



Universidad de Valladolid

FACULTAD DE CIENCIAS

TRABAJO FIN DE GRADO

Grado en Física

Análisis de las sensaciones térmicas de frío y calor

Autora: Patricia del Campo Treviño

**Tutor/es: Isidro A. Pérez Bartolomé
María Ángeles García Pérez**

Año: 2022/2023

Agradecimientos

A mis tutores por su ayuda y los conocimientos que me han proporcionado.

A mi increíble familia y mis extraordinarias amigas, ya que sin sus ánimos, su cariño y su apoyo nada sería posible.

Índice

Resumen/Abstract	4
1. Introducción	5
1.1. Objetivo	5
1.2. Wind Chill	5
1.3. Heat Index	6
2. Descripción experimental	8
2.1. Características climáticas en Alemania	8
2.2. Base de datos	9
2.3. Programas	10
2.4. Variables estadísticas	10
2.4.1. Mediana	11
2.4.2. Rango Intercuartílico (RIC)	11
2.4.3. Índice de Yule-Kendall	11
2.4.4. Curtosis Robusta	11
3. Resultados y discusión	13
3.1. Cálculos estadísticos numéricos y diagramas de caja y bigotes	13
3.1.1. Datos globales	13
3.1.2. Temperatura	14
3.1.3. Velocidad del viento	15
3.1.4. Humedad relativa	16
3.1.5. Wind Chill	17
3.1.6. Heat Index	18
3.2. Mapas de las variables	20
3.2.1. Datos globales	20
3.2.2. Temperatura	21
3.2.3. Velocidad del viento	22
3.2.4. Humedad relativa	24
3.2.5. Wind Chill	25
3.2.6. Heat Index	27
4. Conclusiones	30

5. Referencias	32
6. Lista de tablas y figuras	35
7. Anexos	37
7.1. Cálculos estadísticos y diagramas de caja y bigotes	37
7.1.1. Tablas de cálculos estadísticos	37
7.1.2. Diagramas de caja y bigotes	39
7.2. Mapas de las variables	51

Resumen/Abstract

■ Resumen

Este estudio se centra en analizar las sensaciones térmicas de frío (Wind Chill) y de calor (Heat Index) sobre la superficie de Alemania, usando los datos horarios recogidos desde el año 1995 hasta el año 2012, de las variables temperatura, velocidad del viento y humedad relativa. Para ello, se usaron dos programas que procesaran los datos y filtraran los resultados para descartar aquellos que no cumplieran con las condiciones de las sensaciones térmicas. Después, se calcularon ciertos estadísticos y se elaboraron diagramas de caja y bigote y mapas de cada una de las cinco variables, tanto de cada mes de año como del global. Los valores estadísticos de cada una de las cinco variables a lo largo de todos los meses del año, mostraron distribuciones de datos poco dispersas y casi simétricas. En los diagramas de la temperatura, se apreció cómo aumenta en los meses cálidos y cómo disminuye en los meses fríos. También se reflejó en los mapas, puesto que las zonas varían en función del mes, con los valores más fríos en las parte montañosa. Para la velocidad del viento, mostraron poca variación tanto en los diagramas como en las zonas de los mapas, que permanecen casi constantes a lo largo de los meses, con los valores más altos situados en el litoral norte. En cuanto a la humedad relativa, en los diagramas se apreció cómo los valores disminuían en los meses cálidos y aumentaban en los meses fríos, lo cual se ilustró en los mapas con la variación de las zonas en función del mes, con los valores más pequeños ubicados en una franja central. Para el Wind Chill, los diagramas y los mapas reflejaron que hay gran variación entre los meses, percibiéndose más en los meses fríos, cuyos valores más negativos se encontraron en las zonas montañosas y marítimas de los mapas. En cuanto al Heat Index, los resultados más destacados, tanto de los diagramas como de los mapas, se obtuvieron en los meses de verano, ubicando las zonas con valores mayores en la zona costera. Los valores estadísticos, los diagramas y los mapas de los resultados globales mostraron lo más representativo de cada variable.

■ Abstract

This study focuses on analyzing the thermal sensations of cold (Wind Chill) and heat (Heat Index) on the surface of Germany, using the hourly data collected from the year 1995 to the year 2012, of the variables temperature, wind speed and relative humidity. For this, two programs were used to process the data and filter the results to discard those that did not meet the conditions of thermal sensations. Afterwards, we calculated certain statistics and prepared box and whisker plots and maps of each of the five variables, both for each month of the year and for the global month. The statistical values of each one of the five variables throughout all the months of the year showed small dispersion and almost symmetric data distributions. In the temperature diagrams, it was observed how it increases in the hot months and how it decreases in the cold months. It was also reflected on the maps, since the areas vary depending on the month, with the coldest values in the mountainous part. For wind speed, they showed little variation both in the diagrams and in the areas of the maps, which remain almost constant throughout the months, with the highest values located on the North coast. Regarding the relative humidity, in the diagrams it was appreciated how the values decreased in the hot months and increased in the cold months, which was illustrated in the maps with the variation of the zones depending on the month, with the smallest values located in a central strip. For Wind Chill, the diagrams and maps showed that there is great variation between the months, being more noticeable in the cold months, whose most negative values were found in the mountainous and maritime areas of the maps. Regarding the Heat Index, the most outstanding results, both from the diagrams and from the maps, were obtained in the summer months, locating the areas with the highest values in the coastal area. The statistical values, the diagrams and the maps of the global results showed the most representative of each variable.

1. Introducción

1.1. Objetivo

El objetivo de este trabajo es analizar las sensaciones térmicas de frío y calor sobre la superficie de Alemania. Todos hemos experimentado tanto en invierno como en verano, una sensación térmica menor o mayor, respectivamente, que la temperatura real.

Por lo tanto, en este trabajo nuestro interés es estudiar esa diferencia térmica, qué indicadores le afectan y cuáles pueden ser sus consecuencias.

1.2. Wind Chill

Wind Chill (WC) es la sensación térmica de frío que mide la disminución de la temperatura real que perciben los humanos, debido al efecto del flujo de viento sobre la temperatura del aire.

Cuanto mayor sea la velocidad del viento, más fácil se reemplaza el aire caliente que está cerca de la superficie por el aire frío de la temperatura ambiental, lo que provoca una sensación de sobreenfriamiento.

La temperatura de Wind Chill siempre es inferior a la temperatura del aire.



TABLA DE VALORES DE SENSACIÓN TÉRMICA POR FRÍO (WIND CHILL)

		TEMPERATURA DEL AIRE EN GRADOS CELSIUS (C)										
		0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40	-45	-50
VIENTO A 10 m (km/h)	5	-2	-7	-13	-19	-24	-30	-36	-41	-47	-53	-58
	10	-3	-9	-15	-21	-27	-33	-39	-45	-51	-57	-63
	15	-4	-11	-17	-23	-29	-35	-41	-47	-54	-60	-66
	20	-5	-11	-18	-24	-30	-37	-43	-49	-56	-62	-68
	25	-6	-12	-19	-25	-32	-38	-44	-51	-57	-64	-70
	30	-6	-13	-19	-26	-32	-39	-46	-52	-59	-65	-72
	35	-7	-13	-20	-27	-33	-40	-47	-53	-60	-66	-73
	40	-7	-14	-21	-27	-34	-41	-47	-54	-61	-67	-74
	45	-8	-14	-21	-28	-35	-41	-48	-55	-62	-68	-75
	50	-8	-15	-22	-29	-35	-42	-49	-56	-63	-69	-76
	55	-8	-15	-22	-29	-36	-43	-50	-56	-63	-70	-77
	60	-9	-16	-23	-29	-36	-43	-50	-57	-64	-71	-78
	65	-9	-16	-23	-30	-37	-44	-51	-58	-65	-72	-79
	70	-9	-16	-23	-30	-37	-44	-51	-58	-65	-72	-79
75	-9	-17	-24	-31	-38	-45	-52	-59	-66	-73	-80	
80	-10	-17	-24	-31	-38	-45	-52	-59	-67	-74	-81	

Umbrales aproximados:

Riesgo bajo: -10 a -27	Riesgo de hipotermia por permanencia prolongada a la intemperie.	Con la piel expuesta al aire ambiente inicialmente caliente. Si la piel está inicialmente fría, menor tiempo.
Riesgo moderado: -28 a -39	Riesgo de congelaciones por exposición prolongada, 10 a 30 minutos*.	
Riesgo alto: -40 a -54	Riesgo de congelaciones en 10 minutos*.	
Riesgo muy alto: 55 ó menos	Riesgo de congelaciones en menos de 2 minutos*.	

* Con vientos sostenidos de más de 50 km/h, las congelaciones pueden producirse más rápidamente.

Figura 1: Tabla de valores del Wind Chill.
(AEMet, 2022).

Las primeras fórmulas se desarrollaron a partir de trabajos en la Antártida en 1945, por Paul Allman Siple y Charles F. Passel. El Servicio Meteorológico Nacional de Estados Unidos (NWS) las difundió sobre la década de 1970. La fórmula fue evolucionando hasta que en 2001, las agencias

de Estados Unidos, Reino Unido y Canadá desarrollaron el nuevo modelo a través de un grupo de científicos del Grupo de Acción Conjunta para Índices de Temperatura. La fórmula es la siguiente:

$$WC = 13,12 + 0,6215 \cdot T - 11,37 \cdot (V^{0,16}) + 0,3965 \cdot T \cdot (V^{0,16}) \quad (1)$$

Donde T es la temperatura del aire, en grados Celsius, y V es la velocidad del aire a una altura de 10 m, en km/h. La temperatura de Wind Chill se utiliza para temperaturas iguales o inferiores a 10 °C y para velocidades de viento superiores a 5 km/h (Heusinger & Sailor, 2019). Cuanto más bajos son los valores de la temperatura y más alta es la velocidad del viento, más pequeña es el valor del Wind Chill.

1.3. Heat Index

Heat Index (HI) es la sensación térmica de calor que mide el aumento de la temperatura real que perciben los seres humanos, debido a la combinación de la humedad relativa y la temperatura del aire.

Con temperaturas altas, los mecanismos del cuerpo para refrescarse son la transpiración y la sudoración, lo que permiten regular la temperatura corporal. Si la humedad relativa es alta, se reduce la efectividad del enfriamiento, lo que provoca una sensación de sobrecalentamiento.

La temperatura de Heat Index siempre es más elevada que la temperatura del aire.



TABLA DE VALORES DE SENSACIÓN TÉRMICA POR CALOR (HEAT INDEX)

		TEMPERATURA DEL AIRE EN GRADOS CELSIUS (C)																		
		27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	
HUMEDAD RELATIVA (%)	45	27	28	29	30	32	33	35	37	39	41	43	46	49	51	54	57	61	64	
	50	27	28	30	31	33	34	36	38	41	43	46	49	52	55	58	62			
	55	28	29	30	32	34	36	38	40	43	46	48	52	55	59	62				
	60	28	29	31	33	35	37	40	42	45	48	51	55	59	63					
	65	28	30	32	34	36	39	41	44	48	51	55	59	63						
	70	29	31	33	35	38	40	43	47	50	54	58	63							
	75	29	31	34	36	39	42	46	49	53	58	62								
	80	30	32	35	38	41	44	48	52	57	61									
	85	30	33	36	39	43	47	51	55	60	65									
	90	31	34	37	41	45	49	54	58	64										
95	31	35	38	42	47	51	57	62												
100	32	36	40	44	49	54	60													

- Precaución 27 a 32 Posible fatiga por exposición prolongada o actividad física.
- Precaución extrema 33 a 40 Insolación, golpe de calor, calambres. Posibles por exposición prolongada o actividad física.
- Peligro 41 a 53 Insolación, golpe de calor, calambres. Muy posibles por exposición prolongada o actividad física.
- Peligro extremo 54 ó más Golpe de calor, insolación inminente.

Permanecer bajo el sol puede incrementar los valores del índice de calor en 8 C.
 Cuando la temperatura es menor que 32 C (temperatura de la piel), el viento disminuye la sensación térmica. Si es mayor de 32 C, la aumenta.

Figura 2: Tabla de valores del Heat Index.
 (AEMet, 2022).

En 1979, Robert G. Steadman estudió el Heat Index, y la implicación en el mismo de otras

variables como la radiación ultravioleta, la velocidad del viento o la exposición a la luz solar. En Canadá, desarrollaron un indicador similar llamado humidex, que usa el punto de rocío y la presión de vapor. La fórmula del Heat Index fue evolucionando con el tiempo, tratando siempre de aproximarse a las tablas originales de Steadman, como la desarrollada NWS y el Servicio Meteorológico Nacional de la NOAA. La fórmula es la siguiente:

$$HI = -8,7847 + 1,6114 \cdot T - 0,012308 \cdot T^2 + RH \cdot (2,3385 - 0,14612 \cdot T + 2,2117 \times 10^{-3} \cdot T^2) + RH^2 \cdot (-0,016425 + 7,2546 \times 10^{-4} \cdot T - 3,582 \times 10^{-6} \cdot T^2) \quad (2)$$

Donde T es la temperatura del aire, en grados Celsius, y RH es la humedad relativa, en %. La temperatura del Heat Index se usan para temperaturas superiores a 25 °C (Heusinger & Sailor, 2019). Cuanto mayores son las temperaturas y la humedad relativa, más alto es el valor del Heat Index.

2. Descripción experimental

A continuación, se presenta el área de estudio, así como la base de datos que usamos en el trabajo. También se van a enumerar las variables estadísticas con las que se va a trabajar.

2.1. Características climáticas en Alemania

Las sensaciones térmicas de frío y de calor se van a analizar para Alemania, luego se tiene que saber qué tipo de clima y qué características se establecen en dicho país. Para explicarlo correctamente, se va a hablar del clima de Alemania centrándose en cada zona del mapa físico, que se muestra en la Figura 3.

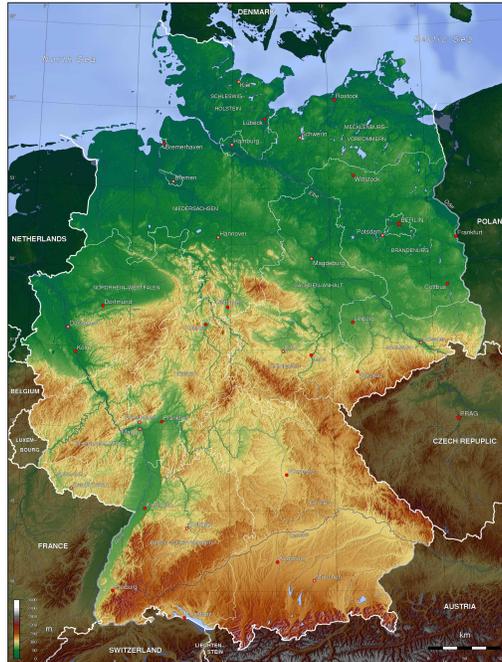


Figura 3: Mapa físico de Alemania.
(Mapas del mundo, 2022).

En la zona norte y noroeste, el tipo de clima es oceánico debido a la corriente del océano Atlántico que afecta al agua del mar del Norte, y por lo tanto modera el clima de los territorios bañados por dichas aguas incluyendo la península de Jutlandia (parte fronteriza con Dinamarca). Aquí los inviernos son moderados con temperaturas bajas que oscilan entre los $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Los veranos no son excesivamente cálidos con temperaturas máximas que varían entre $21\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $26\text{ }^{\circ}\text{C}$, mientras que las mínimas se encuentran entre los $6\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $16\text{ }^{\circ}\text{C}$. Se caracterizan también por ser zonas bastante húmedas.

En la parte este de Alemania, se tiene un clima de tipo continental, donde la diferencia de temperatura entre los periodos invernales y veraniegos es muy grande. Los inviernos son muy fríos con temperaturas por debajo de 0 que fluctúan entre $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$, mientras que los veranos son cálidos con temperaturas entre $21\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $26\text{ }^{\circ}\text{C}$. Se trata de zonas más secas que las anteriores.

En la zona sur y la parte central, el clima transita entre el oceánico y continental, de tal forma que los inviernos suelen ser de temperaturas más moderadas. Los veranos son bastante calurosos incluso llegando a alcanzar temperaturas superiores a $30\text{ }^{\circ}\text{C}$. En el extremo sur en los Alpes, se produce un fenómeno que se denomina "foehn". Consiste en una masa de aire cálido y húmedo que

asciende por una ladera de la montaña, lo que provoca se condense el agua y dé lugar a lluvias de efecto barrera. Por la otra ladera, sin embargo, la temperatura aumenta a medida que la masa de aire desciende. La zona sudoeste es la región más cálida.

A estas características, hay que añadir el efecto del cambio climático, causa de que la temperatura del aire haya aumentado $1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ en Alemania desde 1881, expuesto en el informe de monitoreo del Gobierno Federal alemán (Monitoringbericht, 2019). Aumentan también los periodos de sequía y con fenómenos meteorológicos extremos. El número de días que tienen una temperatura superior a $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ sigue una tendencia en aumento. Cabe destacar el verano de 2003 en el que transcurrieron sucesivas olas de calor y por esta razón murieron unas 7500 personas.

2.2. Base de datos

La base de datos que se utiliza en el trabajo se trata de una recopilación de mediciones horarias de distintas variables climáticas sobre la superficie de Alemania a lo largo del periodo transcurrido desde 1995 a 2012. Los datos se han descargado a través de un enlace obtenido de Krähenmann et al. (2018).

De las 12 variables meteorológicas diferentes que se miden, para la realización del trabajo nos centramos en las variables temperatura del aire, velocidad del viento y humedad relativa, puesto que sirven para calcular tanto el Wind Chill, como el Heat Index. Hay que destacar, que las mediciones de la humedad relativa (RH) se obtienen a través de la siguiente fórmula, siendo $e(Td)$ la presión de vapor de la temperatura del punto de rocío y $e(T)$ la presión de vapor de la temperatura del aire (Krähenmann et al., 2018):

$$RH = 100 \frac{e(Td)}{e(T)} \quad (3)$$

Las estaciones de toma de datos se sitúan a lo largo de todo el país (Figura 4). Tanto la temperatura del aire como la temperatura del punto de rocío se miden a una altura de 2 m, y se colocan aproximadamente entre 250/300 estaciones climáticas. Para la velocidad del viento hay alrededor de 150 estaciones repartidas por el mapa, que miden dicha variable a una altura de 10m.

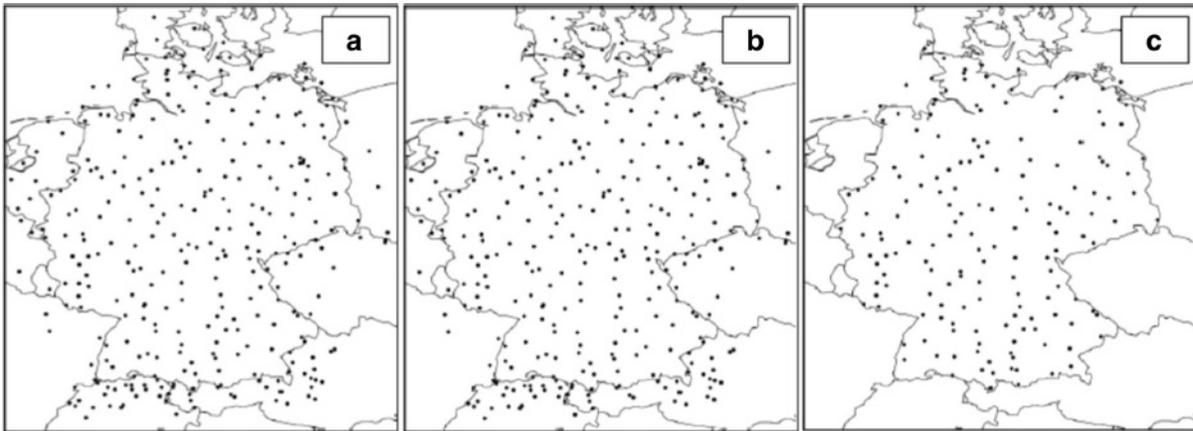


Figura 4: Mapas de la distribución de las estaciones climáticas de: a) temperatura del aire, b) temperatura del punto de rocío y c) velocidad del viento. (Krähenmann et al., 2018).

2.3. Programas

En este apartado, se explica cómo funcionan los programas proporcionados por el grupo de Contaminación Atmosférica.

■ Wind Chill:

El programa lo que hace es crear unas matrices de datos asociadas a las variables temperatura, velocidad del viento y sensación térmica, distinguiendo entre los datos globales y los mensuales, que inicialmente tienen asignado valor 0 para cada punto (longitud, latitud). Para los datos mensuales enlaza los meses de igual nombre para cada archivo resultante. Se da orden de lectura de los archivos de latitud, longitud, temperatura y velocidad del viento de la base de datos.

Se introduce el cambio de m/s a km/h para el archivo velocidad del viento, y se incorpora también la ecuación (1) del WC. A continuación, se imponen las condiciones que deben cumplir las variables: la temperatura debe estar comprendida entre $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $50\text{ }^{\circ}\text{C}$, y la velocidad del viento debe ser entre 0 km/h y 100 km/h (para evitar datos anómalos en cada variable). Para el cálculo del Wind Chill se impone que la temperatura se encuentre por debajo de $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ y que la velocidad del viento sea mayor o igual a 5 km/h. Una vez que el programa tiene el valor del Wind Chill, se procede a calcular la diferencia entre la sensación térmica de frío (temperatura que percibimos) y la temperatura real (WC-T). Se trata de la cantidad que disminuye la temperatura real. Para obtenerla se incorpora la condición de que el valor la temperatura real sea mayor que el valor del Wind Chill.

Finalizados los cálculos, en el programa se reescriben las matrices de datos del inicio y se vuelcan en sus respectivos archivos de datos, ubicando los resultados en diferentes columnas: latitud, longitud, temperatura, velocidad del viento y diferencia entre Wind Chill y la temperatura. En total 12 archivos de datos correspondientes a cada mes, más un archivo correspondiente a los datos globales.

■ Heat Index:

La mecánica del programa es la misma que en el caso anterior, se empieza creando unas matrices de datos asociadas a las variables temperatura, humedad relativa y Heat Index, diferenciando entre los datos globales y los datos mensuales, y a los cuales se asigna un valor 0 a cada punto (longitud, latitud). También, se enlazan para los datos mensuales los meses correspondientes.

