



UNIVERSIDAD DE JAÉN
Facultad de Ciencias Experimentales

Trabajo Fin de Grado

Régimen de viento, variaciones por el cambio climático y relación con dispersión de propágulos

Alumno: Víctor Valenzuela Polo

Julio, 2020



UNIVERSIDAD DE JAÉN
Facultad de Ciencias Experimentales



Grado Ciencias Ambientales
Trabajo Fin de Grado

Régimen de viento, variaciones por el cambio climático y relación con dispersión de propágulos

Víctor Valenzuela Polo

Una firma manuscrita en tinta negra que parece decir 'VICTOR'.

JULIO, 2020

ÍNDICE

Resumen.....	1
Abstract.....	2
1. Introducción.....	3
1.1. Clima y régimen de viento en la península Ibérica.....	3
1.2. Parámetros de dispersión anemócora.....	5
1.3. Posibles cambios en los parámetros de la dispersión.....	7
1.4. Aplicaciones.....	9
2. Objetivos.....	9
3. Metodología.....	9
3.1. Tipo de estudio.....	9
3.2. Instrumentos.....	10
4. Resultados.....	10
4.1. Escala global.....	11
4.1.1. Variaciones y proyecciones.....	11
4.1.2. Influencia y proyecciones del índice NAO.....	12
4.1.3. Consecuencias.....	16
4.2. Escala regional y local.....	17
4.3. Discordancias y valores de incertidumbre.....	19
5. Conclusiones.....	20
6. Bibliografía.....	21
7. Webgrafía.....	29

Resumen

Actualmente, tanto el foco de interés como de preocupación se sitúan en el cambio climático de origen antropogénico, que prevé un impacto sin precedentes. Los cambios previstos en parámetros físico-químico-biológicos, que a su vez influirán a escala planetaria en el clima, en la biodiversidad, mecanismos naturales y sectores tan importantes para la humanidad como el alimentario poniendo en duda la seguridad de este. El cambio global pone a prueba las capacidades de migración de plantas, haciendo que no sea posible alcanzar aquellas zonas propicias para su desarrollo, pero también capacidades de adaptación ante las previsiones climáticas futuras, cuestionando la supervivencia de muchas poblaciones y comunidades. A diferencia de las predicciones de temperatura, CO₂ y aridez que se han relacionado de manera extensiva con la funcionalidad y viabilidad de las poblaciones de plantas, no existe apenas información de cómo el régimen de viento va a cambiar en el futuro y su impacto sobre la dispersión de las plantas. Este Trabajo Fin de Grado tiene como objetivo principal recabar información sobre la variabilidad de régimen de viento en cuanto a parámetros de velocidad, dirección y turbulencias a causa del cambio climático. A su vez este trabajo podrá ser de ayuda para alguna línea de investigación relacionada con estos parámetros y otros proyectos de restauración y rehabilitación en los que se quiera incorporar mecanismos de dispersión y colonización pasiva.

Palabras clave: cambio climático, dispersión, semillas, viento, índice NAO, velocidad, dirección, turbulencias.

Abstract

Nowadays, the focus of interest and concern are on anthropogenic climate change, which foresees an unprecedented impact. The predicted changes in physical-chemical-biological parameters, which will influence on a planetary scale the climate, biodiversity, natural mechanisms and sectors as important to humanity as food, questioning its safety. Global change tests plant migration capacities, making it impossible to reach those areas conducive to their development, but also adaptation capacities in the face of future climate forecasts, questioning the survival of many populations and communities. Unlike the predictions of temperature, CO₂ and aridity that it had been extensively related to the functionality and viability of plant populations, there is little information on how the wind regime will change in the future and its impact on the dispersal of plants. The main objective of this Final Degree Project is to collect information on the variability of the wind regime in terms of speed, direction and turbulence parameters due to climate change. In addition, this work may be of help for any investigation related to these parameters and other restoration and rehabilitation projects that will incorporate mechanisms of passive dispersion and passive colonization.

Key words: climate change, dispersion, seeds, wind, NAO index, velocity, direction, turbulences.

1. Introducción.

En la literatura científica podemos encontrar una gran cantidad de estudios e investigaciones debido a la actual preocupación por el cambio que está experimentando el planeta. Existen evidencias que demuestran que el clima está cambiando a nivel global, por consecuencia de actividades humanas mayoritariamente. La evidencia más contundente se encuentra en los cambios observados en la atmósfera, la tierra, los océanos y la criosfera (IPCC et al., 2013)

El clima comprende diferentes escalas espaciales y temporales, desde ciclos diurnos, variabilidades interanuales, hasta variaciones de varias décadas (Trenberth et al., 2007). Por tanto, el cambio del clima puede significar que cambios en cada una de estas escalas a nivel individual o como consecuencia a otras escalas. Las tendencias de una variación sustancial de la circulación atmosférica a gran escala pueden provocar cambios en las corrientes de viento, ya sea en sus características como en el modo de variabilidad de dicha circulación (IPCC et al., 2013).

1.1. Clima y régimen de viento en la península Ibérica.

La península Ibérica, está situada al suroeste de Europa, esta posición la expone tanto a vientos provenientes del Norte de África, Mediterráneo, Norte de Europa o polares y vientos del Oeste. La península Ibérica se ve perturbada principalmente por los vientos del oeste, caracterizados por ser húmedos y templados (Molina-Capel, 2015).

También se ve influenciada por los vientos de Levante (este) en los meses estivales principalmente, estos son más cálidos y secos que el anterior. Los vientos polares rara vez perturban la geografía peninsular (Mu, 1998).

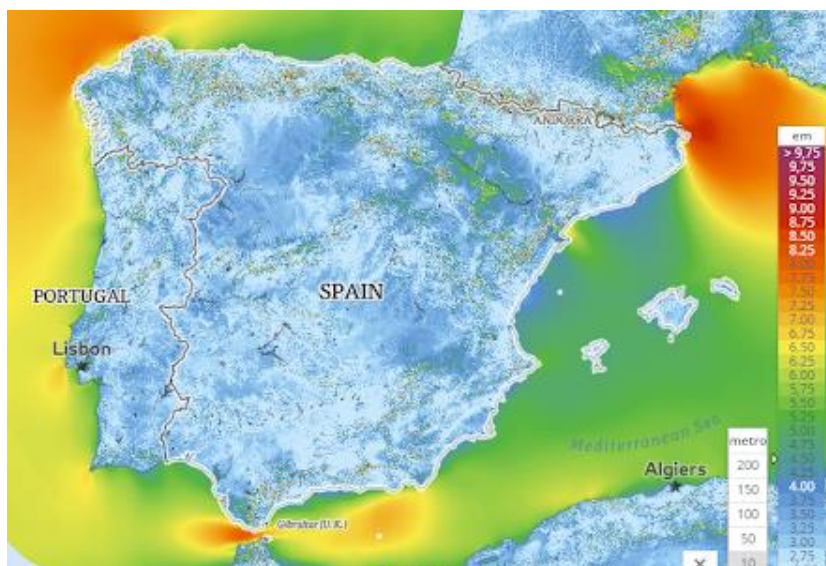


Figura 1. Velocidad media del viento en la península a 10m.

Fuente:(globalwindatlas.info)

En la Fig 1. sobre velocidades medias del viento a 10 metros sobre la superficie, se observa que la zona oeste de la península tiene en las zonas costeras mayor velocidad que las del este, debido a la influencia de los vientos de poniente. Además, con la excepción de algunas cadenas montañosas y el valle del Ebro, en la mayoría de territorios terrestres suele predominar tonos azules correspondientes a vientos por debajo de 4km/h llegando en muchas zonas a menores de 2,50km/h.

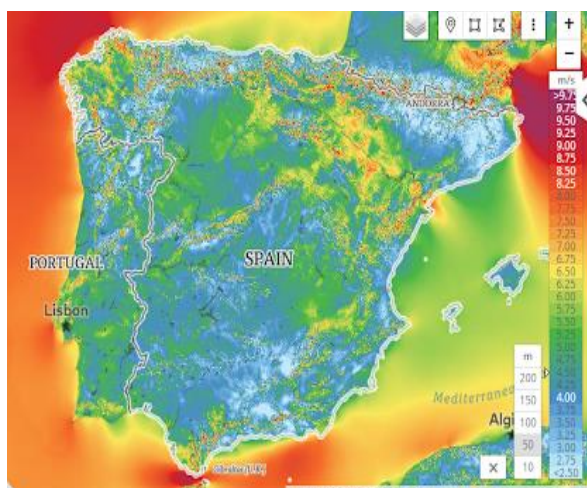


Fig. 2. Velocidad media del viento en la península a 50m. (globalwindatlas.info)

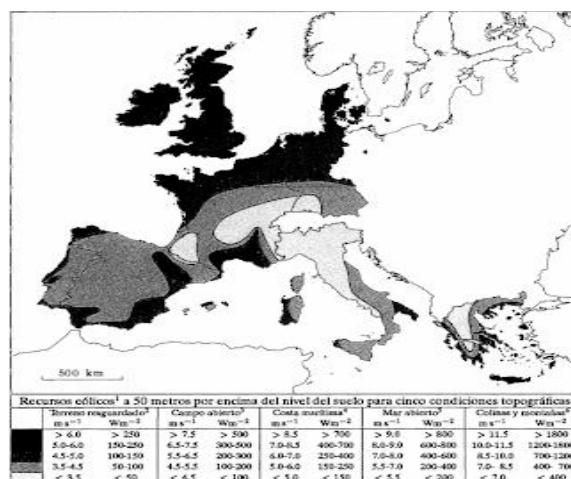


Fig. 3. Velocidad media del viento en Europa en 1990 a 50m.(Troen & Petersen, 1990).

