



Trabajo Fin de Grado

Análisis del comportamiento de la humedad relativa en la España peninsular

Autor

Cristian Iranzo Cubel

Director

José Carlos González Hidalgo

FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS
2019

Índice

1. INTRODUCCIÓN	4
2. OBJETIVOS	8
3. DATOS Y MÉTODO	9
3.1. Base de datos y selección de observatorios	9
3.2. Análisis	11
4. RESULTADOS	12
4.1. Trayecto Coruña-Oviedo-San Sebastián	16
4.2. Trayecto Norte-Sur (San-Sebastián-Málaga)	17
4.3. Trayecto Oeste-Este	19
4.4. Trayecto latitudinal costa mediterránea	20
4.5. Trayecto San Sebastián-Zaragoza-Valencia	21
4.6. Análisis de tendencias	22
4.7. Análisis de las ventanas móviles decrecientes	24
4.8. Variaciones del intervalo de confianza según la ventana móvil	27
5. DISCUSIÓN	29
6. CONCLUSIONES	32
7. REFERENCIAS	32

Relación de figuras

Figura 1: Curva de saturación humedad-temperatura. _____	4
Figura 2: Humedad específica (arriba) y humedad relativa (abajo) a 850 mb (izquierda) y a 300 mb (derecha) en la península ibérica. _____	5
Figura 3: Retroalimentación positiva del vapor de agua y las temperaturas. _____	6
Figura 4: Retroalimentación negativa del vapor de agua y las temperaturas. _____	7
Figura 5: Observatorios seleccionados. _____	9
Figura 6: Trayectos estudiados. _____	11
Figura 7: Distribución espacial de la temperatura y la humedad relativa (promedios mensuales). _____	15
Figura 8: Promedios diarios de humedad relativa de los observatorios pertenecientes al primer trayecto. _____	16
Figura 9: Promedios diarios de humedad relativa de los observatorios pertenecientes al trayecto Norte-Sur. _____	18
Figura 10: Promedios diarios de humedad relativa de los observatorios pertenecientes al trayecto Oeste-Este. _____	19
Figura 11. Promedios diarios de humedad relativa de los observatorios pertenecientes al trayecto latitudinal costa mediterránea. _____	20
Figura 12: Promedios diarios de humedad relativa de los observatorios pertenecientes al trayecto San Sebastián-Zaragoza-Valencia. _____	22
Figura 13: Evolución de los promedios anuales de humedad relativa en los observatorios de costa (arriba) e interior (debajo) para el período 1974-2018. _____	23
Figura 14: Variaciones de las tasas de tendencias de la humedad relativa y significación en ventanas móviles. _____	26
Figura 15: Evolución de la amplitud del intervalo de confianza al 95% de los observatorios seleccionados. _____	28

Relación de tablas

Tabla 1: Número de datos de la serie y porcentaje de datos ausentes. _____	10
Tabla 2. Promedios anuales de temperatura media (T) y HR, desviación estandar (DESVEST) y Coeficiente de Variación (CV) de HR. _____	12
Tabla 3: Primer corte transversal, promedios mensuales de humedad relativa. _____	16
Tabla 4: Trayecto Norte-Sur, promedios mensuales de humedad relativa. _____	17
Tabla 6: Trayecto Oeste-Este, promedios mensuales de humedad relativa. _____	19
Tabla 7: Trayecto costa mediterránea, promedios mensuales de humedad relativa. _____	20
Tabla 8: Trayecto San Sebastián-Zaragoza-Valencia, promedios mensuales de humedad relativa. _____	21
Tabla 9: Tasa del período completo y significación. _____	24
Tabla 10: Ventana en la que se produce la tasa máxima de descenso en la HR y su significación. _____	27
Tabla 11: Número de ventanas que superan el valor umbral de 0,3 en la diferencia entre los intervalos de confianza al 95% y el valor del mismo para ventanas con 45, 30, 20 y 15 años. _____	29

1. INTRODUCCIÓN

De los diversos elementos que componen el sistema climático, uno de los que más debates causa actualmente es el vapor de agua dado que los modelos climáticos sugieren una retroalimentación positiva derivada de su aumento ante la subida de las temperaturas originada por el efecto de los gases emitidos por la quema de combustibles fósiles. El mecanismo de esta tesis es que, dado que el vapor de agua es el gas con mayor capacidad de absorción de radiación de onda larga, el aumento térmico que causa el CO₂ al absorber la radiación de onda larga emitida por la superficie provocaría mayor evaporación, y en consecuencia un aumento de la humedad atmosférica y la nubosidad. El resultado de este proceso de retroalimentación provocaría un forzamiento radiativo que terminaría por aumentar la temperatura en superficie hasta los 3°C en promedio, y en altitud produciría un aumento de las temperaturas en el llamado “hot spot”, localizado principalmente en latitudes intertropicales.

El vapor de agua en la atmósfera se evalúa como contenido de su masa por masa atmosférica (humedad específica o proporción de mezcla), presión parcial, y como humedad relativa. El presente TFG estudia la humedad relativa (HR), índice que expresa el porcentaje de saturación de una masa de aire y se define como el cociente, expresado en tanto por ciento, entre la masa de vapor de agua contenido en un volumen dado de aire y la masa de vapor de agua que contendría ese mismo volumen si estuviera saturado (Zúñiga López y Crespo del Arco, 2009, p. 80). De este modo, si aumenta la temperatura del aire, para mantener el valor de la humedad relativa el vapor de agua debe aumentar de manera exponencial para mantener el valor de humedad relativa, en caso contrario esta se mantendrá o disminuirá debido a que la relación entre la temperatura y la humedad (relación de Clausius-Clapeyron) es exponencial (Figura 1).

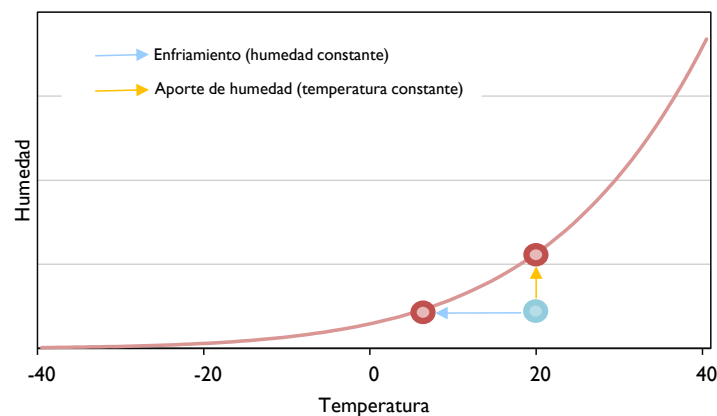


Figura 1: Curva de saturación humedad-temperatura. Fuente: elaboración propia.

Las medidas de satélite y globos sondas no han detectado el “hot spot” en altura comentado, lo que sugiere que los argumentos propuestos no explican convenientemente la situación real. Y las mediciones de humedad tampoco. Según la NASA, el aumento del vapor de agua no ha sido el esperado, por lo que el aumento de la temperatura media global, estimado en 0,12°C por década entre 1951 y 2012 (Stocker et al., 2013), no ha ido acompañado por un incremento de la humedad específica (contenido de vapor de agua), y en consecuencia la humedad relativa ha disminuido.

La situación se muestra en la Figura 2 con datos procedentes del reanálisis de la NASA, en la que se puede observar que los promedios anuales tanto de la humedad específica como de la humedad relativa han disminuido globalmente entre 1948-2018, o cuando menos no aumentaron en dicho período. La figura muestra esta situación en dos alturas representativas, 300 mb (derecha) y 850 mb (izquierda), y en valores de humedad específica (superior) y humedad relativa (inferior) en el entorno de la Península Ibérica, pero el patrón es generalizado en el Planeta (Dai, 2006).

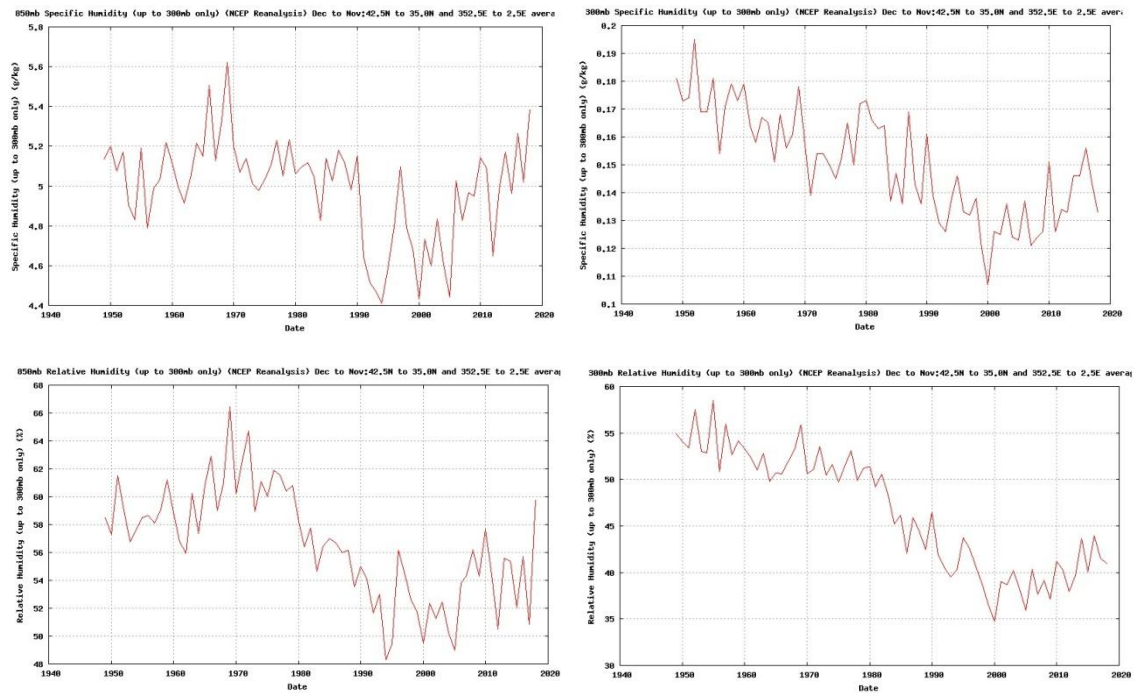


Figura 2: Humedad específica (arriba) y humedad relativa (abajo) a 850 mb (izquierda) y a 300 mb (derecha) en la península ibérica. Fuente: NOAA

Ante estos hechos, Gray (2018) ha planteado dos hipótesis contrapuestas sobre el efecto combinado de CO₂ y el vapor de agua en las temperaturas. En el primer caso, como sugieren la mayoría de los modelos climáticos, al aumentar el vapor de agua en altura, y como consecuencia de su capacidad absorbente de radiación de onda larga, se

generaría un ascenso de la cota de emisión de la temperatura de equilibrio del planeta, produciendo el llamado “hot spot”. Como consecuencia el gradiente térmico atmosférico se modificaría incrementando la temperatura en superficie (Figura 3).