Se ordena al programa la lectura de los archivos de latitud, longitud, temperatura y humedad relativa de la base de datos. Se introduce la fórmula del Heat Index. Se impone, para el cálculo del HI, que la temperatura tenga valores superiores o iguales a $25\text{ }^{\circ}\text{C}$. Una vez que se ha obtenido el Heat Index, se procede a calcular la diferencia entre la sensación térmica de calor (temperatura que percibimos) y la temperatura real (HI-T). Esa es la cantidad que percibimos que aumenta la temperatura real. Para que se realice dicha operación, se impone como condición que la temperatura real sea menor que el valor del Heat Index.

Lo siguiente que hace el programa es reescribir las matrices de datos iniciales con los valores calculados, para después volcar los resultados en sus correspondientes archivos de datos, ubicando los resultados en diferentes columnas: latitud, longitud, temperatura, humedad relativa y HI-T. En total 12 archivos de datos correspondientes a cada mes, más un archivo correspondiente a los datos globales.

2.4. Variables estadísticas

A continuación se procede a definir las variables estadísticas con las que se va a trabajar a lo largo del trabajo (Wilks, 2006; Spiegel & Stephens, 2009).

2.4.1. Mediana

La mediana es el valor central de un conjunto de datos que separa en dos mitades, y no se ve afectada por los valores extremos. Siendo N es el número de elementos totales del conjunto de datos, la forma de calcular la mediana es diferente en función de si N es par o impar:

- Si N es impar, el valor de la mediana es el que se encuentra en el medio:

$$Q_{0,5} = Med(X) = X_{\frac{N+1}{2}} \quad (4)$$

- Si N es par, el valor de la mediana es la media entre los dos valores centrales:

$$Q_{0,5} = Med(X) = \frac{X_{\frac{N}{2}} + X_{\frac{N}{2}+1}}{2} \quad (5)$$

2.4.2. Rango Intercuartílico (RIC)

El rango intercuartílico (RIC) es una medida de la dispersión estadística, robusta y resistente a la dispersión de datos. Es una medida adecuada cuando para la determinación de la posición central se ha empleado la mediana. Para calcular el RIC, se realiza la diferencia entre el tercer y primer cuartil:

$$RIC = Q_{0,75} - Q_{0,25} \quad (6)$$

Aquí se encuentran la mitad de los datos, lo que hace que sea una medida resistente a los valores atípicos, puesto que elimina los valores alejados.

2.4.3. Índice de Yule-Kendall

El índice Yule-Kendall es una medida robusta y un indicador de simetría de la distribución de datos, cuyo valor se encuentra comprendido entre -1 y 1. Para calcularlo, se utiliza la siguiente ecuación:

$$\gamma_{YK} = \frac{Q_{0,25} - 2 \cdot Q_{0,5} + Q_{0,75}}{RIC} \quad (7)$$

Si se obtiene un valor negativo, significa que la cola de la distribución va hacia la izquierda, mientras que si el valor de dicho indicador es positivo, la cola de la distribución va hacia la derecha. Si como resultado, el índice tiene valor 0, significa que la distribución es simétrica.

2.4.4. Curtosis Robusta

La curtosis robusta es una medida del grado de aplanamiento y concentración que tiene la distribución de datos en torno a la mediana. Para obtener el valor de dicho indicador, se usa la siguiente fórmula:

$$C_R = \frac{Q_{0,75} - Q_{0,25}}{2 \cdot (D_{0,9} - D_{0,1})} \quad (8)$$

Para esta magnitud, los valores se encontraran entre 0 y 0,5, siendo el valor de una distribución gaussiana o normal 0,263. Si el valor de la magnitud está por debajo de 0,263, significa que los

datos se encuentran agrupados en torno a la mediana y por lo tanto la gráfica de la distribución es muy aguda (distribución leptocúrtica). Mientras que en el caso contrario, si el valor se encuentra por encima de 0,263, significa que los datos no se agrupan en torno a la mediana y la gráfica correspondiente es aplanada (distribución platicúrtica). Si el valor equivale a 0,263, significa que el grado de concentración en torno a la mediana es normal (distribución mesocúrtica).

3. Resultados y discusión

Se procede a la exposición de los resultados obtenidos del análisis de los datos que proporcionan los programas. Se va a mostrar no solo lo concerniente a las dos variables principales como son el Wind Chill y el Heat Index, sino que también se va a hablar de las variables secundarias como son la temperatura, la velocidad del viento y la humedad relativa.

Como el análisis de los resultados es igual para cada mes y cada variable de los datos globales, se va a comentar todo, destacando los valores, diagramas y mapas más importantes y relevantes de entre todos los que se han realizado, y que se encuentran ubicados en los anexos.

3.1. Cálculos estadísticos numéricos y diagramas de caja y bigotes

En esta sección, se muestran los resultados de los cálculos estadísticos numéricos, los cuales se han trabajado a través del programa "Excel". Aquí se han eliminado los datos anómalos o los que el programa de Matlab define como "Not a Number" (NaN).

También se exponen los diagramas de caja y bigotes, que se han realizado en el programa "Stat-Graphics". Estas gráficas consisten en una caja rectangular, donde los lados más largos de la misma se corresponden con el rango intercuartílico. La posición de la mediana está marcada por una línea vertical que divide la caja. Los límites de la caja indican la posición del primer y tercer cuartil. La parte que sobresale de la caja son los bigotes, cuyo límite señala el valor mínimo y máximo de los datos, y por lo tanto, los datos fuera del segmento se reseñan por separado, y se denominan como atípicos. Los bigotes suelen equivaler a 1,5 veces del rango intercuartílico.

3.1.1. Datos globales

En esta sección se analizan los cálculos estadísticos y los diagramas de caja y bigotes para los valores globales de cada una de las variables con las que se trabajan. La Tabla 6, donde se recogen dichos valores, se encuentra en el apartado 7.1.1. de los anexos, mientras que los diagramas se ubican en la Figura 19 en el apartado 7.1.2. de los anexos.

Se comienza comentando los cálculos estadísticos, empezando por la mediana, se observa cuáles son las posiciones centrales de cada una de las variables. Para la temperatura, el valor de la mediana es 9,186 °C dentro de un rango de valores que no superan los 13 °C. Para la velocidad de viento se tiene un rango de 0 hasta 10 km/h, aunque la mayoría se encuentran entre los 2 y 5 km/h y como valor de la mediana 3,440 km/h. En la humedad relativa, la mediana es 79,123 %, con un rango de valores que van desde 66 % hasta 90 % aproximadamente. Para el Wind Chill, el valor de la mediana es -2,558 °C dentro de un rango de entre -5,5 °C y -1,5 °C aprox. Por último, la mediana del Heat Index tiene un valor de 0,563 °C, con un rango de valores entre los 0,2 °C y 1,2 °C (como se representan los datos y sus rangos en Hass et al. (2016) y Moore et al. (2012)).

Para el rango intercuartílico, se ve cómo la variable con el valor más pequeño para esta magnitud es el Heat Index, mientras que el valor más alto para el RIC pertenece a la humedad relativa.

La simetría de las distribuciones se analiza con el índice Yule-Kendall. Para las variables de la temperatura y la sensación térmica del frío, se obtienen valores negativos lo que indica que la cola de las distribuciones tiende hacia la izquierda. Para las variables de velocidad del viento, humedad relativa y la sensación térmica de calor, se obtienen valores positivos, lo que significa que la cola de las distribuciones tiende hacia la derecha. Todas las distribuciones son muy cercanas a 0, por lo tanto son bastante simétricas.

Si se habla de la curtosis robusta, se puede apreciar que ninguna de las distribuciones de las variables para los datos globales consigue el valor de una distribución normal de 0,263. La variable humedad relativa es la única que tiene un valor superior al ideal, por lo tanto tiene una distribución platicúrtica. Mientras que el resto de variables tienen valores inferiores, entonces se trata de distribuciones leptocúrticas.

Por último, si se observan los diagramas de caja y bigotes de cada variable, se puede ver que son distribuciones con datos poco dispersos, como se aprecia por los valores que se tienen del rango intercuartílico.

3.1.2. Temperatura

Aquí se presentan los resultados para la variable temperatura. Todos los cálculos estadísticos numéricos están en la Tabla 7 del apartado 7.1.1. de los anexos, y los diagramas de caja y bigotes, todos ubicados en la Figura 20 del apartado 7.1.2. de los anexos. Se muestra a continuación una tabla de los meses con los valores más destacados:

Meses	Mediana (°C)	Rango intercuartílico (°C)	Índice Yule-Kendall	Curtosis robusta
Enero	0,312	1,780	-0,013	0,263
Julio	18,018	1,028	-0,068	0,236
Diciembre	0,895	1,527	-0,009	0,260

Tabla 1: Estadísticos más destacados de la temperatura.

Se empieza observando la mediana, correspondiendo a enero el mes con el valor más bajo (como en Mekis et al. (2015), que muestra días con temperaturas más bajas). Se aprecia cómo después del valor máximo de la mediana en el mes de julio, las temperaturas decaen hasta el valor de diciembre, que se encuentra cercano a la magnitud mínima de enero.

Si se examina el rango intercuartílico, se puede observar que los datos no están muy dispersos, encontrando el máximo valor del RIC en el mes de enero, mientras que el valor más bajo del mismo se encuentra en el mes de agosto. Tanto la mediana como el RIC, se pueden apreciar mejor en los diagramas.

Si se analizan los valores para el índice Yule-Kendall, se observa que en todos los meses salvo en marzo, se obtienen valores negativos, lo que significa que en el resto de meses la cola de la distribución tiende hacia la izquierda, menos en marzo donde la cola tiende hacia la derecha. Se puede apreciar, que las magnitudes de todos los meses están en un entorno muy cercano a 0, por lo tanto se puede concluir que se trata de distribuciones prácticamente simétricas. El valor más cercano a 0 lo encontramos en el mes de diciembre.

En cuanto a la curtosis robusta, se puede ver que en el mes de enero nos encontramos con el valor ideal de 0,263, por lo tanto se trata de una distribución mesocúrtica. Si nos fijamos ahora en el resto de meses, podemos observar que salvo en los meses de junio y septiembre, donde los valores para esta magnitud están por encima de ese valor ideal (distribuciones platicúrticas), en los demás, los valores son menores de 0,263 (distribuciones leptocúrticas).

Sobre los diagramas, a continuación en la Figura 5 se presentan los diagramas de: enero, puesto que tiene la temperatura más baja; julio, que tiene la temperatura más alta; y el diagrama de la evolución, para obtener una imagen más clara:

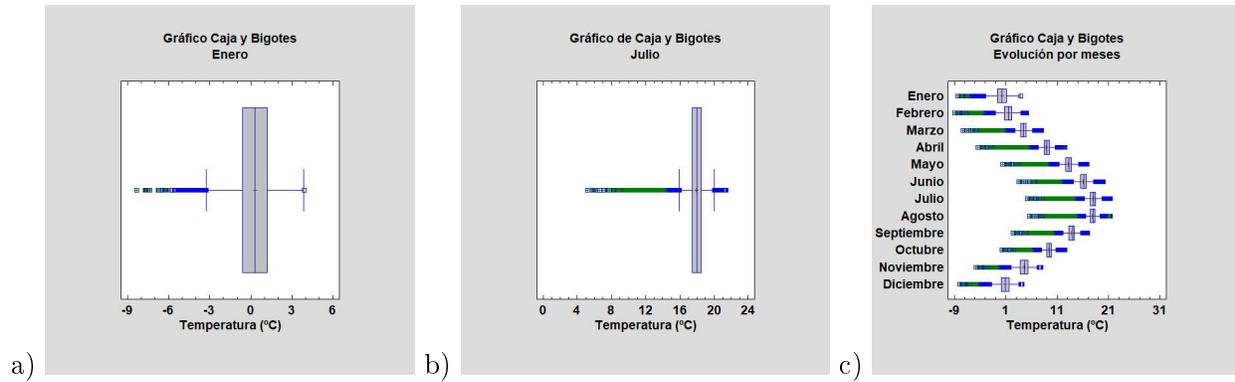


Figura 5: Diagramas más destacados de la temperatura: a)enero, b)julio y c)evolución por meses.

Como ya se había comentado, tanto la mediana como el rango intercuartílico se pueden visualizar mejor ahora, y que los valores de RIC que tenemos, se corresponden con distribuciones con poca dispersión. Quizás la más interesante, sea el diagrama de la evolución anual (Figura 5c) de la variable temperatura, donde se hace muy visible cómo varían las temperaturas a lo largo del año, es decir, cómo aumentan en los meses de verano y cómo disminuyen en los meses de invierno (como en el artículo Wang et al. (2019)). En la mayoría, la distribución de las temperaturas es prácticamente simétrica, lo que significa que la media y la mediana se encuentran en el mismo punto.

3.1.3. Velocidad del viento

En esta sección, se van a analizar los resultados obtenidos para la velocidad del viento. El total de los cálculos se encuentra en la Tabla 8 del apartado 7.1.1. de los anexos, y los diagramas de caja y bigotes, están en la Figura 21 del apartado 7.1.2. de los anexos. Ahora, se presentan los valores más importantes de los cálculos estadísticos, que se corresponden con los meses de febrero, agosto y diciembre:

Meses	Mediana (km/h)	Rango intercuartílico (km/h)	Índice Yule-Kendall	Curtosis robusta
Febrero	4,079	1,288	0,015	0,261
Agosto	2,888	0,845	0,040	0,247
Diciembre	3,863	1,194	-0,003	0,259

Tabla 2: Estadísticos más destacados de la velocidad del viento.

En el caso de la velocidad del viento, los valores de la mediana no varían tanto entre los meses más fríos y los más cálidos, aunque sí cabe destacar que los datos más altos de la mediana se encuentran en los primeros y los más bajos en los segundos. Así, se tiene el valor máximo de la mediana en el mes de febrero, mientras que el valor mínimo se tiene en el mes de agosto.

Si nos fijamos en el rango intercuartílico, se puede observar que el máximo se encuentra en el mes de enero y el mínimo en el mes de agosto. Según los valores del RIC, se puede ver que los datos están bastante concentrados.

Para el índice Yule-Kendall, se ve que para los meses de enero y diciembre se obtiene el mismo valor, -0,003, que al ser negativo indica que la cola de la distribución para estos casos, va hacia la izquierda. Para el resto de meses, los valores son positivos y por lo tanto, las colas de las distribuciones tienden hacia la derecha. Para todos los meses los resultados del índice Yule-Kendall se encuentran muy cercanos a 0, luego son distribuciones prácticamente simétricas.

Finalmente, para la curtosis robusta se puede apreciar que en ningún mes se llega el valor normal de 0,263. Todos los meses se ubican por debajo de ese valor, por lo tanto se tratan de distribuciones

leptocúrticas, donde se puede reseñar que en los valores de los meses fríos son los más cercanos al valor ideal, sobre enero y febrero.

En cuanto a los diagramas, destacamos los de los meses de febrero y agosto, que se corresponden con los valores máximo y mínimo de la mediana. Así como el diagrama de la evolución por meses:

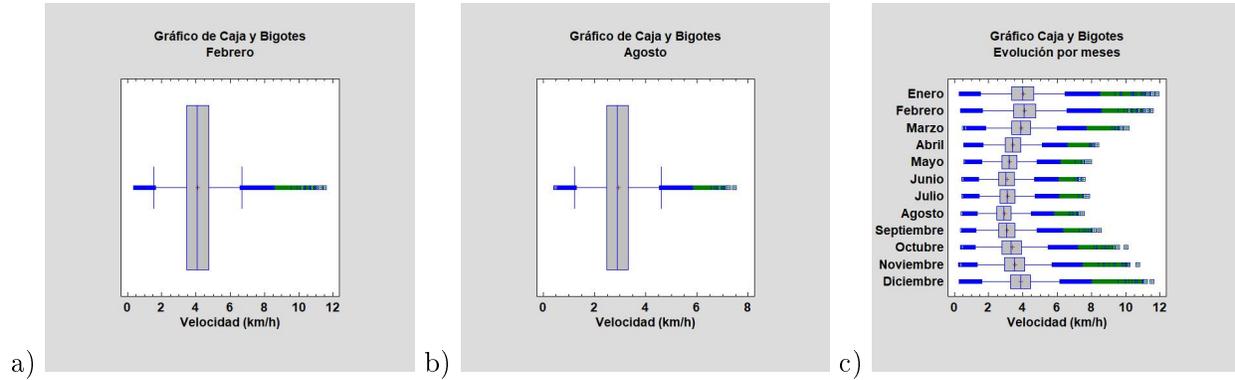


Figura 6: Diagramas más destacados de la velocidad del viento: a) febrero, b) agosto y c) evolución por meses.

Ahora se nota con más claridad, que los valores para el rango intercuartílico equivalen a distribuciones poco dispersas. En el caso del diagrama de la evolución anual (Figura 6c), se ve, como ya se había destacado, que la variación en la velocidad del viento no es tan notable como ocurre en otras variables, pero sí se aprecia cómo descienden los valores para los meses más cálidos, por lo tanto, se trata de una variable bastante estable y constante a lo largo del año.

3.1.4. Humedad relativa

Se procede a comentar los resultados de la variable humedad relativa. Todos los cálculos se encuentran en la Tabla 9 del apartado 7.1.1. de los anexos, y los diagramas de caja y bigotes, se ubican en la Figura 22 del apartado 7.1.2. de los anexos. Para esta variable, se han destacado los valores de los cálculos estadísticos de los meses de enero, abril y diciembre:

Meses	Mediana (%)	Rango intercuartílico (%)	Índice Yule-Kendall	Curtosis robusta
Enero	87,118	2,637	-0,129	0,268
Abril	71,037	3,079	0,016	0,268
Diciembre	88,984	2,595	-0,131	0,273

Tabla 3: Estadísticos más destacados de la humedad relativa.

Para la humedad relativa, los valores más altos de la mediana se encuentran en los meses fríos, y los más bajos en los meses cálidos. Así, se puede apreciar que el valor máximo de esta magnitud está en el mes de diciembre. Por el contrario, el valor mínimo se ubica en el mes de abril. En el caso de esta variable, se ve que la variación entre unos meses y otros es bastante significativa.

En cuanto al rango intercuartílico, se visualiza que es una magnitud cuyos valores tienden a aumentar en los meses más cálidos, pero que a su vez tienen valores que indican poca dispersión en las distribuciones. El valor más alto del RIC lo tiene el mes de julio, mientras que el mínimo se posiciona en el mes de octubre.

Si nos fijamos en la simetría de las distribuciones a través del índice Yule-Kendall, los meses de enero, octubre, noviembre y diciembre, tienen valores negativos lo que significa que la cola de estas distribuciones tiende hacia la izquierda. Para el resto de meses, los valores son positivos, por lo tanto

la cola de las distribuciones van hacia la derecha. El valor más cercano a 0 (distribución simétrica), es el mes de abril con 0,016, aunque todos los meses tienden a ser bastante simétricos.

Para la curtosis robusta, cabe destacar que el valor más próximo al valor ideal de 0,263 es el mes de octubre con 0,262, puesto que en ninguno de los meses se alcanza dicho valor. En los meses de marzo, mayo, octubre y noviembre se tienen distribuciones leptocúrticas, puesto que están por debajo del valor ideal, mientras que en el resto por la razón contraria, tenemos distribuciones platicúrticas.

La Figura 7 muestra los diagramas más relevantes que se corresponden con los meses con los valores mínimo y máximo de la mediana, así como el diagrama de la evolución por meses:

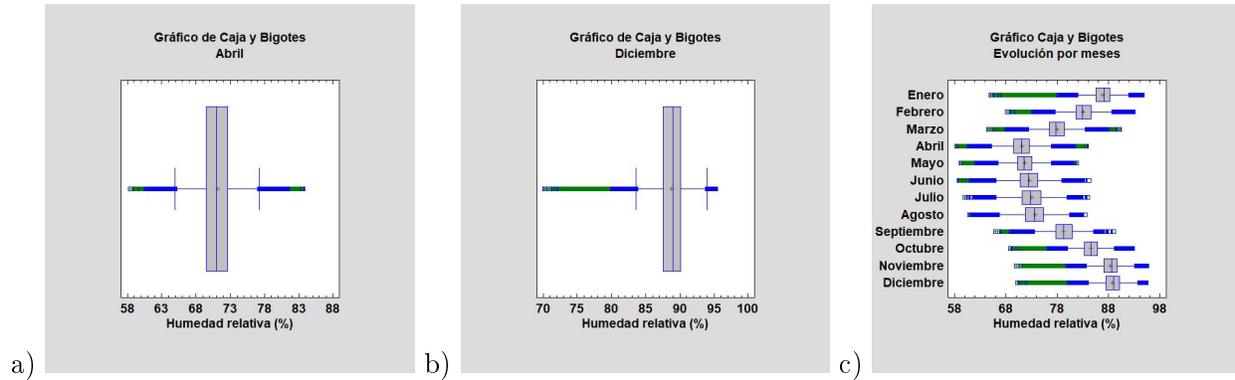


Figura 7: Diagramas más destacados de la humedad relativa: a) abril, b) diciembre y c) evolución por meses.

Se aprecia, como ya se había dicho previamente, que los valores del RIC indican que son distribuciones poco dispersas, y además bastante simétricas. En el diagrama de la evolución anual (Figura 7c), se ve una gran variación entre los meses fríos y cálidos (como en el artículo Wang et al. (2019)), puesto que bajan los valores desde el mes de enero hasta el mínimo de la mediana, ubicado en el mes de abril. Luego se mantiene más o menos estable hasta el mes de agosto, y vuelve a subir hasta su máximo en el mes de diciembre.

3.1.5. Wind Chill

En esta sección, se va a analizar una de las dos variables principales, la sensación térmica de frío o Wind Chill (WC). Como ya se ha explicado antes, el resultado que arroja el programa es la resta entre Wind Chill y la temperatura real, es decir, en este caso la cantidad que disminuye la temperatura ambiental (WC-T). En la Tabla 10 del apartado 7.1.1. de los anexos se encuentran todos los cálculos estadísticos, mientras que los diagramas de caja y bigotes se ubican en la Figura 23 del apartado 7.1.2. de los anexos.

A continuación se procede a mostrar los datos más destacados de los cálculos, que se corresponden con los meses de enero, julio y diciembre:

Meses	Mediana (°C)	Rango intercuartílico (°C)	Índice Yule-Kendall	Curtosis robusta
Enero	-3,136	0,554	0,026	0,256
Julio	-0,991	0,320	-0,020	0,253
Diciembre	-3,005	0,513	0,015	0,255

Tabla 4: Estadísticos más destacados del WC-T.

