

**UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID**  
**FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS**  
**MENCIÓN BIOLOGÍA AMBIENTAL**  
**TRABAJO FIN DE GRADO**



***EFFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA  
PRODUCTIVIDAD REPRODUCTORA DEL  
GORRIÓN MOLINERO (*Passer montanus*)***



**Autor:** Elena Herrero Esteban

**Tutor:** José Ignacio Aguirre de Miguel

**Co-tutor:** Alejandro López García

## ÍNDICE

<b>RESUMEN</b> .....	3
<b>PALABRAS CLAVE</b> .....	3
<b>ABSTRACT</b> .....	3
<b>KEYWORDS</b> .....	3
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	4
<b>MATERIAL Y MÉTODOS</b> .....	7
Descripción especie de estudio.....	7
Área de estudio .....	8
Toma de datos.....	9
Datos climáticos .....	11
Análisis estadísticos.....	11
<b>RESULTADOS</b> .....	14
<b>DISCUSIÓN</b> .....	19
<b>CONCLUSIONES</b> .....	23
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	23
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	24
<b>ANEXO 1</b> .....	30

## **RESUMEN**

El cambio climático está provocando cambios en la distribución, demografía, fenología, etología, relaciones tróficas y eficacia reproductiva de multitud de especies animales, siendo especialmente visibles estos efectos en las aves. Este grupo animal es un excelente bioindicador, responden rápidamente a los cambios en el medio y los efectos son fácilmente cuantificables, por ejemplo, controlando el número o tamaño de puesta. Por esto, en el presente trabajo se estudia cómo afecta la temperatura y las precipitaciones a una población de gorrión molinero (*Passer montanus*) del centro peninsular (Madrid). Se ha realizado un seguimiento entre los meses de abril a julio desde 2005 hasta 2018 de las cajas-nido en las que se reproducen. El objetivo de este estudio es analizar si las variables climáticas influyen en los parámetros reproductivos de fecha de puesta, tamaño de puesta y número de puestas. Nuestros resultados muestran que el volumen de las precipitaciones durante la temporada de cría apenas es relevante, siendo el aumento de temperatura el que produce variaciones en la fecha y el tamaño de puesta.

## **PALABRAS CLAVE**

*Passer montanus*, gorrión molinero, calentamiento global, fecha de puesta, temperatura, precipitaciones, eficacia biológica.

## **ABSTRACT**

Climate change is causing changes in distribution, demography, phenology, ethology, trophic relations and reproductive efficiency in several animal species, being these effects specially patent in birds. This group is an excellent bioindicator, rapidly responding to environmental changes and presenting quantifiable effects, for example measuring their numbers or clutch size. Because of it, in this work we study how temperature and rains affect a tree sparrow (*Passer montanus*) population located in the Iberian Peninsula central area (Madrid). A tracing of the nest boxes in which they breed was done between April and July from the year 2005 to 2018. The aim of this study is to asses if the climatic variables influence the reproductive parameters, referring to date of egg laying, size of clutch and number of clutches. Our results show that the precipitation levels during the breeding season is nearly not relevant, being the temperature increase what causes changes in the date and size of the clutch.

## **KEYWORDS**

*Passer montanus*, tree sparrow, global warming, hatchling date, temperature, rainfall, biological effectiveness

## INTRODUCCIÓN

La Tierra ha experimentado a lo largo de toda su historia, de manera natural y periódica, enfriamientos y calentamientos, lenta y gradualmente, necesitando millones de años para ello. En el último siglo está experimentando un nuevo cambio climático, pero este calentamiento global no tiene causas naturales, sino que está provocado por las emisiones a la atmósfera de gases de efecto invernadero, derivadas de la actividad del ser humano, que provoca la destrucción de la capa de ozono. La intensificación en el uso de recursos, el aumento de la población mundial, la expansión en el uso de la energía y los cambios en el uso del suelo son también las fuerzas conductoras del cambio climático (Lorente *et al.*, 2004; Schimel *et al.*, 2013; Zalasiewicz *et al.*, 2008; King, 2004).

Que se mantenga el equilibrio en las interacciones entre atmósfera, biosfera, criosfera, hidrosfera y litosfera, elementos que condicionan el sistema climático, es primordial para la vida de los animales y las plantas (Lorente *et al.*, 2004). El cambio climático al que nos enfrentamos en la actualidad constituye una de las principales amenazas para el futuro de la biodiversidad (Sala *et al.*, 2000; Parmesan, 2006). El resultado más visible del cambio climático es el calentamiento global. El informe del IPCC (del inglés *Intergovernmental Panel on Climate Change*) revela que el planeta presenta una trayectoria de aumento de la temperatura de hasta 3°C de media para 2100. El incremento de las temperaturas se está produciendo con mayor intensidad en las zonas septentrionales y en la región Ártica; una de las muchas consecuencias que esto está teniendo es el declive de las poblaciones de pingüinos, en particular el pingüino de Adelia (*Pygoscelis adeliae*) y el pingüino barbijo (*Pygoscelis antarcticus*) (Barbosa, 2011). Otras zonas como la Península Ibérica también han registrado este incremento de temperaturas, así en Madrid según datos del Observatorio de la Sostenibilidad (AEMET) desde 1894 hasta nuestros días la temperatura media se ha incrementado 2,5°C.

La vulnerabilidad de una especie ante el calentamiento global hace referencia a su capacidad para responder y adaptarse a las nuevas condiciones climáticas (McKinney, 1997); a muchas especies no les da tiempo a evolucionar en

periodos de tiempo tan corto, estas especies son las más vulnerables y las que se deben tener en cuenta en primer lugar en los proyectos de conservación.

Uno de los grupos en los que se han podido estudiar estos cambios son las aves (Crick, 2004) que además son excelentes bioindicadores; responden rápidamente a los cambios en el medio y con frecuencia tienen un estatus icónico convirtiéndose en un elemento fácilmente comprensible para el público en general y para los responsables políticos.

Un claro ejemplo del efecto de las condiciones ambientales sobre los organismos son los efectos en la fenología de las aves (Sparks & Crick, 1999). Los estudios realizados en Europa y América del Norte muestran que el aumento de temperatura está provocando graves problemas de desincronización biológica. Desde los años 60 se han encontrado efectos en los procesos de migración de aves, las puestas o adelantos en el canto (Hughes, 2000).

Las aves migradoras de larga distancia están teniendo problemas porque estas condiciones ambientales tan cambiantes desencadenan respuestas fenológicas inapropiadas, iniciando así de manera adelantada o atrasada la migración y encontrando múltiples obstáculos en su recorrido (Berthold, 1990).

A nivel reproductivo se encuentran respuestas muy diferentes entre especies. Múltiples estudios demuestran que la fecha de primera puesta se está adelantando; por ejemplo, *Taquicineta bicolor*, de América del Norte, inicia la puesta un promedio de 9 días antes que su fecha histórica promedio, y el factor principal relacionado con esto es el cambio en la temperatura del aire (Dunn&Winkler, 1999).

El cambio climático provoca condiciones extremas de temperatura con mayor frecuencia (Houghton *et al.*, 2001) afectando la eficacia biológica de las especies. Por ejemplo, se observó en una población holandesa de *Parus major* que las bajas temperaturas al inicio de la primavera limitaron la puesta temprana de huevos, sin embargo, las altas temperaturas tardías desplazaron el pico de disponibilidad de alimentos; este desajuste provoca una selección más fuerte para el adelanto de puesta (Visser *et al.*, 1998).

Las aves reproductoras aumentan su condición física al sincronizar su producción de pollos con un pico de abundancia de alimentos que en paseriformes suele coincidir con altas temperaturas (Lack, 1968; Perrins&McCleery, 1989; van Noordwijk, McCleery&Perrins, 1995), el problema es que las variaciones anuales de temperatura pueden retrasar o acelerar el pico de alimentos después de que se haya colocado el primer huevo (Cresswell *et al.*, 2003).