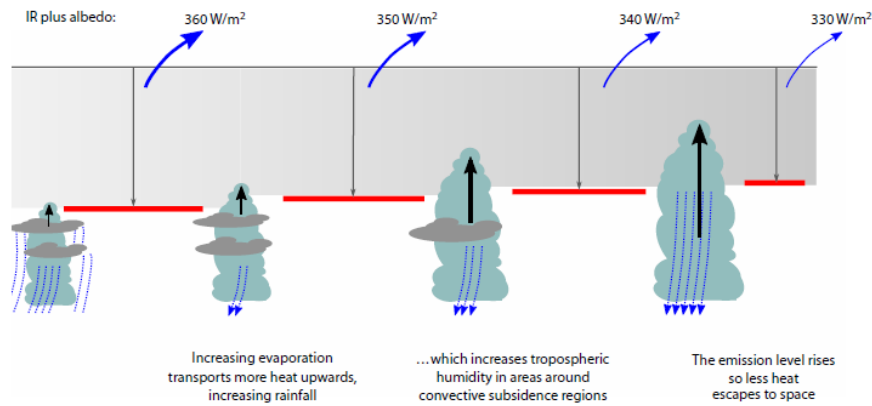


Figura 3: Retroalimentación positiva del vapor de agua y las temperaturas. Fuente: (Gray, 2018).

En contraposición, la segunda tesis sugiere que el aumento del vapor de agua llevaría a un aumento de la precipitación y a la consiguiente reducción del contenido de vapor en la alta troposfera (Figura 4); en estas condiciones la subsidencia del aire en el entorno de las zonas de convección produciría, por calentamiento adiabático, un aumento de la temperatura que lograría alcanzar la temperatura de equilibrio en cotas de menor altura, y como consecuencia según la ley de Stefan-Boltzmann aumentará la cantidad de energía emitida hacia el espacio. El efecto final sería entonces una reducción de la temperatura, produciendo una retroalimentación negativa que equilibraría los efectos del CO₂.

El problema está lejos de ser resuelto, pues dado el cambio observado en la composición química de la atmósfera (Pidwirny, 2018, p. 37) es de vital importancia conocer cuáles son los efectos reales del aumento del CO₂ y los procesos de retroalimentación en la denominada sensibilidad climática, una estimación de cuánto aumentarían las temperaturas tras duplicar el CO₂ respecto a los valores preindustriales (en torno a 280 ppmv).

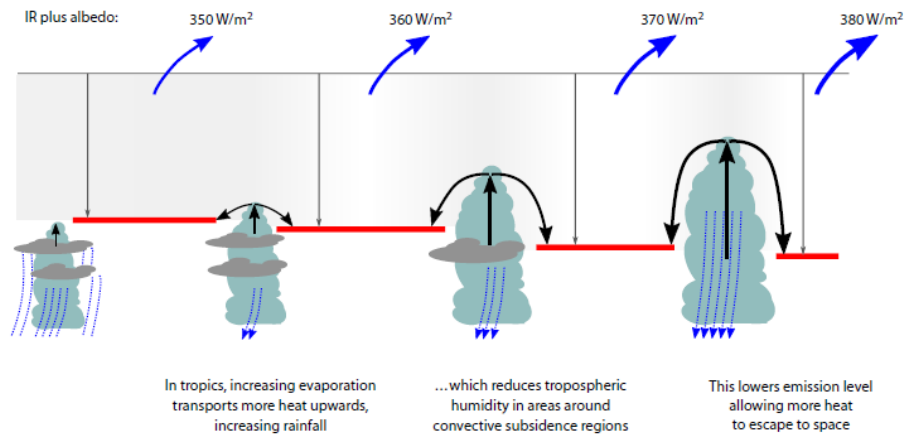


Figura 4: Retroalimentación negativa del vapor de agua y las temperaturas. Fuente: (Gray, 2018).

La evolución general de las temperaturas en las décadas recientes ha estado marcada por el llamado hiato, fenómeno caracterizado bien por haberse atenuado la tendencia de las temperaturas, por dejar de ser significativa o por detectarse un enfriamiento (Medhaug et al., 2017), y cuyas causas se debaten todavía puesto que no fue detectado por los modelos climáticos. Entre otras muchas explicaciones, se ha sugerido que en Europa occidental pudo haberse producido por el bloqueo anticiclónico persistente que impidió la llegada de la humedad procedente del Atlántico, como sugiere el enfriamiento de la vertiente occidental en la década de los años noventa del siglo pasado (Philipona et al., 2005). Esta falta de vapor de agua podría ser una de las razones por las que la tendencia de las temperaturas en España desde mediados de los años ochenta del siglo pasado no ha sido significativa (Gonzalez-Hidalgo et al., 2016).

Durante los últimos años se han realizado diferentes estudios con la finalidad de conocer los patrones de la distribución de la humedad en España. Estos estudios incluyen el análisis de modelos diarios de temperatura y humedad (Artacho Ruiz, 2000), el estudio de las variables que están directamente relacionadas con ella, como la nubosidad (Sanchez-Lorenzo et al., 2008, 2012) o la insolación (Sanchez-Lorenzo et al., 2007) y la evapotranspiración (Tomás-Burguera, 2018; Vicente Serrano et al., 2014b). En general se ha observado un incremento de la insolación en las últimas décadas y una disminución de la nubosidad, con un aumento de la evapotranspiración potencial (Vicente Serrano et al., 2014b), pero sin embargo no se han detectado aumentos del vapor de agua en la atmósfera puesto que la humedad específica se ha mantenido estable y la humedad relativa ha descendido (Vicente Serrano et al., 2014a). Estos resultados son los que se han mostrado en la Figura 2.

2. OBJETIVOS

La controversia actual acerca del comportamiento de la humedad justifica estudios como el presente TFG, cuyo objetivo principal es describir las principales variaciones espaciales de la humedad relativa en la España peninsular. El estudio se realiza con datos de series diarias de observatorios seleccionados en diferentes gradientes norte-sur y costa-interior y tiene como objetivos los siguientes:

1. Identificar qué factores geográficos justifican las variaciones de HR
 - a. Identificar si existen variaciones de la HR atribuibles a la latitud
 - b. Identificar si existen diferencias en la HR entre costa e interior.
 - c. Identificar si existen diferencias en la HR entre la fachada occidental y oriental peninsular.
2. Analizar las tendencias de la HR en el período estudiado por el método de ventanas móviles, con el objetivo de verificar la hipótesis de que la humedad relativa en la Península Ibérica cuando menos no ha aumentado en las décadas recientes como consecuencia directa del bloqueo anticiclónico ya señalado (Philipona et al., 2005).

3. DATOS Y MÉTODO

3.1. Base de datos y selección de observatorios

En el presente TFG se analizarán los datos promedios diarios de humedad relativa procedentes de la base de datos European Climate Assessment & Dataset (en adelante ECA). El primer criterio utilizado para seleccionar los observatorios ha sido cubrir los tres grandes ámbitos climáticos del territorio peninsular: la costa norte, el centro-oeste y la fachada mediterránea (Figura 5) cuya influencia se proyecta hacia el noroeste a través del Valle del Ebro (Peña-Angulo et al., 2015).

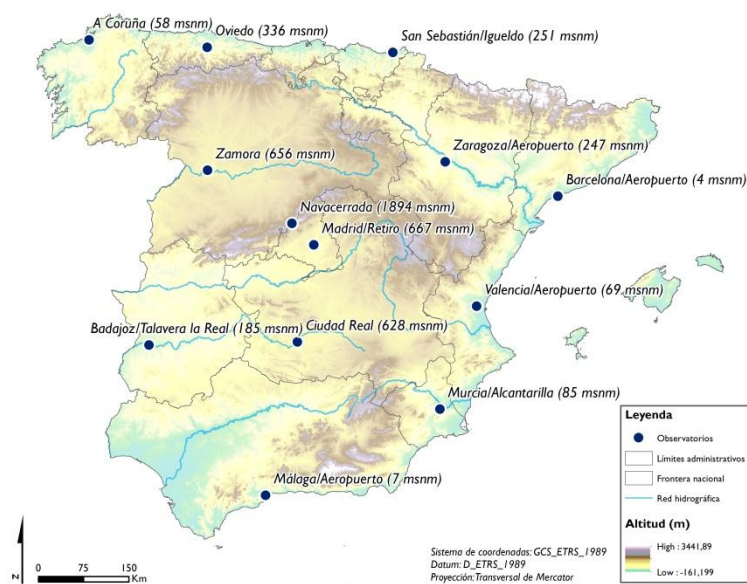


Figura 5: Observatorios seleccionados. Fuente: elaboración propia a partir de las coordenadas de los observatorios proporcionadas por la EC; información temática procedente del IGN

El segundo criterio ha sido la duración de las series y el porcentaje de datos ausentes. La base de datos ECA ofrece dos versiones de cada serie, los denominados *blended* y *non blended*, que indican respectivamente si la serie se ha reconstruido con sus vecinos y se ha homogeneizado o por el contrario se toma en su versión original. No hay diferencias significativas entre ambas versiones, como puede comprobarse en la Tabla 1, ya que los datos *blended* solo consiguen rellenar datos ausentes en Barcelona-aeropuerto para los meses de verano del año 2012 para el período analizado. Dicho período abarca 45 años (16 436 datos), entre 1974 y 2018, y se corresponde con el observatorio con una serie temporal más corta, Oviedo. Finalmente se optó por el análisis de los datos *blended*.

Observatorio	NON BLENDED		BLENDED	
	Datos ausentes	% de datos ausentes	Datos ausentes	% de datos ausentes
Coruña	74	0,450	74	0,450
Badajoz-Talavera la Real	0	0,000	0	0,000
Barcelona-Aeropuerto	1025	6,236	884	5,378
Ciudad Real	14	0,085	14	0,085
Madrid-Retiro	59	0,359	0	0,000
Málaga-Aeropuerto	112	0,681	112	0,681
Murcia-Alcantarilla	42	0,256	7	0,043
Navacerrada	0	0,000	28	0,170
Oviedo	0	0,000	1	0,006
San Sebastián-Igueldo	2	0,012	2	0,012
Valencia-Aeropuerto	47	0,286	47	0,286
Zamora	17	0,103	17	0,103
Zaragoza-Aeropuerto	8	0,049	8	0,049

Tabla 1: Número de datos de la serie y porcentaje de datos ausentes. Fuente: elaboración propia a partir de los datos de ECA dataset.