El valor más frío de la mediana se encuentra en el mes de enero, y el más caluroso en el mes de julio. Luego se corresponde con la lógica de que en los meses de invierno, donde las temperaturas

son más bajas y la velocidad del viento tiene valores más elevados, se obtienen valores del Wind Chill más extremos y por lo tanto, la cantidad que disminuye la temperatura real es mayor. En el caso del valor más frío de la mediana, enero, la sensación térmica de frío hace bajar la temperatura real en unos 3 °C, aproximadamente (En Saue (2016) se analizan por meses los valores del WC).

Para el rango intercuartílico, los valores más elevados se encuentran en los meses más fríos, teniendo el valor más alto del RIC en enero, y el más bajo en septiembre. Los datos que se obtienen para todos los meses, hablan de distribuciones con valores poco dispersos.

En cuanto al índice Yule-Kendall, se puede observar que los meses de enero, septiembre, noviembre y diciembre tienen valores positivos de este índice, lo que significa que la cola de las distribuciones de dichos meses tienden hacia la derecha. Mientras que en el resto de meses, los valores son negativos y por lo tanto, la cola de las distribuciones tienden hacia la izquierda. Aún así, los valores son muy cercanos a 0, luego las distribuciones son bastante simétricas.

Sobre la curtosis robusta, ningún mes alcanza el valor ideal de 0,263, sino que todos los valores se encuentran por debajo de este, luego todos los meses tienen distribuciones leptocúrticas. El mes con el valor más cercano al ideal es el mes de agosto.

A continuación, se presentan los diagramas más interesantes que se corresponden con los meses de enero y julio, y además el diagrama de la evolución por meses:

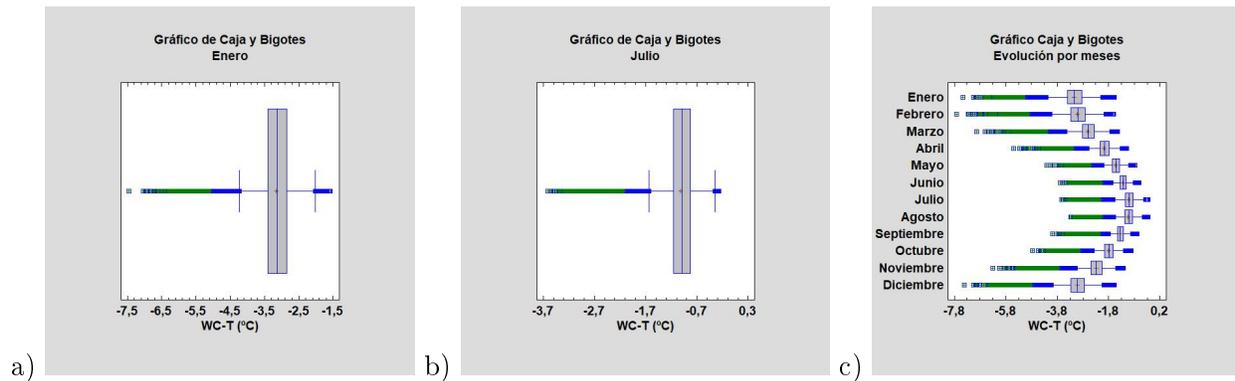


Figura 8: Diagramas más destacados del WC-T: a)enero, b)julio y c)evolución por meses.

Si se compara el diagrama de enero con el de julio, se ve que la variación de valores para la diferencia entre el Wind Chill y la temperatura es bastante amplia. Se había observado, que la variación de la temperatura del aire entre los meses fríos y los cálidos, era bastante grande. Mientras que en la velocidad del viento, aunque hay cierta variación entre los meses, se mantiene bastante más constante. Por lo tanto, lo que más afecta al Wind Chill, en la base de datos que se tiene es la temperatura (como se discute en los artículos Lin et al. (2019) y Howarth et al. (2017)).

Si se pone la mirada en el diagrama de la evolución anual (Figura 8c), se puede observar la progresión de la cantidad WC-T. Se ve que desde enero con $-3,136$ °C, la cantidad que disminuye la temperatura ambiental va evolucionando hasta alcanzar en el mes de julio un valor cercano a 0 °C, a partir del cual, la cantidad va variando hasta que vuelve a obtener $-3,005$ °C en diciembre. Por lo tanto, la sensación que se percibe de sobreenfriamiento es mayor en los meses fríos que en los meses cálidos.

3.1.6. Heat Index

Por último, se procede a comentar la sensación térmica de calor o Heat Index (HI). Como ocurre en el caso del Wind Chill, los resultados que se obtienen del programa se deben a la diferencia entre el Heat Index y la temperatura real, es decir, es la cantidad que aumenta la temperatura ambiental (HI-T). Todos los cálculos estadísticos numéricos residen en la Tabla 11 del apartado 7.1.1. de los

anexos, mientras que todos los diagramas de caja y bigote se encuentran en la Figura 24 del apartado 7.1.2. de los anexos.

Cabe destacar, que para los meses de enero, febrero, noviembre y diciembre, no se han obtenido datos para esta variable, por no cumplir con el requisito de tener temperaturas superiores a 25 °C, y que el valor del Heat Index no es superior a la temperatura real.

Ahora, se muestran los valores más importantes de los cálculos estadísticos que se corresponden con los meses de abril, julio y octubre:

Meses	Mediana (°C)	Rango intercuartílico (°C)	Índice Yule-Kendall	Curtosis robusta
Abril	0,279	0,114	-0,028	0,259
Julio	0,586	0,089	0,012	0,260
Octubre	0,562	0,190	-0,002	0,252

Tabla 5: Estadísticos más destacados del HI-T.

Para la mediana, se puede ver que el valor máximo se encuentra en el mes de julio, mientras que el valor mínimo está en el mes de abril. En los meses en los que se obtiene resultado de la diferencia entre el Heat Index y la temperatura, no hay mucha variación entre los valores de la mediana, aunque se ve que en los meses más calurosos se encuentran los valores más altos.

En cuanto al rango intercuartílico, el valor más alto se encuentra en el mes de octubre y el valor más pequeño en el mes de mayo. Se puede ver que se tratan de distribuciones de datos poco dispersos.

Para la simetría de las distribuciones, si se analiza el índice Yule-Kendall, se obtiene que en los meses de marzo, abril y octubre, los valores son negativos, por lo tanto son distribuciones cuyas colas tienden hacia la izquierda. En el resto de meses, los valores que se tienen son positivos, entonces las colas de las distribuciones tienden hacia la derecha. En general, los valores de los meses son muy cercanos a 0, lo que significa que son distribuciones bastantes simétricas. El mes que más se aproxima a ese valor es el mes de octubre.

Por último, si se mira la curtosis robusta, se ve que ningún mes alcanza el valor de la distribución normal de 0,263. En los meses de marzo, mayo y septiembre, se obtienen valores superiores al valor normal, por lo tanto son distribuciones platicúrticas. En el resto de meses, los valores son inferiores a 0,263 y se tratan por tanto, de valores leptocúrticas. El mes con el valor más próximo al valor ideal es el mes de mayo.

A continuación, se presentan los diagramas más relevantes como son los meses de abril y julio, que se corresponden los valores de la mediana mínimo y máximo, respectivamente. También se muestra el diagrama de la evolución por meses:

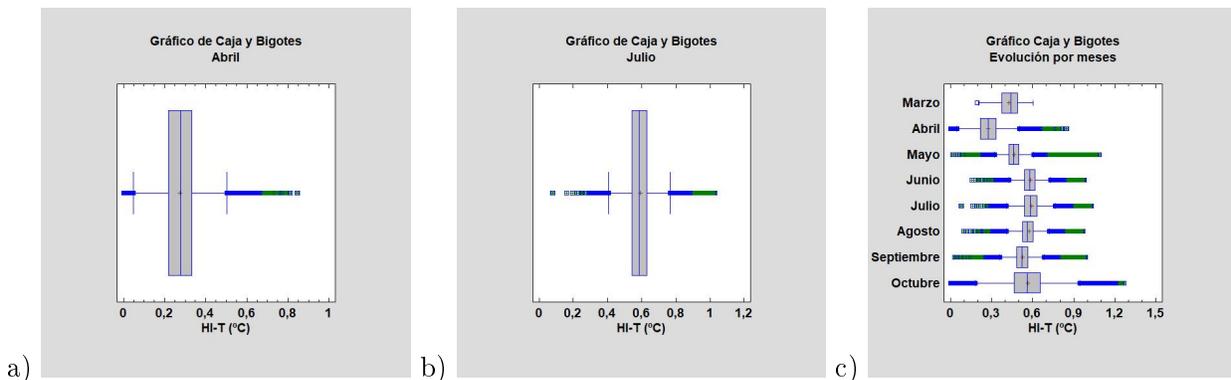


Figura 9: Diagramas más destacados del HI-T: a)abril, b)julio y c)evolución por meses.

Si se observa el diagrama de abril y el diagrama de julio, se aprecia que la variación de la cantidad que aumenta la temperatura real es mínima. Si se sabe que esta cantidad es el resultado de la diferencia entre el Heat Index y la temperatura del aire, se puede analizar qué variable influye más a la sensación térmica de calor, si la humedad relativa o la temperatura. En cuanto a la primera, se había visto que los valores más altos se encontraban en los meses más fríos, justamente los meses para los cuales no se obtienen datos de la diferencia. Para la temperatura, los meses donde se tienen valores se corresponden con los más cálidos. Entonces, esa convergencia de los valores más bajos de la humedad relativa y los valores más altos de la temperatura, es lo que da como resultado, unas cifras moderadas de la resta del Heat Index y la temperatura real. Por lo tanto, la variable que más influye a la sensación térmica de calor, en la base de datos que se tiene, es la humedad relativa (como se discute en los artículos Saikia et al. (2014) y Ohashi et al. (2014)) .

Finalmente, se observa en el diagrama de la evolución anual (Figura 9c) que la variación entre los meses es muy leve, es decir, la cantidad HI-T se mantiene más o menos constante. Aún así, se aprecia un pico en los meses de junio, julio y agosto, por lo tanto, estos son los meses en los que se percibe mayor sensación de sobrecalentamiento.

3.2. Mapas de las variables

En esta sección, se presentan los mapas de las variables, los cuales se han realizado a través del programa "SigmaPlot". Estos mapas se han creado dividiendo los datos obtenidos del programa de "Matlab", en los cuatro cuartiles. Esos datos se asocian con sus correspondientes longitudes y latitudes, que es la información que necesitamos para crear los mapas, como superposición de gráficas de dispersión XY. Las cuatro series se posicionan sobre la base del mapa de Alemania.

Para dibujar los mapas tanto de los datos globales como los de cada mes de cada variable se asocian de la siguiente forma los colores: azul para los valores más pequeños, verde para los valores intermedios inferiores, amarillo para los valores intermedios superiores y rojo para los valores más elevados. En los lugares donde no se obtienen datos, la zona se muestra de color gris puesto que es la base del mapa (Li et al, 2019; Luo & Lau, 2019; Luo & Lau, 2018; Howarth & Laird, 2017).

3.2.1. Datos globales

Se procede a analizar los mapas de los datos globales de cada una de las variables con las que se trabaja. Los mapas se encuentran ubicados en la Figura 25 del apartado 7.2. de los anexos.

En el mapa global de la temperatura (Figura 25a), se observa que las zonas del mapa que tienen las temperaturas más bajas se corresponden con las zonas montañosas de Alemania. Las temperaturas más cálidas, se corresponden sobre todo con las zonas limítrofes con Países Bajos, Bélgica, Luxemburgo y Francia, es decir, principalmente en los puntos noroeste y sudoeste, y también en algún punto del noreste. Este mapa de los datos globales, se parece a los mapas de los meses más fríos que se van a exponer en los apartados siguientes.

Si se compara el mapa de la velocidad del viento (Figura 25b) con la anterior variable, se observa que aquí los colores están más entremezclados, lo que significa que las zonas son más indeterminadas. Aún así, se puede observar que las velocidades más elevadas se encuentran más en las zonas norte-noroeste, norte y norte-noreste, que se corresponden con las zonas costeras. Mientras que las velocidades más bajas, se encuentran en las zonas montañosas. Como la velocidad de viento es una variable bastante constante, este mapa se parece a los mapas de los meses que se muestran en el apartado de la velocidad del viento.

Se analiza el mapa de la humedad relativa (Figura 25c), cuyas zonas con los valores más altos se encuentran principalmente en las zonas marítimas, en la zona central y en las zonas montañosas de los puntos este-sudeste, sudeste y sur-sudeste. Los valores bajos de la humedad relativa se presentan en las zonas oeste y este, y también en franjas encima y debajo de la zona central del mapa. Este mapa se parece a los mapas de los meses de calor que se exponen más tarde en el apartado de la humedad relativa.

En el mapa de la sensación térmica del frío para los datos globales (Figura 25d), se comenta en qué zonas la cantidad que disminuye la temperatura real, que se obtiene de la resta del Wind Chill y la temperatura del aire (WC-T), es más baja o más alta. Se aprecia que en este mapa las zonas están más mezcladas. Aun así, se puede ver que las zonas donde es más baja la temperatura real debido al Wind Chill, se ubican en las zonas costeras en el litoral del norte, que coincide con la zona de velocidades del viento más altas; y sobre todo en las zonas montañosas de los puntos este y sur, donde las temperaturas ambientales son más bajas. Mientras, las zonas con menor valor para la cantidad WC-T se concentran principalmente en la parte oeste y sudoeste del mapa, donde las temperaturas ambientales son más cálidas; y en puntos de la zona central, cuyos valores tanto para la temperatura y la velocidad del viento son intermedios. Este mapa se parece a los mapas de los meses fríos del apartado de la misma variable.

Se analiza el mapa de los datos globales de la cantidad que aumenta la temperatura real, que proviene de la diferencia entre el Heat Index y la temperatura (Figura 25e). Se aprecia que las zonas donde la cantidad HI-T es más elevada, se corresponde con la franja costera que recorre del noroeste al noreste y algún punto del sur-sudoeste y sur-sudeste, zonas donde las temperaturas son intermedias pero la humedad relativa tiene los valores más elevados. Por el contrario, las zonas que tienen los valores más bajos de la resta de la sensación térmica de calor y la temperatura del aire, se ubican en las partes montañosas del este, zonas del sur y puntos de la parte central, donde la humedad relativa es más elevada; y algún punto del oeste, donde la temperatura ambiental es más alta. El mapa de los datos globales se parece a los mapas de los meses de julio y agosto, que son los meses más calurosos y que se muestran en el apartado de la variable.

3.2.2. Temperatura

En este apartado, se comentan los mapas de la variable temperatura. Los mapas de cada uno de los 12 meses se encuentran ubicados en la Figura 26 del apartado 7.2. de los anexos.

Se muestran los mapas más reseñables de la variable temperatura y se analiza cómo evolucionan las diferentes zonas en función del mes.

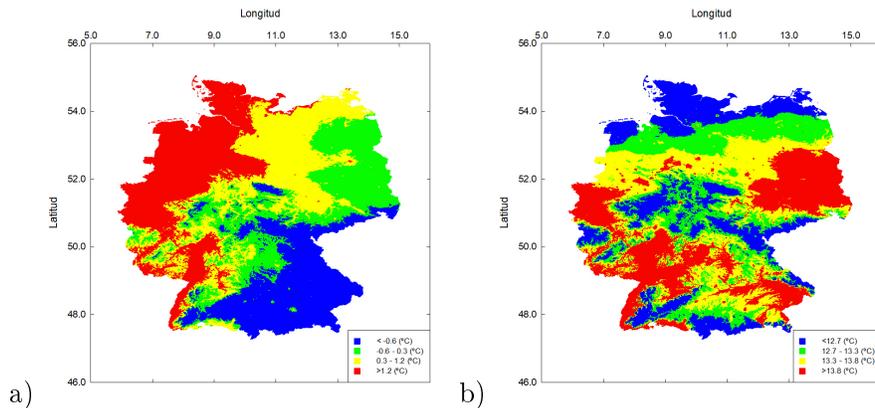


Figura 10: Mapas más destacados de la temperatura: a)enero y b)mayo. Con longitud y latitud en $^{\circ}$.

En el mapa de enero (Figura 10a), se aprecia que las zonas con las temperaturas más bajas se ubican en las zonas montañosas en la parte que recorre del Este al sur-sudoeste, con algún pequeño punto central. Mientras que la zona de temperaturas más altas de este mes, abarca desde la zona limítrofe con Dinamarca en la península de Jutlandia en el norte (influencia de las aguas del mar del Norte) hasta la parte fronteriza con Países Bajos del oeste. La zona con temperaturas intermedias se encuentra principalmente, desde la zona costera del mar Báltico hasta la parte este de la frontera con Polonia, y parte del territorio central.

Se ve el cambio para el mes de mayo (Figura 10b), empezando por el rango de temperaturas

bajas, donde se pasa de valores por debajo de cero en enero a valores inferiores de 12,7 °C; mientras que el rango de temperaturas altas, se transforma de cifras por encima de 1,2 °C en enero a cifras superiores a 13,8 °C. Se aprecia cómo han evolucionado las zonas, puesto que la parte azul se ha desplazado hacia la zona costera tanto del mar del Norte como del mar Báltico en el norte, también hacia el territorio central y los puntos más montañosos del este y del sur. La zona roja se mueve hacia abajo entre la zona oeste y sur-sudoeste, una parte a la zona limítrofe con Polonia en el este y una pequeña zona en el sudeste.

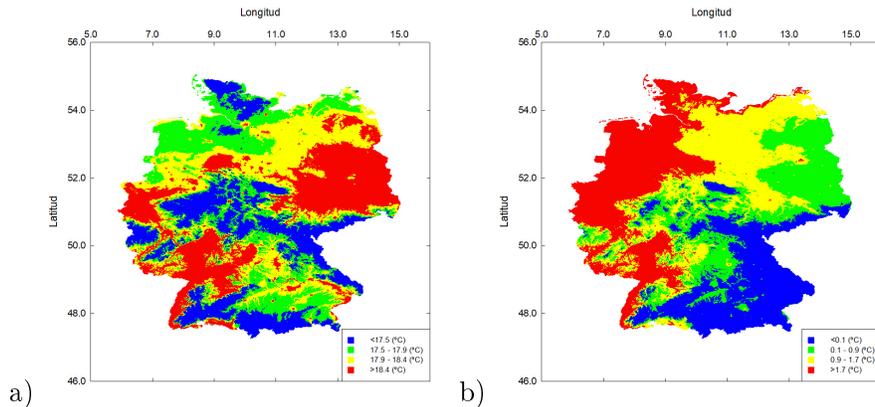


Figura 11: Mapas más destacados de la temperatura: a) agosto y b) diciembre. Con longitud y latitud en °.

Si se observa la evolución del mapa de mayo al mapa de agosto (Figura 11a), se aprecia que la zona donde las temperaturas son más bajas es la que más cambia, puesto que pasa de abarcar toda la zona litoral del norte a solo tener la parte fronteriza con Dinamarca, y a acrecentar el territorio central, la parte montañosa del este y sobre todo la zona sur donde los Alpes Bávaros. En la franja marítima del norte en el mes de agosto, se pasa a tener temperaturas intermedias, y la zona de temperaturas más altas apenas cambia, a excepción de la pequeña zona del sudeste del mes de mayo que se ha desplazado al sudoeste, que se corresponde con la zona más calurosa de Alemania.

Por último, se aprecia cómo cambia el mapa del mes de agosto al mes de diciembre (Figura 11b). Si se observa la variación en la zona de las temperaturas más bajas de cada mes, se ve que se pasa de valores inferiores a 17,5 °C a valores por debajo de 0,1 °C; mientras que la zona de temperaturas más altas varía de cifras superiores a 18,4 °C en agosto a cifras por encima de 1,7 °C. El desplazamiento de las zonas se produce de tal manera, que el mapa de diciembre se parece bastante al mes de enero. Por lo tanto, la zona azul se desplaza a la zona inferior derecha del mapa donde están las zonas montañosas, la zona roja se sitúa desde la zona marítima del noroeste hasta la franja limítrofe con Francia en el sudoeste.

3.2.3. Velocidad del viento

En esta sección, se presentan los mapas de la variable velocidad del viento. Los mapas de todos los meses se ubican en la Figura 27 del apartado 7.2. de los anexos.

Se comentan los mapas más interesantes de la velocidad del viento, observando qué cambios sufren dependiendo del mes.

Se aprecia que los mapas que se obtienen no tienen las zonas tan definidas o marcadas como en la variable anterior, sino que se entremezclan unas zonas con otras. En el caso del mapa de enero (Figura 12a), los valores de la velocidad de viento más bajos se encuentran sobre todo en las zonas montañosas del sudeste, sur y sudoeste. Mientras que las velocidades más elevadas se encuentran principalmente en la zona costera tanto del mar del Norte como del mar Báltico, la franja fronteriza con Dinamarca y parte del territorio del este. Las zonas de velocidades intermedias se encuentran dispersas a lo largo de todo el mapa, sobre todo en la parte central.

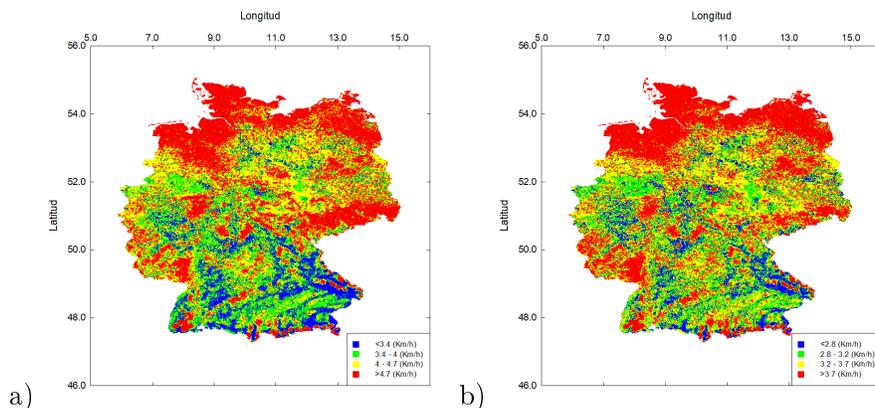


Figura 12: Mapas más destacados de la velocidad del viento: a)enero y b)mayo.
Con longitud y latitud en $^{\circ}$.