En una comparativa de la diferencia de vientos a 50 metros sobre la superficie, apreciamos una correlación de puntos mayores en las zonas costeras, valle del Ebro y en las altas cumbres, tanto en 1990 como en la actualidad. Se observa aun así que dichas zonas siguen un mismo patrón y aparecen zonas de velocidad intermedia (fig. 2- zonas verdes t amarillas). A pesar de ello no aparecen cambios significativos, salvo la influencia de los vientos del este en la desembocadura del valle del Guadalquivir donde los vientos en las últimas décadas han disminuido.

Las corrientes de viento a escala planetaria influyen y mucho los climas terrestres, un índice a tener muy en cuenta es el índice de la Oscilación Atlántico Norte (NAO), ya que se asocia a la variabilidad interanual por su capacidad de influenciar en forma de condiciones húmedas la península. Si relacionamos la fase positiva de NAO con especies tanto herbáceas como arbóreas encontramos un mayor rendimiento en la producción de semillas saludables (Gimeno et al., 2002; Teller et al., 2014).

La velocidad media del viento a 10 metros experimentará variaciones además de la dirección, orientación (McInnes et al., 2011). Estas variaciones podrían afectar a proyectos eólicos (Pryor et al., 2006), clima de olas y de tormentas (BOLDINGH DEBERNARD & PETTER RØED, 2008) además de condiciones de humedad del suelo y recursos hídricos (McVicar et al., 2008) y evoluciones de entornos áridos y semiáridos (Okin et al., 2006).

1.2. Parámetros de dispersión anemócora.

Cuanto menor sea la altura del mapa sobre el nivel de la superficie, más se podrá relacionar la influencia directa del viento con la capacidad de dispersión. El movimiento del propágulo de una planta desde una fuente natal como fin de que exista circulación de genes en el espacio, se denomina dispersión (Ronce, 2007), muchos de estos movimientos son debidos al viento, este mecanismo se conoce como anemocoria. Dicho mecanismo está influenciado por variables del viento y de los propágulos, tales como peso de la semilla y velocidad de caída (Teller et al., 2014), altura de la abscisión y de la planta (Thomson et al., 2011), la morfología de la semilla (Augspurger & Franson, 1987), velocidad terminal y turbulencias (Skarpaas et al., 2006).

Entre las variables encontramos la altura de las plantas. Las especies más altas, experimentan una dispersión media y máxima mayor que especies bajas. La combinación de la altura y el peso de la semilla explicarían en gran parte la variación de distancia de dispersión, siendo la altura la variable más explicativa (Thomson et al., 2011). También existe una relación positiva entre peso de semillas y distancia de dispersión, aunque podría ser una relación secundaria debida a la relación entre masa y altura anterior (Moles et al., 2004; Thompson & Rabinowitz, 1989).

La aerodinámica de la estructura de la semilla también puede ser un factor a tener en cuenta, la presencia de alas u otras estructuras que faciliten el vuelo (Augspurger & Franson, 1987), aunque dichas morfologías no sean tan determinantes.

Un parámetro importante en la gestión del agua para la planta es la evapotranspiración (ET_o) que se ve influenciada por el régimen de viento (Moratíel et al., 2010; Xu et al., 2006).

Por otro lado, encontramos variables correspondientes al viento como la velocidad terminal cuyos datos se correlacionan directamente con la distancia de dispersión (E. Jongejans & Schippers, 2001). Son de gran importancia de las direcciones del viento cuando influyen en la planta, ya sean horizontales, verticales ascendentes o verticales descendentes, siendo las dos primeras más efectivas en la abscisión del propágulo y encontrando que la mayoría de las plantas dispersadas por el viento tendrán mecanismos desarrollados para sesgar la abscisión de semillas hacia las corrientes ascendentes. (David F. Greene & Quesada, 2011).

Un factor considerable al igual que los anteriores es la turbulencia ya que si el viento que experimenta la planta es turbulento, libera por lo general más semillas a pesar de que las velocidades de viento fueran inferiores, esto en comparación a vientos horizontales de mayor velocidad. Aunque al reducir la velocidad significativamente del viento también se observa una reducción en paralelo de la distancia de dispersión (Skarpaas et al., 2006). Las características morfológicas de la planta pueden sesgar velocidad, dirección o turbulencia del viento (D. F. Greene et al., 2008; Eelke Jongejans et al., 2007).

Aunque la combinación tanto de las variables del viento y de las plantas anemócoras pueda aportar predicciones generales sobre la dispersión, esta no es una medida de aptitud directa y distancia ya que el contexto ambiental juega un papel muy importante (Kleunen et al., 2005; Miner et al., 2005). Los paisajes heterogéneos y menos fragmentados tienen mayor éxito de cara a la dispersión (Teller et al., 2014).

1.3. Posibles cambios en los parámetros de la dispersión.

A pesar de estas investigaciones y literatura que disponemos, apenas entendemos el funcionamiento de la dispersión en las condiciones actuales, por lo que entender los cambios asociados al cambio climático es muy difícil, tanto de detectar, como evaluar o cuantificar. Por eso es importante el estudio de todos los factores que afectan a la dispersión a medida que avanza el cambio climático y se intensifican los desajustes entre las distribuciones actuales de las plantas y sus óptimas ambientales (Johnson et al., 2019).

Los cambios previstos en el régimen de viento a causa del cambio climático podrían modificar directa o indirectamente la dispersión de la planta porque las corrientes de flujo cambien en velocidad, dirección o turbulencia. Pero también, cambios en regímenes de viento de escala planetaria podrían modificar indirectamente aptitudes de las plantas de cara a la dispersión.

Algunas especies se ven afectadas por ejemplo cuando los recursos hídricos varían, plantas se estresadas por la sequía, potencian los rasgos necesarios para aumentar la distancia de dispersión, produciendo más cantidad de semillas, siendo más livianas. Por el contra experimentan una pérdida de germinabilidad. Las plantas sin estrés hídrico, cuentan con una distancia de dispersión baja en comparación a las anteriores, al igual que unas semillas más pesadas y con una germinabilidad superior (Teller et al., 2014). El estrés debido a la sequía tiene efectos que afectan al tiempo de floración (Jordan et al., 2015). Cuando las plantas se someten a condiciones desfavorables estás intentan potenciar la distancia de dispersión buscando zonas favorables para su desarrollo, en cambio cuando las regamos bien, están buscan mantenerse en ese lugar favorable potenciando la germinabilidad o adaptando sus semillas.

Otro agente estresor es la temperatura, cuando esta aumenta, también lo hace el desarrollo de los individuos maternos y aumenta considerablemente la cantidad de semillas liberadas (Teller et al., 2016). Si la temperatura incrementa localmente también experimenta un aumento el área de dispersión y la aceleración de la propagación de las plantas (Kuparinen et al., 2009). Además, incremento en la concentración de CO₂ podría conllevar al aumento de la altura, área foliar y fecundidad de las plantas (LaDeau & Clark, 2001). Por tanto, observamos plasticidad fenotípica de los rasgos de dispersión (Teller et al., 2014). La rica literatura de experimentos en jardines nos evidencia la capacidad de adaptación local de las poblaciones a las condiciones ambientales futuras (Howe et al., 2003).

Todas estas variaciones se podrían ver afectadas como hemos dicho anteriormente por el contexto ambiental, ya que poblaciones fragmentadas podrían dificultar la colonización de parches desocupados (Damschen et al., 2008) y alterar la dinámica poblacional (BOHRER et al., 2005).

Los modelos de distribución de especies diagnostican una redistribución de estas, el estudio importante de la redistribución pasa por estudiar la persistencia de especies tanto en términos de adaptación a las ubicaciones actuales como de la migración a nichos ecológicos favorables; también será interesante el estudio de fenómenos de extirpación (Aitken et al., 2008).