Los observatorios se agrupan en cinco cortes o trayectos:

- *Fachada norte*, incluida la zona del mediterráneo: Coruña-Oviedo-San Sebastián
- *Trayecto norte-sur*: San Sebastián-Zamora-Madrid-Navacerrada-Ciudad Real-Málaga
- *Trayecto este-oeste*: Badajoz-Madrid-Valencia
- *Fachada mediterránea de norte a sur*: Barcelona-Valencia-Murcia-Málaga
- *Trayecto a través del valle del Ebro*: San Sebastián-Zaragoza-Barcelona

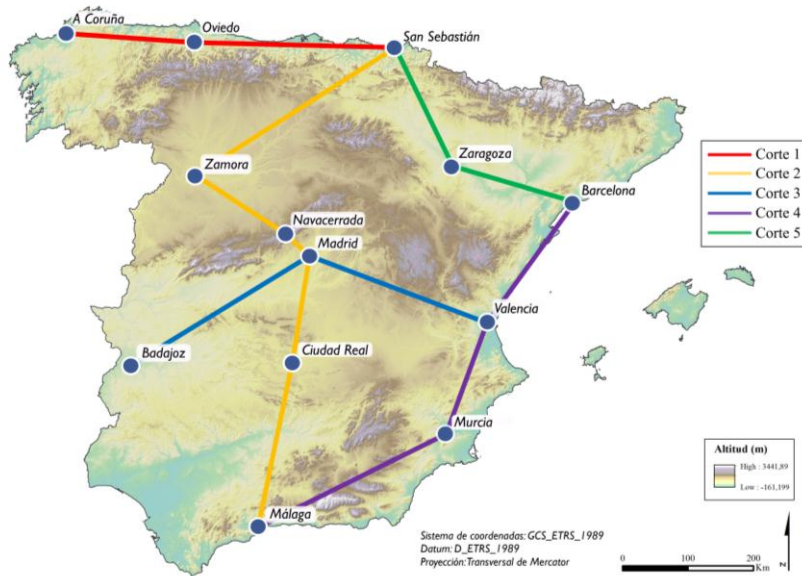


Figura 6: Trayectos estudiados. Fuente: elaboración propia a partir de las coordenadas de la ECA; información temática obtenida del IGN.

Dentro del *trayecto norte-sur* se ha incluido el observatorio de Navacerrada (1894 msnm) para comprobar el efecto de la altitud en la humedad relativa.

3.2. Análisis

En cada observatorio se elaboraron los calendarios de promedios diarios de humedad relativa y de temperaturas medias, dado que en función de la temperatura de la masa de aire varía la cantidad de humedad necesaria para saturarla. El empleo de los promedios diarios de temperatura y humedad relativa puede esconder la realidad, pues la primera varía a lo largo del día aunque el vapor de agua pueda mantenerse constante, así al amanecer las bajas temperaturas pueden hacer que la masa de aire alcance la temperatura de rocío e incluso se produzca la condensación (nieblas), y el aumento de la temperatura diurna reduciría la humedad relativa al aumentar la capacidad de la masa de aire para almacenar vapor de agua.

Para la representación de los trayectos se calcularon los promedios mensuales y anuales (considerando el año climático Diciembre-Noviembre) de la serie temporal de cada observatorio, los promedios anuales, además del coeficiente de variación (CV), a partir de la relación entre el promedio anual y la desviación estándar para estimar la variabilidad intra-anual de la humedad en cada observatorio.

Se han repetido observatorios en algunas tablas y calendarios con el objetivo de facilitar la interpretación de los datos.

Por último, el análisis de tendencias se realizó por el método de Mann-Kendall y la estimación de la tasa de cambio por el estadístico de Sen (ambos no paramétricos), empleando el programa Makesens desarrollado por el instituto meteorológico finlandés. Se han considerado como períodos con una tasa de cambio significativos aquellos con un 95% de confianza, $\alpha < 0,05$.

El estudio de tendencias consta de dos partes. En primer lugar se ha estudiado el comportamiento de la humedad relativa mediante el método de ventanas móviles decrecientes en todos los observatorios durante el período completo (1974-2018). En los gráficos el primer punto señala la tendencia calculada para el total de la serie, siendo los siguientes el resultado de restar un año al total de la serie (desde el principio) hasta acabar en el período 2009-2018. Dentro de cada gráfico se ha añadido información sobre la amplitud del intervalo de confianza, clasificado en función de un umbral límite para considerar un dato como fiable, establecido en $\pm 0,3\%$ (una incertidumbre de un 0,6% anual).

4. RESULTADOS

Los valores mensuales promedio de humedad relativa y temperatura de los diferentes observatorios se muestran en la Tabla 2, junto con su desviación estándar y coeficiente de variación. En general las temperaturas promedio anual siguen gradientes latitudinales claros, así como se detectan diferencias costa-interior; por su parte la HR claramente muestra una mayor variabilidad en los observatorios de interior que de costa.

Observatorio	Promedio HR	DESVEST	CV	Promedio T ^a
Oviedo	80,14	10,27	0,13	13,14
San Sebastián	78,62	13,31	0,17	13,25
Coruña	78,16	8,73	0,11	14,34
Navacerrada	72,85	23,45	0,33	6,58
Barcelona	71,75	10,51	0,15	15,92
Badajoz	67,83	15,70	0,23	16,77
Zamora	67,81	15,70	0,24	12,73
Málaga	67,36	13,40	0,20	18,35
Valencia	66,43	13,07	0,20	17,35
Zaragoza	64,86	14,41	0,23	15,09
Murcia	64,85	14,17	0,23	17,41
Ciudad Real	64,42	18,02	0,29	14,45
Madrid	58,90	17,38	0,30	14,40

Tabla 2. Promedios anuales de temperatura media (T) y HR, desviación estandar (DESVEST) y Coeficiente de Variación (CV) de HR. Fuente: elaboración propia

Los valores promedio anuales de humedad relativa indican que los observatorios de costa son menos variables que los de interior, y especialmente los de la costa norte. En los observatorios de costa hay diferencias en la humedad relativa entre los situados en la costa norte, donde los porcentajes de humedad relativa no bajan del 70%, y en la costa de levante, cuyos porcentajes de humedad relativa descienden por debajo del 70%, excepto en Barcelona.

Por su parte Navacerrada es el observatorio con la temperatura promedio más baja de toda la serie de observatorios pero con altos valores de HR promedio anual, si bien con la mayor variabilidad. Los observatorios del centro y sureste peninsular ofrecen valores de mayor variabilidad anual de HR con distintos patrones de temperatura. El observatorio con valores más bajos es Madrid, con uno de los coeficientes de variación más elevados de la serie (0,30) solo superado por Navacerrada (0,33). Entre Madrid y Oviedo hay un 21% de diferencia entre sus valores de promedio anual de humedad relativa.

En los observatorios del interior peninsular Badajoz y Zamora (fachada occidental) tienen promedios de humedad relativa superiores a los observatorios de la fachada oriental (excepto Barcelona).

En la Figura 6 se muestra una composición general de los calendarios diarios de temperaturas promedio y humedad relativa de los observatorios analizados. La humedad relativa se mantiene estable durante todo el año en la costa norte, con una distribución de las temperaturas similar en San Sebastián y Oviedo de máximas en verano que apenas superan los 18°C y mínimas en invierno por debajo de los 9 °C. En Coruña las temperaturas máximas son similares, pero las mínimas presentan valores superiores por encima de los 9°C en invierno, aumentando el promedio anual de temperatura con respecto a los otros dos. Este hecho podría influir en el reducido CV de este observatorio, el más bajo (0,11).

En la costa mediterránea los porcentajes de humedad relativa en los meses de verano descienden en dirección sur. Las temperaturas en estos meses bajan de los 24°C en Barcelona y superándolos en el resto de observatorios de la costa mediterránea. Las mínimas invernales para estos cuatro observatorios bajan de los 12°C excepto en Málaga, provocando porcentajes mayores de humedad relativa en este período.

Existen diferencias entre la costa y el interior peninsular en la HR. En los observatorios de costa los valores de humedad son más estables durante todo el año y la amplitud térmica más reducida (en la costa norte más reducida que en la costa

mediterránea), mientras que en los observatorios del interior la humedad relativa desciende en verano y aumenta en invierno de manera notable, acompañado por un descenso en las medias de las temperaturas de los meses de invierno por debajo de los 9°C. Este efecto es más acusado en Madrid, situado en el centro de la península, que en el resto de observatorios del interior.