Se puede ver que la evolución en los mapas de enero a mayo (Figura 12b) es mínima, las zonas apenas se modifican, a excepción de pequeñas zonas rojas que se encuentran más dispersas y la zona azul, que está algo más extendida por el resto del mapa. Lo que si cambia son los rangos de cada zona: en enero la zona de velocidades más pequeñas tiene valores inferiores a 3,4 km/h, mientras que en mayo se pasa a valores inferiores a 2,8 km/h; la zona de velocidades más altas en enero es de valores superiores a 4,7 km/h y pasa a tener en mayo valores por encima de 3,7 km/h.

No se aprecia mucho cambio del mapa de mayo al mapa de agosto (Figura 13a). Las zonas se mantienen más o menos estables, aunque se ve que la zona donde las velocidades son más elevadas del oeste disminuye, mientras que en puntos del este aumenta. Por su parte, la zona con las velocidades del viento más bajas apenas varía salvo en la zona montañosa del este que se hace más grande.

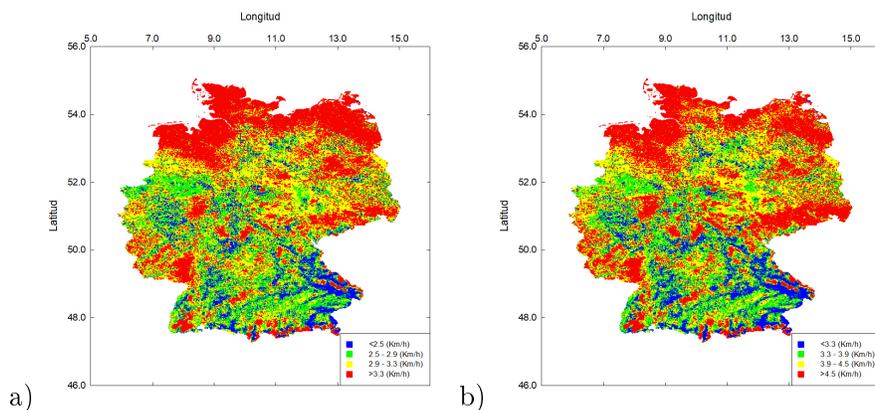


Figura 13: Mapas más destacados de la velocidad del viento: a)agosto y b)diciembre.
Con longitud y latitud en $^{\circ}$.

Por último, se puede ver la pequeña evolución que hay del mapa de agosto al mapa de diciembre (Figura 13b). La zona con las velocidades más pequeñas, vuelve a concentrarse fundamentalmente en las zonas montañosas del sudeste y del sur y tiene menos puntos dispersos. Por otro lado, la zona con las velocidades más altas sigue situándose en la zona costera del norte, pero también aumenta en territorio este. Los rangos también se modifican, teniendo la zona azul valores inferiores a 2,5 km/h en agosto, mientras que en diciembre se encuentran valores por debajo de 3,3 km/h. La zona roja pasa de cifras por encima de 3,3 km/h en agosto, a tener en diciembre cifras superiores a 4,5 km/h.

3.2.4. Humedad relativa

Se exponen los mapas de la variable humedad relativa. Todos los mapas de dicha variable de cada uno de los 12 meses se localizan en la Figura 28 del apartado 7.2. de los anexos.

Se analizan los mapas más interesantes y así ilustrar cómo evolucionan en función del mes.

Se puede apreciar que en los mapas correspondientes a esta variable, las zonas se encuentran muy bien definidas. Se observa que en el mapa de enero (Figura 14a), las zonas con la humedad relativa más baja se sitúan en: un cinturón que atraviesa desde la parte limítrofe con Países Bajos en el oeste hasta la zona fronteriza entre Polonia y República Checa en el este, prácticamente todo el borde sur y algún pequeño territorio central. Las zonas con la humedad relativa más alta se corresponden: con la parte montañosa en el este, algunos territorios en el oeste y la parte central, y la zona costera del mar del Norte y un territorio extendido cerca de la frontera con Dinamarca. Los valores intermedios de la humedad se encuentran repartidos entre las partes superior e inferior de la zona central.

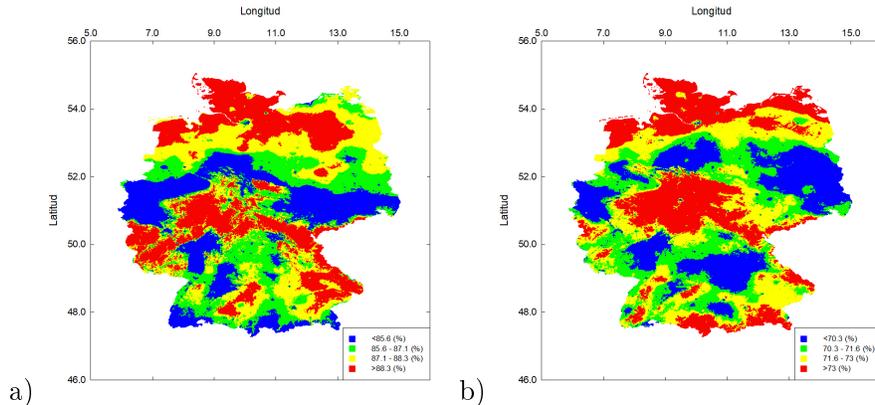


Figura 14: Mapas más destacados de la humedad relativa: a)enero y b)mayo.
Con longitud y latitud en $^{\circ}$.

Se puede ver cómo varía el mapa desde el mes de enero hasta el mes de mayo (Figura 14b). Se observa que la zona de valores altos de la humedad relativa se ha agrupado en la parte central del mapa, con la excepción de pequeños territorios montañosos del sur, y abarca también la zona litoral del norte desde el mar del Norte hasta el mar Báltico. Por su parte, la zona de bajas humedades relativas se ha dividido en varios bloques de superficie alrededor de la parte central. Los rangos de cada zona también han cambiado de tal modo que, la zona azul pasa de valores inferiores a 85,6 % a tener valores por debajo de 70,3 %, mientras que la zona roja pasa de cifras por encima de 88,3 % a tener cifras superiores a 73 %.

Aunque se aprecia una menor variación entre los mapas de mayo y agosto (Figura 15a), se puede ver que la zona de valores más bajos de la humedad relativa se ha condensado principalmente en dos grandes territorios, uno en la zona sur de la parte central y el otro va desde la zona central hasta el este. Mientras, la zona de valores más altos de la humedad ha disminuido su tamaño en el territorio central, y ha aumentado su extensión tanto en la zona costera del norte (que se corresponde con la zona más húmeda de Alemania), como en la parte montañosa del sur y sudeste. Las zonas de valores intermedios se ubican por el resto del mapa, siendo las predominantes en la zona del oeste del mismo.

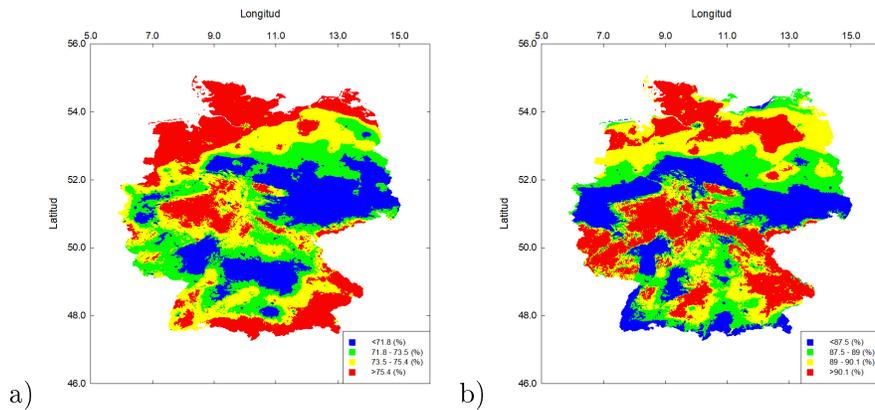


Figura 15: Mapas más destacados de la humedad relativa: a) agosto y b) diciembre. Con longitud y latitud en $^{\circ}$.

Por último, se analiza la evolución del mes de agosto al mes de diciembre (Figura 15b). La zona de humedades relativas bajas se vuelve a situar en las mismas zonas que en el mes de enero, pero con el borde sur bastante más amplio. También la zona de humedad relativa con valores más altos se encuentran en los mismos lugares que en enero, aunque la parte del norte es más pequeña, y la parte central y montañosa del este han aumentado de tamaño. Los rangos han variado del mes de agosto al mes de diciembre; la zona azul pasa de valores por debajo de 71,8 % a tener valores inferiores a 87,5 %, mientras que la zona roja pasa de cifras superiores a 75,4 % a tener cifras por encima de 90,1 %.

3.2.5. Wind Chill

En este apartado, se presentan los resultados de los mapas de la variable sensación térmica de frío, aunque como ya se dicho con anterioridad, se trata de la resta del Wind Chill y la temperatura real (WC-T) (como en Wang et al., 2019; Malinovic-Milicevic et al, 2013). Todos los mapas de cada uno de los meses se encuentran en la Figura 29 del apartado 7.2. de los anexos.

Se comentan los mapas más representativos de la sensación térmica de frío. Los mapas de esta variable se ve que tienen las zonas algo menos definidas.

En el mapa del mes de enero (Figura 16a), se observa que las zonas donde la cantidad WC-T es más pequeña se encuentran el borde costero, sobre todo en el mar del Norte; los territorios montañosos el este, que son la zona más predominante; y algunas pequeñas zonas en el borde fronterizo del sur y del territorio central. Se puede analizar qué variable de las que depende el Wind Chill influye más, en función de cómo se encuentran dichas variables en esos territorios. Para la primera zona, la velocidad del viento tiene valores altos, para la segunda tanto velocidades son elevadas como temperaturas son bajas, y para la tercera se corresponde con temperaturas bajas. Luego en la zona que previamente se había destacado, es la que tiene las dos variables en las formas que más influyen a la sensación térmica. Las zonas que tienen los valores más altos de la cantidad WC-T, se localizan en la mayor parte del territorio del oeste y pequeños sectores de la parte central superior e inferior. Como antes, se aprecia que dichas zonas se corresponden con puntos donde la temperatura es alta o de valores intermedios y la velocidad es baja.

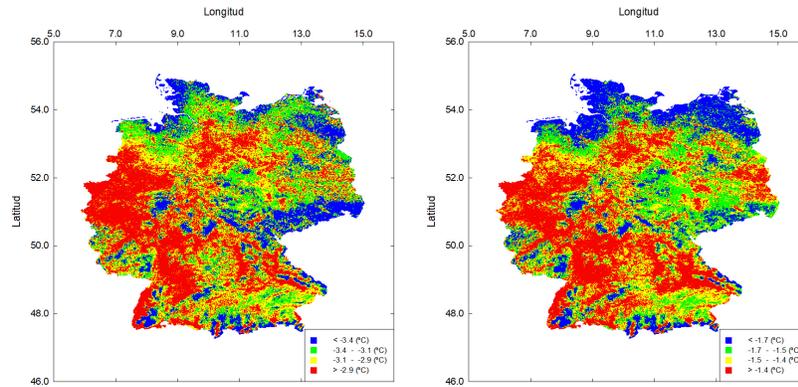


Figura 16: Mapas más destacados del WC-T: a) enero y b) mayo. Con longitud y latitud en $^{\circ}$.

Se ve la evolución del mapa para el mes de mayo (Figura 16b), empezando por los rangos de valores, puesto que la zona azul pasa de valores inferiores a $-3,4^{\circ}\text{C}$ en enero, a valores por debajo de $-1,7^{\circ}\text{C}$ en mayo. Por su parte, la zona roja tiene cifras superiores a $-2,9^{\circ}\text{C}$ en enero, mientras que en mayo tiene cifras por encima de $-1,4^{\circ}\text{C}$. En cuanto a los territorios en el mapa, se ve que la zona con los valores más pequeños de la cantidad WC-T también cambia, para el mes de mayo sus zonas son: fundamentalmente toda la parte costera desde el mar del Norte hasta el mar Báltico y algunos pequeños territorios en la zona central y la zona sur. Se corresponden con los puntos donde la temperatura es baja y además, en la zona costera las velocidades son altas. Los valores donde la diferencia entre Wind Chill y la temperatura son más altos, se encuentran sobre todo en la parte oeste del mapa, aunque ocupan también grandes zonas de la parte sur central. Estos territorios se relacionan con valores de la temperatura altos o intermedios y valores de la velocidad del viento intermedios o bajos.

La transformación del mapa de mayo al mapa de agosto (Figura 17a) es quizás la más visible, puesto que las zonas donde la cantidad WC-T es más pequeña se ubican ahora principalmente en el extremo opuesto, es decir, tienen más presencia en la parte montañosa del sur y del este, y algún pequeño territorio central. Lugares donde la temperatura tiene valores bajos y la velocidad del viento cifras intermedias, a excepción de la parte montañosa del este que tiene algún valor elevado de esta variable. En cuanto a los territorios con valores de la cantidad WC-T más altos, se localizan en casi toda la zona norte, el borde noroeste y puntos de la parte sudoeste. Estas zonas se corresponden con temperaturas intermedias y altas, y con valores de la velocidad altos en la zona norte e intermedios en el resto. Se observa también que hay una pequeña zona entre 7.0° y 9.0° de longitud y casi 54.0° de latitud, que es de color gris, luego son puntos donde no se cumplía alguna de las condiciones de la sensación térmica de frío y por lo tanto, no hay resultado.

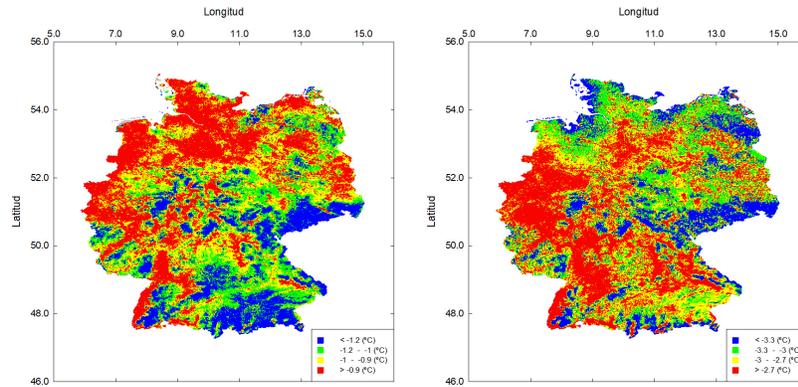


Figura 17: Mapas más destacados del WC-T: a) agosto y b) diciembre. Con longitud y latitud en $^{\circ}$.

Por último, el cambio en el mapa del mes de agosto al mes de diciembre (Figura 17b). Se comienza por ver que los rangos de valores son bastante más fríos: en la zona azul se pasa de cifras inferiores a $-1,2^{\circ}\text{C}$ en agosto a cifras por debajo de $-3,3^{\circ}\text{C}$ en diciembre, y en la zona roja se tienen valores superiores a $-0,9^{\circ}\text{C}$ en agosto, mientras que en el mes de diciembre se tienen valores por encima de $-2,7^{\circ}\text{C}$. Se aprecia que se trata de un mapa muy parecido al mes de enero, donde las zonas con los valores más pequeños se encuentran sobre todo en la parte montañosa del este, en el borde costero del norte y en los puntos más montañosos del sur. Estos territorios se relacionan con valores de la temperatura muy bajos, a excepción de la zona costera, y con valores de la velocidad del viento altos. Por el contrario, las zonas donde el valor de la diferencia del Wind Chill y la temperatura es más alto, se ubican principalmente en territorio de la parte oeste y en algún punto central. Estas zonas se corresponden con valores de la temperatura altos o intermedios, y con valores de velocidad bajos o intermedios.

Después de observar los mapas para la sensación térmica de frío y ver cómo se relacionan con los mapas de las variables temperatura y velocidad de viento, se puede comprobar que en las zonas donde se combinan temperaturas bajas con velocidades altas, la cantidad WC-T tiene un valor más negativo, lo que significa que el Wind Chill es mayor. Para zonas donde una o ambas variables de las cuales depende el Wind Chill no es tan extrema, entonces la sensación térmica se ve minimizada, es decir, la percepción de una temperatura más baja de la real es menor.

Se obtienen valores para WC-T que se corresponden con otros trabajos como Wang et al. (2019). Esto puede ser muy importante por las consecuencias que puede tener para la salud (Lin et al., 2013) y cómo afecte el cambio climático (Nyssanbayeva et al., 2019; Zhu et al., 2019; Gao et al., 2015).

3.2.6. Heat Index

A continuación, se muestran los mapas más ilustrativos de la sensación térmica de calor, recordando que los resultados se corresponden con la diferencia entre el Heat Index y la temperatura real (HI-T) (como en Wang et al., 2019; Grotjahn & Hyunh, 2018; Malinovic-Milicevic et al, 2013). Además, se vuelve a comentar que para esta variable solo se tenían resultados para los meses desde marzo hasta octubre. Todos los mapas se ubican en la Figura 30 del apartado 7.2. de los anexos.

En este caso, al no tener resultados para los meses más fríos, se analiza la variación en los mapas de los meses más calurosos a los menos (Lee & Brenner, 2015; Acar Deniz & Ozturk, 2015).

En el mapa del mes de abril (Figura 18a), se observa que la zona donde la cantidad HI-T es más pequeña se encuentra en la parte central del sur y en el territorio fronterizo con Dinamarca en el norte. Estos lugares se corresponden con temperaturas bajas y humedad relativa alta en la zona norte, y con temperaturas altas e intermedias y humedad baja en la parte sur. Por otro lado, la zona donde la cantidad HI-T es más elevada se localiza sobre todo en la parte noreste desde la parte que

baña el mar Báltico hasta las zonas montañosas, también hay algún pequeño territorio en la zona del mar del Norte en el noroeste. Se relacionan con temperaturas altas e intermedias y con humedades relativas altas e intermedias. Se aprecia que en este mapa hay zonas grises en la parte oeste y sur, que coinciden con zonas donde la temperatura es baja.

Se puede ver la evolución que sufre el mapa del mes de abril al mes de julio (Figura 18b), donde las zonas están mucho más definidas y no hay partes grises. Los rangos de valores también cambian, pasando en las zonas azules de cifras inferiores a $0,22\text{ }^{\circ}\text{C}$ en abril a tener cifras por debajo de $0,54\text{ }^{\circ}\text{C}$ en julio, mientras que en las zonas rojas se pasa de valores superiores a $0,33\text{ }^{\circ}\text{C}$ en abril a tener valores por encima de $0,63\text{ }^{\circ}\text{C}$ en abril. Los territorios donde los valores de la diferencia del Heat Index y la temperatura real son más bajos se encuentran en las zonas montañosas del este y del sur, un bloque amplio en el sudoeste y algunos pequeños puntos en la parte superior central. Lugares que se relacionan con temperaturas alta e intermedias y con humedades relativas bajas en la parte central, altas en las zonas montañosas e intermedias en el resto. Los territorios con valores de la diferencia más elevados se ubican sobre todo en una gran franja en el norte, una zona en el borde fronterizo con Francia en el sudoeste y un bloque en la parte limítrofe con Austria en el sudeste. Estos lugares se corresponden con humedades altas y con temperaturas bajas en la zona que limita con Dinamarca, altas en la zona sudoeste e intermedias en el resto.

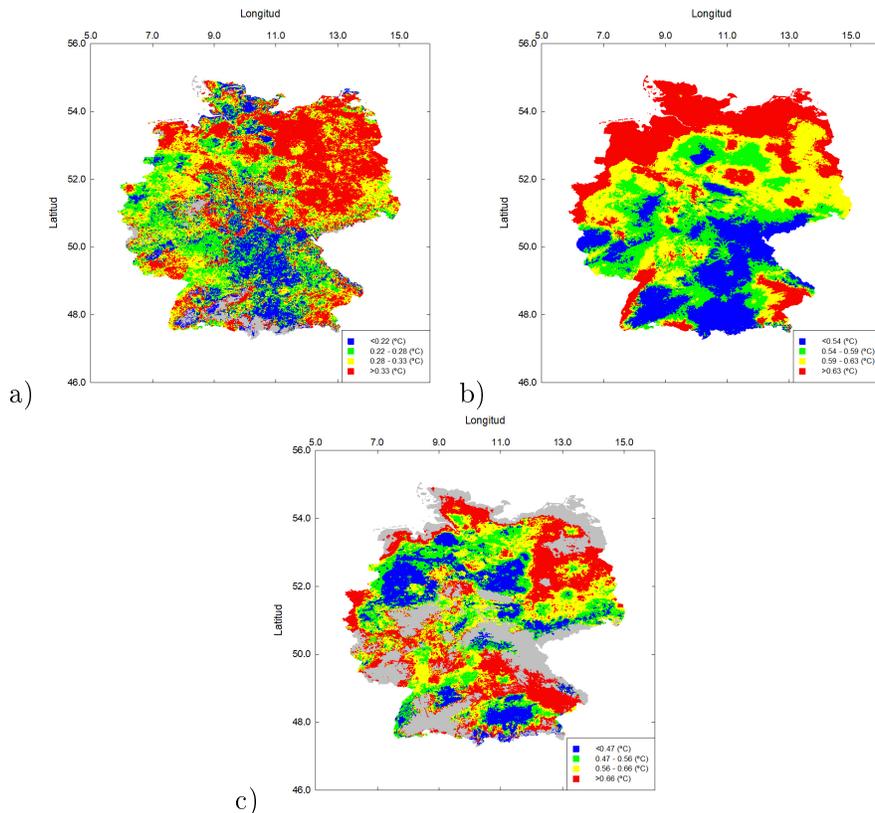


Figura 18: Mapas más destacados del HI-T: a) abril, b) julio y c) octubre. Con longitud y latitud en $^{\circ}$.

Por último, se observa la transformación del mapas del mes de julio al mes de octubre (Figura 18c), donde a simple vista se aprecia la gran cantidad de partes grises que tiene el mapa. El rango de valores también varía, de tal forma que la zona azul pasa a cifras inferiores a $0,47\text{ }^{\circ}\text{C}$, y la zona roja tiene cifras superiores a $0,66\text{ }^{\circ}\text{C}$. Los territorios con los valores de la cantidad HI-T más pequeños se localizan en la zona central superior y un bloque en el sur. Estas partes coinciden con humedades bajas y con temperaturas bajas en el sur y altas o intermedias en la parte superior. Las zonas donde la cantidad HI-T son más elevadas, están más dispersas en el mapa y se encuentran en puntos del norte y sobre todo del noreste, y algún bloque del sudeste. Estos lugares se corresponden

con humedades altas o intermedias y con temperaturas altas en el norte y bajas en el sur.