En una población británica de carbonero común se observó que en los periodos de temperatura fría el tamaño de las puestas es mayor y el periodo de incubación es más corto porque se retrasa la puesta (Cresswell *et al.*, 2003). Ocurre lo contrario cuando la temperatura es elevada, el tamaño de las puestas es menor. Un estudio realizado en *Parus palustris* L., en el cual se le suministraron alimentos de manera artificial, demostró una disminución en el tamaño de puesta (Nilsson, 1991). Este trabajo corrobora que, si no hay escasez de alimento, la fecha de puesta se mantiene en su promedio y el tamaño de puesta es menor como estrategia reproductiva. El descenso del tamaño de puesta entre años se ha registrado en diversas especies; *Passer domesticus* (Dyer *et al.*, 1977; Alonso, 1982), *Passer hispaniolensis* (Alonso, 1982) y *Cyanistes caeruleus*, (Sanz, 2002) entre otros.

La respuesta de *Parus major* al cambio de temperatura se basa en conseguir una sincronización óptima de la fecha de eclosión con el pico de abundancia de alimentos; se pueden lograr después de que el primer huevo se haya depositado mediante cambios en el tamaño del puesta (Klomp, 1970), variación en el intervalo de puesta entre los huevos (Nilsson&Svensson, 1993), el inicio de la incubación completa (van Balen 1973; Haftorn 1981) y pausas en la incubación (Haftorn, 1988), aunque este último puede aumentar la probabilidad de depredación de nidos (Bosque&Bosque 1995).

Sin embargo, en otros estudios se ha encontrado que el incremento de la temperatura ambiente aumenta el tamaño de puesta, como por ejemplo *Ficedula hypoleuca* (Järvinen, 1996).

Este incremento de temperatura no solo afecta a las características reproductivas, sino también a la supervivencia puesto que se ha observado que

los diferentes niveles tróficos de una cadena alimentaria responden de manera diferente al cambio climático (Harrington *et al.*, 1999). Un estudio en Siberia refleja que *Aethia cristatella* aumenta su éxito reproductivo cuando las temperaturas de la superficie del mar son más bajas porque se alimentan de macroplancton; sin embargo, *Fratercula corniculata* es piscívoro y tiene mejor éxito reproductivo cuando la temperatura es más alta porque favorece el crecimiento del mesoplancton que comen los peces (Kitaysky&Golubova, 2000). Así, en función de su alimentación, el cambio climático beneficia a unas especies y pone en riesgo a otras. Los impactos del cambio climático en los factores demográficos y el rendimiento reproductivo (fecha de puesta y tamaño de puesta), que afectan a la dinámica poblacional de las especies, se han estudiado menos que la fenología (Crick, 2004).

Por ello, el objetivo principal de este estudio es analizar si las condiciones climáticas durante los meses de reproducción influyen en la biología reproductiva de una población de *Passer montanus* del centro de la Península Ibérica a lo largo de una serie temporal de 13 años.

Se plantearon las siguientes hipótesis para este trabajo: (1) el aumento de la temperatura provoca un adelanto en la fecha de puesta, (2) la fecha de puesta y el número de puestas están condicionadas por las variables climáticas, (3) tanto el número de huevos totales como el número de huevos de primera, segunda y tercera puesta está correlacionado con las variables climáticas.

## **MATERIAL Y MÉTODOS**

### **Descripción especie de estudio**

*Passer montanus* está ampliamente distribuido por todo el territorio peninsular, aunque de forma irregular (García-Navas, 2016). Aunque su hábitat está muy ligado a zonas cultivadas (Tellería *et al.*, 1996) se le puede encontrar en ciudades grandes como Madrid criando en parques de gran extensión (Alonso&Purroy, 1979).

Es una especie troglodita; nidifica en cualquier cavidad, ya sea de origen natural o antrópico, aceptando de buen grado la instalación de cajas-nido dentro de sus territorios.

No tiene dimorfismo sexual y es esencialmente monógama. El inicio de la reproducción se produce en abril o mayo; en Toledo las primeras puestas tienen lugar a mediados de abril (Arroyo *et al.*, 2009; García-Navas *et al.*, 2008) aunque frecuentemente hay nidos con huevos a principios del mes, mientras que en otras regiones del centro peninsular (Guadalajara y Alcalá de Henares: Sánchez-Aguado, 1984; Madrid: Veiga, 1990; Meléndez, 2006) y en dos zonas de Cataluña (Barcelona: Cordero&Salaet, 1990, y Osona: Grup d'Anillament Calldetenes-Osona GACO en Baucells *et al.*, 2003) las puestas se inician a principios de mayo.

Presenta la estrategia reproductiva de crianza múltiple ("cantidad sobre calidad"), es decir, se reproduce una, dos o tres veces por temporada. El tamaño de puesta está entre 2 y 7 huevos, siendo 5 el tamaño modal (Sánchez-Aguado, 1984).

### **Área de estudio**

El estudio se ha realizado en tres localidades del noroeste de la ciudad de Madrid: Casa de Campo (40°25'38.21"N, 3°45'20.25"O), con una extensión de 1.722,60 ha; Parque del Oeste (40°25'42"N 3°43'27"O), con 100 ha; y el Campus de Ciudad Universitaria (40°26'41"N 3°43'40"O), con 730 ha. Por la cercanía de estas localidades y, dada sus similitudes climáticas, se ha considerado una única población de gorrión molinero del centro peninsular.





**Foto 1.** Situación de los puntos de muestreo; en azul Casa de Campo, en rojo Parque del Oeste y en amarillo Ciudad Universitaria (*Fuente: Google Earth*).

### **Toma de datos**

En estas localidades se han instalado un total de 426 cajas-nido.

Los datos se recopilaron durante las temporadas de cría de 2005 a 2018, realizándose al menos una visita al mes a cada caja, durante los meses de abril a julio, con el fin de detectar el número de huevos, el número de pollos, el número de puestas y la fecha de puesta aproximada, en base a la edad de los pollos en el momento de ser anillados.

El nido típico del gorrión molinero es de forma ovoide, más alto que ancho y con una pequeña abertura frontal redondeada, fabricado con hierbas, ramas, hierba, espigas, acículas de pino, pajas, tallos, plumas, pelo, lana... y a menudo plásticos y cuerdas (Sánchez-Aguado, 1984). Para realizar el seguimiento de la reproducción del gorrión molinero se ha anotado en cada visita (en calendario juliano) el estado de construcción del nido (Foto 2), asignándose cuatro categorías: V (vacío), NPC (nido poco construido), NMC (nido medio construido) y NTC (nido totalmente construido). En este trabajo se

ha considerado caja ocupada cuando el nido estaba totalmente construido, aunque no hubiese puesta.



**Foto 2.** Categorías de los nidos. De izquierda a derecha: NPC, NMC y NTC.

En cada visita se apuntaba el número de huevos (Foto 3) de la puesta, teniéndose en cuenta si están fríos o calientes para poder planificar las visitas posteriores. Esta especie comienza la incubación a partir del penúltimo huevo puesto para asegurar la asincronía en la eclosión.



**Foto 3.** Huevos de *Passer montanus*.

Si hay presencia de pollos (Foto 4), se estima y anota su edad siguiendo la Guía gráfica para la identificación de pollos de gorrión molinero *Passer montanus* en nido (de Castro 2017, no publicado). Si tienen como mínimo cinco días, se individualizan colocando una anilla de metal con un código alfanumérico único.



**Foto 4.** A la izquierda, pollos de tres días. A la derecha, pollos de 5-6 días.

### **Datos climáticos**

Los datos climáticos se han extraído del Banco de Datos de la Comunidad de Madrid y se corresponden con los datos recogidos por la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) en el Observatorio del Retiro durante el periodo de 2005 a 2018 (Áreas de Información Estadística, Ayuntamiento de Madrid).

