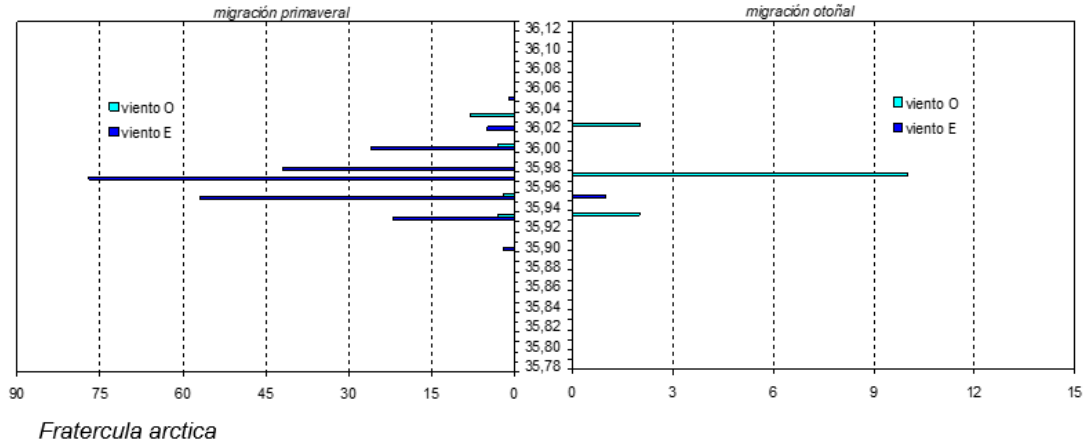
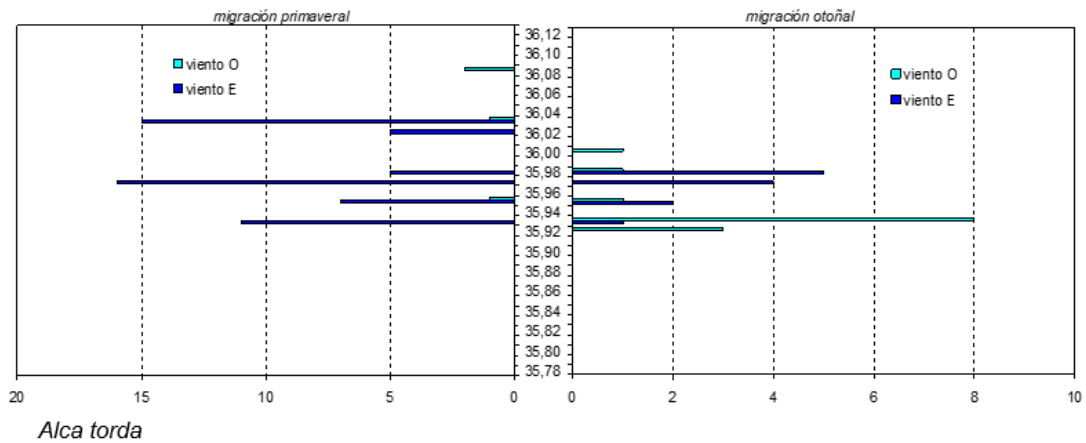


Figura 3.15.- Número de Frailecillos *Fratercula arctica* censados a distintas latitudes volando hacia el Atlántico en el paso primaveral (gráfica izquierda) o hacia el Mediterráneo en el paso otoñal (derecha) con viento del este (azul oscuro) o del oeste (azul claro).



**Figure A4.** Extract from unpublished report (Arroyo & Cuenca, 2004) on auk passage at different latitudes in the Strait of Gibraltar based on ferry surveys (above: Atlantic Puffin *Fratercula arctica*; below: Razorbill *Alca torda*). Data obtained during 31 round trips across the Strait of Gibraltar between Algeciras (Spain) and Tangier (Morocco) during all months of the year from 2002-2004 plus nine occasional trips with whale watching tour companies.

[Extracto de Arroyo & Cuenca (2004), informe no publicado sobre el paso de álcidos a diferentes latitudes en el estrecho de Gibraltar basado en censos desde Ferry (arriba: Frailecillo atlántico *Fratercula arctica*; abajo: Alca común *Alca torda*). Estos datos son el resultado de 31 viajes de ida y vuelta por el estrecho de Gibraltar entre Algeciras (España) y Tánger (Marruecos) durante todos los meses del año desde 2002-2004 más 9 viajes ocasionales con compañías turísticas de avistamiento de cetáceos.]