Luego de haber visto los mapas de la sensación térmica de calor y cómo se vinculan con los mapas de las variables de la temperatura y de la humedad relativa, se comprueba que las zonas donde hay temperaturas y humedades altas, la cantidad HI-T es mayor, y por lo tanto, el valor del Heat Index es más alto. Cuando se tiene una o ambas variables con valores intermedios o bajos, entonces la temperatura que se percibe y que se corresponde con la sensación térmica de calor, es menor y más cercana a la temperatura real.

Estos resultados se corresponden con los que hay en otros artículos como Lee & Brenner (2015). No se obtienen unos valores muy altos de la cantidad HI-T.

Esto puede ser muy importante por las consecuencias que puede tener para la salud (Heo et al., 2019; Kiritsaeng & Kiritsaeng, 2015; Chuang et al., 2013), cómo afecte el cambio climático (Modarres et al., 2018; Crum et al., 2017) y para eventos climáticos extremos (Das Bhowmik et al, 2019; Chow et al., 2019; Rizvi et al., 2019; Suparta & Yatim, 2017).

4. Conclusiones

En este trabajo, se han analizado las sensaciones térmicas de frío y de calor (Wind Chill y Heat Index, respectivamente) para la zona de Alemania en un periodo de tiempo que transcurre desde 1995 hasta 2012.

Para el estudio del Wind Chill y del Heat Index, también se han analizado las variables de las que dependen, es decir, la temperatura del aire, la velocidad del viento y la humedad relativa. Los resultados que se obtienen para estas variables, han contribuido a entender mejor los resultados finales, puesto que se ha podido ver cómo, dónde y en qué medida influyen sobre las sensaciones térmicas. Por supuesto, también se han tenido en cuenta las características climáticas que tiene Alemania.

Después de analizar los resultados tanto para las variables temperatura, velocidad del viento y humedad relativa, así como de las sensaciones térmicas de frío y calor, se pueden hacer las siguientes conclusiones:

- Sobre la temperatura, se puede concluir que los resultados se corresponden con las características climáticas de Alemania descritas en la teoría. Se obtienen valores más extremos en los meses fríos que en los meses cálidos, lo que ilustra cómo varían las temperaturas a lo largo del año, y también en las diferentes zonas de Alemania, puesto que en los mapas se ven cómo cambian las zonas según el mes.
- De la variable de la velocidad del viento, se llega a la conclusión de que para Alemania, no hay una gran variación entre los meses fríos y los meses cálidos, es decir, es una variable bastante estable y constante a lo largo del año. Esto se puede apreciar tanto en los resultados estadísticos (para la mediana se obtienen valores parecidos en todos los meses), como en los mapas, puesto que en las zonas casi no hay cambio a lo largo de los meses.
- Para la variable de la humedad relativa, se concluye que se trata de una variable que varía en función del mes del año en el que se encuentra (con valores mayores en los meses fríos que en los cálidos), y también depende de la zona del mapa de Alemania, puesto que las zonas cambian según avanzan los meses. También se corrobora, como ocurría con la variable temperatura, que los resultados concuerdan con las características climáticas descritas en la teoría. Ambas variables son las que más han influido en las sensaciones térmicas.
- En cuanto a la sensación térmica de frío, se puede concluir que en la base de datos que tenemos y en el mapa de Alemania, lo que más le influye al Wind Chill es la temperatura. Esto no significa que la velocidad del viento no contribuya, pero viendo que esta permanece más constante en general a lo largo de todos los meses, lo que más influye en las variaciones de la sensación térmica es la temperatura. En los diagramas se aprecia que cuando la temperatura aumenta, la cantidad WC-T se desplaza a valores menos negativos; y en los mapas, se ve que mientras la velocidad apenas cambia, en la temperatura hay transformaciones en los mapas, lo que hace que en la sensación térmica haya cambio entre las zonas.
- Sobre la sensación térmica de calor, se llega a la conclusión que la variable que más contribuye al Heat Index es la humedad relativa, en nuestra base de datos de Alemania. Como se ha dicho en el caso anterior, no implica que la temperatura no influya, pero que los meses donde tengamos datos se correspondan con los meses donde la humedad relativa tenga los valores más bajos de la mediana en los diagramas, hace que los valores de HI-T se vean suavizados. Si nos fijamos en los mapas, se aprecia que las zonas de la sensación térmica se parecen más a las zonas de los mapas de la humedad relativa. Que la cantidad fruto de la diferencia entre el Heat Index y la temperatura sea menos extrema que en el caso del Wind Chill, se debe también a que la temperatura en los meses más cálidos no adquiere unos valores muy elevados, acorde con las características climáticas que se han descrito para Alemania.
- Las sensaciones térmicas, tanto de frío como de calor, tienen una gran relevancia puesto que pueden repercutir en complicaciones serias para la salud. En episodios donde la climatología se hace más severa como pueden ser tanto las olas de frío como olas de calor, estas variables elevan sus valores aumentando el riesgo de sufrir hipotermias y congelaciones con el Wind Chill, e insolaciones y golpes de calor con el Heat Index. El aumento de estos fenómenos y

que se vuelvan cada vez más extremos es una de las consecuencias del cambio climático. En condiciones climáticas como pueden ser tifones, huracanes y otros, también se aprecia como pueden influir en las sensaciones térmicas con valores bastante extremos.

5. Referencias

Referencias

- Acar Deniz, Z. & Ozturk, B. (2015). Thermal indices in Western part of Turkey. *Arabian Journal of Geosciences*, 8, 11193-11202. <http://dx.doi.org/10.1007/s12517-015-1928-y>
- Agencia Española de Meteorología (AEMet). Sensación térmica de frío y calor-PDF: Tabla de valores. <https://www.aemet.es/es/conocermas/montana/detalles/sensaciontermica>
- BMU(2019). Monitoringbericht. <https://www.bmu.de/download/monitoringbericht-2019/>
- Chow, E.C.H., Wen, M., Li, L., Leung, M.Y.T., Cheung, P.K.Y. & Zhou, W. (2019). Assessment of the Environmental and Societal Impacts of the Category-3 Typhoon Hato. *Atmosphere*, 10, 296. <https://doi.org/10.3390/atmos10060296>
- Chuang, W-C., Gober, P., Chow, W.T.L. & Golden, J. (2013). Sensitivity to heat: A comparative study of Phoenix, Arizona and Chicago, Illinois (2003-2006). *Urban Climate*, 5, 1-18. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2013.07.003>
- Crum, S.M., Shiflett, S.A. & Jenerette, G.D. (2017). The influence of vegetation, mesoclimate and meteorology on urban atmospheric microclimates across a coastal to desert climate gradient. *Journal of Environmental Management*, 200, 295-303. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.05.077>
- Das Bhowmik, R., Suchetana, B. Lu, M. (2019). Shower effect of a rainfall onset on the heat accumulated during a preceding dry spell. *Scientific Reports*, 9, 7011. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-43437-7>
- Gao, Y., Leung, L.R., Lu, J. & Masato, G. (2015). Persistent cold air outbreaks over North America in a warming climate. *Environmental Research Letters*, 10. <http://dx.doi.org/10.1088/1748-9326/10/4/044001>
- Grotjahn, R. & Huynh, J. (2018). Contiguous US summer maximum temperature and heat stress trends in CRU and NOAA Climate Division data plus comparisons to reanalyses. *Scientific Reports*, 8, 11146. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-29286-w>
- Guía de Alemania. <https://www.guiadealemania.com/clima-de-alemania/>
- Hass, A.L., Ellis, K.N., Reyes Mason, L., Hathaway, J.M. & Howe, D.A. (2016). Heat and Humidity in the City: Neighborhood Heat Index Variability in a Mid-Sized City in the Southeastern United States. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 13, 117. <https://doi.org/10.3390/ijerph13010117>
- Heo, S., Bell, M.L. & Lee, J-T. (2019). Comparison of health risks by heat wave definition: Applicability of wet-bulb globe temperature for heat wave criteria. *Environmental Research*, 168, 158-170. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2018.09.032>
- Heusinger, J. & Sailor, D.J. (2019). Heat and Cold Roses of U.S. Cities: a New Tool for Optimizing Urban Climate. *Sustainable Cities and Society*, 51. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101777>
- Howarth, M.E. & Laird, N.F. (2017). Intraseasonal Variations of Winter Wind Chill Temperatures across Canada and the United States. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 56, 2951-2962. <http://dx.doi.org/10.1175/JAMC-D-16-0394.1>
- Kirtsaeng, S. & Kirtsaeng, P.(2015). Analysis and simulation of heat index for developing a heat alert system over Thailand. *Asian Conference on Defence Technology (ACDT)*, 63-68. <https://doi.org/10.1109/ACDT.2015.7111585>
- Krähenmann, S., Walter, A., Brienens, S., Imbery, F. & Matzarakis, A. (2018). High-resolution grids of hourly meteorological variables for Germany. *Theoretical and Applied Climatology*, 131, 899-926. <https://doi.org/10.1007/s00704-016-2003-7>

- Lee, D. & Brenner, T. (2015). Perceived temperature in the course of climate change: an analysis of global heat index from 1979 to 2013. *Earth System Science Data*, 7, 193-202. <https://doi.org/10.5194/essd-7-193-2015>
- Li, W., Zou, T., Li, L., Deng, Y., Sun, V.T., Zhang, Q., Layton, J.B. & Setoguchi, S. (2019). Impacts of the North Atlantic subtropical high on interannual variation of summertime heat stress over the conterminous United States. *Climate Dynamics* 53, 3345–3359. <https://doi.org/10.1007/s00382-019-04708-1>
- Lin, L., Lou, M., Chan, T.O., Ge, E., Liu, X., Zhao, Y. & Liao, W. (2019). Effects of urbanization on wind chill conditions over China. *Science of the Total Environment*, 688, 389-397. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.06.145>
- Lin, Y-K., Wang, Y-C., Lin, P-L., Li, M-H. & Ho, T-J. (2013). Relationships between cold-temperature indices and all causes and cardiopulmonary morbidity and mortality in a subtropical island. *Science of the Total Environment*, 461-462, 627-635. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.05.030>
- Luo, M. & Lau, N.C. (2019). Characteristics of summer heat stress in China during 1979–2014: climatology and long-term trends. *Climate Dynamics* 53, 5375–5388. <https://doi.org/10.1007/s00382-019-04871-5>
- Luo, M. & Lau, N.C. (2018). Increasing Heat Stress in Urban Areas of Eastern China: Acceleration by Urbanization. *Geophysical Research Letters*, 45, 13060-13069. <https://doi.org/10.1029/2018GL080306>
- Malinovic-Milicevic, S., Mihailovic, D.T., Lalic, B. & Dreskovic, N. (2013). Thermal environment and UV-B radiation indices in the Vojvodina region, Serbia. *Climate Research*, 57, 111-121. <http://dx.doi.org/10.3354/cr01163>
- Mapas del mundo: mapa físico de Alemania. <https://www.mapas-del-mundo.net/europa/alemania/mapa-fisico-detallado-grande-de-alemania>
- Mekis, E., Vincent, L.A., Shephard, M.W. & Zhang, X. (2015). Observed Trends in Severe Weather Conditions Based on Humidex, Wind Chill, and Heavy Rainfall Events in Canada for 1953-2012. *Atmosphere-Ocean*, 53, 383-397. <https://doi.org/10.1080/07055900.2015.1086970>
- Modarres, R., Ghadami, M., Naderi, S. & Naderi, M. (2018). Future heat stress arising from climate change on Iran's population health. *International Journal of Biometeorology*, 62, 1275–1281. <https://doi.org/10.1007/s00484-018-1532-4>
- Moore, K., Semple, J., Cristofanelli, P., Bonasoni, P. & Stocchi, P. (2012). Environmental conditions at the South Col of Mount Everest and their impact on hypoxia and hypothermia experienced by mountaineers. *Extreme Physiology & Medicine*, 1, 2. <https://doi.org/10.1186/2046-7648-1-2>
- National Oceanic & Atmospheric Administration (NOAA) & National Weather Service (NWS). What is the heat index? <https://www.weather.gov/ama/heatindex>
- National Oceanic & Atmospheric Administration (NOAA) & National Weather Service (NWS). Wind Chill Chart. <https://www.weather.gov/safety/cold-wind-chill-chart>
- Nyssonbayeva, A.S., Cherednichenko, A.V., Cherednichenko, V.S., Abayev, N.N. & Madibekov, A.S. (2019) Bioclimatic conditions of the winter months in Western Kazakhstan and their dynamics in relation to climate change. *International Journal of Biometeorology*, 63, 659–669. <https://doi.org/10.1007/s00484-018-1513-7>
- Ohashi, Y., Shimada, S. & Ohsawa, T. (2014). Numerical Simulations of Summer Mesoscale Heat-Stress around the Seto Inland Sea, Japan. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 92, 121-136. <http://dx.doi.org/10.2151/jmsj.2014-108>
- Rizvi, S.H., Alam, H. & Iqbal, M.J. (2019). Spatio-temporal variations in urban heat island and its interaction with heat wave. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 185, 50-57. <https://doi.org/10.1016/j.jastp.2019.02.001>

- Saikia, D., Sarma, U. Boruah, P.K. (2014). Development of an Online Heat Index Measurement System for Thermal Comfort Determination. *MAPAN-Journal of Metrology Society of India*, 29, 67–72. <https://doi.org/10.1007/s12647-013-0066-9>
- Saue, T. (2016) Directional distribution of chilling winds in Estonia. *International Journal of Biometeorology*, 60, 1165-73. <https://doi.org/10.1007/s00484-015-1110-y>
- Spiegel, M.R. & Stephens, L.J. (2009). Estadística. *Schaum*.
- Suparta, W. & Yatim, N.M. (2017). An analysis of heat wave trends using heat index in East Malaysia. *Journal of Physics: Conference Series*, 852, 012005. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/852/1/012005>
- Wang, F., Duan, K. & Zou, L. (2019). Urbanization Effects on Human-Perceived Temperature Changes in the North China Plain. *Sustainability*, 11. <https://doi.org/10.3390/su11123413>
- Wang, Y., Chen, L., Song, Z., Huang, Z., Ge, E., Lin, L. & Lou, M. (2019). Human-perceived temperature changes over South China: Long-term trends and urbanization effects. *Atmospheric Research*, 215, 116-127. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2018.09.006>
- Wikipedia: Geografía de Alemania. https://es.wikipedia.org/wiki/Geograf%C3%ADa_de_AlemaniaClima
- Wilks, D.S. (2006). Statistical Methods in the atmospheric sciences. *Academic Press*.
- Zhu, J., Huang, G., Baetz, B., Wang, X. & Cheng, G. (2019). Climate warming will not decrease perceived low-temperature extremes in China. *Climate Dynamics* 52, 5641–5656. <https://doi.org/10.1007/s00382-018-4469-8>

6. Lista de tablas y figuras

Índice de tablas

1.	Estadísticos más destacados de la temperatura.	14
2.	Estadísticos más destacados de la velocidad del viento.	15
3.	Estadísticos más destacados de la humedad relativa.	16
4.	Estadísticos más destacados del WC-T.	17
5.	Estadísticos más destacados del HI-T.	19
6.	Estadísticos de los datos globales.	37
7.	Estadísticos de la temperatura.	37
8.	Estadísticos de la velocidad del viento.	38
9.	Estadísticos de la humedad relativa.	38
10.	Estadísticos del WC-T.	39
11.	Estadísticos del HI-T.	39

Índice de figuras

1.	Tabla de valores del Wind Chill.	5
2.	Tabla de valores del Heat Index.	6
3.	Mapa físico de Alemania.	8
4.	Mapas de la distribución de las estaciones climáticas de: a)temperatura del aire, b)temperatura del punto de rocío y c)velocidad del viento.	9
5.	Diagramas más destacados de la temperatura: a)enero, b)julio y c)evolución por meses.	15
6.	Diagramas más destacados de la velocidad del viento: a)febrero, b)agosto y c)evolución por meses.	16
7.	Diagramas más destacados de la humedad relativa: a)abril, b)diciembre y c)evolución por meses.	17
8.	Diagramas más destacados del WC-T: a)enero, b)julio y c)evolución por meses.	18
9.	Diagramas más destacados del HI-T: a)abril, b)julio y c)evolución por meses.	19
10.	Mapas más destacados de la temperatura: a)enero y b)mayo.	21
11.	Mapas más destacados de la temperatura: a)agosto y b)diciembre.	22
12.	Mapas más destacados de la velocidad del viento: a)enero y b)mayo.	23
13.	Mapas más destacados de la velocidad del viento: a)agosto y b)diciembre.	23
14.	Mapas más destacados de la humedad relativa: a)enero y b)mayo.	24
15.	Mapas más destacados de la humedad relativa: a)agosto y b)diciembre.	25

16.	Mapas más destacados del WC-T: a)enero y b)mayo.	26
17.	Mapas más destacados del WC-T: a)agosto y b)diciembre.	27
18.	Mapas más destacados del HI-T: a)abril, b)julio y c)octubre.	28
19.	Diagramas de los datos globales: a)temperatura, b)velocidad del viento, c)humedad relativa, d)WC-T y e)HI-T.	40
20.	Diagramas de la temperatura: a)enero, b)febrero, c)marzo, d)abril, e)mayo, f)junio, g)julio, h)agosto, i)septiembre, j)octubre, k)noviembre, l)diciembre y m)evolución por meses.	42
21.	Diagramas de la velocidad del viento: a)enero, b)febrero, c)marzo, d)abril, e)mayo, f)junio, g)julio, h)agosto, i)septiembre, j)octubre, k)noviembre, l)diciembre y m)evolución por meses.	45
22.	Diagramas de la humedad relativa: a)enero, b)febrero, c)marzo, d)abril, e)mayo, f)junio, g)julio, h)agosto, i)septiembre, j)octubre, k)noviembre, l)diciembre y m)evolución por meses.	47
23.	Diagramas del WC-T: a)enero, b)febrero, c)marzo, d)abril, e)mayo, f)junio, g)julio, h)agosto, i)septiembre, j)octubre, k)noviembre, l)diciembre y m)evolución por meses.	49
24.	Diagramas del HI-T: a)marzo, b)abril, c)mayo, d)junio, e)julio, f)agosto, g)septiembre, h)octubre y i)evolución por meses.	51
25.	Mapas de los datos globales: a)temperatura, b)velocidad del viento, c)humedad relativa, d)WC-T y e)HI-T.	52
26.	Mapas de la temperatura: a)enero, b)febrero, c)marzo, d)abril, e)mayo, f)junio, g)julio, h)agosto, i)septiembre, j)octubre, k)noviembre y l)diciembre.	54
27.	Mapas de la velocidad del viento: a)enero, b)febrero, c)marzo, d)abril, e)mayo, f)junio, g)julio, h)agosto, i)septiembre, j)octubre, k)noviembre y l)diciembre.	56
28.	Mapas de la humedad relativa: a)enero, b)febrero, c)marzo, d)abril, e)mayo, f)junio, g)julio, h)agosto, i)septiembre, j)octubre, k)noviembre y l)diciembre.	58
29.	Mapas del WC-T: a)enero, b)febrero, c)marzo, d)abril, e)mayo, f)junio, g)julio, h)agosto, i)septiembre, j)octubre, k)noviembre y l)diciembre.	60
30.	Mapas del HI-T: a)marzo, b)abril, c)mayo, d)junio, e)julio, f)agosto, g)septiembre y h)octubre.	62

7. Anexos

7.1. Cálculos estadísticos y diagramas de caja y bigotes

7.1.1. Tablas de cálculos estadísticos

- Datos globales:

Global	Mediana	Rango intercuartílico	Índice Yule-Kendall	Curtosis robusta
Temperatura (°C)	9,186	0,896	-0,118	0,217
Velocidad del aire (km/h)	3,440	1,032	0,030	0,254
Humedad relativa(%)	79,123	2,690	0,085	0,292
Wind Chill (°C)	-2,558	0,410	-0,009	0,261
Heat Index (°C)	0,563	0,067	0,118	0,226

Tabla 6: Estadísticos de los datos globales.

- Temperatura:

Meses	Mediana (°C)	Rango intercuartílico (°C)	Índice Yule-Kendall	Curtosis robusta
Enero	0,312	1,780	-0,013	0,263
Febrero	1,538	1,401	-0,117	0,236
Marzo	4,400	1,041	0,105	0,218
Abril	8,988	0,994	-0,032	0,243
Mayo	13,304	1,131	-0,142	0,260
Junio	16,179	1,195	-0,093	0,282
Julio	18,018	1,028	-0,068	0,236
Agosto	17,935	0,879	-0,060	0,232
Septiembre	14,016	1,036	-0,400	0,271
Octubre	9,454	0,908	-0,184	0,226
Noviembre	4,711	1,452	-0,199	0,255
Diciembre	0,895	1,527	-0,009	0,260

Tabla 7: Estadísticos de la temperatura.

■ Velocidad del viento:

Meses	Mediana (km/h)	Rango intercuartílico (km/h)	Índice Yule-Kendall	Curtosis robusta
Enero	4,003	1,290	-0,003	0,262
Febrero	4,079	1,288	0,015	0,261
Marzo	3,893	1,100	0,029	0,253
Abril	3,397	0,922	0,043	0,244
Mayo	3,205	0,862	0,045	0,241
Junio	3,019	0,878	0,062	0,237
Julio	3,089	0,872	0,025	0,247
Agosto	2,888	0,845	0,040	0,247
Septiembre	3,026	0,950	0,046	0,252
Octubre	3,323	1,117	0,035	0,259
Noviembre	3,505	1,145	0,025	0,258
Diciembre	3,863	1,194	-0,003	0,259

Tabla 8: Estadísticos de la velocidad del viento.

■ Humedad relativa:

Meses	Mediana (%)	Rango intercuartílico (%)	Índice Yule-Kendall	Curtosis robusta
Enero	87,118	2,637	-0,129	0,268
Febrero	82,928	2,924	0,122	0,275
Marzo	77,791	2,935	0,131	0,258
Abril	71,037	3,079	0,016	0,268
Mayo	71,609	2,773	0,034	0,255
Junio	72,454	3,364	0,036	0,272
Julio	72,797	3,634	0,135	0,293
Agosto	73,533	3,591	0,029	0,268
Septiembre	79,204	3,076	0,070	0,294
Octubre	84,622	2,463	-0,068	0,262
Noviembre	88,650	2,528	-0,247	0,254
Diciembre	88,984	2,595	-0,131	0,273

Tabla 9: Estadísticos de la humedad relativa.