Las variables climáticas analizadas en este estudio fueron temperatura máxima, media y mínima del mes de puesta; temperatura máxima, media y mínima del mes anterior a la puesta; temperatura máxima, media y mínima del mes posterior a la puesta y precipitación total del mes de puesta.

Además, se ha calculado la temperatura promedio de temporada de cría (promedio de la temperatura del mes de primera puesta controlado por caja).

### **Análisis estadísticos**

El número de cajas-nido ha ido variando a lo largo del tiempo, como se muestra en la siguiente tabla resumen:



LOCALIDADES	AÑO	TOTAL CAJAS-NIDO
Ciudad Universitaria	2005	34
Ciudad Universitaria	2006	46
Ciudad Universitaria	2007	29
Ciudad Universitaria	2008	73
Casa de Campo/Parque del Oeste	2009	218
Ciudad Universitaria/Parque del Oeste	2010	110
Ciudad Universitaria/Parque del Oeste	2011	101
Ciudad Universitaria/Parque del Oeste	2012	233
Ciudad Universitaria/Parque del Oeste	2013	220
Ciudad Universitaria/Parque del Oeste	2014	221
Ciudad Universitaria/Parque del Oeste	2015	225
Ciudad Universitaria/Parque del Oeste	2016	222
Ciudad Universitaria/Parque del Oeste/Casa de Campo	2017	318
Ciudad Universitaria/Parque del Oeste	2018	252

**Tabla 1.** Número de cajas-nido por año y localidad.

Como el número de cajas-nido por año ha sido variable a lo largo del estudio, en todos los análisis se ha controlado el efecto del número total de cajas-nido y de huevos por año, viendo que no existe efecto alguno sobre nuestros resultados.

Para comprobar si las distintas variables climáticas estaban correlacionadas entre si se realizaron test de Pearson. La comparación por pares muestra que todas las temperaturas están correlacionadas ( $p < 0,0001$ ), por lo que los modelos estadísticos posteriores se han realizado incluyendo una única de estas variables en cada modelo para evitar el efecto de correlación entre estas variables. Con el fin de identificar un aumento o disminución de la temperatura a lo largo de los años en los que se realizó este estudio, empleamos una regresión lineal.

Para determinar si existían diferencias en la temperatura media de la temporada o en la fecha de la primera puesta entre los distintos años se ha realizado un test de análisis de la varianza (ANOVA) de medidas repetidas, seguido de un análisis post hoc (Test de Tukey) para examinar las diferencias por pares de años.

Así mismo, con el fin de determinar si las condiciones climáticas analizadas (temperatura y precipitación) influían en la fecha de la primera puesta, el número de huevos de cada puesta, el número de huevos totales o el número de puestas realizamos un Modelo Lineal Generalizado (GLM).

Todos los modelos se han realizado siguiendo un procedimiento backward/forward. Para determinar el mejor modelo se ha seguido el criterio de información Akaike (AIC, del inglés Akaike Information Criterion) (Burnhan & Anderson, 2002; Anderson, 2008). Todas las temperaturas de temporada tienen un AIC muy similar, por lo que representamos el de temperatura media por coherencia con el resto de variables analizadas.

En los análisis preliminares se incluyó el número de cajas-nido, el número de huevos totales de cada año para determinar si existía un efecto de estas variables sobre la fecha de puesta o el número de huevos de primera puesta, segunda puesta, tercera puesta o totales (de cada caja). Al no existir dicho efecto estas variables fueron desestimadas en los modelos finales.

Por último, se han establecido tres categorías de temperatura media para cada temporada (Tabla 2, Figura 1) en base a la desviación del promedio de la temperatura media del conjunto de todos los años analizados establecido en 17°C. Así se ha asignado un valor 1 para los años con temporada estándar o media ( $>17^{\circ}\text{C}$  y  $<18^{\circ}\text{C}$ ), un valor 0 para los años con temporada fría ( $<17^{\circ}\text{C}$ ) y un valor 2 para los años con temporada cálida ( $>18^{\circ}\text{C}$ ).

Posteriormente se han analizado con un GLM si existían diferencias en la fecha de la primera puesta, el número de huevos o el número de puestas considerando la variable año cálido, frío o estándar como factor fijo.

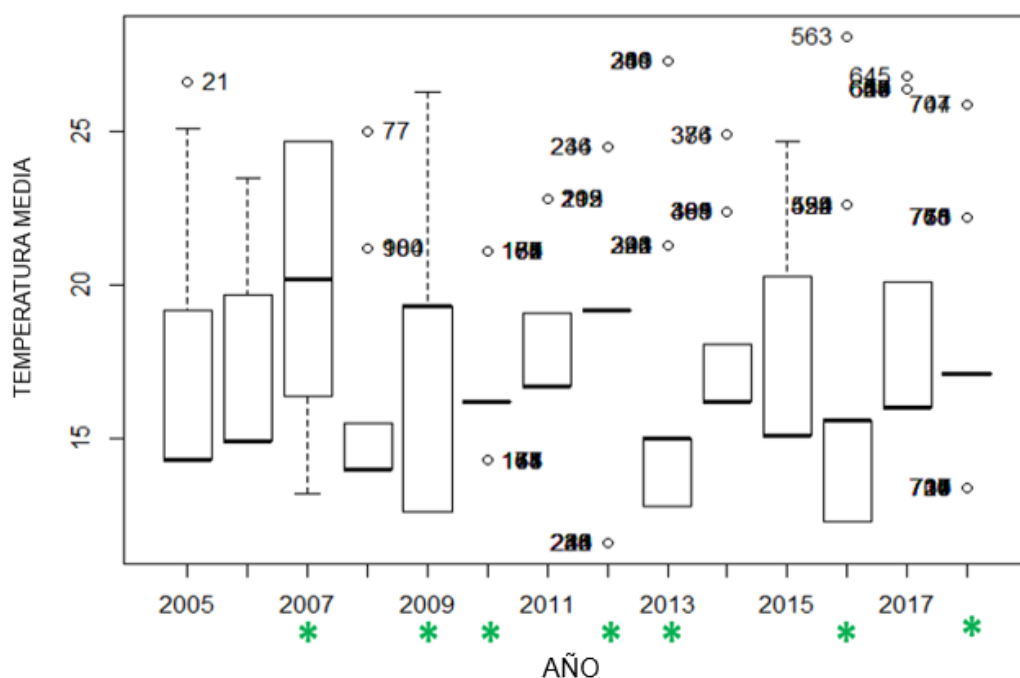
Los análisis estadísticos se realizaron con el programa R-Studio 1.2.1335.

## RESULTADOS

No se ha encontrado una tendencia en la variación de la temperatura media mensual ( $R^2=0,0013$   $p=0,3068$ ) a lo largo de los años.

Sin embargo, existen diferencias significativas en la temperatura media promedio de la temporada de cría ( $F_{13,778}=8,9273$ ;  $p<0,001$ ).

El análisis post-hoc (Tabla 2 del anexo) revela diferencias entre los pares de años señalados con asterisco en la Gráfica 1. El resto de relaciones entre años no han resultado significativas.