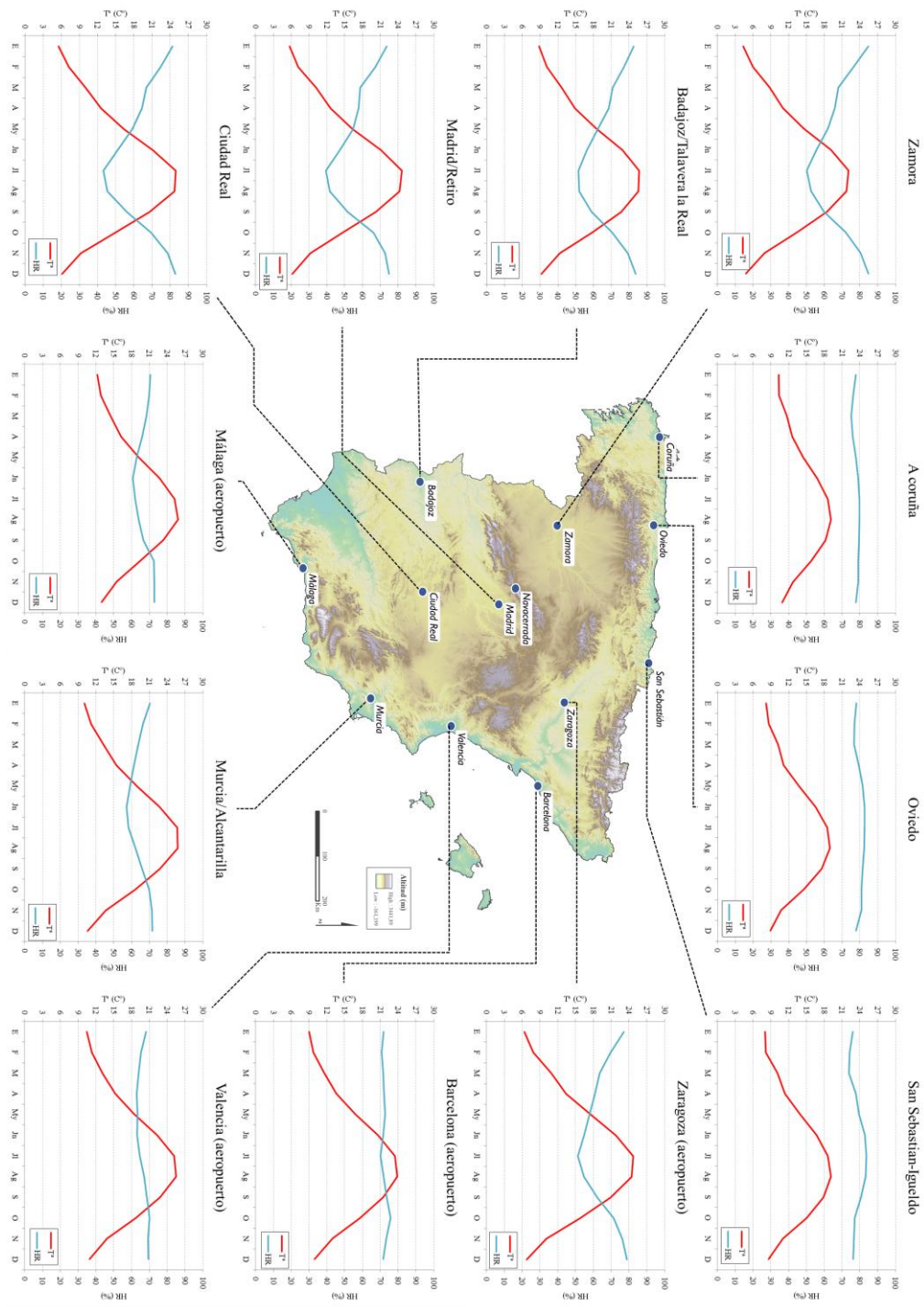


Figura 7: Distribución espacial de la temperatura y la humedad relativa (promedios mensuales). Fuente: elaboración propia a partir de los datos de la ECA; información temática obtenida del IGN.

4.1. Trayecto Coruña-Oviedo-San Sebastián

Representa el comportamiento de la humedad relativa en el sector más septentrional de la península ibérica, junto al mar cantábrico. En la Tabla 3 se muestran los promedios mensuales de HR de cada observatorio y en la Figura 7 su calendario diario.

Altura	OBS	E	F	M	A	My	Jn	Jl	Ag	S	O	N	D
58	Coruña	77,56	75,75	74,74	75,45	77,42	78,47	79,56	79,41	78,89	78,50	78,72	77,22
336	Oviedo	78,09	77,00	76,66	79,33	81,53	82,57	82,59	82,45	81,62	80,95	80,88	77,78
251	San Sebastián	76,18	74,46	74,79	77,85	80,14	83,00	84,13	83,63	80,46	76,68	76,51	75,04

Tabla 3: Primer corte transversal, promedios mensuales de humedad relativa. Fuente: elaboración propia.

Los tres observatorios presentan una gran estabilidad anual. De los tres, el observatorio de Coruña es el que menos variabilidad muestra (Figura 7).

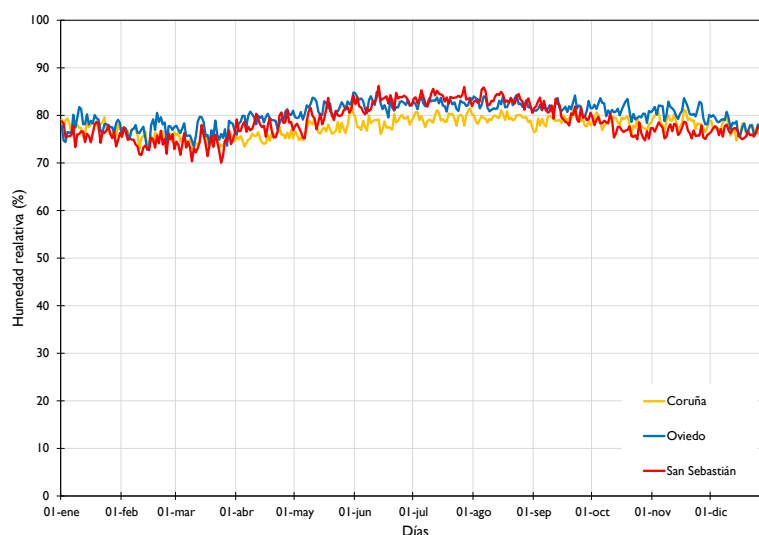


Figura 8: Promedios diarios de humedad relativa de los observatorios pertenecientes al primer trayecto. Fuente: elaboración propia.

El patrón general es que la humedad relativa aumenta en los meses de verano hacia el este (en San Sebastián alcanza los valores más altos), mientras que son muy semejantes en primavera (febrero y marzo) y en diciembre, momentos en los que la humedad relativa desciende. El mes con mayor HR es julio en los tres observatorios de este sector. En los meses de invierno, así como en primavera y otoño, la humedad relativa es ligeramente superior en Oviedo. El mínimo se da en el mes de marzo excepto en San Sebastián (febrero), aunque el valor es similar tanto en febrero como en marzo (74,46 y 74,79 respectivamente).

4.2. Trayecto Norte-Sur (San-Sebastián-Málaga)

En este trayecto se evalúa el efecto latitud desde San Sebastián a Málaga pasando por observatorios de interior (Zamora, Madrid, Navacerrada y Ciudad Real) en los que además se superpone también el efecto altitud. En general se observa un cambio notable: en el norte los valores son elevados y estables todo el año (no bajan del 70%) y sus máximos se localizan en verano; en el resto de observatorios la variabilidad es mayor, los valores máximos se producen en invierno mientras que el período con valores más bajos se produce en verano. En la Tabla 4 se muestran sus promedios mensuales.

Altura	OBS	E	F	M	A	My	Jn	JL	Ag	S	O	N	D
251	San Sebastián	76,17	74,41	73,91	77,94	79,69	82,88	83,77	83,32	80,67	77,27	76,79	76,35
251	Zamora	84,25	75,77	66,83	65,11	61,11	54,70	49,17	51,08	58,34	70,96	79,90	84,61
667	Madrid	72,75	66,82	58,13	58,02	55,20	46,89	39,75	42,32	51,27	65,53	72,41	75,07
1894	Navacerrada	80,84	82,65	77,83	79,28	74,24	62,64	50,77	51,48	63,55	79,18	83,40	80,19
628	Ciudad Real	80,72	73,68	65,14	62,88	57,46	48,04	40,72	43,35	54,23	68,05	77,85	82,71
7	Málaga	70,89	69,30	67,80	65,76	62,64	60,27	61,19	63,50	66,85	72,17	72,49	73,34

Tabla 4: Trayecto Norte-Sur, promedios mensuales de humedad relativa. Fuente: elaboración propia.

Los promedios de humedad relativa de este trayecto son superiores en verano en el norte, observatorio de San Sebastián, período en el que se produce el valor mínimo del resto de observatorios. En estos últimos su máximo se produce en los meses de noviembre y diciembre. El valor mínimo de San Sebastián se produce en mayo, aunque se sitúa por encima del valor máximo de Málaga y cerca del valor máximo de Madrid.

Los observatorios localizados entre el centro y la costa (Zamora y Ciudad Real) presentan porcentajes de humedad relativa más bajos en los meses de verano con respecto a los observatorios de costa. Sin embargo, en los meses de invierno (noviembre, diciembre y enero) aumentan sus porcentajes, superando a estos últimos.

El observatorio de Madrid, situado en el centro de este trayecto, presenta los valores de humedad relativa más bajos en todos los meses del conjunto de observatorios analizados, excepto en enero y diciembre cuando sus valores de humedad relativa superan a los registrados en Málaga. Sin embargo, el observatorio de Navacerrada, situado en el mismo sector que Madrid pero a una altura muy superior (1894 msnm), presenta valores de humedad relativa más altos en todos los meses con respecto a Madrid, superando entre octubre y abril los valores promedio mensuales de HR de San Sebastián y de octubre a junio a Málaga. Sin embargo, el máximo de HR de Navacerrada es superado por el de Zamora.

En la Figura 8 se muestran los calendarios diarios de HR del conjunto de observatorios de este trayecto. Existen diferencias en el patrón de comportamiento entre las dos costas, puesto que a pesar de ser los dos observatorios con HR menos variable de todo el trayecto, en Málaga el promedio diario de humedad relativa siempre es inferior a San Sebastián y presenta su máximo en invierno, como el resto de los observatorios del centro de la península. Málaga se diferencia de los observatorios del interior peninsular en los valores de verano, más elevados entre julio y principios de septiembre.

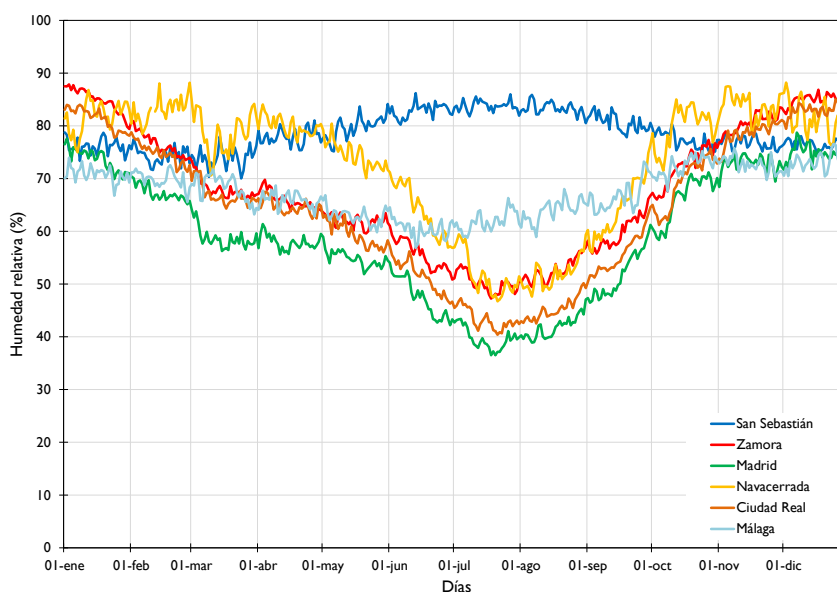


Figura 9: Promedios diarios de humedad relativa de los observatorios pertenecientes al trayecto Norte-Sur. Fuente: elaboración propia.