Si nos detenemos en el estudio de dispersión y de colonización deberíamos comparar la velocidad a la que suceden estos cambios climáticos con la velocidad a la que las especies responden potenciando fenotípicamente los rasgos de dispersión y la velocidad de movimiento de la población, si dichas especies no consiguen ser más veloces que el cambio climático y no adaptarse a estas condiciones, estarán condenadas a una eventual extinción (Corlett & Westcott, 2013). En estos casos, la dispersión de larga distancia se vuelve fundamental para el desarrollo, supervivencia o colonización de poblaciones, con condiciones climáticas futuras (Fischlin et al., 2007).

1.4. Aplicaciones.

La información recogida en este trabajo, podría ser de gran utilidad para investigaciones de dinámicas poblacionales o ligadas a cambio climático, proyectos ambientales como por ejemplo de restauración o rehabilitación con actuaciones pasivas. Además, la información reunida sobre la variación del régimen de viento podrá ayudar en proyectos de diferente índole en los que el viento sea un elemento importante como proyectos de recursos eólicos.

2. OBJETIVOS.

El objetivo principal de este trabajo, consiste en recabar información acerca de las variaciones pronosticadas en el régimen de viento por efecto del cambio climático.

En segunda instancia, se pretende de relacionar estas variaciones con el cambio climático y la capacidad dispersiva de las plantas en dichas condiciones.

3. METODOLOGÍA.

3.1. Tipo de estudio.

Este Trabajo Fin de Grado pretende reunir información de la literatura disponible acerca del régimen de viento actual de la península Ibérica, además sobre las proyecciones de cambio de este régimen, tanto a escala global, como regional o local como consecuencias del cambio climático actual. Finalmente se relacionará con especies anemócoras y con la influencia de dichos cambios de forma directa e indirecta en la capacidad de dispersión. Para realizar esta recopilación, la búsqueda partió en un principio de palabras clave en el motor de búsqueda, pasando posteriormente a otra bibliografía citada en los artículos encontrados. Las fechas de recopilación de información y elaboración de este trabajo han sido entre los meses de mayo, junio y julio de 2020.

Este TFG parte de la única premisa del cambio global que se experimenta actualmente, sin ninguna idea preconcebida del tipo de cambio o del mantenimiento estable de este parámetro, únicamente pretendiendo hallar las conclusiones de las investigaciones hasta la fecha.

3.2. Instrumentos.

Motores de búsqueda y bases de datos usadas:

- Google Scholar.
- Scopus.
- Web of Science.
- Wiley Online Library.
- Royal Society.
- SpringerLink.

Para la selección e inclusión de artículos, libros o Atlas en el trabajo, se utilizaron ciertos criterios como palabras clave, referencias en otros artículos, el acceso al artículo completo; todos los artículos son incorporados independientemente del idioma o de si sus conclusiones son acordes a las demás investigaciones incluidas.

Otras fuentes de información usadas provienen de bases de datos online o proyectos como globalwindatlas.info o datos del proyecto LIFE SHARA en su dirección web <http://escenarios.adaptecca.es>

4. RESULTADOS.

Tras el análisis de la información encontrada, diferenciaremos los cambios del régimen de viento a escala global de los cambios regionales y locales. En primer lugar, flujos que se experimentan a escala global pueden influenciar de forma indirecta la capacidad de dispersión, en cuanto a parámetros de temperaturas o precipitaciones. Los cambios en el régimen de viento a menor escala, ya sea regional o local, tendrán una influencia directa sobre la dispersión anemócora de las especies, en cuanto a velocidades, direcciones y/o turbulencias.

4.1 Escala global.

4.1.1. Variaciones y proyecciones.

Según (IPCC et al., 2013) se está produciendo un cambio sustancial en la circulación atmosférica a nivel planetario principalmente en los océanos Atlántico y Pacífico, tanto en las corrientes de viento, sus características y modo de variación.

Para comprender el contexto espacial climático y del régimen de vientos que afectan a la península Ibérica, tenemos que referenciar tres zonas que influyen en la zona, el círculo polar, el cinturón tropical y la zona mediterránea.(IPCC, 2007; IPCC et al., 2013)

La mayor parte de la península posee un clima mediterráneo, el cual está experimentando un debilitamiento de las rutas de tormenta (Zappa et al., 2015) afectando al régimen de precipitación, principalmente el invernal (Tuel et al., 2018).

Las anomalías anticiclónicas que presenta el Mediterráneo sumado a los vientos procedentes del sur (norte de África) y del este (Oriente Medio) también anómalos, estresan hídricamente aún más la región, siendo los veranos más cálidos y secos (Tuel et al., 2018)

Por tanto, la proyección plantea un aumento de la presión superficial media, de la frecuencia de anticiclones y del debilitamiento de las rutas de tormenta del Mediterráneo (Rojas et al., 2013; Seager et al., 2014).

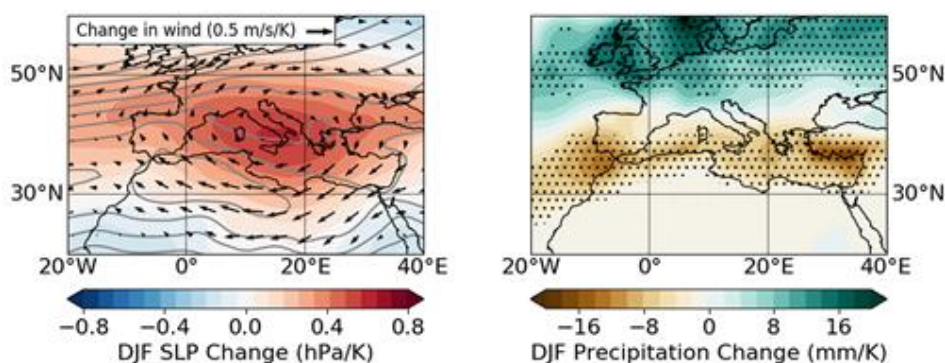


Figura 4. Variación de viento y precipitación en el Mediterráneo. (Tuel et al., 2018)

También, a escala global, se está dando lugar a un desplazamiento de las vías de tormenta del océano Atlántico hacia el vórtice polar, este desplazamiento da lugar a un aumento generalizado de la velocidad del viento a latitudes altas (IPCC, 2007; IPCC et al., 2013).

Por otro lado se tiene constancia de la relación del debilitamiento de vientos de poniente en Europa y Siberia con las pérdidas constantes de hielo ártico marino (Deser et al., 2016; Sun et al., 2015), la pérdida de este hielo produce un transporte de humedad hacia el Ártico lo que conlleva a la amplificación polar y de su circulación atmosférica (Pithan & Mauritsen, 2014), aunque para esto no hay un consenso científico (Shepherd, 2016; Vihma, 2014).

La célula Hadley (HC) es una célula de circulación atmosférica cuyo movimiento del trópico hacia el polo con lleva un transporte de energía hacia el polo y organiza la circulación del trópico. Dicha célula está experimentando un debilitamiento, como consecuencia las zonas secas subtropicales, se expandan hacia el polo.(Lu et al., 2007).

4.1.2. Influencia y proyecciones del índice NAO.

Las variaciones en el vórtice polar y en el trópico tiene relación con el desplazamiento hacia el polo del North Atlantic Oscillation index (NAO) (IPCC et al., 2013) y como consecuencia también las rutas de tormenta del norte del Atlántico (Woollings et al., 2012). El desplazamiento de las rutas de tormenta provoca un desplazamiento de las precipitaciones de latitudes medias hacia zonas más cercanas al polo (Yin, 2005).

La relación de NAO con las precipitaciones en la zona mediterránea fue descrita por (Hurrell, 1995) con un alto nivel de confianza, tanto en sus valores positivos como negativos, aunque con anterioridad ya se habían descrito dicha influencia(Rogers et al., 1979). Actualmente, conocemos los coeficientes de correlación de NAO con las series de precipitación (Esteban-Parra et al., 1998). Como resultado de estas y otras investigaciones se pueden diferenciar dos fases de NAO asociando el régimen de precipitaciones, así como temperaturas, humedades y trayectorias de tormentas (Muñoz-Díaz & Rodrigo, 2003).