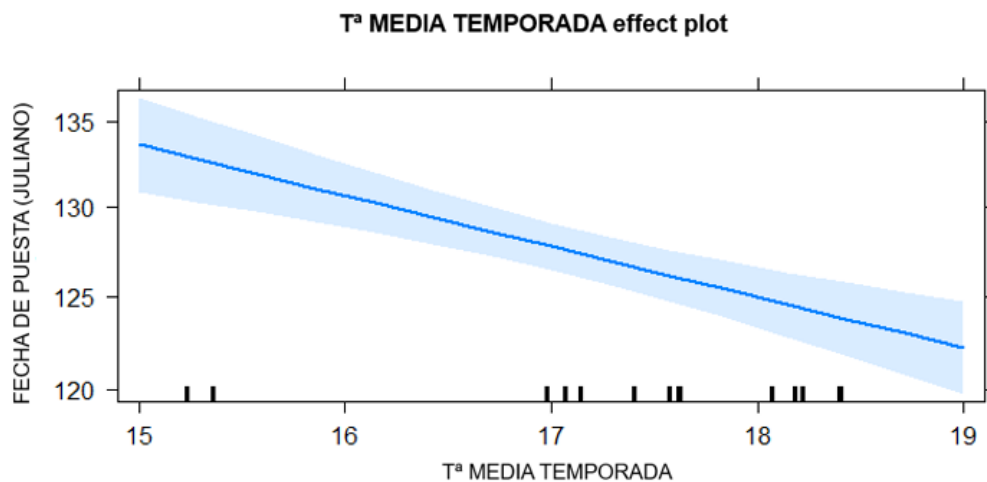


**Gráfica 1.** Temperatura media de la temporada de cría condicionada por la fecha de puesta a lo largo de los años; señalizados con asteriscos verdes, años en los que hay diferencias significativas.

Así, los años 2007, 2009, 2010, 2012 y 2018 muestran temperaturas medias de temporada significativamente más elevadas que en resto de los años, mientras que en los años 2008, 2013 y 2016 las temperaturas medias de temporada fueron significativamente menores, como se observa en la gráfica 1.

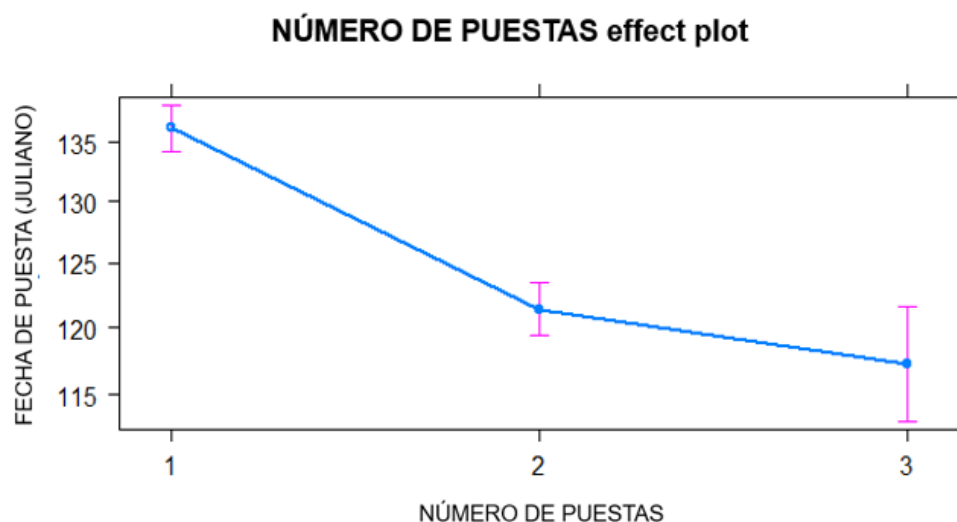
Las temperaturas promedio de temporada de cría y la precipitación influyen en la fecha de primera puesta (Tabla 3 del anexo). La temperatura promedio por

temporada de cría (Gráfica 2) y las precipitaciones se correlacionaron negativamente con la fecha de primera puesta, es decir, cuando la temperatura promedio por temporada de cría es mayor y las precipitaciones son más intensas, la fecha de la primera puesta se adelanta. Aunque sale una relación significativa con la precipitación, la desestimamos porque este resultado está influido por el mes de inicio de puesta, abril.



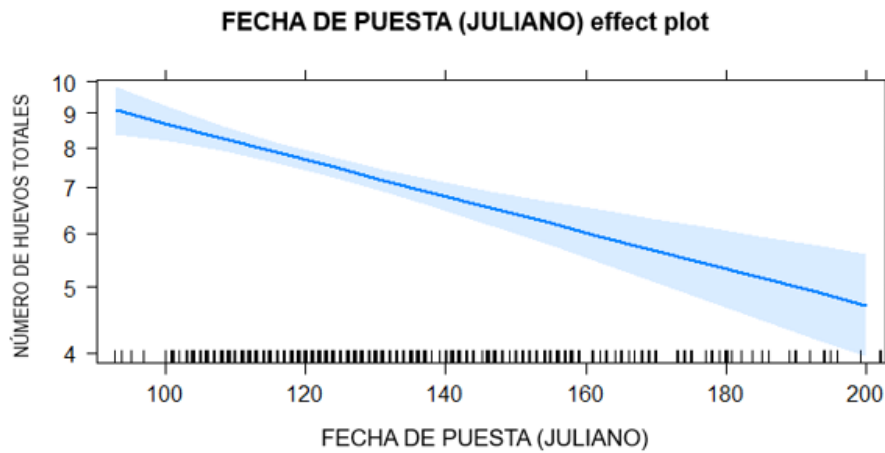
**Gráfica 2.** Fecha de puesta en función de la temperatura media de temporada.

El número de puestas (Gráfica 3) se correlacionó negativamente con la fecha de primera puesta; cuando esta es más temprana, el número de puestas es mayor (GLM, Wald Stat= -0.119909, df= 791,  $p < 0,001$ ).



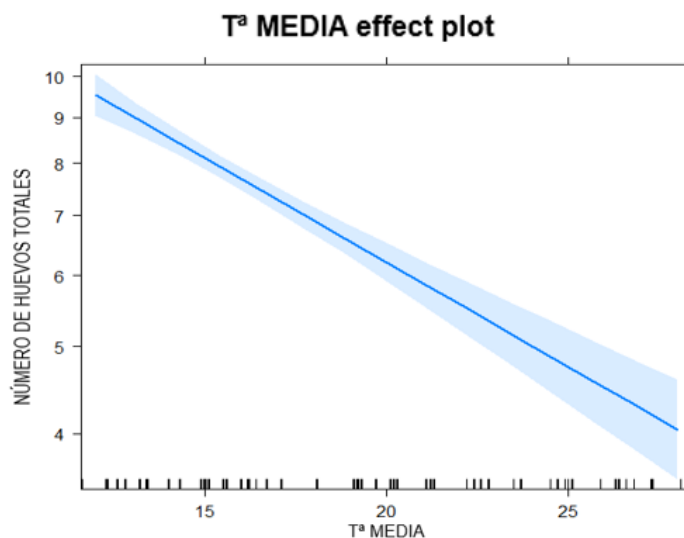
**Gráfica 3.** Número total de puestas en función de la fecha de primera puesta.

El número de huevos totales por caja también se correlacionó negativamente con la fecha de primera puesta (GLM,  $F_{1,790}=7681$ ,  $p<0,001$ ), así, fechas de primera puesta más tardías indican un número menor de huevos totales (Gráfica 4).



**Gráfica 4.** Número total de huevos por caja en función de la fecha de primera puesta.

Cuando se examinó el número total de huevos por caja controlado por año en relación a la temperatura promedio por temporada de cría (Gráfica 5) se observó que, a mayor temperatura media de temporada, menor número de huevos totales (GLM,  $F_{1,777}=1073$ ;  $p<0,001$ ).