- Wind Chill:

Meses	Mediana (°C)	Rango intercuartílico (°C)	Índice Yule-Kendall	Curtosis robusta
Enero	-3,136	0,554	0,026	0,256
Febrero	-2,985	0,541	-0,019	0,261
Marzo	-2,589	0,453	-0,011	0,260
Abril	-1,951	0,342	-0,058	0,258
Mayo	-1,496	0,280	-0,081	0,252
Junio	-1,236	0,234	-0,067	0,260
Julio	-0,991	0,320	-0,020	0,253
Agosto	-0,999	0,298	-0,098	0,262
Septiembre	-1,342	0,230	0,021	0,248
Octubre	-1,790	0,322	-0,020	0,254
Noviembre	-2,273	0,413	0,011	0,254
Diciembre	-3,005	0,513	0,015	0,255

Tabla 10: Estadísticos del WC-T.

- Heat Index:

Meses	Mediana (°C)	Rango intercuartílico (°C)	Índice Yule-Kendall	Curtosis robusta
Marzo	0,443	0,115	-0,169	0,279
Abril	0,279	0,114	-0,028	0,259
Mayo	0,462	0,071	0,060	0,264
Junio	0,579	0,077	0,026	0,253
Julio	0,586	0,089	0,012	0,260
Agosto	0,562	0,078	0,115	0,231
Septiembre	0,522	0,081	0,035	0,281
Octubre	0,562	0,190	-0,002	0,252

Tabla 11: Estadísticos del HI-T.

7.1.2. Diagramas de caja y bigotes

- Datos globales:

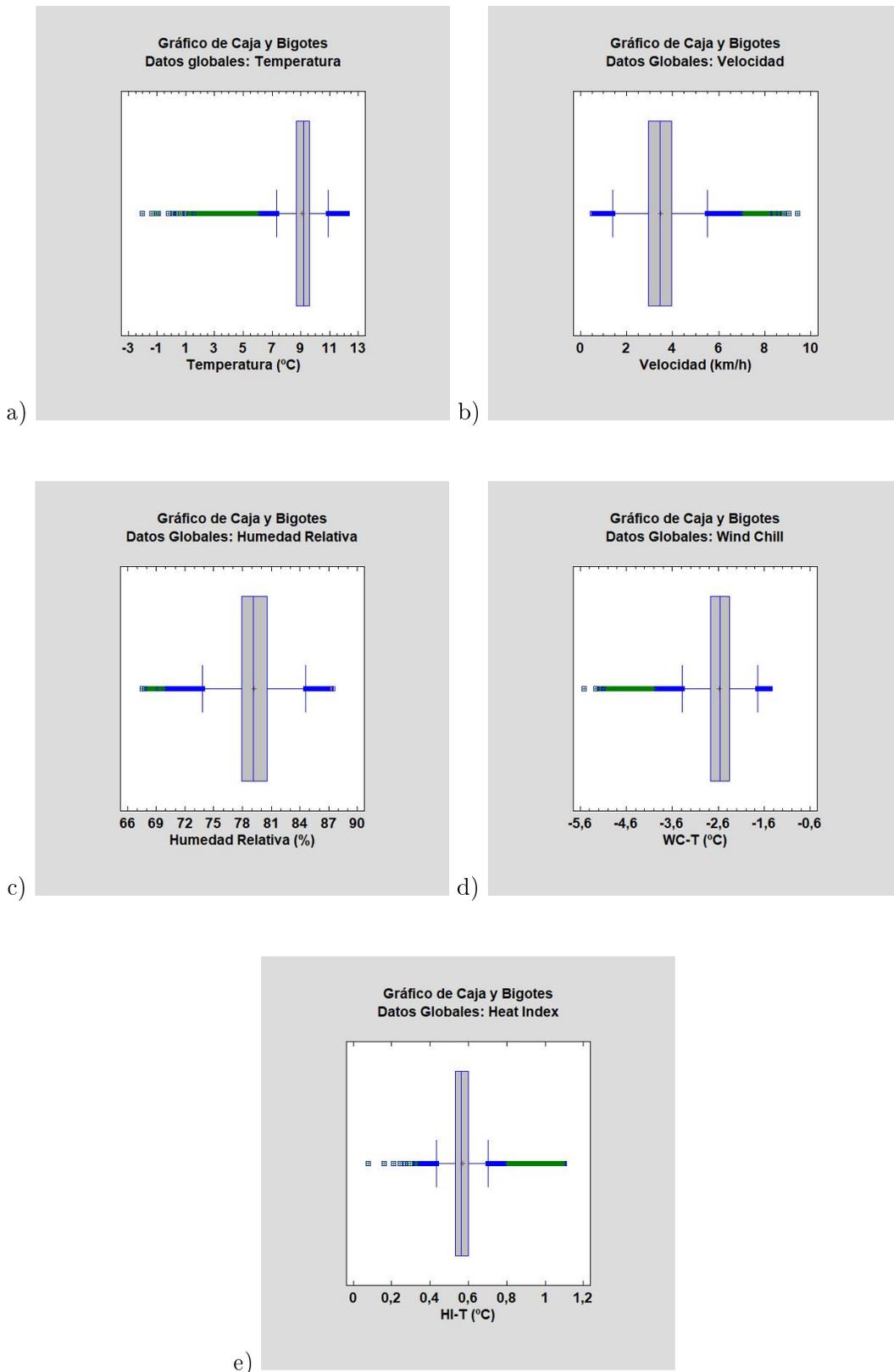
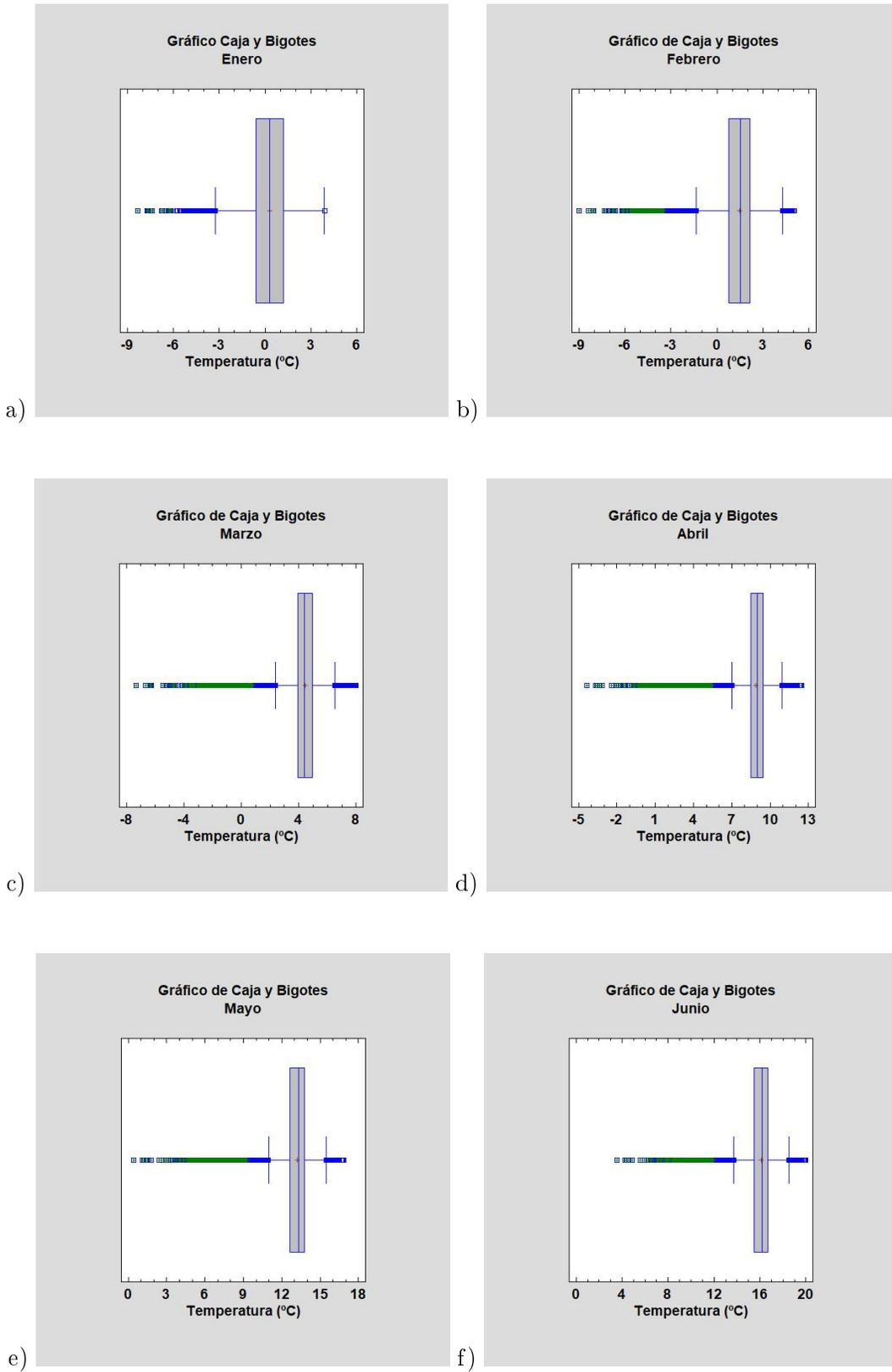
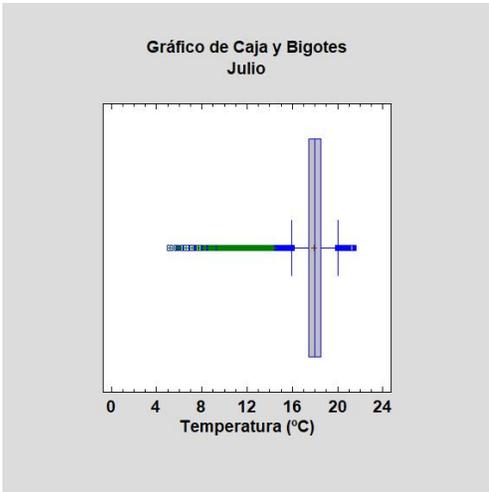


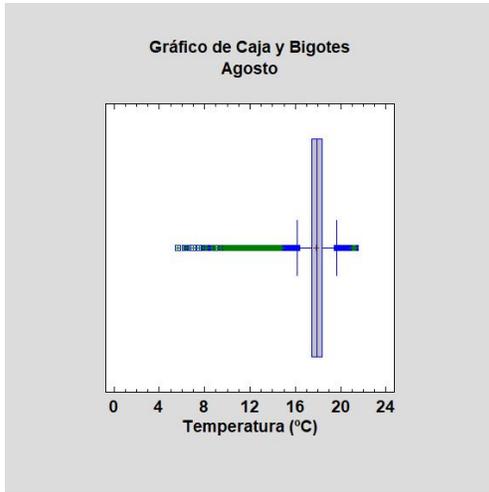
Figura 19: Diagramas de los datos globales: a)temperatura, b)velocidad del viento, c)humedad relativa, d)WC-T y e)HI-T.

■ Temperatura:

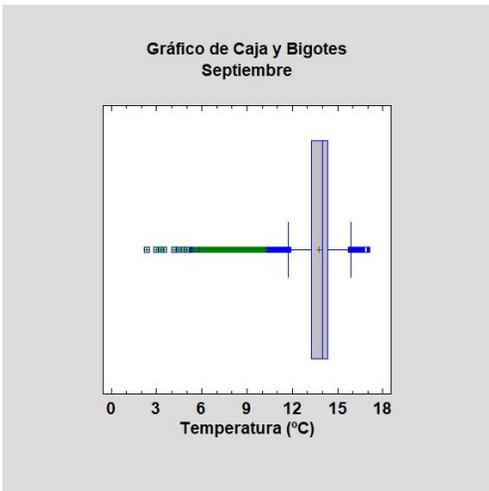




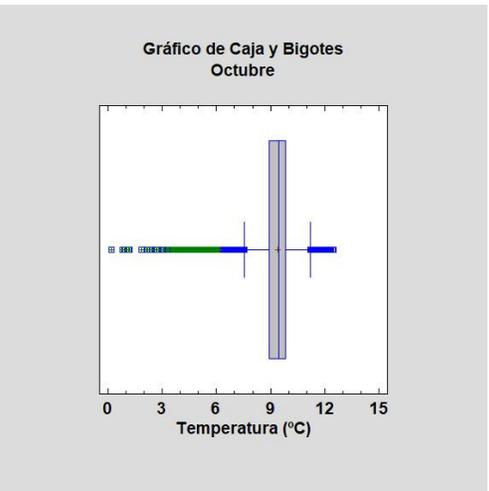
g)



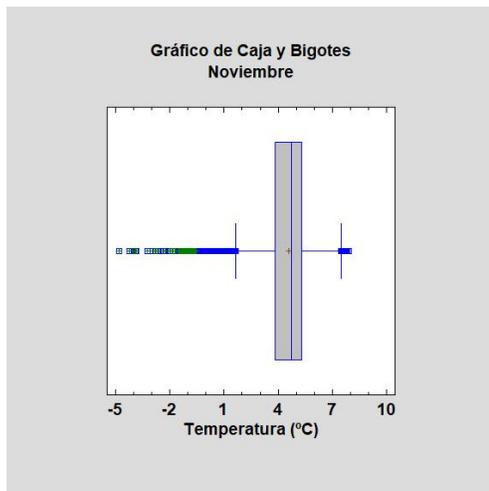
h)



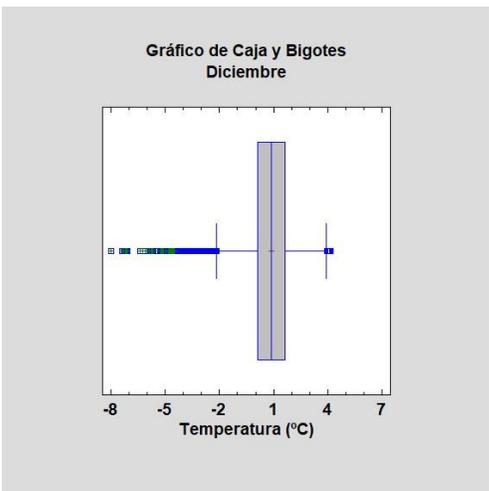
i)



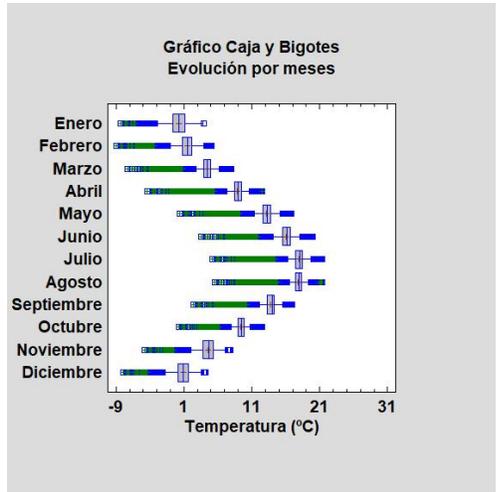
j)



k)



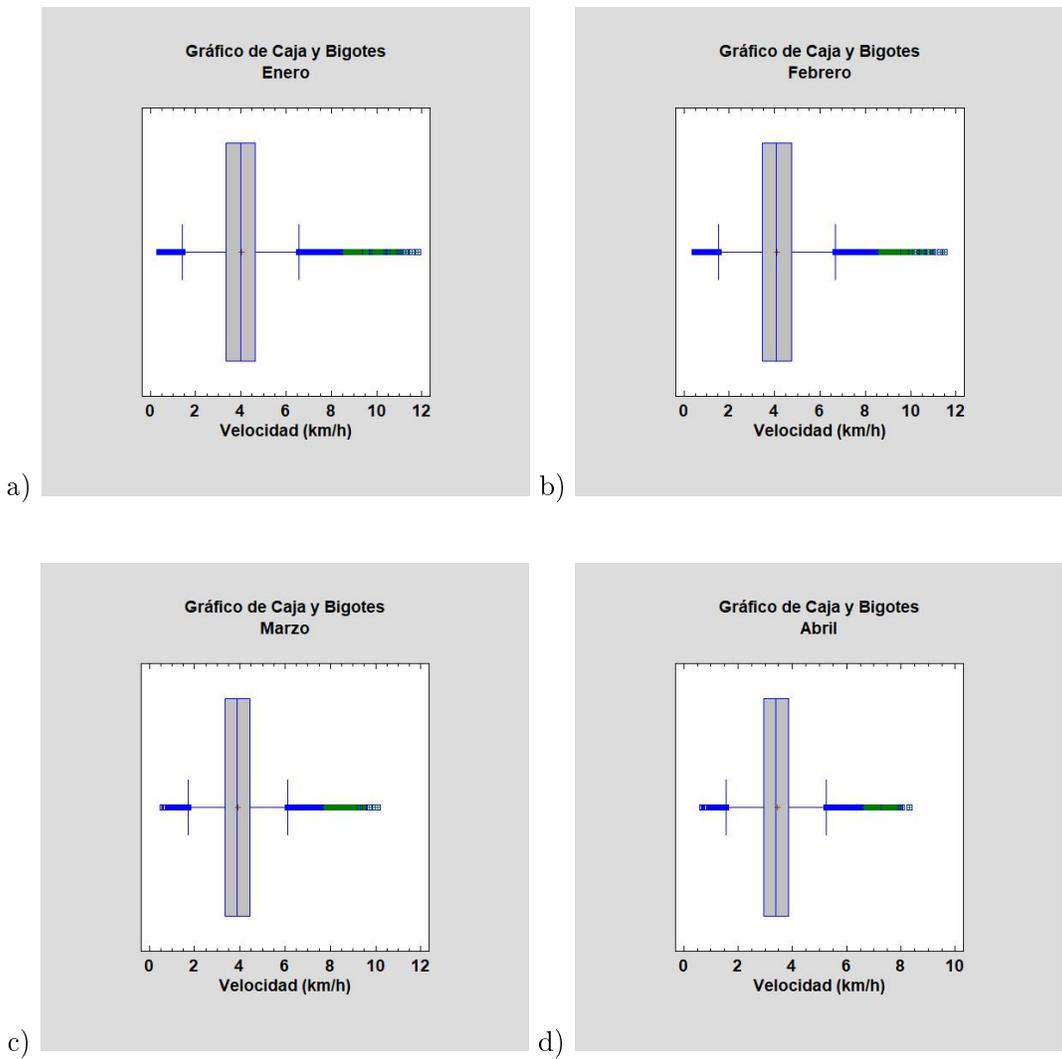
l)



m)

Figura 20: Diagramas de la temperatura: a)enero, b)febrero, c)marzo, d)abril, e)mayo, f)junio, g)julio, h)agosto, i)septiembre, j)octubre, k)noviembre, l)diciembre y m)evolución por meses.

- Velocidad del viento:

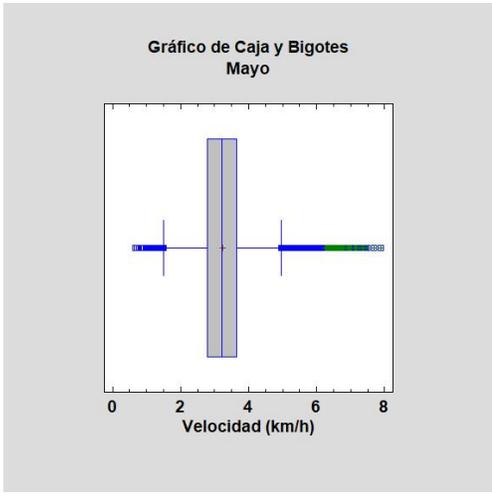


a)

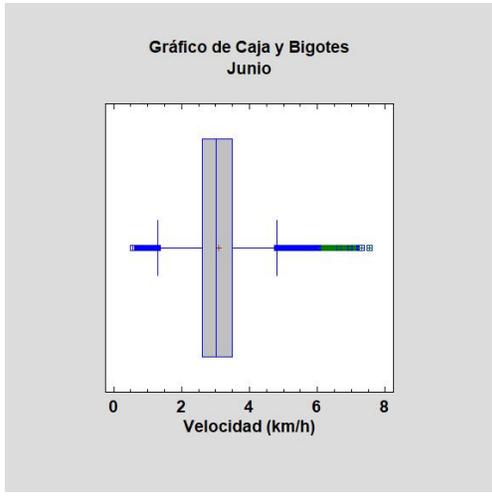
b)

c)

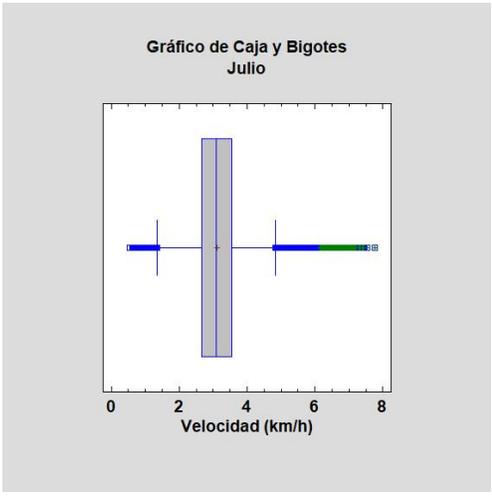
d)



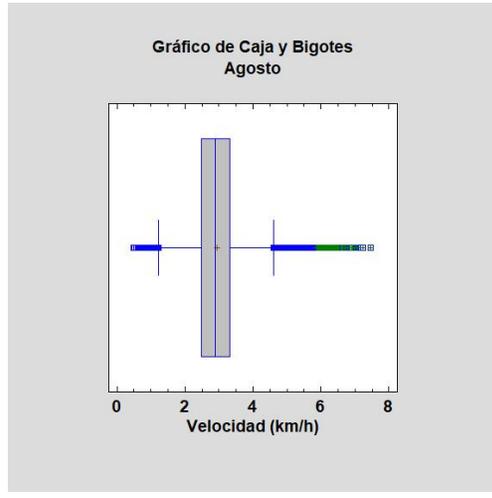
e)



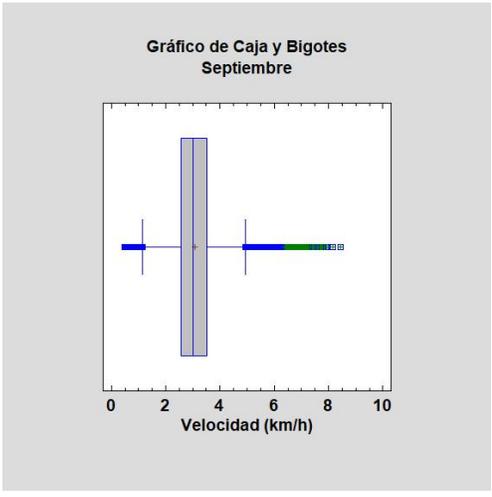
f)