En los meses de invierno los porcentajes más elevados son los de Zamora, excepto en Noviembre, superada por los valores de Navacerrada. En estos meses Madrid no logra superar los porcentajes del observatorio de San Sebastián, pero si los de Málaga (observatorio con los promedios diarios más bajos para los meses de enero y diciembre). Los valores de los seis observatorios presentan las menores diferencias para los meses de invierno, sobre todo en diciembre

Los valores diario promedio de San Sebastián solo son superados en los observatorios de Zamora, Ciudad Real y Navacerrada en algunos meses invernales. Los valores de este último son los que más tiempo se sitúan por encima, desde primeros de octubre hasta que vuelven a igualarse a finales de abril. Navacerrada también está por encima de los porcentajes de Málaga en el mes de junio.

4.3. Trayecto Oeste-Este

En este trayecto se analizan las variaciones de HR en una misma latitud en situaciones de distinta continentalidad en los observatorios de Badajoz, Madrid y Valencia. En la Tabla 5 se muestran sus promedios mensuales. Los tres observatorios tienen el mínimo de humedad relativa mensual en diciembre y su máximo en verano (junio y julio).

Altura	OBS	E	F	M	A	My	Jn	JL	Ag	S	O	N	D
185	Badajoz	82,68	77,42	70,70	69,09	63,16	56,62	52,04	52,13	58,86	70,57	79,33	84,15
667	Madrid	72,75	66,82	58,13	58,02	55,20	46,89	39,75	42,32	51,27	65,53	72,41	75,07
69	Valencia	68,40	66,00	64,00	63,39	63,88	63,17	64,77	67,07	68,77	69,82	69,33	69,94

Tabla 5: Trayecto Oeste-Este, promedios mensuales de humedad relativa. Fuente: elaboración propia.

En el trayecto oeste-este los promedios diarios del observatorio de Valencia son los más regulares, tanto que apenas se distingue su máximo en Diciembre. Sus valores son bajos, apenas logran superar el 70% de humedad relativa. En la Figura 9 se muestra su calendario diario. Madrid y Badajoz tienen una mayor variabilidad, con valores invernales muy por encima de Valencia y mínimos estivales por debajo de los promedios diarios del observatorio de costa. Durante el invierno los máximos de Madrid superan a los promedios de Valencia pero se sitúan por debajo de los valores de Badajoz, que tiene la HR más elevada. Los observatorios de Madrid y Badajoz tienen claramente un mínimo en verano, pero los valores promedio diarios son menores en el observatorio situado más en el centro, Madrid.

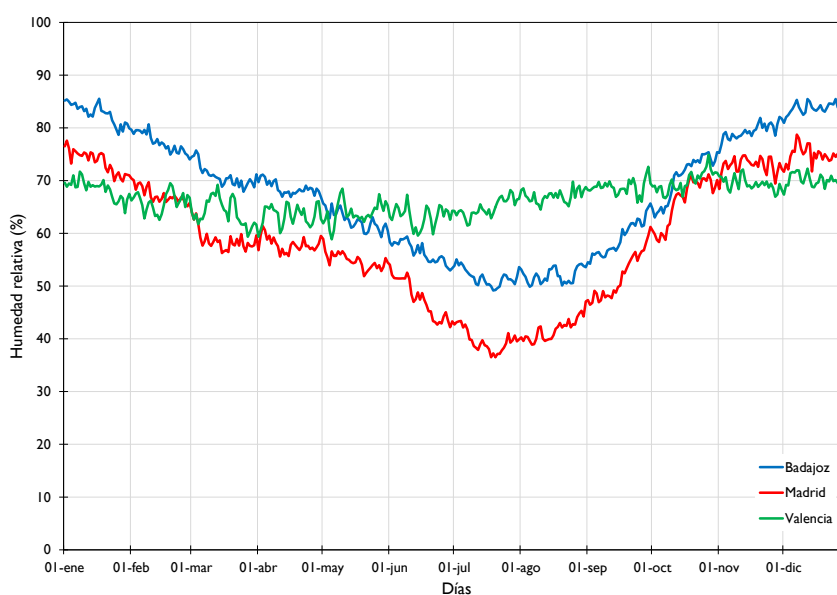


Figura 10: Promedios diarios de humedad relativa de los observatorios pertenecientes al trayecto Oeste-Este. Fuente: elaboración propia.

4.4. Trayecto latitudinal costa mediterránea

En este trayecto se analizan las diferencias latitudinales de la costa mediterránea entre los observatorios de Barcelona, Valencia, Murcia y Málaga. Sus valores promedio mensuales se muestran en la Tabla 6.

Altura	OBS	E	F	M	A	My	Jn	JL	Ag	S	O	N	D
4	Barcelona	71,79	71,37	72,05	72,64	72,86	71,65	70,25	71,37	73,19	75,53	73,16	71,63
69	Valencia	68,40	66,00	64,00	63,39	63,88	63,17	64,77	67,07	68,77	69,82	69,33	69,94
85	Murcia	68,16	64,53	61,07	58,40	56,61	53,98	55,07	58,92	63,84	67,61	69,34	70,79
7	Málaga	70,89	69,30	67,80	65,76	62,64	60,27	61,19	63,50	66,85	72,17	72,49	73,34

Tabla 6: Trayecto costa mediterránea, promedios mensuales de humedad relativa. Fuente: elaboración propia.

El patrón general es que los máximos y los mínimos se encuentran en los meses de diciembre y junio respectivamente, excepto en el observatorio de Barcelona, donde se producen en julio y octubre. La amplitud entre el valor máximo y el mínimo mensual de humedad relativa aumenta desde Barcelona, la más baja (5.2%), hasta Murcia (16.8%) pasando por Valencia (6.8%) y desciende ligeramente en Málaga (13.1%). En la Figura 10 se muestran los calendarios diarios de HR de estos observatorios.

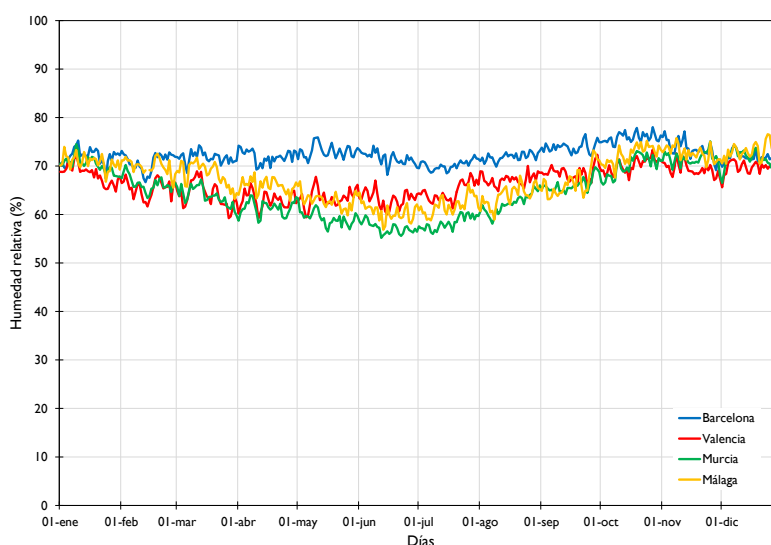


Figura 11. Promedios diarios de humedad relativa de los observatorios pertenecientes al trayecto latitudinal costa mediterránea. Fuente: elaboración propia.

En el trayecto paralelo a la costa mediterránea los valores promedios diarios de la humedad relativa diferencian claramente el observatorio de Barcelona, con valores superiores desde abril a noviembre, siendo la serie más regular del resto. Al descender

hacia el sur los valores entre mediados de marzo y principios de octubre disminuyen, aumentando la irregularidad anual.

El observatorio de Málaga, el más septentrional, está por encima de Valencia en los meses de febrero, marzo y abril; se sitúa por encima de Murcia en los meses de verano.

El observatorio de Murcia es superior al de Valencia en los meses de invierno, pero en verano sus valores diarios de humedad relativa disminuyen, siendo los más bajos de este trayecto, por debajo del 60% de humedad relativa en mayo, junio y julio.

A partir de septiembre los valores promedio anuales de estos tres observatorios comienzan a subir hasta igualarse con los promedios del observatorio de Barcelona.

4.5. Trayecto San Sebastián-Zaragoza-Valencia

En este trayecto se pretende analizar las características del valle del Ebro como espacio de transición entre los ambientes atlánticos y mediterráneos. En general la humedad relativa varía desde una situación con valores máximos en verano (julio) y mínimos en primavera (marzo) en el sector más septentrional (San Sebastián) hasta una situación de máximos en invierno y mínimos en verano, en el sector de la desembocadura del río Ebro (Valencia), quedando el sector intermedio representado por Zaragoza caracterizado por los valores más bajos de humedad relativa de los tres observatorios en los meses de verano, pero con máximos en los meses de invierno que superan a los datos máximos mensuales registrados en Valencia. El máximo en el observatorio de San Sebastián es superior al resto; su valor mínimo de humedad relativa supera al valor máximo registrado en Valencia. En la Tabla 7 se muestran los promedios mensuales de HR.

Altura	OBS	E	F	M	A	My	Jn	JL	Ag	S	O	N	D
251	San Sebastián	76,17	74,41	73,91	77,94	79,69	82,88	83,77	83,32	80,67	77,27	76,79	76,35
247	Zaragoza	75,80	68,74	62,39	59,98	57,72	53,46	50,61	53,88	60,06	69,18	74,74	78,01
69	Valencia	68,40	66,00	64,00	63,39	63,88	63,17	64,77	67,07	68,77	69,82	69,33	69,94

Tabla 7: Trayecto San Sebastián-Zaragoza-Valencia, promedios mensuales de humedad relativa. Fuente: elaboración propia.

En la Figura 11 se muestran los calendarios diarios de HR. Los observatorios de San Sebastián y Zaragoza tienen dos períodos de máximos contrastados, en verano y en invierno respectivamente. Valencia presenta una distribución más regular de sus promedios diarios de humedad relativa, con solo un ligero ascenso en los meses de noviembre y diciembre.