**Gráfica 5.** Número total de huevos por caja en función de la temperatura media por temporada de cría.

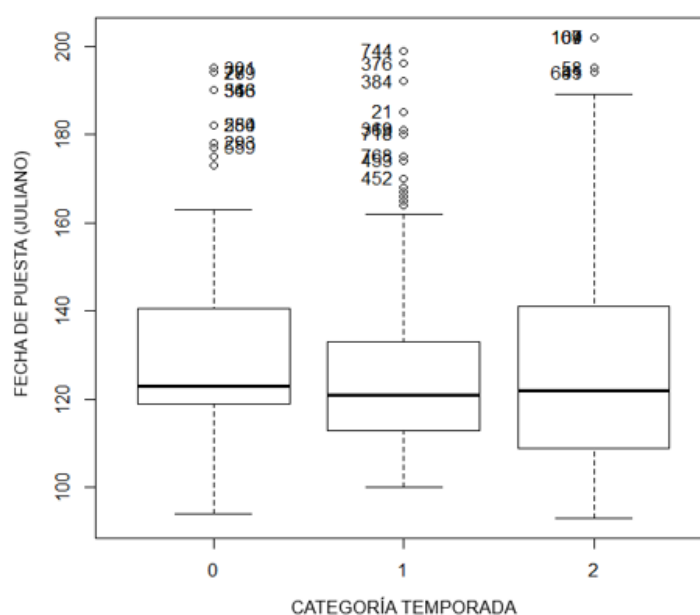


El número de huevos de la primera puesta no está significativamente relacionado con las condiciones climáticas ni con el año, en ninguno de los modelos analizados (Tabla 4 del anexo).

Por otra parte, fecha de primera puesta podría diferir en los años cálidos con respecto a años neutros o fríos (GLM,  $F_{2,789}=0,73483$ ,  $P=0,6925$ ). Las diferencias entre los años estándar y fríos son marginalmente significativas lo que podría indicar una tendencia de que los años fríos presentan un menor número de puestas (Tabla 5 y Gráfica 6).

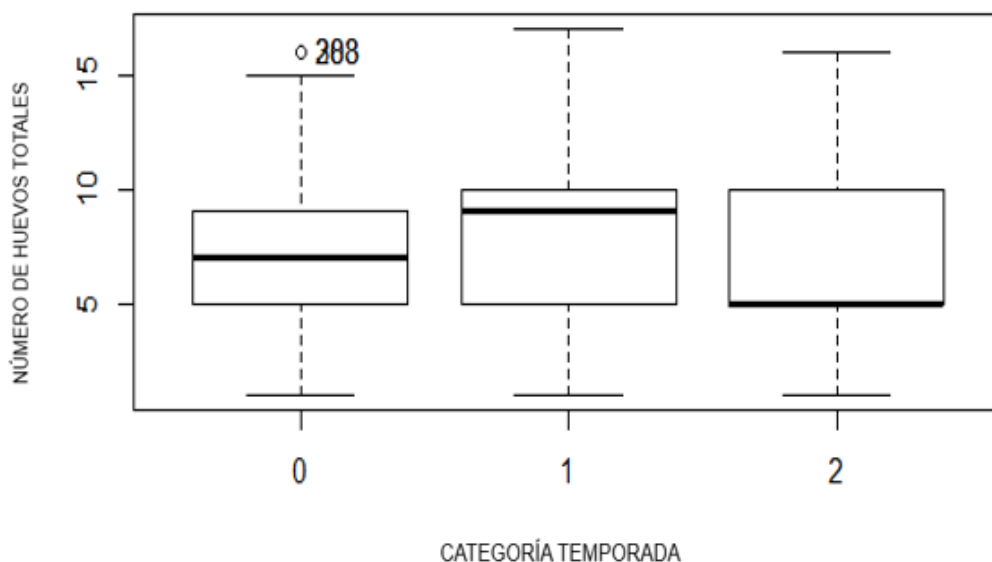
Fecha de primera puesta	Estimate	Std, Error	z value	Pr(> z )
1-0	-0,03214	0,01471	-2,185	0,0737
2-0	-0,02075	0,01439	-1,442	0,3193
2-1	0,01139	0,01406	0,810	0,6965

**Tabla 5.** Análisis Post-hoc (Tukey) que muestra como varía la fecha de primera puesta entre año con temperatura fría en la temporada de cría (0), año con temperatura neutra en la temporada de cría (1) y año con temperatura cálida en la temporada de cría (2).



**Gráfica 6.** Fecha de puesta en relación a temporada fría (0), temporada estándar (1) o temporada cálida (2).

El número de huevos totales por caja difirió entre años calidos y años estandar y fríos por la temperatura de temporada de cría del año (GLM, Wald Stat=1,98515, df=791,  $p < 0,001$ ), siendo menor en años con temporada de cría cálida.



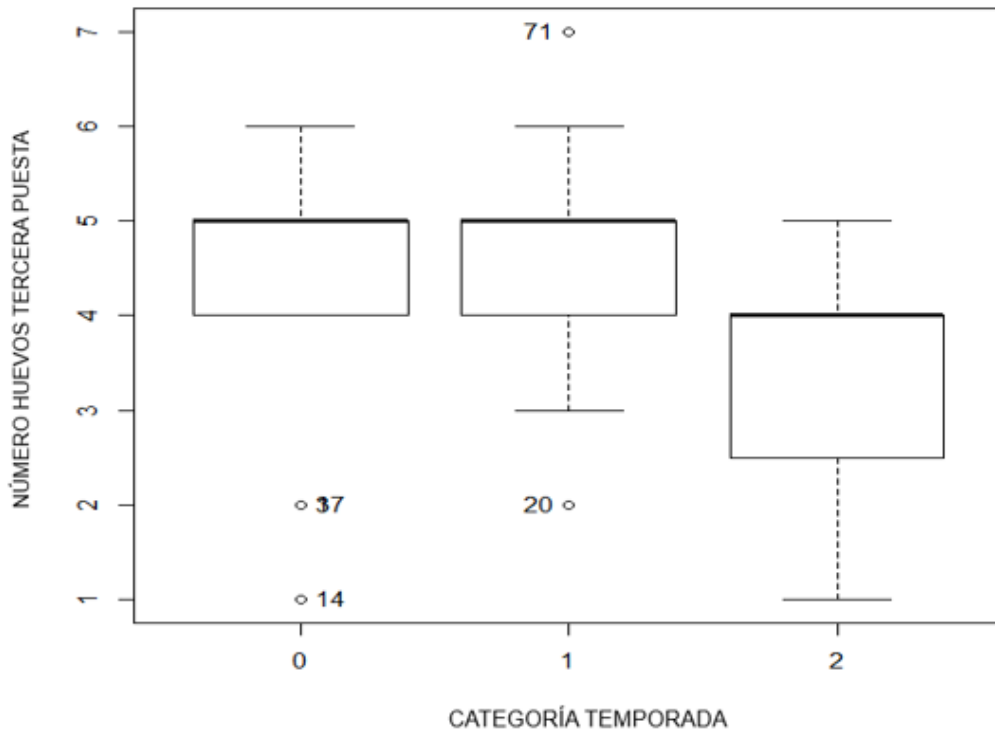
**Gráfica 7.** Número total de huevos por caja en base a la categorización 0 (año con temperatura fría en la temporada de cría), 1 (año con temperatura neutra en la temporada de cría) y 2 (año con temperatura cálida en la temporada de cría).

El número de huevos totales por caja está influido por la precipitación total del mes de puesta;

también difirió por precipitaciones entre años calidos y años estandar y fríos por la temperatura de temporada de cría del año (GLM, Wald Stat=1,98515, df=791,  $p < 0,001$ ), siendo menor en años con temporada de cría cálida.

No se observaron diferencias significativas en el número de huevos de primera puesta ( $F_{2,789}=0,73483$ ,  $P=0,6925$ ) ni de segunda puesta ( $F_{2,420}=459,06$ ,  $p=0,6324$ ) en relación con años cálidos, neutros o fríos. Sin embargo, sí que existen diferencias significativas en el número de huevos de tercera puesta (GLM,  $F_{2,79}=22,84$ ,  $p=0,00005105$ ) en años cálidos con respecto a años

estándar y fríos (Tabla 6 del anexo, Gráfica 8). En años cálidos el número de huevos de tercera puesta es significativamente menor que en años estándar o fríos.



**Gráfica 8.** Número de huevos tercera puesta en relación a temporada fría (0), temporada estándar (1) o temporada cálida (2).