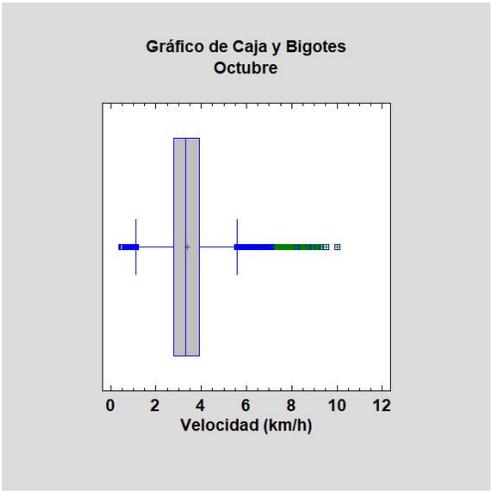
g)



h)



i)



j)

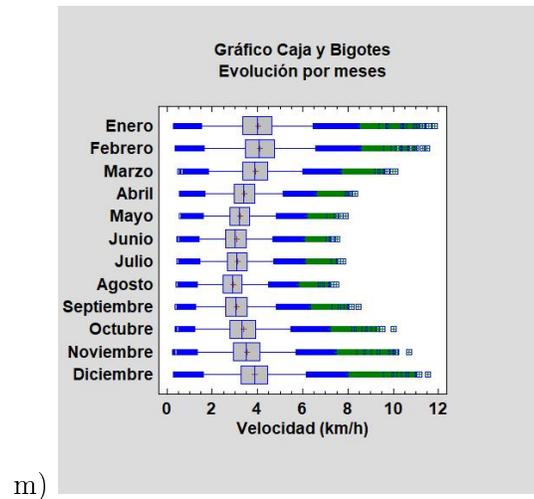
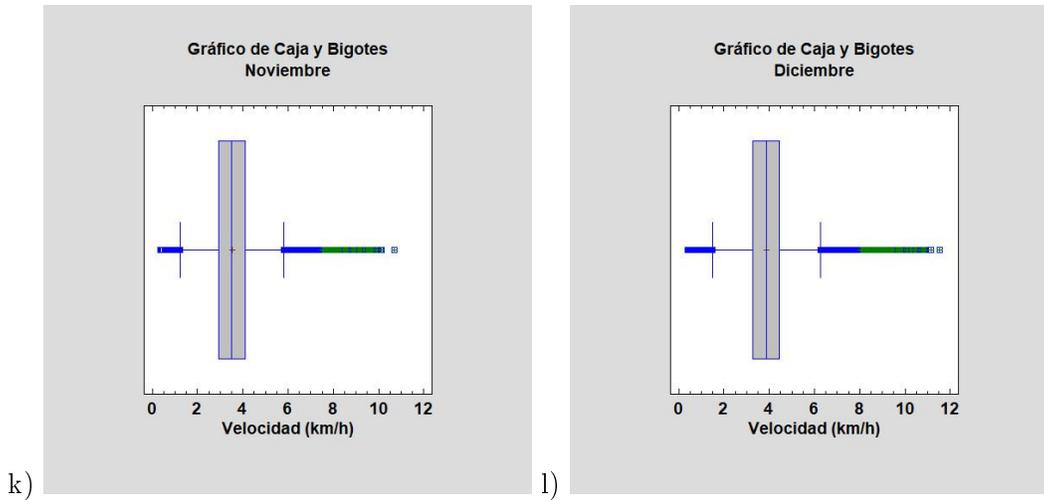
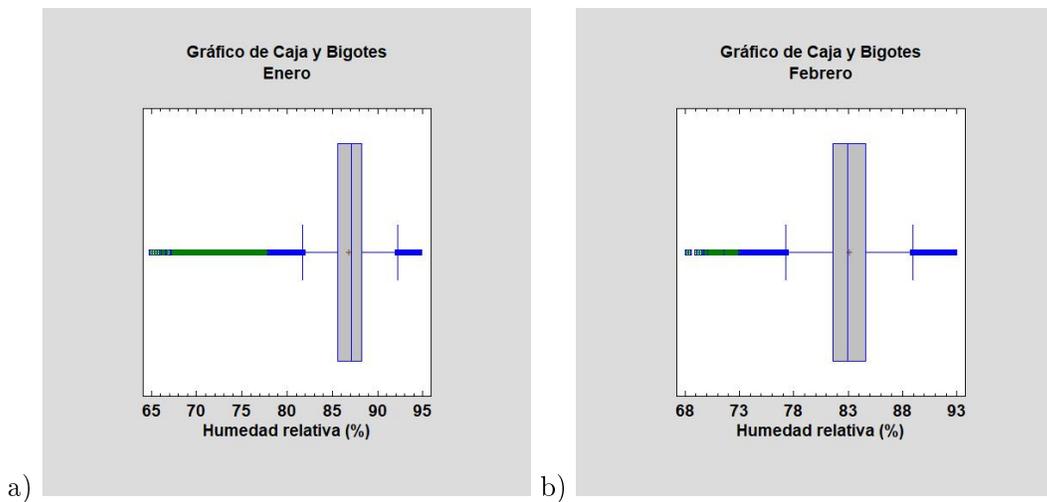
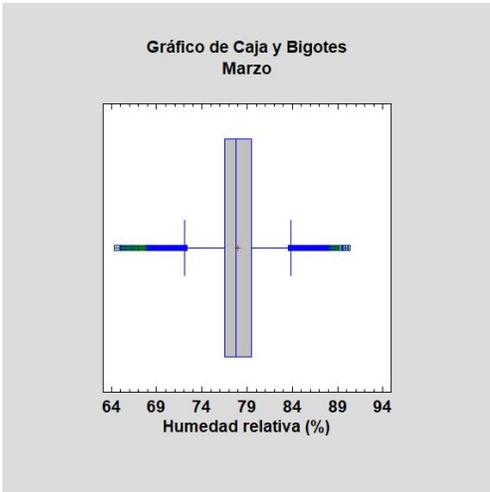


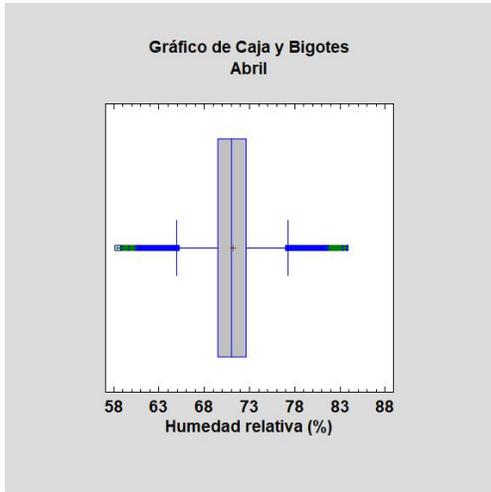
Figura 21: Diagramas de la velocidad del viento: a)enero, b)febrero, c)marzo, d)abril, e)mayo, f)junio, g)julio, h)agosto, i)septiembre, j)octubre, k)noviembre, l)diciembre y m)evolución por meses.

■ Humedad relativa:

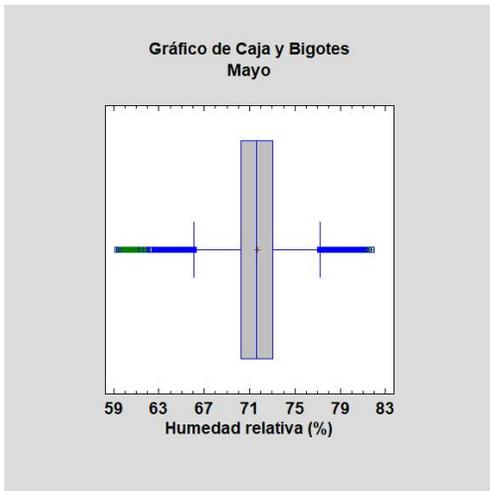




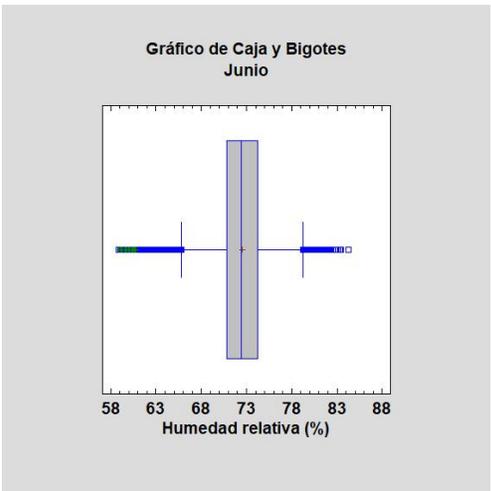
c)



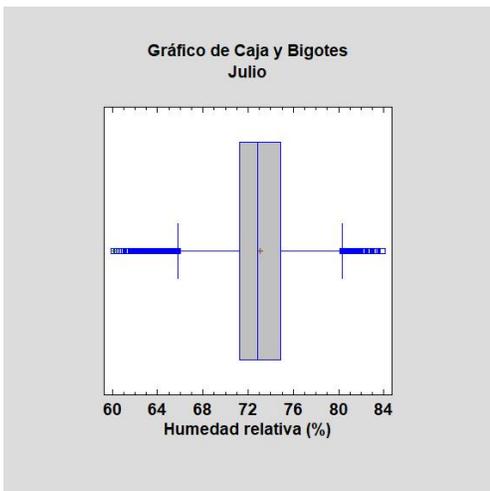
d)



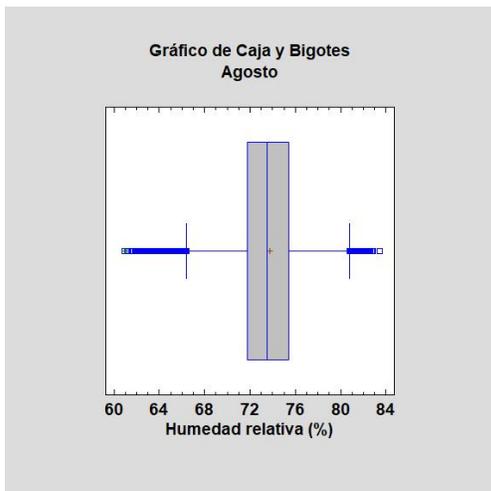
e)



f)



g)



h)

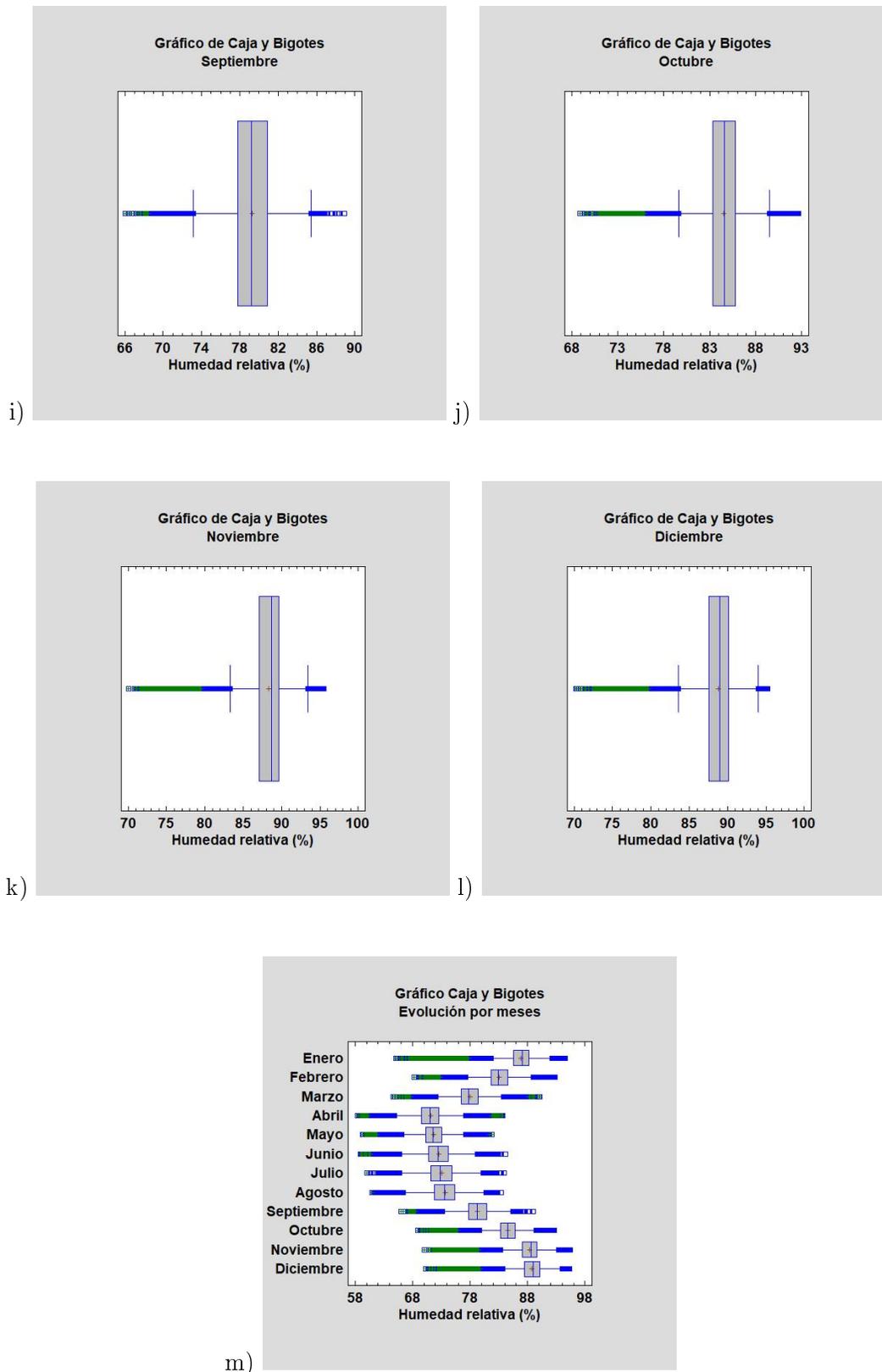
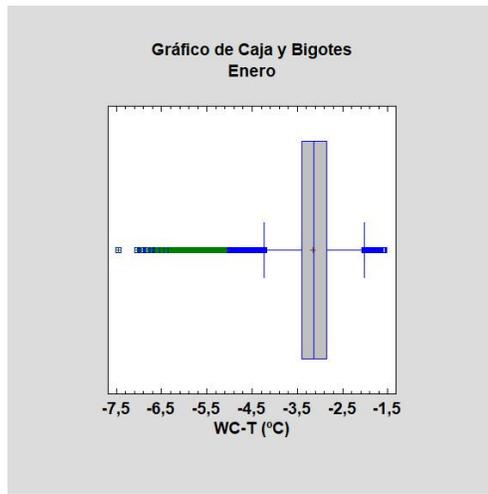
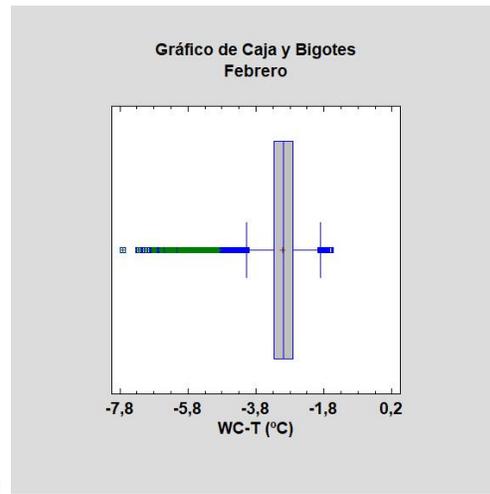


Figura 22: Diagramas de la humedad relativa: a)enero, b)febrero, c)marzo, d)abril, e)mayo, f)junio, g)julio, h)agosto, i)septiembre, j)octubre, k)noviembre, l)diciembre y m)evolución por meses.

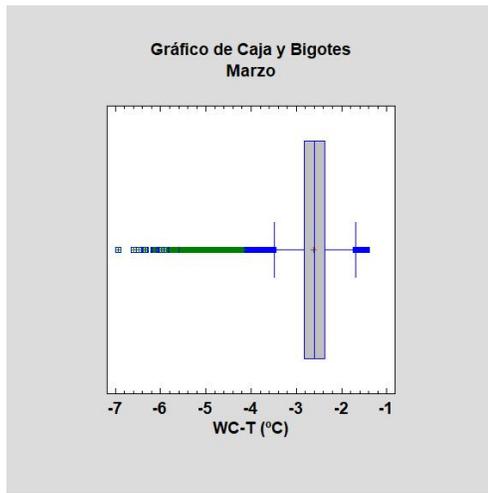
■ Wind Chill:



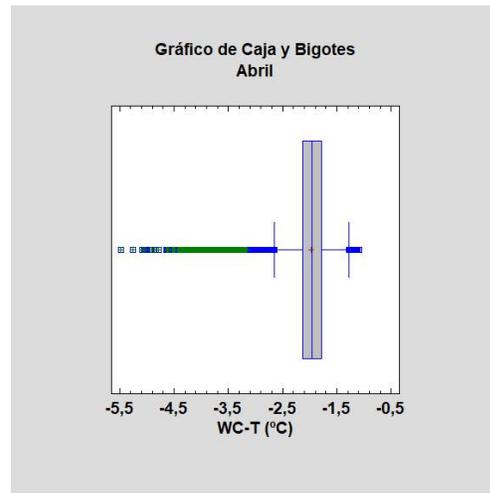
a)



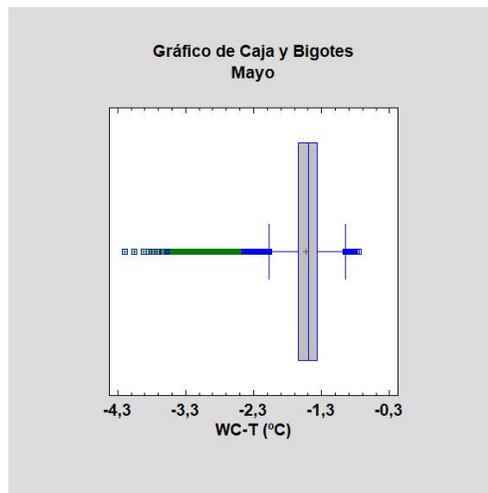
b)



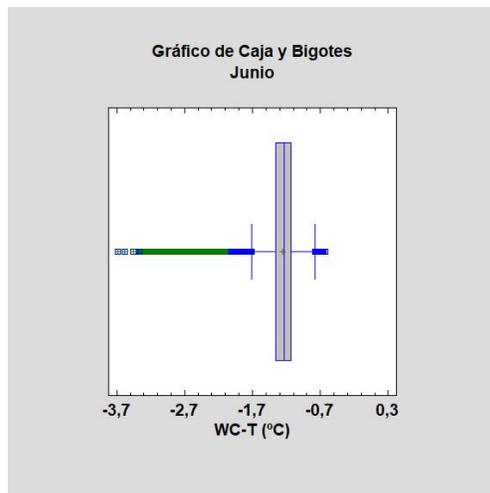
c)



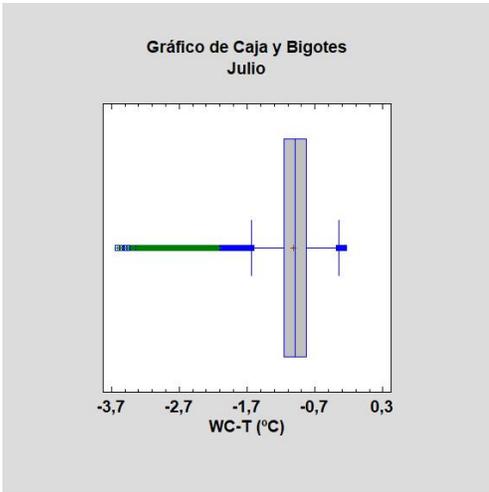
d)



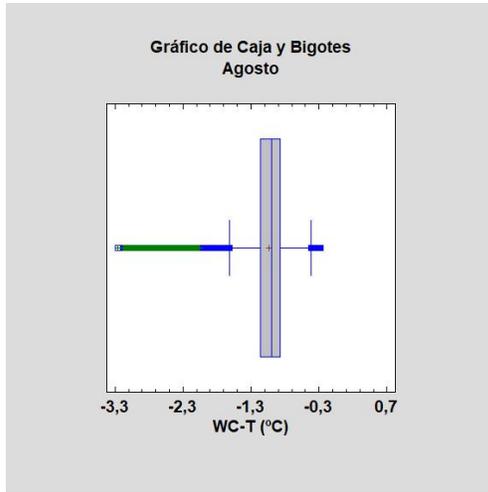
e)



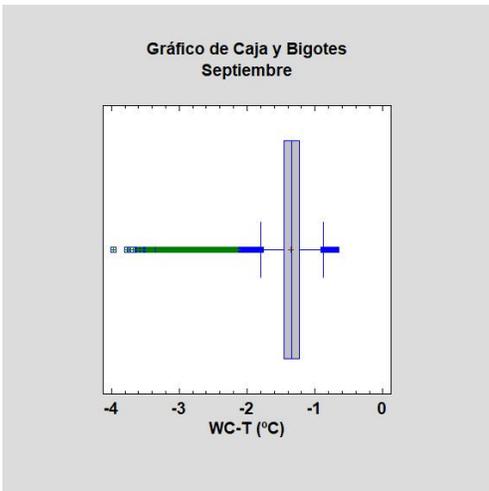
f)



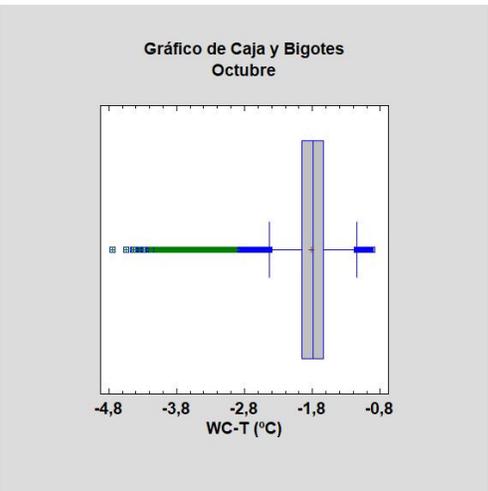
g)