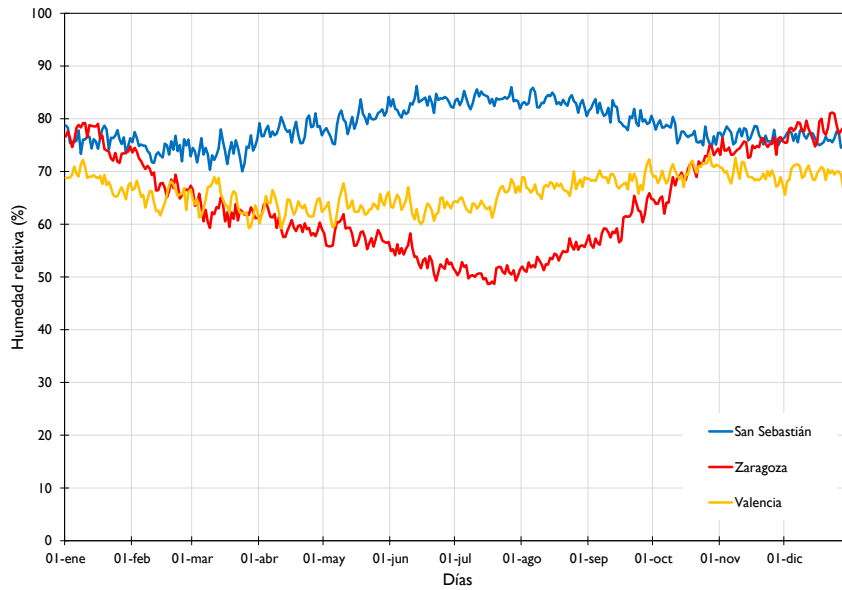


Figura 12: Promedios diarios de humedad relativa de los observatorios pertenecientes al trayecto San Sebastián-Zaragoza-Valencia. Fuente: elaboración propia.

Los máximos de Zaragoza solo superan en algunos días de diciembre y enero los valores mínimos de San Sebastián. Con respecto a Valencia, los valores más elevados de Zaragoza superan en enero, febrero, noviembre y diciembre sus valores más altos. Es esta la época en la que los tres observatorios están más próximos entre sí. Durante los meses de verano Zaragoza presenta los mínimos más bajos, Valencia los valores intermedios y San Sebastián los más elevados.

4.6. Análisis de tendencias

La evolución del promedio anual de HR en los observatorios analizados se muestra en la figura 13.

En los observatorios del interior la evolución de los promedios anuales parece estar marcada por una mayor variabilidad que en los de costa, con ascensos y descensos de la humedad relativa. Únicamente Madrid parece recuperarse al final del periodo con aumentos a partir de 1991. En los observatorios de costa existen diferencias entre las dos vertientes:

- En la vertiente cantábrica en los tres observatorios analizados la HR se mantiene relativamente estable durante todo el período, con un ligero descenso a partir de 1986 y un ligero ascenso hacia 1990.

- En los observatorios de la vertiente mediterránea la HR en general es inferior a los de la costa cantábrica, y presentan en general un descenso en las figuras.

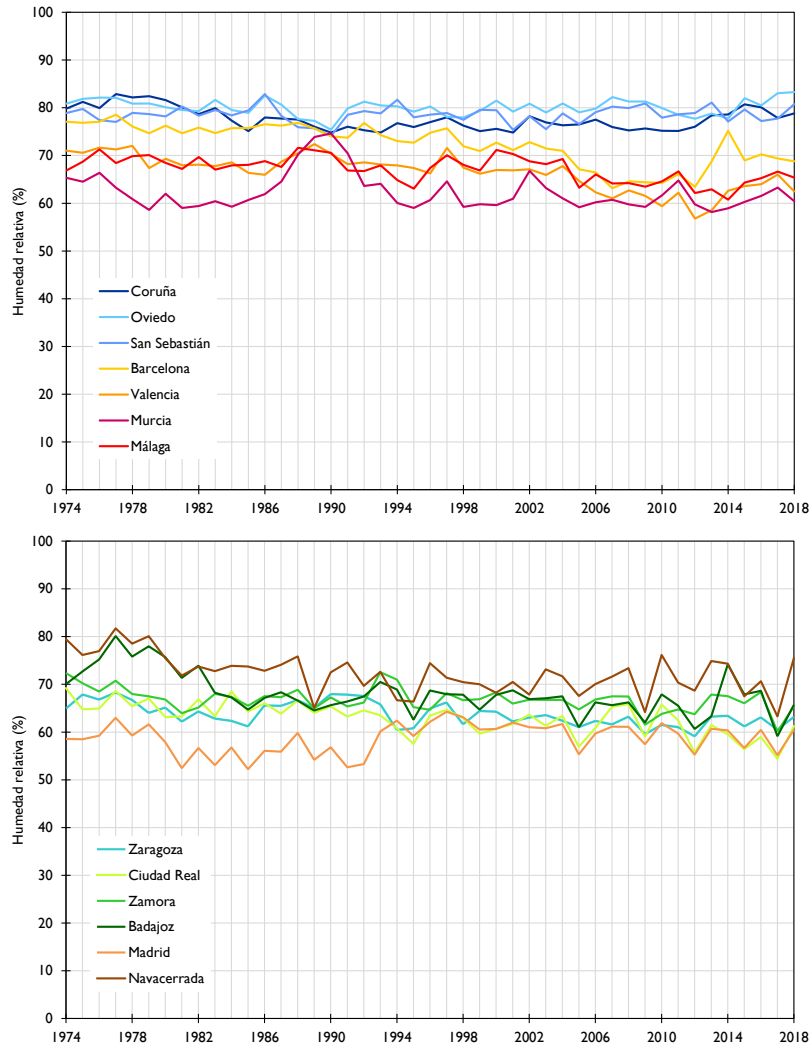


Figura 13: Evolución de los promedios anuales de humedad relativa en los observatorios de costa (arriba) e interior (debajo) para el período 1974-2018. Fuente: elaboración propia

Los comentarios previos son cualitativos. En la Tabla 8 se muestra la tasa de variación anual (en %) y su significación en el total del período analizado, 1974-2018 en el conjunto de observatorios analizados.

Observatorio	Tasa período completo	Signific.
Barcelona	-0,23	Si
Valencia	-0,21	Si
Badajoz	-0,20	Si
Navacerrada	-0,18	Si
Ciudad Real	-0,17	Si
Málaga	-0,12	Si
Zaragoza	-0,11	Si
Coruña	-0,07	No
Zamora	-0,06	Si
Murcia	-0,05	No
San Sebastián	0,01	No
Oviedo	0,04	No
Madrid	0,05	No

Tabla 8: Tasa del período completo y significación. Fuente: elaboración propia.

En ocho de los trece observatorios analizados la tendencia del período completo es significativa (Zamora, Málaga, Navacerrada, Badajoz, Ciudad Real, Valencia, Barcelona y Zaragoza), y además en todos ellos negativa. De estos ocho, tres son de la costa mediterránea y cinco del interior. La tasa de descenso más acusada es la de Barcelona, con un -0,23% anual, lo que supone que en los 45 años del período la humedad relativa de Barcelona se ha reducido un 10,35%. Gran parte de este descenso se produjo durante 1984-2018, el período de máximo descenso en el observatorio de Barcelona, con un descenso de 9,45% en 35 años. La tasa menos acusada entre las significativas la tiene Zamora, 0,06% anual, lo que supone un descenso de la humedad relativa de un 2,7% en el total del período.

En los observatorios de Madrid, Murcia, Coruña, Oviedo y San Sebastián no se ha detectado tendencia significativa; el signo es positivo excepto en Murcia y Coruña.

Ningún observatorio de la costa cantábrica ha presentado tendencias significativas en el período completo.

4.7. Análisis de las ventanas móviles decrecientes

El método de ventanas móviles decrecientes equivale al efecto de que se hubiera empezado a tomar medidas cada vez en fecha más reciente. En la Figura 14 se presentan los resultados de este análisis de manera que permite la comparación de las distintas localidades analizadas.

Los resultados de este análisis se pueden resumir en lo siguiente:

- En los observatorios de la costa cantábrica no se ha detectado período alguno con una tasa significativa.
- Las tendencias de los observatorios de la costa mediterránea muestran diferencias entre la zona más al norte, con tendencias negativas significativas en los períodos entre 1974-2018 a 1994-2018 en Barcelona, y 1974-2018 a 1997-2018 en Valencia, respecto a la zona más meridional donde no se han detectado períodos con tendencia significativa en el observatorio de Murcia; en Málaga solamente han resultado ser significativas las ventanas comprendidas entre 1974-2018 y 1989-2018. La diferencia entre los dos primeros y el observatorio de Málaga es que en este último, además de detectarse un menor número de ventanas con significación, la tasa de tendencia es menor que en los observatorios de Barcelona y Valencia en todos aquellos períodos en los que se detectan tendencias negativas y significativas.
- En los observatorios del interior peninsular los periodos analizados en Zaragoza son significativos desde el período completo hasta 1990-2018, y hasta 1988-2018 en Ciudad Real. Las tasas son en ambos casos negativas, más bajas en Ciudad Real que en Zaragoza a pesar de que en ninguno de los dos son inferiores a -0,2% anual.
- En el resto de los observatorios de interior los períodos con tendencia significativa son menores. Badajoz presenta seis períodos de 1974-2018 hasta 1979-2018, el período 1975-2018 con una tasa por debajo de -0,2%. El siguiente observatorio con un mayor número de períodos significativos es Navacerrada con cuatro, desde el período completo hasta 1977-2018. La tendencia es negativa, y en ningún caso disminuye de -0,2%.
- Zamora y Madrid presentan uno y tres períodos con tendencia significativa respectivamente. En el primero se corresponde con el período completo de la serie de años analizada, mientras que en el segundo se corresponden con los períodos de máximo incremento de los períodos anuales (Figura 13) a partir de 1991.