## DISCUSIÓN

Nuestros resultados corroboran que la temperatura durante los meses de cría influye en la fecha de la primera puesta, siendo la fecha de primera puesta de *Passer montanus* más temprana cuanto mayor es la temperatura (Nielsen&Møller, 2006; Dolenc, 2005). Probablemente esto sea una respuesta adaptativa, ya que si las temperaturas son más altas durante los meses de cría seguramente aparecerán antes los insectos de los que se alimentan los pollos (Halupka *et al.*, 2008). También se ha demostrado que la fecha media de puesta de *Parus major* se adelantó con los cambios en las temperaturas de primavera (McCleery&Perrins, 1998). En consecuencia, parece que este efecto de la temperatura sobre la fecha de puesta podría ser extensible a las demás

especies de passeriformes, cuyos pollos se alimentan de insectos. La fecha de puesta tiene un efecto mayor en el éxito reproductivo que la puesta de algunos huevos adicionales (García-Navas, 2012).

El principal factor que pone a especies como *Parus major*, *Ficedula hypoleuca* y *Ficedula albicollis* en disposición de reproducirse son el alargamiento del día y la temperatura de marzo y abril, meses previos a la reproducción (Lack, 1996); puede ser que en *Passer montanus* también sean determinantes las temperaturas de los meses previos a la reproducción. En otros estudios (Møller *et al.*, 2010) se ha encontrado que el fotoperiodo interactúa simultáneamente con otros factores ambientales como la abundancia de alimentos, los condicionantes geográficos (latitud) y, como parece que ocurre en nuestros resultados, con la temperatura media del mes de puesta.

Empleando los datos de temperatura de abril hasta julio del Observatorio del Retiro en el periodo de 2005 a 2018 no hemos encontrado una tendencia clara de aumento de temperatura en estos meses, sino grandes diferencias interanuales. Nuestro periodo de estudio es de trece años y sólo consideramos una ubicación, eso podría explicar la diferencia que encontramos con los estudios climatológicos de la AEMET que emplean periodos de tiempo más largos y mayores ubicaciones y que señalan un progresivo aumento de la temperatura media anual.

En nuestros resultados el número de puestas por temporada reproductiva está determinado por la fecha de primera puesta. Seguramente si empiezan antes a reproducirse, como consecuencia del aumento en la temperatura media, pueden tener un mayor número de puestas sin extender su época reproductiva a meses en los que disminuye la abundancia de alimentos, incrementando la viabilidad de las segundas y terceras puestas e incrementando el éxito reproductivo. Las variaciones estacionales del tamaño de la puesta están correlacionadas con el fotoperiodo (Seel, 1968) y la disponibilidad de alimento (Lack, 1954). La productividad estacional de las especies de cría múltiple no solo depende de la productividad de cada intento de reproducción, sino también del número de crías que los padres pueden criar (Crick *et al.*, 1993). El gorrión molinero, al igual que otras especies de crías múltiples, recurren a

comportamientos que ahorran tiempo (superposición de crías, reutilización de nidos) para aumentar el número de crías anuales que pueden producirse (Westmoreland *et al.*, 1986, Weggler, 2006) y, en este sentido, el adelantamiento de la primera puesta es un elemento adicional que le puede permitir aumentar el número de descendientes potenciales al incrementar el número de puestas. No obstante, para que esto suceda, el incremento del número de puestas no puede ir en detrimento del número de huevos por puesta, como parece que sucede en nuestro estudio con la tercera puesta.

El tamaño de puesta durante la temporada de cría disminuye cuando la temporada es muy cálida, y cuando las precipitaciones son elevadas, traduciéndose esto en menor número de descendientes. Una posible explicación a este hecho es que una temperatura muy elevada actúa como factor limitante; a elevadas temperaturas el huevo deja de ser viable y los pollos pueden morir por hipertermia, por lo que invertir en un mayor número de huevos en estas circunstancias supone una inversión reproductiva improductiva y, por tanto, poco adaptativa. Esto también explica que el número de huevos de la tercera puesta esté influido por la temperatura, especialmente cuando esta puesta se desplaza a los meses más calurosos del periodo reproductivo. El incremento de las tormentas y el aumento de las precipitaciones afecta negativamente; cabe la posibilidad de que se mojen los huevos o que haya días puntuales en los que la temperatura sea menor, afectando a la viabilidad y el periodo de incubación de los huevos.

El número de huevos en la primera y segunda puesta no se ve influido por la temperatura, esto seguramente tiene que ver con la eficacia biológica de los individuos, existiendo mayor variación entre parejas de mayor o menor eficacia biológica que en función de la temperatura. Además, la necesidad de asegurarse la reproducción y, la consiguiente transmisión de sus genes a la siguiente generación determina que estas dos primeras puestas no se vean afectadas claramente por la temperatura.

Un factor que se podría haber tenido en cuenta en este estudio es la orientación de las cajas-nido. Como se ha demostrado en otros estudios, las aves eligen las cajas-nido por su orientación; *Tachycineta bicolor* mostró preferencia por cajas-nido orientadas hacia el este y hacia el sur antes del 1 de

junio; posterior a dicha fecha seleccionaron las cajas-nido en base a la disponibilidad de estas (Ardía, 2006). La orientación de los nidos influye en la radiación solar, la dirección del viento y las fuertes tormentas (Elkins, 1983; Ferguson&Siegfried, 1989; Wiebe, 2001). Sería interesante comprobar si *Passer montanus* sigue el mismo patrón que las golondrinas o por el contrario si evita las orientaciones más expuestas al sol, como es la orientación sur, porque a altas temperaturas tendrían un tamaño de puesta menor y, por tanto, un menor éxito reproductivo.

Sin embargo, el estado en el que se encuentre la caja (si está rota, si es nueva...) o los materiales con los que está construida (madera, cemento...) son factores que pueden afectar a pequeña escala a la temperatura a la que se encuentra la puesta y, por consiguiente, a la productividad de la pareja reproductora que la ocupe. Por tanto, sería interesante que futuros estudios tuviesen en cuenta la temperatura interna de las cajas-nido, por ejemplo, mediante sensores de temperatura internos.

Una cuestión que no ha sido posible incluir en este estudio, pero que debería incluirse en el futuro, es la identificación de los parentales, lo que permitiría averiguar si la pareja reproductora ocupa la misma caja-nido cada temporada de cría, y si esto fuese así controlar año a año como afectan las temperaturas a su productividad y el efecto de la calidad de los parentales sobre el tamaño de puesta.

Por último, sería interesante tener en cuenta si están afectando otro tipo de parámetros, como el nivel de contaminación o los cambios en la densidad poblacional, y no solo la correlación entre fecha de puesta y variables climáticas. Mayor densidad poblacional supone un aumento de la competencia intraespecífica para la elección de caja-nido, y por tanto mayor gasto energético para defenderse de potenciales parejas ocupantes de la misma caja-nido. Además, la disponibilidad de alimento para los pollos es menor (Klomp, 1970).

El incremento de la temperatura global está produciendo cambios fisiológicos, etológicos, reproductivos, desplazamientos del área de distribución, declive poblacional... en múltiples especies. Particularmente nuestro estudio apunta a

que este cambio climático producirá cambios en la demografía del gorrión molinero, puesto que tanto sus patrones de reproducción como su eficacia biológica se están viendo afectados.

## **CONCLUSIONES**

En base a nuestros resultados, nuestra conclusión principal es que la temperatura afecta en la productividad del gorrión molinero, en concreto, al tamaño de puesta, el número de puestas y a la fecha de puesta. Además, los resultados obtenidos sugieren que un incremento en las temperaturas producido por el cambio climático que estamos experimentando puede producir un descenso en la productividad del gorrión molinero (*Passer montanus*) y, por tanto, afectar negativamente a su demografía.