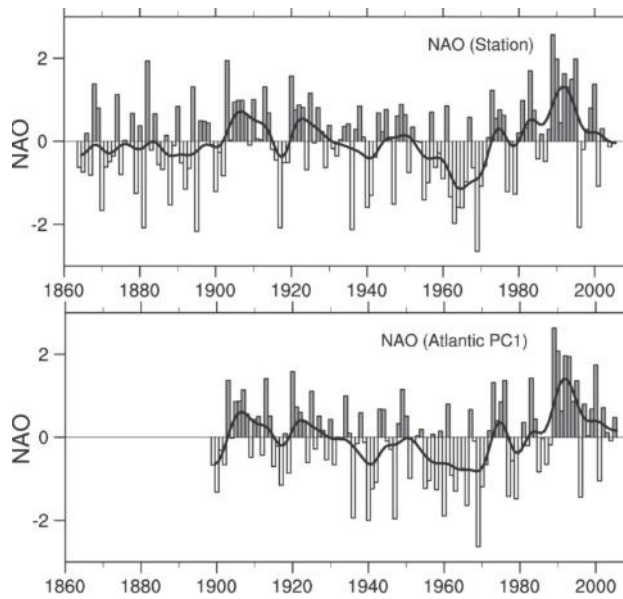


Figura 5. Registro histórico NAO (IPCC, 2007)

La fase positiva se caracteriza por el bloqueo de las precipitaciones debido a la intensificación de las altas presiones en la zona mediterránea (Ulbrich et al., 1999) esto impulsa vientos más cálidos y secos, impide la entrada de vientos polares y se produce un calentamiento generalizado del sur y centro de Europa (Rogers et al., 1979). Además, en esta fase, el transporte de humedad es mínimo (Hurrell, 1995).

Cuando la oscilación del Atlántico norte es negativa y se une a la circulación meridional y a las bajas presiones, provocan un desplazamiento de los ciclones del Atlántico. Esto es lo que singulariza los inviernos más fríos y húmedos en la península cuando los son índices negativos (Muñoz-Díaz & Rodrigo, 2003; Ulbrich et al., 1999).

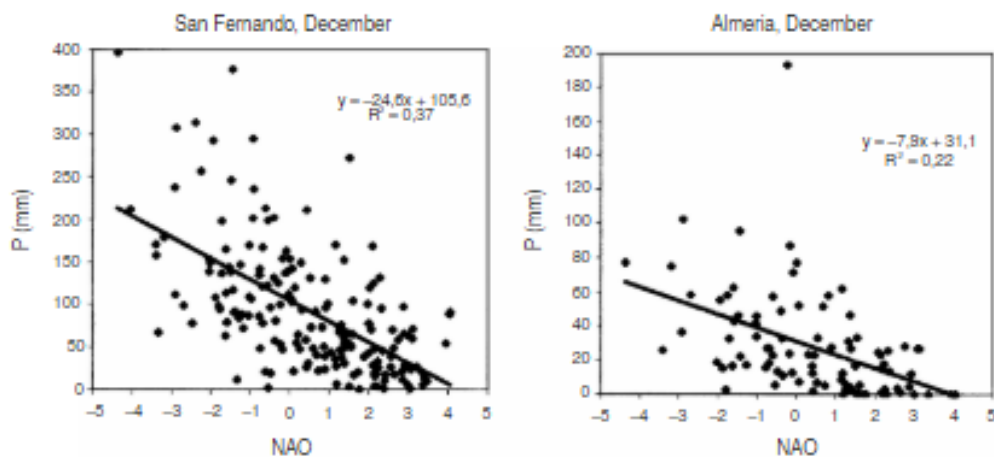


Fig. 6- Correlaciones lineales entre los índices NAO normalizados y las precipitaciones en San Fernando (1825-1999) y Almería (1909-1999)- (Muñoz-Díaz & Rodrigo, 2003).

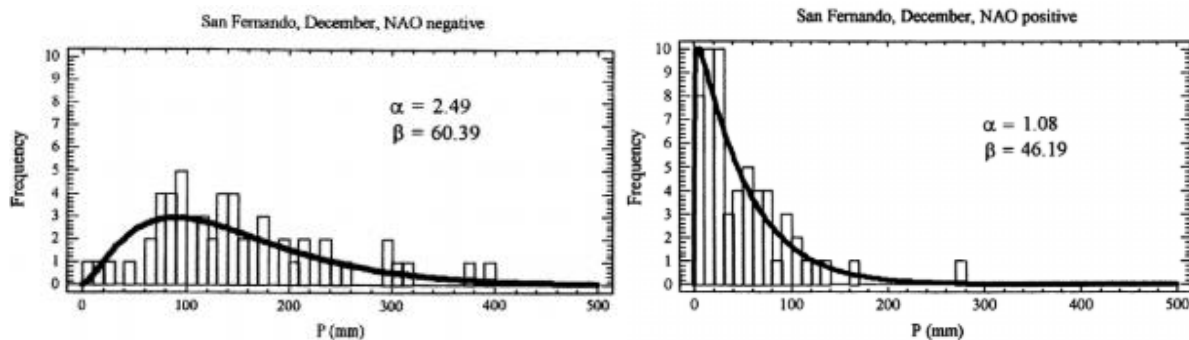


Figura 7- Histograma de San Fernando (1825-1999). (Muñoz-Díaz & Rodrigo, 2003).

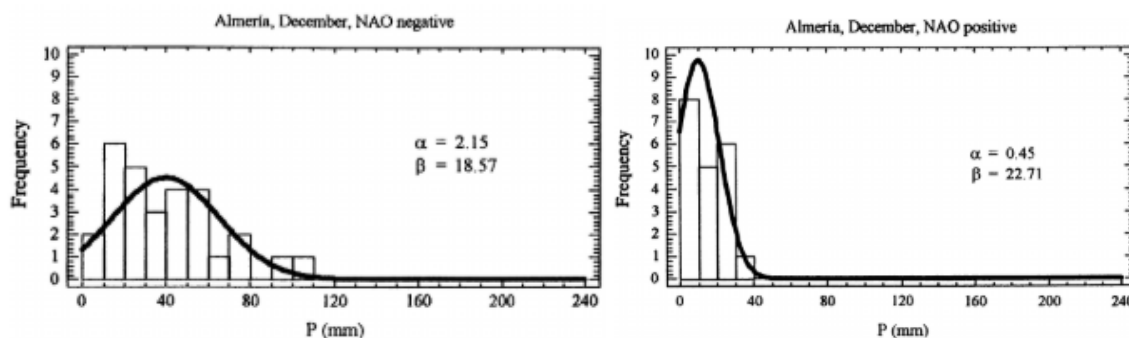


Figura 8. Histograma de Almería (1909-1999) (Muñoz-Díaz & Rodrigo, 2003).

Independientemente de que el régimen de precipitaciones de cada zona sea mayor o menor por el contexto geográfico o en cuanto al eje de longitud, podemos observar en las figuras 5, 6 y 7 una clara relación entre el índice de oscilación del Atlántico norte (a una latitud semejante) y las precipitaciones, encontrando en valores negativos altas precipitaciones y bajas en valores positivos de NAO.

En el IPCC (2007), se exponen tendencias ascendentes en el Atlántico norte tropical y a la baja en el Atlántico ecuatorial, y en el IPCC (2013) como consecuencia de estas tendencias, se detecta un desplazamiento de NAO hacia el polo.

Estos cambios en los flujos atmosféricos a nivel global se traducen en observaciones actuales en la península Ibérica, como disminución de las precipitaciones y aumento de anticiclones en la zona (Tuel et al., 2018).

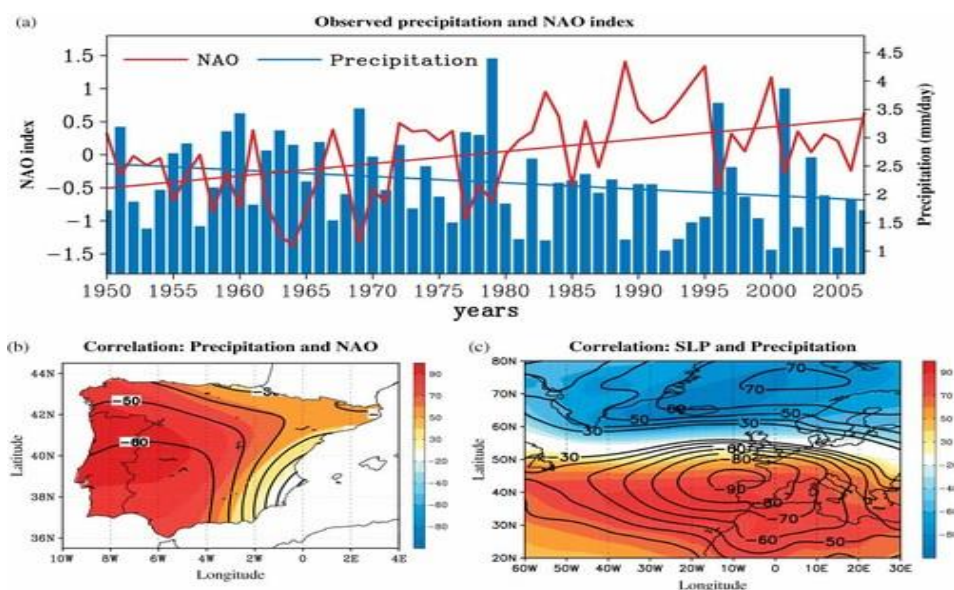


Figura 9. Relación entre precipitaciones y NAO. (Rodríguez-Puebla & Nieto, 2010).