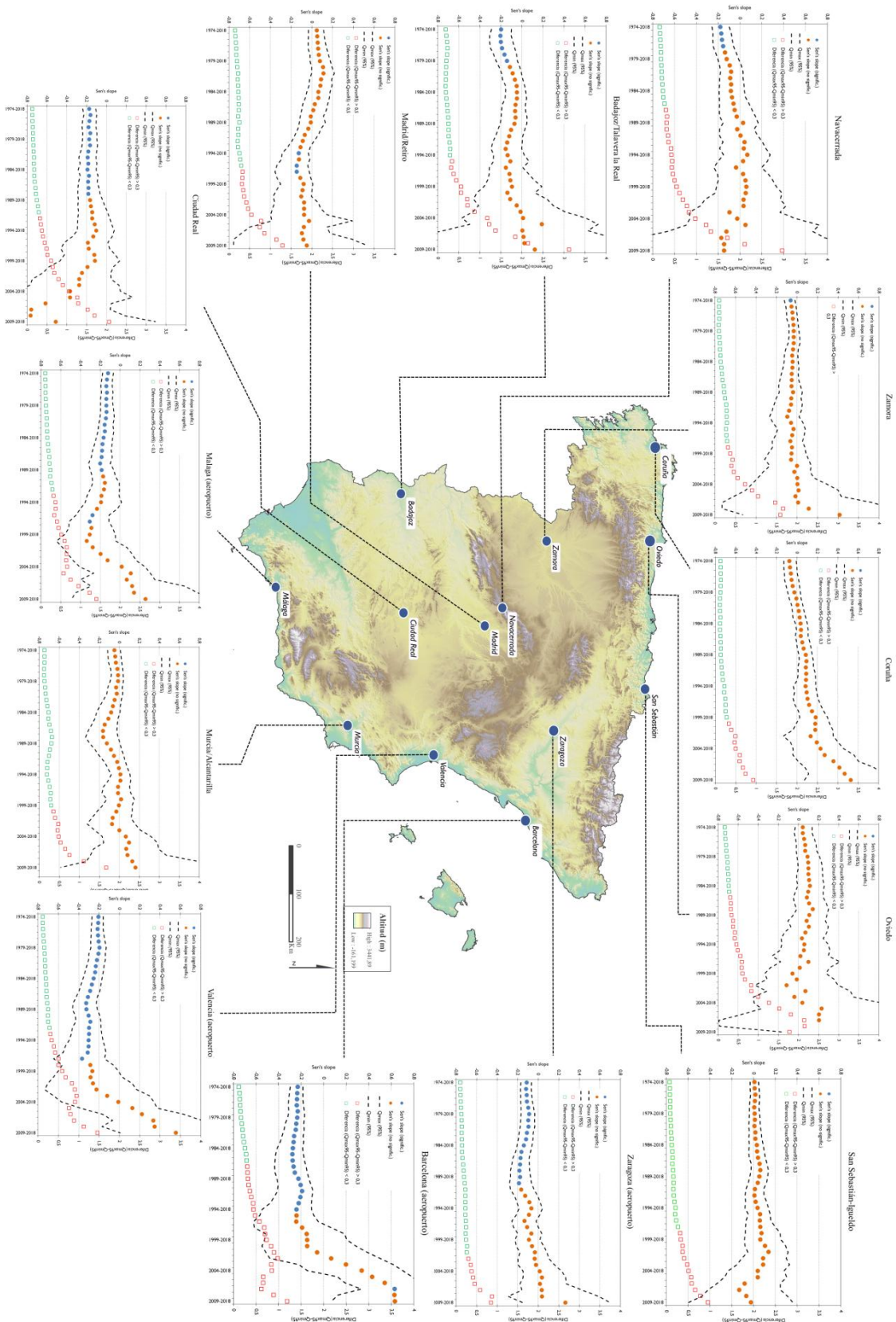


Figura 14: Variaciones de las tasas de tendencias de la humedad relativa y significación en ventanas móviles. Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 7 se muestra la ventana temporal con significación estadística en la que se encontró un valor de la tasa más intenso.

Observatorio	Ventana de máximo desc.	Tasa Máx. Desc.	Signific.
Ciudad Real	2008-2018	-0,77	No
Valencia	1997-2018	-0,37	Si
Málaga	2000-2018	-0,34	No
Barcelona	1984-2018	-0,27	Si
Badajoz	1975-2018	-0,20	Si
Zaragoza	1990-2018	-0,19	Si
Navacerrada	1974-2018	-0,18	Si
Murcia	1987-2018	-0,16	No
Madrid	1996-2018	-0,15	Si
San Sebastián	2007-2018	-0,13	No
Oviedo	2001-2018	-0,12	No
Zamora	1993-2018	-0,10	No
Coruña	1974-2018	-0,07	No

Tabla 9: Ventana en la que se produce la tasa máxima de descenso en la HR y su significación. Fuente: elaboración propia.

De entre todas las ventanas analizadas aquellas en las que se producen las mayores tasas de descenso significativas son Valencia (-0,37), Barcelona (-0,27) y Badajoz (-0,20).

En todos los casos se observa que a medida que disminuye el periodo analizado los intervalos de confianza aumentan mucho, lo que plantea el significado de la tasa estimada, al margen de su significación estadística.

4.8. Variaciones del intervalo de confianza según la ventana móvil

La evolución de la amplitud del intervalo de confianza al 95% de las tendencias analizadas en el conjunto de observatorios se muestra en la figura 14.

El objetivo de este análisis es introducir brevemente el problema de la longitud de la serie analizada en la “fiabilidad” de la tasa al margen de su significación estadística, es decir el problema del ruido que existe en las series de corta duración respecto a la señal que podríamos decir que tiene una componente climática.

En el presente TFG el umbral elegido de 0,3% supone que en una tasa secular las variaciones expresadas por la tendencia fluctuarían en un 30%, cantidad que se ha considerado excesiva y que refleja una gran incertidumbre, fuese o no la tendencia significativa desde el punto de vista estadístico.

Los resultados del análisis previo referido a ventanas móviles decrecientes indican que cuando el período en el que se calculan las tendencias es inferior a los 32 años, los intervalos de confianza aumentan en los observatorios de Oviedo y Barcelona por encima del 0,3% de tasa anual, y en períodos inferiores a 27 años en el resto de observatorios, excepto San Sebastián, Coruña, Murcia y Zamora en donde se supera dicho umbral a partir de períodos menores de 22 años.

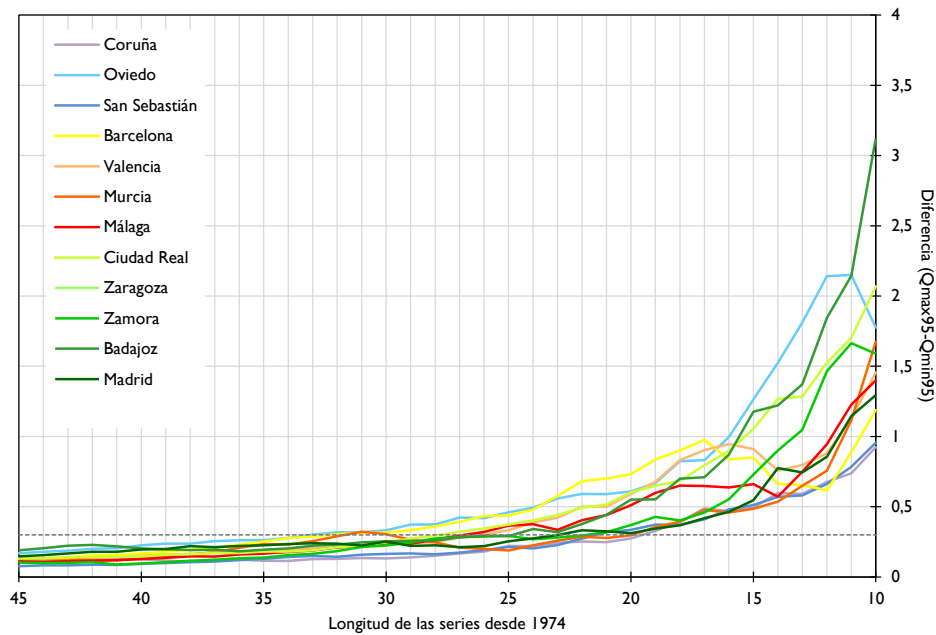


Figura 15: Evolución de la amplitud del intervalo de confianza al 95% de los observatorios seleccionados. Fuente: elaboración propia.

En la tabla 8 se muestran los resultados del análisis de la amplitud del intervalo de confianza al 95%. La tabla incluye los valores del rango del intervalo de confianza que se logra en intervalos prefijados en años entre 45 y 15. En general a medida que se reduce el periodo analizado el intervalo aumenta y en 15 años en todos los casos es superior a 0,50 de tasa anual. Ocurre algo parecido en el intervalo de 20 años, y salvo en Zaragoza y Coruña, la tasa supera 0,30. Estos valores aún se mantienen en el periodo de 30 años, y solamente se reducen por debajo de 0,20 de tasa anual en las series de más de 45 años, excepto en Coruña, inferiores a 0,20 en un intervalo de 30 años.

Los resultados muestran claramente la importancia de señalar qué duración tiene el periodo analizado cuando se habla de una tasa, y también la necesidad de contar en la medida de lo posible con series de duración superior a tres décadas.

Observatorios	Nº de ventanas dif. período conf. > 0,3	45	30	20	15
Barcelona	23	0,11	0,32	0,73	0,85
Murcia	10	0,13	0,30	0,30	0,49
Zaragoza	8	0,10	0,20	0,24	0,38
San Sebastián	12	0,08	0,16	0,33	0,51
Navacerrada	23	0,16	0,32	0,55	0,97
Oviedo	24	0,17	0,33	0,61	1,26
Valencia	17	0,11	0,25	0,59	0,91
Zamora	12	0,10	0,22	0,37	0,73
Badajoz	15	0,19	0,25	0,55	1,18
Madrid	13	0,15	0,25	0,31	0,55
Málaga	17	0,11	0,24	0,51	0,66
Coruña	10	0,12	0,13	0,27	0,49
Ciudad Real	18	0,13	0,25	0,60	1,05
Media	15,54	0,13	0,25	0,46	0,77

Tabla 10: Número de ventanas que superan el valor umbral de 0,3 en la diferencia entre los intervalos de confianza al 95% y el valor del mismo para ventanas con 45, 30, 20 y 15 años. Fuente: elaboración propia.

5. DISCUSIÓN

El estudio de la variación de la HR realizado en el presente TFG ha permitido comprobar cómo varían los patrones de esta variable en el espacio, relacionada con la temperatura y la cercanía a las masas de agua, es decir con la posición costa-interior y la altitud. En la cornisa cantábrica los valores de humedad relativa son elevados durante todo el año, con un máximo en verano; esta alta HR puede asociarse con la mayor facilidad de lograr estos valores por una temperatura promedio anual más baja y un aporte asegurado de humedad desde el mar Cantábrico. Las condiciones comentadas parecen ser específicas de este sector, puesto que los demás observatorios presentan patrones de comportamiento distintos. Así, en el interior peninsular es evidente que el descenso de HR en verano se debe sobre todo a que la entrada de humedad disminuye en el momento en que las temperaturas aumentan más. Por ello el aumento en la capacidad de retención de vapor de agua por parte de la atmósfera debido al aumento térmico, y el previsible aumento de la evaporación, no refleja un aumento de la HR ante la falta de agua que evaporar. Este patrón se observa en todos los observatorios del interior, donde la temperatura aumenta más que en los observatorios costeros como es sabido por el efecto de continentalidad, en parte asociado a la lejanía de grandes masas de agua que ejerzan un efecto de regulación térmica. El efecto será más acusado en el interior, donde las masas de aire húmedas del oeste o del norte llegarán mucho más

secas y en donde el aumento térmico es mayor (Madrid). La influencia de las masas de aire húmedas del oeste genera una disminución en los promedios anuales de HR desde la fachada occidental (Badajoz y Zamora) hacia el interior peninsular (Madrid y Ciudad Real).