## **AGRADECIMIENTOS**

Gracias Chechu por invertir tu tiempo en mí y por preocuparte siempre que llegaba con mis caras de agobio al despacho.

Gracias a todo el grupo de seguimiento de Biodiversidad que recogen año tras año de forma voluntaria los datos que he empleado en este TFG. Especialmente quiero agradecer a Álex López su paciencia infinita y todas las horas invertidas, y a Miriam Conde y David González que me hayan cedido sus fotos.

Gracias a mi familia por saber cómo apoyarme incluso a distancia.

Gracias a mi grupete de la cafe por esos momentos de risas y desconexión tan necesarios, sobre todo a María, Andoni y Jorge.

Gracias Carlos por tu cariño, por ser mi apoyo incondicional y ayudarme a superar con éxito esta etapa. Espero que de una u otra forma me sigas acompañando en mi camino por la biología.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alonso, J.C (1982). Contribución a la biología del gorrión moruno *Passer hispaniolensis* (Tem) en la Península Ibérica y sus relaciones ecológicas con el Gorrión Común *Passer domesticus* (L.) Tesis Doctoral. Universidad Complutense de Madrid.
- Anderson, D. R. 2008. Model-based Inference in the Sciences: a primer on evidence. Springer: New York.
- Ardia, D.R., Pérez, J.H. & Clotfelter, D. 2006. Nest box orientation affects internal temperatura and nest site selection by Tree Swallows. *J. Field Ornithol.*,77 (3):339-344.
- Arroyo, L., García-Navas, V., Díaz, M. & Sanz, J. J. 2009. Uso de cajas-nido por la comunidad de aves trogloditas del Campus Universitario de Fábrica de Armas de Toledo. Pp. 150-161. En: Sánchez, J. F. (Ed.). Anuario Ornitológico de Toledo 2002-2007. Esparvel, Toledo.
- Barbosa, A. 2011. Efectos del cambio climático sobre pingüinos antárticos. *Ecosistemas*, 20 (1): 33-41.
- Baucells, J., Camprodon, J., Cerdeira, J., Vila, P. 2003. Guía de cajas-nido y comederos para aves y otros vertebrados. *Lynx Edicions*, Barcelona.
- Berthold, P. 1990. Patterns of avian migration in light of current global 'greenhouse' effects: a central European perspective. *Acta Congr. Int. Ornithol.* 20: 780–786.
- Bosque, C. & Bosque, M.T. 1995. Nest predation as a selective factor in the evolution of development rates in altricial birds. *American Naturalist*, 145: 234–260.
- Burnhan, K. P. & Anderson, D. R., 2002. Model Selection and Multimodel Inference: A Practical Information-Theoretic Approach. 2nd Ed. Springer-Verlag, New York.



Cordero, P. J. & Salaet, M. A. (1987). Primeras observaciones sobre la biología de la reproducción del gorrión molinero (*Passer montanus* L.) en Cataluña. *Publicaciones del Departamento de Zoología-Universidad de Barcelona*, 13: 111-116.

Cordero, P. J., Salaet, M. A. 1987. Primeras observaciones sobre la biología de la reproducción del gorrión molinero (*Passer montanus* L.) en Cataluña. *Publicaciones del Departamento de Zoología-Universidad de Barcelona*, 13: 111-116.

Cresswell, W & McCleery, R. 2003. How great tits maintain synchronization of their hatch date with food supply in response to long-term variability in temperatura. *Journal of Animal Ecology*, 72: 356–366.

Crick, H. 2004. The impact of climate change on birds. *Ibis*, 146 (suppl.1), 48-56

Crick, H.Q.P., Gibbons, D.W. & Magrath, R.D. 1993. Seasonal variation in clutch size in British Birds. *J. Anim. Ecol.* 62: 263– 273.

De Castro, C. (2017, no publicado). Guía gráfica para la identificación de pollos de gorrión molinero *Passer Montanus* en nido. Universidad Complutense de Madrid.

Dolenec, Z. 2005. Spring temperatures and laying dates of first eggs of three passerines in Croatia. *Ardeola*, 52 (2): 355-358.

Dunn, P.O. & Winkler, D.W. 1999. Climate change has affected the breeding date of Tree Swallows throughout North America. *Proc. R. Soc. Lond. B* 266: 2487–2490.

Dyer, M. I., Pinowski, J. & Pinowska, B. 1977. *Population dynamics. Granivorous birds in ecosystems*. Cambridge. 53-106.

Elkins, N. 1983. *Weather and bird behaviour*. Poyser, Calton, UK.

Ferguson, J. W. H., & W. R. Siegfried. 1989. Environmental factors influencing nest-site preference in White-browed Sparrow-Weavers (*Plocepasser mahali*). *Condor*, 91: 100–107.

García-Navas, V. & Sanz, J. J. 2012. Yearly and seasonal variation of breeding parameters in a declining multi-brooded passerine, the Tree Sparrow. *Ardea*, 100 (1): 79-88.

García-Navas, V. *Enciclopedia Virtual de los Vertebrados Españoles: Gorrión molinero (Passer montanus L.)*. [En línea]. Museo Nacional de Ciencias Naturales. Madrid. <<http://www.vertebradosibericos.org/aves/pasmon.html>> [Consulta: 04-06-2019].

García-Navas, V., Arroyo, L. & Sanz, J. J. 2008. Nestbox use and reproductive parameters of Tree Sparrows *Passer montanus*: Are they affected by the presence of old nests? *Acta Ornithologica*, 43 (1): 32-42.

Haftorn, S. 1988. Incubating female passerines do not let the egg temperature fall below the 'physiological zero temperature' during their absences from the nest. *Ornis Scandinavica*, 19: 97–110.

Haftorn, S. 1988. Incubating female passerines do not let the egg temperature fall below the 'physiological zero temperature' during their absences from the nest. *Ornis Scandinavica*, 19: 97–110.

Halupka, L., Dyrzcz, A., Borowiec, M. (2008) Climate change affects breeding of reed warblers *Acrocephalus scirpaceus*. *Journal of avian Biology*, 39: 95-100.

Harrington, R., Woiwod, I.P. & Sparks, T.H. 1999. Climate change and trophic interactions. *Trends Ecol. Evol*, 14: 146– 150.

Houghton, J.T., Ding, Y., Griggs, D.J., Noguera, M., van derLinden, P.J., Dai, X., Maskell, K. & Johnson, C.A. 2001. *Climate Change 2001: The Scientific Basis*, Cambridge University Press, Cambridge, UK.

Hughes, L. 2000. Biological consequences of global warming: is the signal already apparent? *Trends in Ecology and Evolution*: 15, 56-61.

Järvinen, A. 1996. Correlation between egg size and clutch size in the Pied Flycatcher *Ficedula hypoleuca* in cold and warm summers. *Ibis*, 138: 620–623.

King, D.A. 2004. Climate change science: adapt, mitigate, or ignore. *Science*, 303: 176–177.