Desde décadas pasadas, no paramos de observar que a medida que el índice NAO en la península Ibérica aumenta, disminuyen las precipitaciones generalmente. Como referimos anteriormente, en las fases negativas de NAO, los ciclones se desplazan desde el atlántico norte hacia en el sureste, es por eso que encontramos mayores precipitaciones en la costa atlántica y una disminución progresiva hasta el sur oriental de la península, zonas caracterizadas por su aridez o semiaridez.

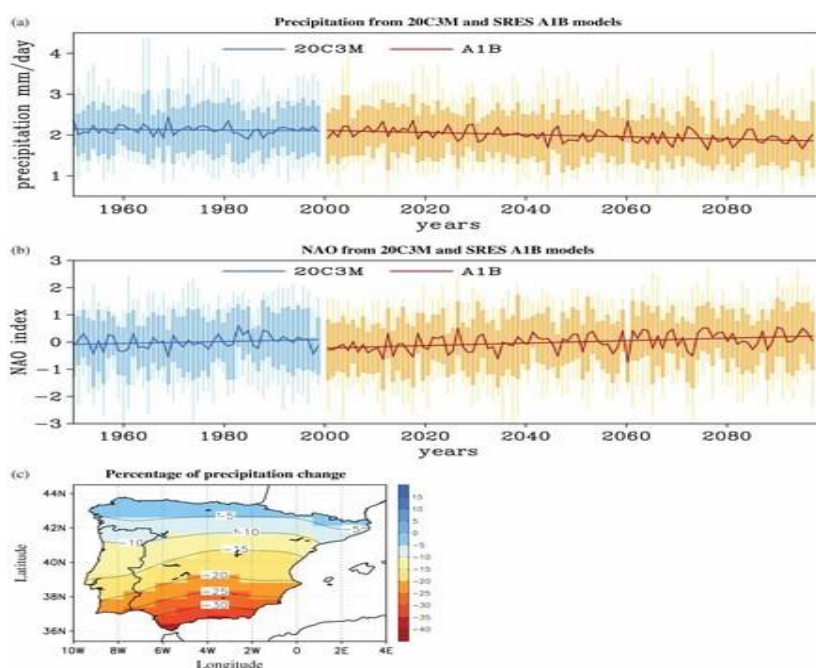


Figura 10. Proyecciones de precipitaciones y del índice NAO en la península ibérica (Rodríguez-Puebla & Nieto, 2010).

Las proyecciones en cuanto al flujo atmosférico atlántico de escala planetaria que influye en la península, NAO, y con respecto al régimen de precipitaciones (figura 10) es similar a las tendencias de décadas atrás (figura 9). Tanto en un futuro cercano como lejano, la predicción del índice NAO sigue siendo ascendente, lo cual provoca aún más sequías, Especialmente a zonas para las zonas del sur peninsular, las cuales podrían pasar a considerarse zonas semiáridas o áridas.

4.1.3. Consecuencias.

Como consecuencias de las tendencias arrojadas por estos estudios, la dispersión de las especies anemócoras se verán afectadas indirectamente.

La disminución de las precipitaciones lleva consigo un estrés hídrico que produce aumento de la producción de propágulos saludables, siendo estos más livianos, con esta modificación la planta conseguirá un aumento del área de dispersión, esto se compensa, por el contrario, disminuyendo la capacidad germinativa (Teller et al., 2014). El estrés hídrico, también afectará tanto en tiempo como en otros parámetros a la floración (Jordan et al., 2015).

La influencia de la fase positiva de NAO en el incremento en el rendimiento de semillas puede resultar beneficiosa en algunos casos, como por ejemplo en los cultivos de especies herbáceas como trigo o cebada (Gimeno et al., 2002)

Debido al aumento de anticiclones e influencia de vientos del este, más cálidos, la temperatura aumentará y con él también lo hará la producción de semillas (Teller et al., 2016).

Otro parámetro que presentará variaciones debido al cambio climático es la evapotranspiración (ETo), disminuciones en humedad y precipitaciones unidas al aumento de ETo podrían agravar las condiciones en la península (Donohue et al., 2010; Moratíel et al., 2010, 2011).

4.2. Escala regional y local.

Las escalas regionales y locales con parámetros climáticos como temperatura, velocidad y dirección del viento, es de gran importancia para comprender las proyecciones climáticas. (Beniston et al., 2007; Bolle, 2003).

La orografía peninsular compleja, los usos de suelo, la presencia de aguas continentales o los procesos de contraste entre el continente y el océano o mares, plantean una circulación regional y local heterogénea e individualizada (Giorgi et al., 2001; Muñoz-Díaz & Rodrigo, 2003).

Las figuras de este apartado pertenecen a Visor de Escenarios de Cambio climático <http://escenarios.adaptecca.es> en colaboración con Gobierno de España, Fundación Biodiversidad, OECC, AEMet, CSIC, LIFE SHARA y Euro-DORDEX.

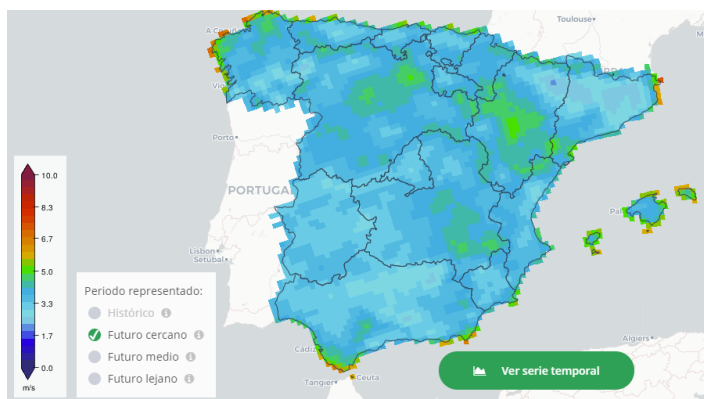


Figura 11. Proyección viento a 10 m (2011-2040).

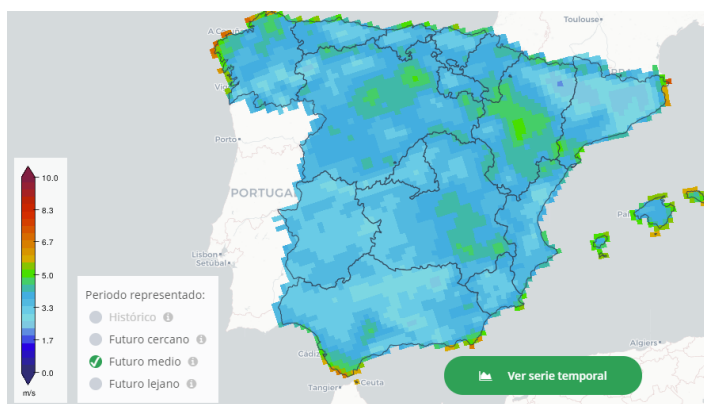


Figura 12. Proyección viento a 10 m (2041-2070).

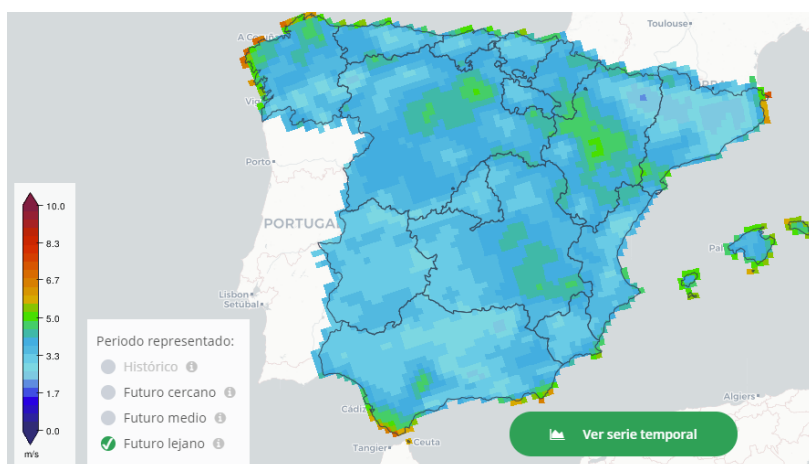


Figura 13. Proyección viento a 10m (2071-2100).

En comparación de los datos del régimen de viento a baja escala (10 y 50 metros) tanto históricamente (figura 3), datos actuales (figuras 1 y 2) como proyecciones futuras (figuras 11,12 y 13) podemos observar los mismos patrones regionales de viento prácticamente. En las previsiones a largo tiempo, algunas zonas suavizan la velocidad del viento, pero en conjunto la variación es casi nula.