Por la misma razón, la posición de interior y la ausencia termorreguladora del mar, en los observatorios del interior peninsular la humedad relativa en los meses de invierno suele ser superior a los observatorios de costa. En este caso se produce el efecto inverso a los meses de verano: la temperatura baja mucho más que en las zonas de costa y se produce una limitación mayor en la capacidad de almacenamiento de las masas de aire, de modo que es necesaria una menor cantidad de humedad para producir niveles de humedad relativa superiores a los costeros (figura 1). En estos últimos las temperaturas en los meses de invierno son superiores, siendo insuficientes los valores de humedad para contrarrestar el aumento exponencial de la capacidad de almacenamiento de las masas de aire producido por la temperatura.

El efecto en la reducción de las temperaturas producido por un incremento en la altitud intensifica el aumento de la HR en los meses de invierno, motivo por el cual Navacerrada, con el promedio más bajo de temperatura anual, es el cuarto observatorio con promedios anuales de HR más elevados.

La variación en los promedios de temperatura constituye un factor fundamental en los patrones de humedad relativa y sigue patrones geográficos conocidos norte-sur y costa-interior que afectan los valores de HR. En el trayecto estudiado a lo largo de la costa mediterránea los promedios anuales de temperatura aumentaban de norte a sur y la humedad relativa (sobre todo en los meses de verano) iba disminuyendo hacia latitudes meridionales. La diferencia en los promedios anuales de HR entre Murcia y Málaga, con valores más altos en esta última, con una distribución de los promedios mensuales de temperatura muy similar, se pueden explicar atendiendo a la localización más al interior del observatorio de Murcia, rodeado por una barrera montañosa que reduce ligeramente la cantidad de humedad recibida.

En resumen, la distribución de la humedad relativa a escala peninsular y su evolución anual están condicionadas por patrones globales y mesoescales. El porcentaje de humedad relativa está relacionado con la cantidad de humedad específica disponible, condicionada por el estado de las reservas de humedad en la península: el suelo y las masas de agua colindantes (Vicente Serrano et al., 2014a). En el interior peninsular la disponibilidad de agua en verano es reducida, aumentando en invierno con

el incremento en la precipitación y la menor actividad vegetativa, que junto con las bajas temperaturas reducen los niveles de evapotranspiración aumentando las reservas hídricas en el suelo. Esta situación hace que la humedad relativa se mantenga en niveles altos en los meses de primavera en los observatorios del interior.

Estos patrones observados de la humedad relativa se relacionan, además de con los aportes locales de humedad en el interior peninsular ya citados, con los que provienen por advecciones del corredor tropical-subtropical del Atlántico Norte desde el golfo de México hasta el Atlántico norte (Gimeno et al., 2010), que es otra de las fuentes principales de humedad atmosférica en la península ibérica. Según Philipona et al. (2005) el transvase de humedad a lo largo de este corredor ha estado bloqueado en las dos décadas recientes en latitudes medias con una incidencia notable en la península ibérica (Vicente Serrano et al., 2014a), que explicaría las tendencias significativas y negativas detectadas en el período completo analizado (1974-2018).

El análisis de tendencias de humedad relativa muestra una disminución en el conjunto del período analizado de sus valores en toda la península excepto el norte y el centro (Madrid). En el norte las tendencias no son significativas, probablemente por procesos de escala espacial más reducidos respecto de los generales que se comentan. Estudios como el de Vicente Serrano et al. (2014a), con series más prolongadas (1961-2011) y un número mayor de observatorios analizados, han detectado tendencias negativas y significativas tanto en el centro como en el norte peninsular. Además, en este estudio se observó un incremento significativo de la tasa de la humedad específica en la costa cantábrica y la zona de levante. Todo ello sugiere que el aumento de 1,5°C en las temperaturas de España durante el período 1951-2010 no ha logrado producir un trasvase de humedad a la atmósfera acorde con el incremento exponencial de su capacidad para albergarlo según la ley de Clausius-Clapeyron. Por el mismo motivo, durante las décadas en las que este incremento de la temperatura fue más acusado, entre 1970 y 1990 (Gonzalez-Hidalgo et al., 2016), se produce la máxima tasa negativa y significativa en ventanas móviles dentro de este período en los observatorios de Barcelona, Badajoz y Navacerrada.

La principal hipótesis se basa en el bloqueo antes comentado y la incapacidad de los suministros de humedad peninsulares de mantener estables las tasas de HR, si bien Willett et al. (2007) y Simmons et al. (2010) reflejan tendencias no significativas de humedad relativa sobre las áreas continentales a escala global, con tasas de tendencia

negativas en la última década en la humedad relativa y la humedad específica en Europa.

En resumen, para explicar el efecto del aumento de las temperaturas de las últimas décadas en la HR deberán tenerse en cuenta un conjunto más amplio de factores que también influyen sobre esta variable: cambios y patrones en los usos del suelo, aumento de la superficie forestal y la irrigación, distribución de las precipitaciones etc. (Vicente Serrano et al., 2014a).

6. CONCLUSIONES

La distribución de la humedad relativa en la España peninsular está ligada a los promedios de temperatura y la regularidad anual en las reservas de humedad. Aquellas zonas con unas temperaturas más suaves y reservas más regulares son las que presentan los mayores promedios de humedad relativa (observatorios de la costa cantábrica) y una menor variación a lo largo del año. En los observatorios con una mayor amplitud térmica y unas reservas hídricas más irregulares los porcentajes de humedad relativa descienden particularmente en verano, si bien presentan valores máximos superiores a la costa en invierno cuando las temperaturas son muy bajas. En observatorios con menores reservas de humedad pero temperaturas muy bajas por efecto de la altitud los porcentajes de humedad relativa aumentan, sobretodo en invierno y primavera.

Se detectan diferencias en el comportamiento de los observatorios de la costa mediterránea y cantábrica, principalmente debido a una mayor amplitud térmica anual en los primeros.

La tendencia general de la humedad relativa en el área de estudio ha sido negativa, consecuencia del bloqueo anticiclónico a escala peninsular y ligado a factores mesoescalares específicos de los observatorios analizados, reduciendo la cantidad de humedad disponible.

7. REFERENCIAS

- Artacho Ruiz, C., 2000. Modelos diarios de temperatura, humedad relativa y horas de sol : aplicación al análisis estocástico de la evapotranspiración. Córdoba : Universidad de Córdoba : CajaSur.
- Dai, A., 2006. Recent climatology, variability and trends in global surface humidity. *J Clim* 19, 3589–3606.
- Gimeno, L., Drumond, A., Nieto, R., Trigo, R.M., Stohl, A., 2010. On the origin of continental precipitation. *Geophysical Research Letters* 37, L13804. <https://doi.org/10.1029/2010GL043712>

- Gonzalez-Hidalgo, J.C., Pena-Angulo, D., Brunetti, M., Cortesi, N., 2016. Recent trend in temperature evolution in Spanish mainland (1951-2010): from warming to hiatus. *International Journal of Climatology* 2405–2416. <https://doi.org/10.1002/joc.4519>
- Gray, B., 2018. Flaws in applying greenhouse warming to climate variability. The global warming policy foundation. Londres.
- Medhaug, I., Stolpe, M.B., Fischer, E.M., Knutti, R., 2017. Reconciling controversies about the “global warming hiatus.” *Nature* 545, 41–47. <https://doi.org/10.1038/nature22315>
- Philipona, R., Dürr, B., Ohmura, A., Ruckstuhl, C., 2005. Anthropogenic greenhouse forcing and strong water vapor feedback increase temperature in Europe. *Geophysical Research Letters* 32, 1–4. <https://doi.org/10.1029/2005GL023624>
- Pidwirny, M., 2018. *Understanding Physical Geography*. Our Planet Earth Publishing.
- Sanchez-Lorenzo, A., Martin-Vide, J., Brunetti, M., Calbó, J., 2007. Recent spatial and temporal variability and trends of sunshine duration over the Iberian Peninsula from a homogenized data set. *Journal of Geophysical Research Atmospheres* 112, D20115. <https://doi.org/10.1029/2007JD008677>
- Sanchez-Lorenzo, A., Wild, M., Calbó, J., 2012. Increasing cloud cover in the 20th century: Review and new findings in Spain. *Climate of the Past* 8, 1199–1212. <https://doi.org/10.5194/cp-8-1199-2012>
- Sanchez-Lorenzo, A., Sigro, J., Calbó, J., Martín-Vide, J., Brunet, M., Aguilar, E., Brunetti, M., 2008. Efectos de la nubosidad e insolación en las temperaturas recientes de España.
- Stocker, T.F., Qin, D., Plattner, G.-K., Tignor, M.M.B., Allen, S.K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V., Midgley, P.M., 2013. Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change 14.
- Tomás-Burguera, M., 2018. La demanda de agua por parte de la atmósfera en la España peninsular e Islas Baleares. <http://dx.doi.org/10.13039/501100003176>
- Vicente Serrano, S.M., Azorín-Molina, C., Sánchez-Lorenzo, A., Morán-Tejeda, E., Lorenzo-Lacruz, J., Revuelto, J., López-Moreno, J.I., Espejo, F., 2014a. Temporal evolution of surface humidity in Spain: Recent trends and possible physical mechanisms. <https://doi.org/10.1007/s00382-013-1885-7>
- Vicente Serrano, S.M., Azorín-Molina, C., Sánchez-Lorenzo, A., Revuelto, J., López-Moreno, J.I., González-Hidalgo, J.C., Morán-Tejeda, E., Espejo, F., 2014b. Reference evapotranspiration variability and trends in Spain, 1961-2011. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2014.06.005>
- Zúñiga López, I., Crespo del Arco, E., 2009. *Meteorología y climatología., Unidades didácticas: 60502*. Madrid : Universidad Nacional de Educación a Distancia, 2009.