- Kitaysky, A.S. & Golubova, E.G. 2000. Climate change causes contrasting trends in reproductive performance of planktivorous and piscivorous alcids. *J. Anim. Ecol.* 69: 248–262.
- Klomp, H. 1970. The determination of clutch size in birds. *Ardea*, 58: 1–124.
- Lack, D. 1954. *The Natural Regulation of Animal Numbers*. Oxford: Oxford University Press.
- Lack, D. 1966. *Population studies of birds*. Oxford.
- Lack, D. 1968. *Ecological Adaptations for Breeding in Birds*. Methuen, London.
- Lorente, I., Gamo, D., Gómez, J.L., Santos, R., Flores, L., Camacho, A., Galindo, L. & Navarro, J. 2004. Los efectos biológicos del cambio climático. *Ecosistemas*, 13 (1): 103-110.
- McCleery, R.H. & Perrins, C.M. 1998. Temperature and egg-laying trends. *Nature*, 391: 30–31.
- McCleery, R.H. & Perrins, C.M. 1998. Temperature and egg-laying trends. *Nature*, 391: 30–31.
- McKinney, M.L. 1997. Extinction vulnerability and selectivity: combining ecological and paleontological views. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 28: 495-516.
- Meléndez, L. 2006. Estudio comparativo de las puestas de Gorrión Molinero (*Passer montanus*) en cajas-nido; (El Escorial, Madrid). *XVIII Congreso Nacional y III Ibérico de Ornitología*. SEO/BirdLife-SPEA. Elche (España). Póster.
- Nielsen, J.T & Møller, A.P. 2006. Effects of food abundance, density and climate change on reproduction in the sparrowhawk *Accipiter nisus*. *Oecologia*, 149: 505–518.
- Nilsson, J.A. & Svensson, L. 1993. The frequency and timing of laying gaps. *Ornis Scandinavica*, 24: 122–126.
- Nilsson, J.A. (1991) Clutch size determination in the Marsh Tit (*Parus palustris*). *Ecology*, 72: 1757–1762.

- Pearson, R.G. & Dawson, T.P. 2003. Predicting the impacts of climate change on the distribution of species: are bioclimate envelope models useful? *Global Ecology and Biogeography*, 12: 361-371.
- Sala, O.E., Chapin, F.S., Armesto J.J., Berlow, E., Bloomfield, J., Dirzo, R., et al. 2000. Biodiversity-global biodiversity scenarios for the year 2100. *Science*, 287: 1770-1774.
- Sánchez-Aguado, F. J. 1984. Fenología de la reproducción y tamaño de la puesta en el Gorrión Molinero (*Passer montanus* L.) *Ardeola*,31: 33-45.
- Sanz, J.J. 2002. Climate change and breeding parameters of great and blue tits throughout the western Palearctic. *Global Change Biol.* 8: 409–422.
- Schimel, D.S., Asner, G.P. & Moorcroft, P. 2013. Observing changing ecological diversity in the Anthropocene. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 11 (3): 129-137.
- Seel, D. C. 1968. Breeding seasons of the how sparrow and tree sparrow (*Passer* spp) at Oxford. *Ibis*, 110: 129-144.
- Sparks, T. & Crick, H. 1999. Opinion: the times they are a-changing? *Bird Conservation International*, 9: 1-7.
- Tellería, J. L., Asensio, B., Díaz, M. (1996). *Aves Ibéricas II. Paseriformes*. J. M. Reyero Editor, Madrid.
- van Balen, J.H. 1973. A comparative study of the breeding ecology of the great tit *Parus major* in different habitats. *Ardea*, 61: 1–93.
- van Noordwijk, A.J., McCleery, R.H. & Perrins, C.M. 1995. Selection for the timing of great tit (*Parus major*) breeding in relation to caterpillar growth and temperature. *Journal of Animal Ecology*, 64: 451–458.
- Veiga, J. P. 1990. A comparative study of reproductive adaptations in house and tree sparrows. *The Auk*, 107: 45-59.
- Visser, M.E., van Noordwijk, A.J. Tinbergen, J.M. & Lessells, C.M. 1998. Warmer springs lead to mistimed reproduction in great tits (*Parus major*). *Proceedings of the Royal Society of London, Series B*, 265: 1867–1870.

Wegglar M. 2006. Constraints on and determinants of, the annual number of breeding attempts in the multi-brooded Black Redstart *Phoenicurus ochruros*. *Ibis*, 148: 273–284.

Westmoreland C.A., Best L.B. & Blockstein D.E. 1986. Multiple brooding as a reproductive strategy: time-conservation adaptations in mourning doves. *Auk*, 103: 196–203.

Wiebe, K. L. 2001. Microclimate of tree cavity nests: is it important for reproductive success in Northern Flickers? *Auk*, 118: 412–421.

Zalasiewicz, J., Williams, M., Smith, A., Barry, T.L., Coe, A.L., et al. 2008. Are we now living in the Anthropocene? *GSA Today*, 18 (2): 4-8.

## ANEXO 1

### ANÁLISIS DE LA BONDAD DEL AJUSTE DE LOS GLM UTILIZADOS EN ESTE TRABAJO

	Estimate	Std. Error	T value	Pr ( t )
2017-2005	0,9289	0,7173	1,295	0,9897*
2016-2006	-2,7226	0,7479	-3,640	0,0185*
2008-2007	-4,0447	0,8942	-4,523	<0,01***
2013-2007	-3,9113	0,8010	-4,883	<0,01***
2016-2007	-4,4238	0,7885	-5,610	<0,01***
2009-2008	3,1661	0,7414	4,270	<0,01**
2011-2008	2,9467	0,7924	3,719	0,0142*
2012-2008	2,9889	0,6912	4,324	<0,01**
2014-2008	2,3931	0,6870	3,484	0,0314*
2015-2008	2,1671	0,6691	3,239	0,0672
2017-2008	2,8391	0,6140	4,624	<0,01***
2013-2009	-3,0327	0,6259	-4,845	<0,01***
2016-2009	-3,5452	0,6098	-5,813	<0,01***
2016-2010	-2,1287	0,6369	-3,342	0,0499*
2013-2011	-2,8132	0,6854	-4,104	<0,01**
2016-2011	-3,3258	-0,6708	4,957	<0,01***
2013-2012	-2,8554	0,5654	-5,050	<0,01***
2016-2012	-3,3680	0,5476	-6,150	<0,01***
2014-2013	2,2597	0,5602	4,033	<0,01**
2015-2013	2,0337	0,5382	3,779	0,0111*

<b>2017-2013</b>	2,7057	0,4680	5,781	<b>&lt;0,01***</b>
<b>2018-2013</b>	1,7062	0,5084	3,356	<b>0,0467*</b>
<b>2016-2014</b>	-2,7722	0,5423	-5,112	<b>&lt;0,01***</b>
<b>2016-2015</b>	-2,5462	0,5195	-4,901	<b>&lt;0,01***</b>
<b>2017-2016</b>	3,2182	0,4463	7,210	<b>&lt;0,01***</b>
<b>2018-2016</b>	2,2187	0,4885	4,542	<b>&lt;0,01***</b>

**Tabla 2.** Análisis Post-Hoc que muestra las diferencias en la temperatura media de temporada condicionada por fecha de puesta entre años.

<b>Primera puesta</b>	<b>AIC</b>	<b>WALD STAT</b>	<b>P-VALOR</b>
<b>Temperatura máxima promedio temporada</b>	6870	-0,0210351	0,0000000471 ***
<b>Temperatura media promedio temporada</b>	6876	-0,0223271	0,00000112 ***
<b>Temperatura mínima promedio temporada</b>	6894	-0,0136918	0,0259 *
<b>Precipitación total</b>		-0,0022488	<0,001***

**Tabla 3.** Modelos de la fecha de la primera puesta en función de las distintas variables climáticas.

<b>Número de puestas</b>	<b>Df</b>	<b>Deviance Resid,</b>	<b>Df</b>	<b>Resid, Dev</b>	<b>Pr(&gt;Chi)</b>
<b>Año</b>	13	13,0497	778	213,36	0,4440
<b>Precipitación total mes primera puesta</b>	1	0,1356	777	213,22	0,7127
<b>Temperatura media</b>	1	0,6911	776	212,53	0,4058

**Tabla 4.** Número de puestas en función de las condiciones climáticas.

Número de huevos tercera puesta	Wald Stat	Std, error	z value	Pr(> z )
1-0	0.02775	0.06618	0.419	0.90599
2-0	0.30368	0.09390	-3.234	0.00333 **
2-1	-0.33143	0.08353	-3.968	< 0.001 ***

**Tabla 6.** Número de huevos de tercera puesta en relación a temporada fría (0), temporada estándar (1) o temporada cálida (2).