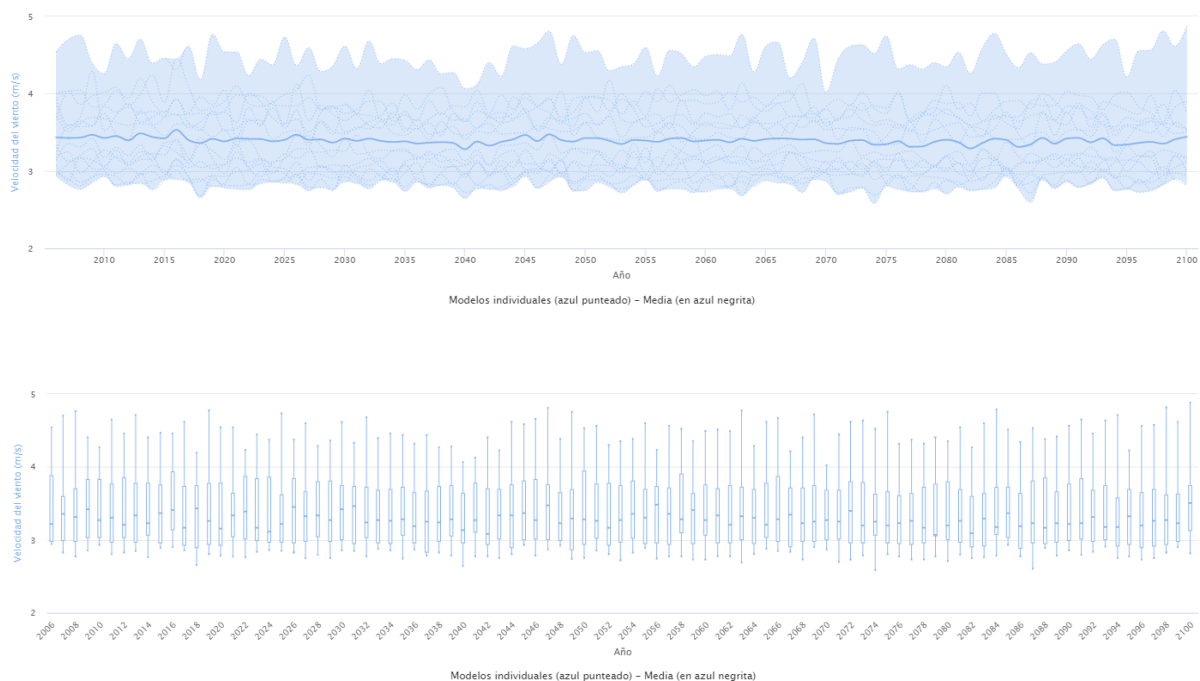


Figura 14. Proyecciones de velocidad de viento en Andalucía. Gráfica lineal y grafico barras.

Las proyecciones expuestas en la figura 14 nos muestran que la velocidad media del viento en el sur de la península será prácticamente constante o levemente descendiente. Los picos máximos y mínimos también se mantienen en valores normales. Por otro lado, el gráfico de barras nos muestra una gran incertidumbre de estos valores por lo que la baja variabilidad de la velocidad del viento puede ser teóricamente.

La circulación regional y local son influyentes con respecto al seco invierno Mediterráneo (Brogli et al., 2019; Seager et al., 2019; Tuel et al., 2018; Tuel & Eltahir, 2020), si esta circulación se mantiene constante y disminuyen drásticamente las precipitaciones podemos experimentar un agravamiento por estrés hídrico.

4.3. Discordancias y valores de incertidumbre.

Respecto a cambio climático existe mucha literatura e investigaciones en curso, pero en lo que respecta al estudio de flujos atmosféricos y regímenes de vientos existen pocos en comparación a otros parámetros como temperaturas, gases de efecto invernadero, etc.

De hecho, los pocos estudios que tratan este tema muchas veces arrojan conclusiones diferentes (Moratíel et al., 2011). Según el IPCC (2013) en un reanálisis de 148 estudios las conclusiones generales mostraban que las velocidades del viento disminuirían en el trópico y latitudes medias, estos valores del reanálisis eran menores que los patrones de tendencia, esto es debido a que continuamente se subestima como el régimen de viento trasciende a nivel planetario.

De igual forma se subestima sistemática la relaciones entre el régimen de precipitaciones con la circulación atmosférica y su acción (Zappa et al., 2015).

La tendencia general de los estudios realizados, proyecta sobre los futuros años una disminución muy leve casi nula de los vientos a 10 m de la península Ibérica, sin embargo, encontramos otros estudios que difieren en estas predicciones.

Tendencias ascendentes en las velocidades medias del viento (Carnell et al., 1996), son corroboradas por Moratíel (2011) que cuantifica valores de hasta 0,040 m/s la adición anual a la media de velocidades, también se compara con los 0,02 m/s de aumento por año de (Thomas et al., 2008).

	Mean	3.0	2.8	2.9	3.4	3.6	3.4	3.1	3.1	2.9	2.7	2.8	2.7	3.3
	SD	0.35	0.85	0.65	0.60	0.62	0.53	0.44	0.41	0.48	0.42	0.64	0.68	0.80
$U \text{ (m s}^{-1}\text{)}$	Trend yr ⁻¹	0.017	0.023	0.023	0.016	0.005	0.002	0.015	0.017	0.027	0.015	0.012	0.040	0.018
	MK-test	1.82	1.50	1.55	1.11	0.38	0.09	1.38	1.70	2.52	1.82	0.88	2.71	1.00
	<i>p</i>	0.07	0.13	0.12	0.27	0.71	0.93	0.17	0.09	0.01	0.07	0.38	0.01	0.32

Figura 15. Descripción y proyección de los valores de velocidades de viento en la Ribera del Duero (Moratíel et al., 2011).

De la misma forma, otros autores diferencian la variabilidad de vientos en Europa, disminución del 5% en el noreste o incrementos del 5% en el noroeste y sur del continente (Beniston et al., 2007).

En otros estudios, se expone que el incremento en la velocidad del viento incrementará lo niveles de valores de ETo, especificando que el aumento de la velocidad incrementa 0,67 mm la evapotranspiración (Donohue et al., 2010; Moratíel et al., 2010, 2011; Xu et al., 2006).

Además de las diversas conclusiones y cálculos, los propios datos de las investigaciones están asociadas a niveles de incertidumbre grandes, de baja confianza (IPCC et al., 2013).

5. Conclusiones.

Con los datos expuestos sobre las proyecciones en el futuro del régimen de viento podemos, en primer lugar, observar una tendencia inequívoca de una variación a nivel planetario de los flujos atmosféricos del atlántico; NAO, un índice que cuantifica estos flujos, está relacionado con el régimen de precipitación y fenómenos ciclónicos en la península, su variabilidad en el futuro, expone a la península a menores precipitaciones y al sur de esta en serios problemas cerca de la aridez o semiaridez.

Para estas predicciones, la plasticidad fenotípica de las plantas será de gran importancia para sobrevivir o desplazarse a zonas óptimas, en gran parte con modificaciones morfológicas de los propágulos o en términos de producción.

En cuanto al régimen de viento a escala regional o local la tendencia general sitúa a prácticamente la totalidad de la península en valores similares a los actuales, o a largo plazo en valores algo mínimamente diferentes por lo que, en términos de dispersión de semillas, serán los modelos mecanicistas actuales los que seguirán actuando en la península aunque condicionados por mecanismos de zonas más áridas a las actuales.

La falta de consenso científico que experimentan las diferentes conclusiones de estudios, puede deberse a las altas incertidumbres sujetas a este parámetro de cambio climático junto a los bajos niveles de confianza en estos estudios.

Este trabajo deja a ver carencias en cuanto a datos y estudios de este parámetro como es el régimen de viento ligado a cambio climático donde serían interesante futuras investigaciones. Además, la relación con la biota dependiente de los parámetros asociados a los flujos atmosféricos sería de igual interés de estudio, conocer y comprender la plasticidad fenotípica y la capacidad de dispersión en condiciones climáticas futuras de la flora mediterránea y peninsular.

6. Bibliografía.

- Aitken, S. N., Yeaman, S., Holliday, J. A., Wang, T., & Curtis-McLane, S. (2008). Adaptation, migration or extirpation: climate change outcomes for tree populations. *Evolutionary Applications*, 1(1), 95–111.
<https://doi.org/10.1111/j.1752-4571.2007.00013.x>
- Augspurger, C. K., & Franson, S. E. (1987). Wind dispersal of artificial fruits varying in mass, area, and morphology. *Ecology*, 68(1), 27–42.
<https://doi.org/10.2307/1938802>

- Beniston, M., Stephenson, D. B., Christensen, O. B., Ferro, C. A. T., Frei, C., Goyette, S., Halsnaes, K., Holt, T., Jylhä, K., Koffi, B., Palutikof, J., Schöll, R., Semmler, T., & Woth, K. (2007). Future extreme events in European climate: An exploration of regional climate model projections. *Climatic Change*, 81(SUPPL. 1), 71–95. <https://doi.org/10.1007/s10584-006-9226-z>
- BOHRER, G., NATHAN, R., & VOLIS, S. (2005). Effects of long-distance dispersal for metapopulation survival and genetic structure at ecological time and spatial scales. *Journal of Ecology*, 93(5), 1029–1040. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2005.01048.x>
- BOLDINGH DEBERNARD, J., & PETTER RØED, L. (2008). Future wind, wave and storm surge climate in the Northern Seas: a revisit. *Tellus A*, 60(3), 427–438. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0870.2008.00312.x>
- Bolle, H.-J. (2003). Climate, Climate Variability, and Impacts in the Mediterranean Area: An Overview. In *Mediterranean Climate* (pp. 5–86). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-55657-9_2
- Brogli, R., Lund Sørland, S., Kröner, N., & Schär, C. (2019). Environmental Research Letters Causes of future Mediterranean precipitation decline depend on the season Recent citations Causes of future Mediterranean precipitation decline depend on the season. *Environ. Res. Lett*, 14, 114017. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab4438>
- Carnell, R. E., Senior, C. A., & Mitchell, J. F. B. (1996). An assessment of measures of storminess: Simulated changes in northern hemisphere winter due to increasing CO₂. *Climate Dynamics*, 12(7), 467–476. <https://doi.org/10.1007/s003820050121>
- Corlett, R. T., & Westcott, D. A. (2013). Will plant movements keep up with climate change? In *Trends in Ecology and Evolution* (Vol. 28, Issue 8, pp. 482–488). Elsevier Current Trends. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2013.04.003>
- Damschen, E. I., Brudvig, L. A., Haddad, N. M., Levey, D. J., Orrock, J. L., & Tewksbury, J. J. (2008). The movement ecology and dynamics of plant communities in fragmented landscapes. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 105(49), 19078–19083. <https://doi.org/10.1073/pnas.0802037105>

- Deser, C., Sun, L., Tomas, R. A., & Screen, J. (2016). Does ocean coupling matter for the northern extratropical response to projected Arctic sea ice loss? *Geophysical Research Letters*, 43(5), 2149–2157.
<https://doi.org/10.1002/2016GL067792>
- Donohue, R. J., McVicar, T. R., Roderick, M. L., & Priestley-Taylor, P. (2010). *Assessing the ability of potential evaporation formulations to capture the dynamics in evaporative demand within a changing climate*.
<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.03.020>
- Esteban-Parra, M., ... F. R.-I. J. of, & 1998, U. (1998). Spatial and temporal patterns of precipitation in Spain for the period 1880–1992. *Wiley Online Library*.
[https://rmets.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/\(SICI\)1097-0088\(19981130\)18:14%3C1557::AID-JOC328%3E3.0.CO;2-J](https://rmets.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/(SICI)1097-0088(19981130)18:14%3C1557::AID-JOC328%3E3.0.CO;2-J)
- Fischlin, A., Midgley, G., Price, J., Leemans, R., Gopal, B., Turley, C., Rounsevell, M., Dube, P., Tarazona, J., & Velichko, A. (2007). *Ecosystems their properties goods and services. Climate Change 2007: Impacts Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change M.L. Parry O.F. Canziani J.P. Palu*.
- Gimeno, L., Iglesias, R., & Ribera, P. (2002). *CLIMATE RESEARCH Clim Res*.
www.cru.uea.ac.uk.
- Giorgi, F., Hewitson, B., Arritt, R., Gutowski, W., & Knutson, T. (2001). Regional Climate Information-Evaluation and Projections. In *Geological and Atmospheric Sciences Publications Geological and Atmospheric Sciences*.
<https://lib.dr.iastate.edu/>
- Greene, D. F., Quesada, M., & Calogeropoulos, C. (2008). DISPERSAL OF SEEDS BY THE TROPICAL SEA BREEZE. *Ecology*, 89(1), 118–125.
<https://doi.org/10.1890/06-0781.1>
- Greene, David F., & Quesada, M. (2011). The differential effect of updrafts, downdrafts and horizontal winds on the seed abscission of *Tragopogon dubius*. *Functional Ecology*, 25(3), 468–472. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2435.2010.01788.x>

- Howe, G. T., Aitken, S. N., Neale, D. B., Jermstad, K. D., Wheeler, N. C., & Chen, T. H. (2003). From genotype to phenotype: unraveling the complexities of cold adaptation in forest trees. *Canadian Journal of Botany*, 81(12), 1247–1266.
<https://doi.org/10.1139/b03-141>
- Hurrell, J. W. (1995). Decadal trends in the North Atlantic oscillation: Regional temperatures and precipitation. *Science*, 269(5224), 676–679.
<https://doi.org/10.1126/science.269.5224.676>
- IPCC. (2007). *AR4 Climate Change 2007: The Physical Science Basis — IPCC*.
<https://www.ipcc.ch/report/ar4/wg1/>
- IPCC, Stocker, T. F., Qin, D., Plattner, G.-K., Tignor, M., Allen, S. K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V., & Midgley, P. . (2013). *AR5 Climate Change 2013: The Physical Science Basis — IPCC*. <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/>
- Johnson, J. S., Cantrell, R. S., Cosner, C., Hartig, F., Hastings, A., Rogers, H. S., Schupp, E. W., Shea, K., Teller, B. J., Yu, X., Zurell, D., & Pufal, G. (2019). *Viewpoint SPECIAL ISSUE: The Role of Seed Dispersal in Plant Populations: Perspectives and Advances in a Changing World Rapid changes in seed dispersal traits may modify plant responses to global change*.
<https://doi.org/10.1093/aobpla/plz020>
- Jongejans, E., & Schippers, P. (2001). Modeling seed dispersal by wind in herbaceous species. *Verhandlungen Der Gesellschaft Fur Okologie*, 31(2), 215.
<https://doi.org/10.2307/3546752>
- Jongejans, Eelke, Pedatella, N. M., Shea, K., Skarpaas, O., & Auhl, R. (2007). Seed release by invasive thistles: the impact of plant and environmental factors. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 274(1624), 2457–2464. <https://doi.org/10.1098/rspb.2007.0190>
- Jordan, C. Y., Ally, D., & Hodgins, K. A. (2015). When can stress facilitate divergence by altering time to flowering? *Ecology and Evolution*, 5(24), 5962–5973.
<https://doi.org/10.1002/ece3.1821>
- Kleunen, M. Van, Phytologist, M. F.-N., & 2005, U. (2005). Constraints on the evolution of adaptive phenotypic plasticity in plants. *Wiley Online Library*.
<https://nph.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1469-8137.2004.01296.x%4010.1111/%28ISSN%291469-8137.PlantecologicaldevelopmentApr2005>

- Kuparinen, A., Katul, G., Nathan, R., & Schurr, F. M. (2009). Increases in air temperature can promote wind-driven dispersal and spread of plants. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 276(1670), 3081–3087. <https://doi.org/10.1098/rspb.2009.0693>
- LaDeau, S. L., & Clark, J. S. (2001). Rising CO₂ levels and the fecundity of forest trees. *Science*, 292(5514), 95–98. <https://doi.org/10.1126/science.1057547>
- Lu, J., Vecchi, G. A., & Reichler, T. (2007). Expansion of the Hadley cell under global warming. *Geophysical Research Letters*, 34(6). <https://doi.org/10.1029/2006GL028443>
- McInnes, K. L., Erwin, T. A., & Bathols, J. M. (2011). Global Climate Model projected changes in 10 m wind speed and direction due to anthropogenic climate change. *Atmospheric Science Letters*, 12(4), 325–333. <https://doi.org/10.1002/asl.341>
- McVicar, T. R., Van Niel, T. G., Li, L. T., Roderick, M. L., Rayner, D. P., Ricciardulli, L., & Donohue, R. J. (2008). Wind speed climatology and trends for Australia, 1975-2006: Capturing the stilling phenomenon and comparison with near-surface reanalysis output. *Geophysical Research Letters*, 35(20). <https://doi.org/10.1029/2008GL035627>
- Miner, B. G., Sultan, S. E., Morgan, S. G., Padilla, D. K., & Relyea, R. A. (2005). Ecological consequences of phenotypic plasticity. In *Trends in Ecology and Evolution* (Vol. 20, Issue 12, pp. 685–692). Elsevier Current Trends. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2005.08.002>
- Moles, A. T., Falster, D. S., Leishman, M. R., & Westoby, M. (2004). Small-seeded species produce more seeds per square metre of canopy per year, but not per individual per lifetime. *Journal of Ecology*, 92(3), 384–396. <https://doi.org/10.1111/j.0022-0477.2004.00880.x>
- Molina-Capel. (2015). *NIMBUS nº 4 - José Jaime Capel Molina - Google Libros*. <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=22scCwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA5&dq=vientos+que+afectan+a+españa&ots=EwHfW13euP&sig=P4vnALG8bfB3Rj6Wv0W79qiPSGM#v=onepage&q&f=false>
- Moratiel, R., Durán, J., Research, R. S.-C., & 2010, U. (2010). CLIMATE RESEARCH Clim Res. *Int-Res.Com*. <https://doi.org/10.3354/cr00919>

- Moratiel, R., Snyder, R. L., Durán, J. M., & Tarquis, A. M. (2011). Natural Hazards and Earth System Sciences Trends in climatic variables and future reference evapotranspiration in Duero Valley (Spain). *Hazards Earth Syst. Sci*, 11, 1795–1805. <https://doi.org/10.5194/nhess-11-1795-2011>
- Mu, M. V. (1998). *EN ANDALUCÍA*.
- Muñoz-Díaz, D., & Rodrigo, F. S. (2003). Effects of the North Atlantic oscillation on the probability for climatic categories of local monthly rainfall in southern Spain. *International Journal of Climatology*, 23(4), 381–397. <https://doi.org/10.1002/joc.886>
- Okin, G. S., Gillette, D. A., & Herrick, J. E. (2006). Multi-scale controls on and consequences of aeolian processes in landscape change in arid and semi-arid environments. *Journal of Arid Environments*, 65(2), 253–275. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2005.06.029>
- Pithan, F., & Mauritsen, T. (2014). Arctic amplification dominated by temperature feedbacks in contemporary climate models. *Nature Geoscience*, 7(3), 181–184. <https://doi.org/10.1038/ngeo2071>
- Pryor, S. C., Schoof, J. T., & Barthelmie, R. J. (2006). Winds of change?: Projections of near-surface winds under climate change scenarios. *Geophysical Research Letters*, 33(11), L11702. <https://doi.org/10.1029/2006GL026000>
- Rodríguez-Puebla, C., & Nieto, S. (2010). Trends of precipitation over the Iberian Peninsula and the North Atlantic Oscillation under climate change conditions. *International Journal of Climatology*, 30(12), 1807–1815. <https://doi.org/10.1002/joc.2035>
- Rogers, J., Review, H. V. L.-M. W., & 1979, U. (1979). The seesaw in winter temperatures between Greenland and northern Europe. Part II: Some oceanic and atmospheric effects in middle and high latitudes. In *journals.ametsoc.org*. <http://journals.ametsoc.org/mwr/article-pdf/107/5/509/4166286/1520-0493>
- Rojas, M., Li, L. Z., Kanakidou, M., Hatzianastassiou, N., Seze, G., & Le Treut, H. (2013). Winter weather regimes over the Mediterranean region: Their role for the regional climate and projected changes in the twenty-first century. *Climate Dynamics*, 41(3–4), 551–571. <https://doi.org/10.1007/s00382-013-1823-8>

- Ronce, O. (2007). How Does It Feel to Be Like a Rolling Stone? Ten Questions About Dispersal Evolution. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 38(1), 231–253.
<https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.38.091206.095611>
- Seager, R., Liu, H., Henderson, N., Simpson, I., Kelley, C., Shaw, T., Kushnir, Y., & Ting, M. (2014). Causes of increasing aridification of the mediterranean region in response to rising greenhouse gases. *Journal of Climate*, 27(12), 4655–4676.
<https://doi.org/10.1175/JCLI-D-13-00446.1>
- Seager, R., Osborn, T. J., Kushnir, Y., Simpson, I. R., Nakamura, J., & Liu, H. (2019). Climate variability and change of mediterranean-type climates. *Journal of Climate*, 32(10), 2887–2915. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-18-0472.1>
- Shepherd, T. G. (2016). Effects of a warming arctic. *Science*, 353(6303), 989–990.
<https://doi.org/10.1126/science.aag2349>
- Skarpaas, O., Auhl, R., & Shea, K. (2006). Environmental variability and the initiation of dispersal: Turbulence strongly increases seed release. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 273(1587), 751–756.
<https://doi.org/10.1098/rspb.2005.3366>
- Sun, L., Deser, C., & Tomas, R. A. (2015). Mechanisms of stratospheric and tropospheric circulation response to projected Arctic sea ice loss. *Journal of Climate*, 28(19), 7824–7845. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-15-0169.1>
- Teller, B. J., Campbell, C., & Shea, K. (2014). Dispersal under duress: Can stress enhance the performance of a passively dispersed species? *Ecology*, 95(10), 2694–2698. <https://doi.org/10.1890/14-0474.1>
- Teller, B. J., Zhang, R., & Shea, K. (2016). Seed release in a changing climate: initiation of movement increases spread of an invasive species under simulated climate warming. *Diversity and Distributions*, 22(6), 708–716.
<https://doi.org/10.1111/ddi.12436>
- Thomas, B. R., Kent, E. C., Swail, V. R., & Berry, D. I. (2008). Trends in ship wind speeds adjusted for observation method and height. *International Journal of Climatology*, 28(6), 747–763. <https://doi.org/10.1002/joc.1570>
- Thompson, K., & Rabinowitz, D. (1989). Do big plants have big seeds? *American Naturalist*, 133(5), 722–728. <https://doi.org/10.1086/284947>

- Thomson, F. J., Moles, A. T., Auld, T. D., & Kingsford, R. T. (2011). Seed dispersal distance is more strongly correlated with plant height than with seed mass. *Journal of Ecology*, 99(6), 1299–1307. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2011.01867.x>
- Trenberth, K. E., Jones, P. D., Ambenje, P., Bojariu, R., Easterling, D., Klein Tank, A., Parker, D., Rahimzadeh, F., Renwick, J. A., Rusticucci, M., Solden, B., & Zhai, P. (2007). *Observations. Surface and Atmospheric Climate Change. Chapter 3 (Miscellaneous) | ETDEWEB* (pp. 236–336). <https://www.osti.gov/etdeweb/biblio/20962165>
- Troen, I., & Petersen, E. L. (1990). *El Atlas {El'olico} Europeo*.
- Tuel, A., & Eltahir, E. A. B. (2020). Why Is the Mediterranean a Climate Change Hot Spot? *Journal of Climate*, 33(14), 5829–5843. <https://doi.org/10.1175/jcli-d-19-0910.1>
- Tuel, A., Eltahir, E. A. B., Tuel, A., & Eltahir, E. A. B. (2018). Large-scale circulation and precipitation decline in the Mediterranean. *AGUFM*, 2018, A41F-08. <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2018AGUFM.A41F..08T/abstract>
- Ulbrich, U., Christoph, M., ... J. P.-I. J. of, & 1999, U. (1999). Dependence of winter precipitation over Portugal on NAO and baroclinic wave activity. *Wiley Online Library*. [https://rmets.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/\(SICI\)1097-0088\(19990330\)19:4%3C379::AID-JOC357%3E3.0.CO;2-8](https://rmets.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/(SICI)1097-0088(19990330)19:4%3C379::AID-JOC357%3E3.0.CO;2-8)
- Vihma, T. (2014). Effects of Arctic Sea Ice Decline on Weather and Climate: A Review. *Surveys in Geophysics*, 35(5), 1175–1214. <https://doi.org/10.1007/s10712-014-9284-0>
- Woollings, T., Gregory, J. M., Pinto, J. G., Reyers, M., & Brayshaw, D. J. (2012). Response of the North Atlantic storm track to climate change shaped by ocean-atmosphere coupling. In *Nature Geoscience* (Vol. 5, Issue 5, pp. 313–317). Nature Publishing Group. <https://doi.org/10.1038/ngeo1438>
- Xu, C.-Y., Gong, L., Jiang, T., Chen, D., & Singh, V. P. (2006). Analysis of spatial distribution and temporal trend of reference evapotranspiration and pan evaporation in Changjiang (Yangtze River) catchment. *Xu*. *Journal of Hydrology*, 327, 81–93. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2005.11.029>
- Yin, J. H. (2005). A consistent poleward shift of the storm tracks in simulations of 21st century climate. *Geophysical Research Letters*, 32(18), 1–4. <https://doi.org/10.1029/2005GL023684>

Zappa, G., Hawcroft, M. K., Shaffrey, L., Black, E., & Brayshaw, D. J. (2015). Extratropical cyclones and the projected decline of winter Mediterranean precipitation in the CMIP5 models. *Climate Dynamics*, 45(7–8), 1727–1738. <https://doi.org/10.1007/s00382-014-2426-8>

7. Webgrafía.

- <https://globalwindatlas.info>
- Visor de Escenarios de Cambio climático <http://escenarios.adaptecca.es> en colaboración con Gobierno de España, Fundación Biodiversidad, OECC, AEMet, CSIC, LIFE SHARA y Euro-DORDEX.