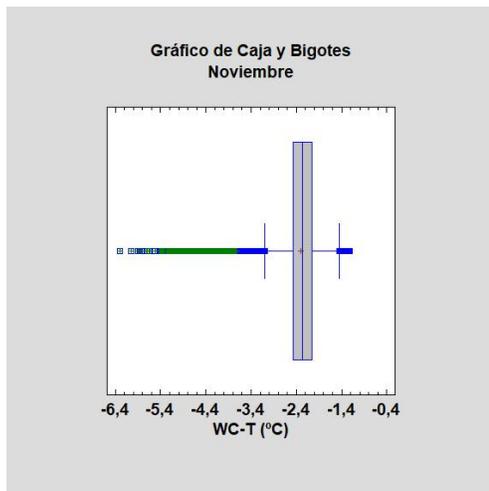
h)



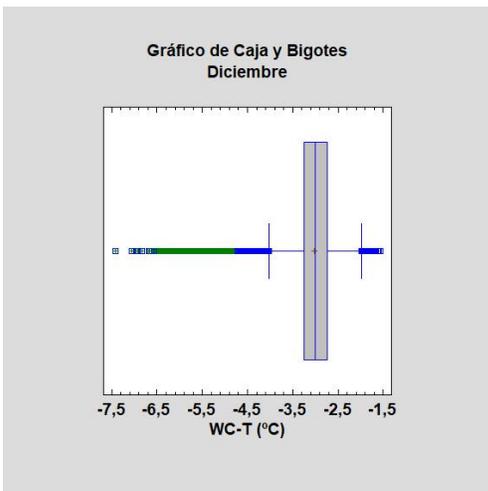
i)



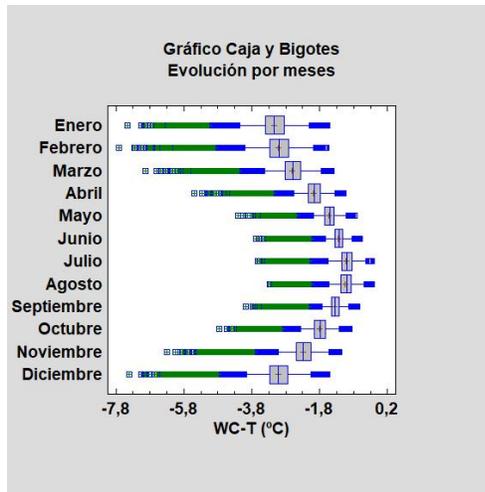
j)



k)



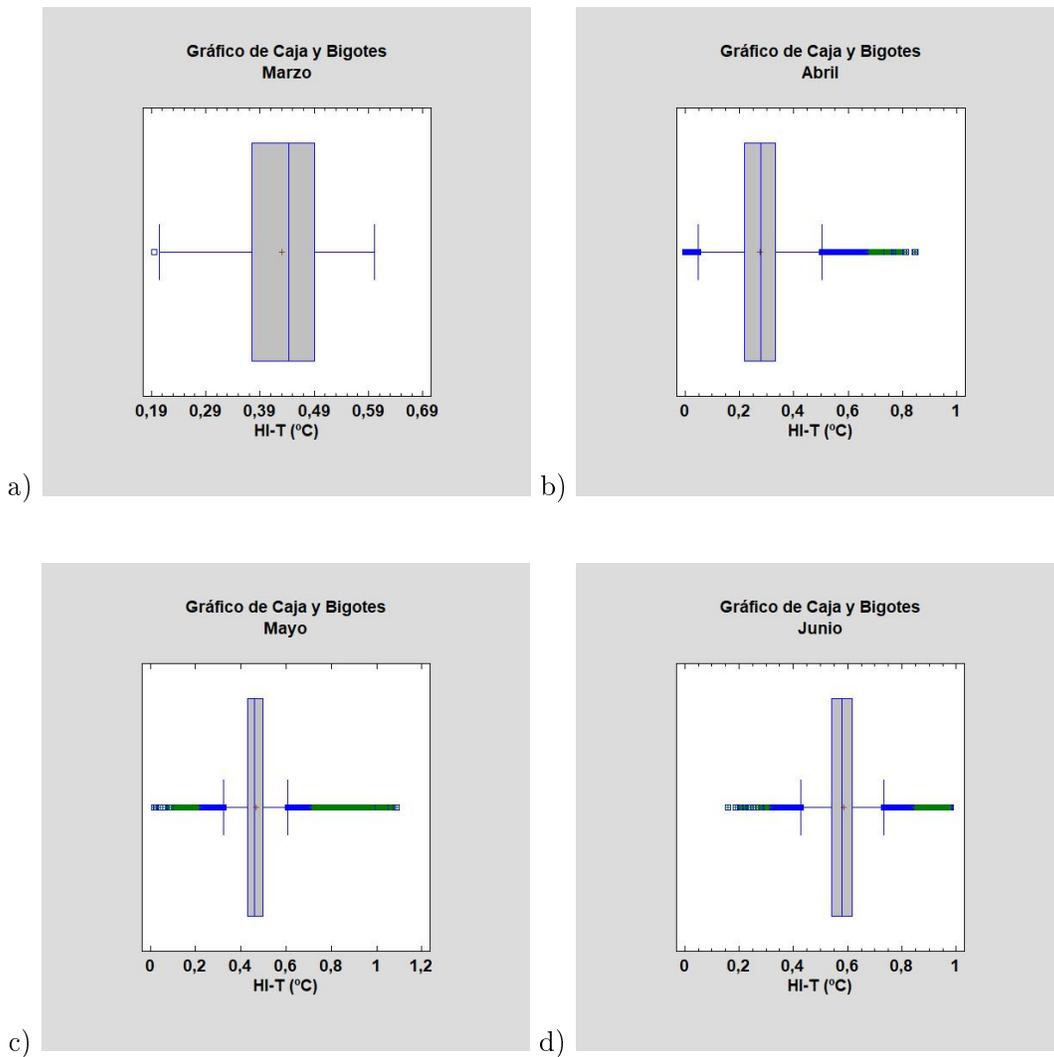
l)



m)

Figura 23: Diagramas del WC-T: a)enero, b)febrero, c)marzo, d)abril, e)mayo, f)junio, g)julio, h)agosto, i)septiembre, j)octubre, k)noviembre, l)diciembre y m)evolución por meses.

■ Heat Index:



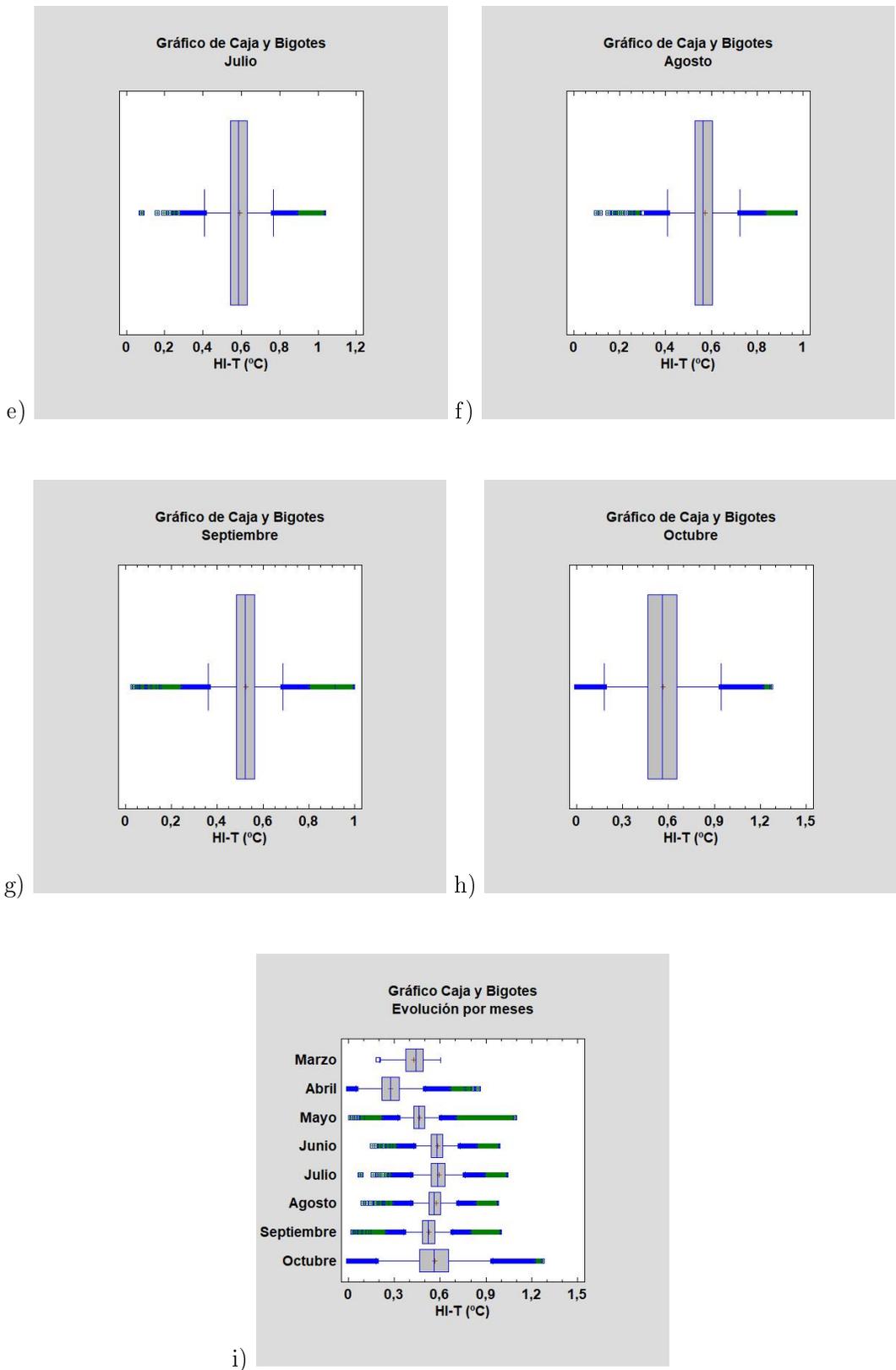
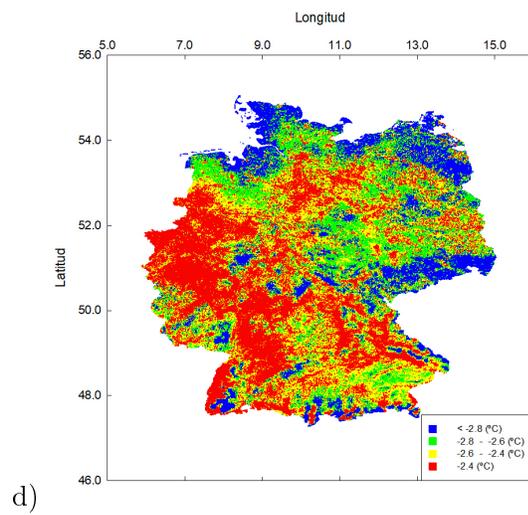
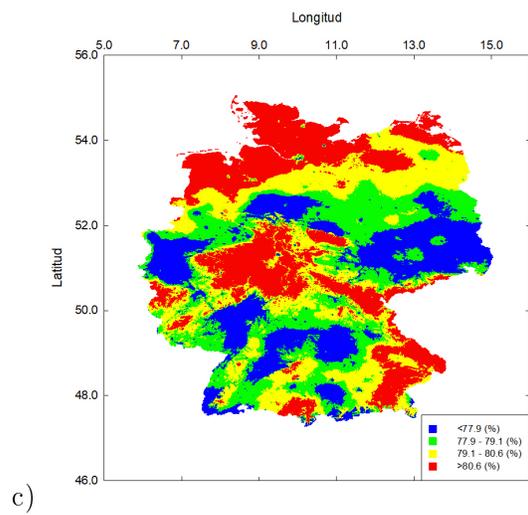
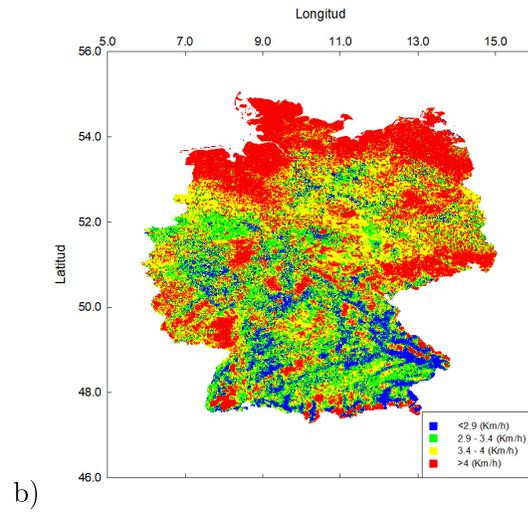
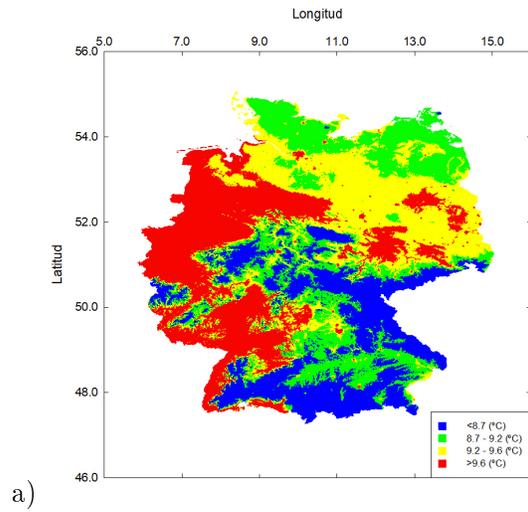


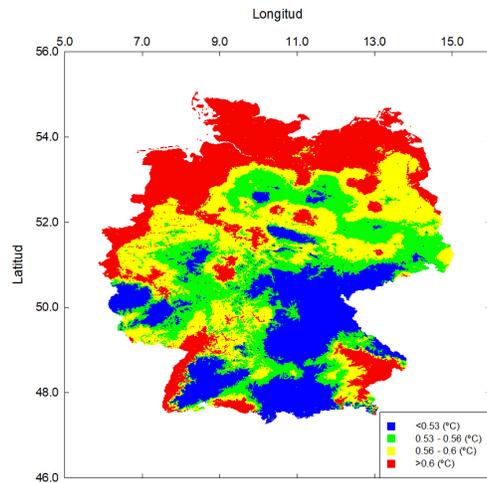
Figura 24: Diagramas del HI-T: a)marzo, b)abril, c)mayo, d)junio, e)julio, f)agosto, g)septiembre, h)octubre y i)evolución por meses.

7.2. Mapas de las variables

Con todos los mapas con longitud y latitud en °.

- Datos globales:

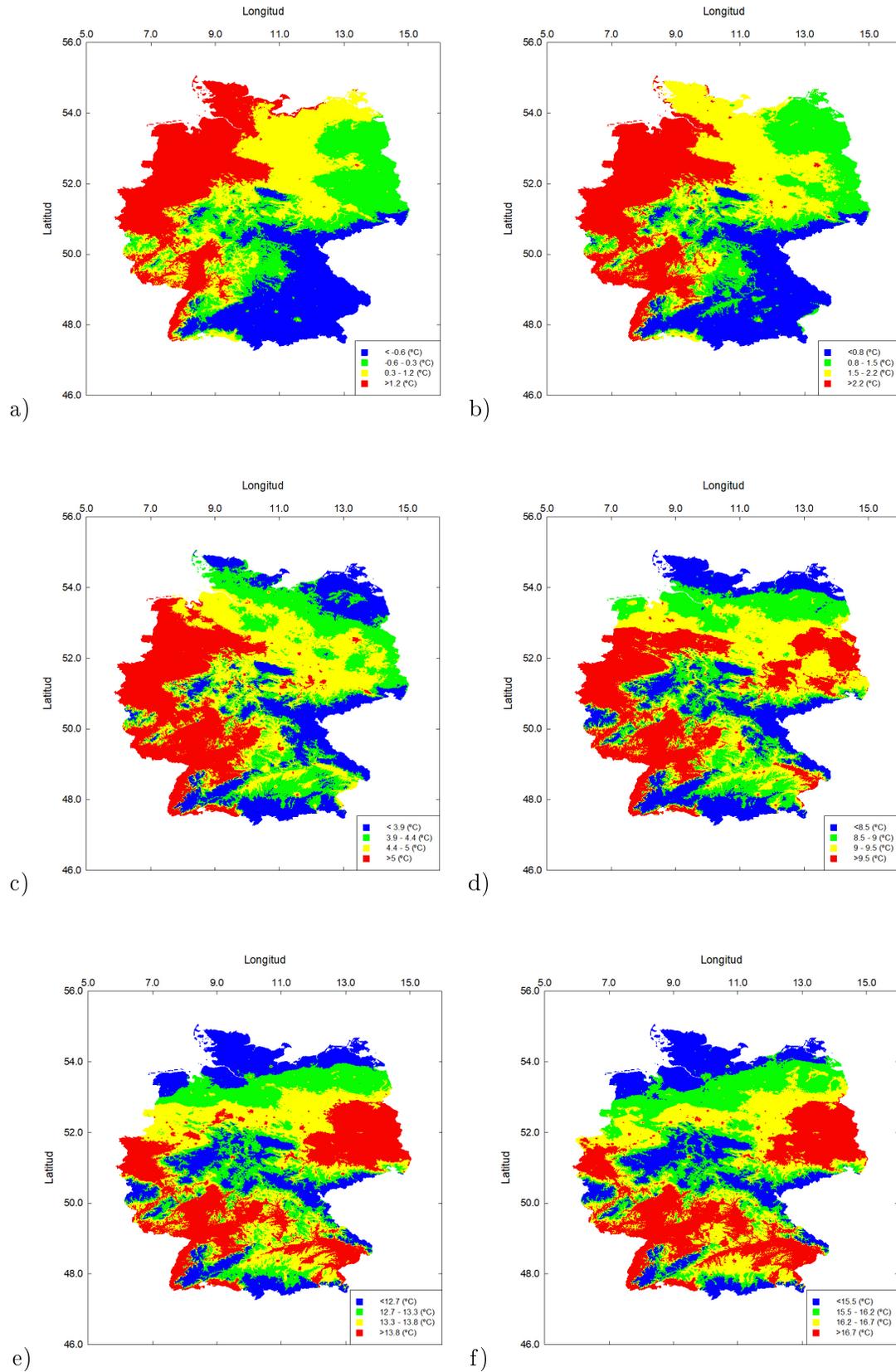




e)

Figura 25: Mapas de los datos globales: a)temperatura, b)velocidad del viento, c)humedad relativa, d)WC-T y e)HI-T.

■ Temperatura:



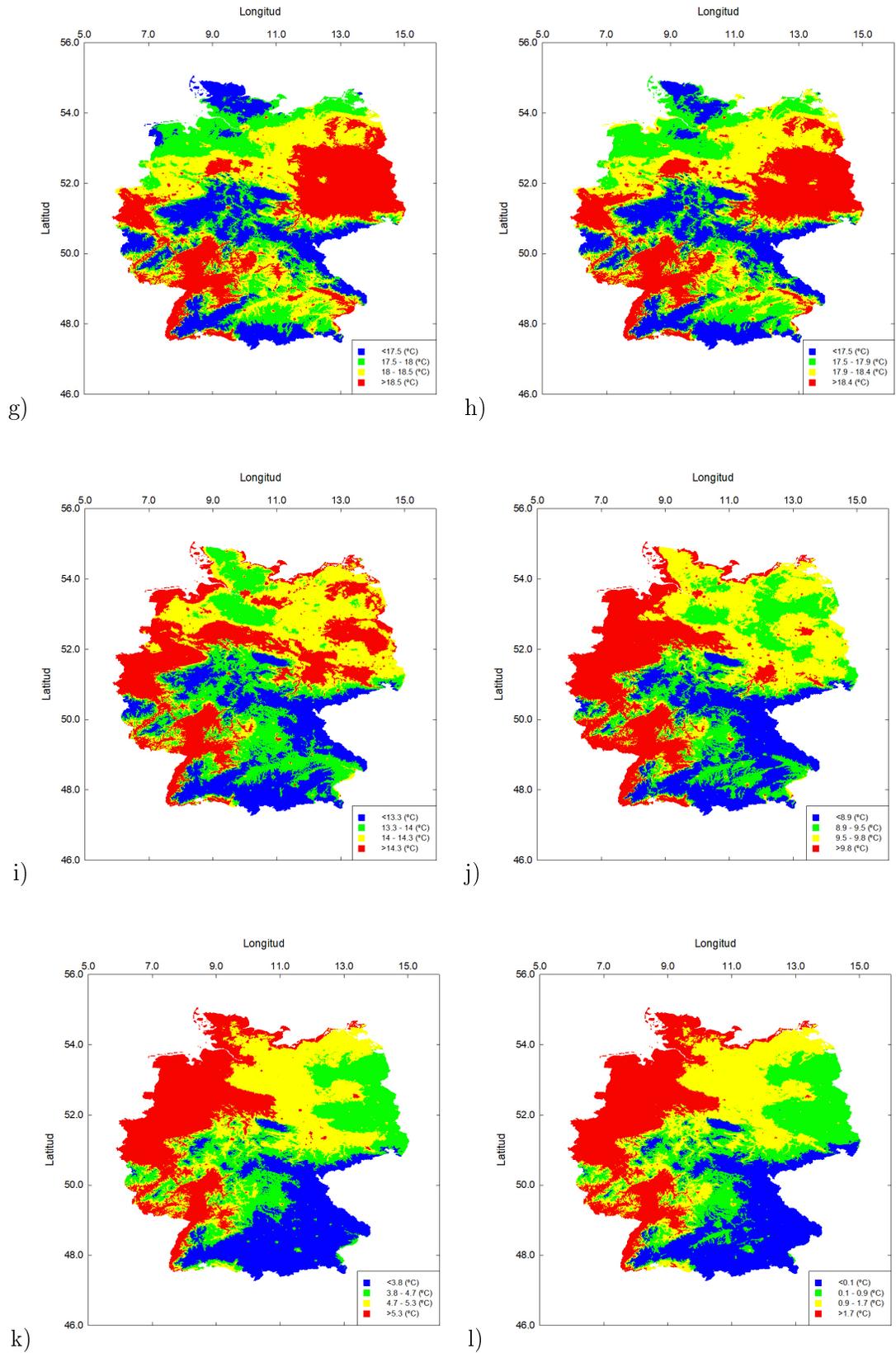
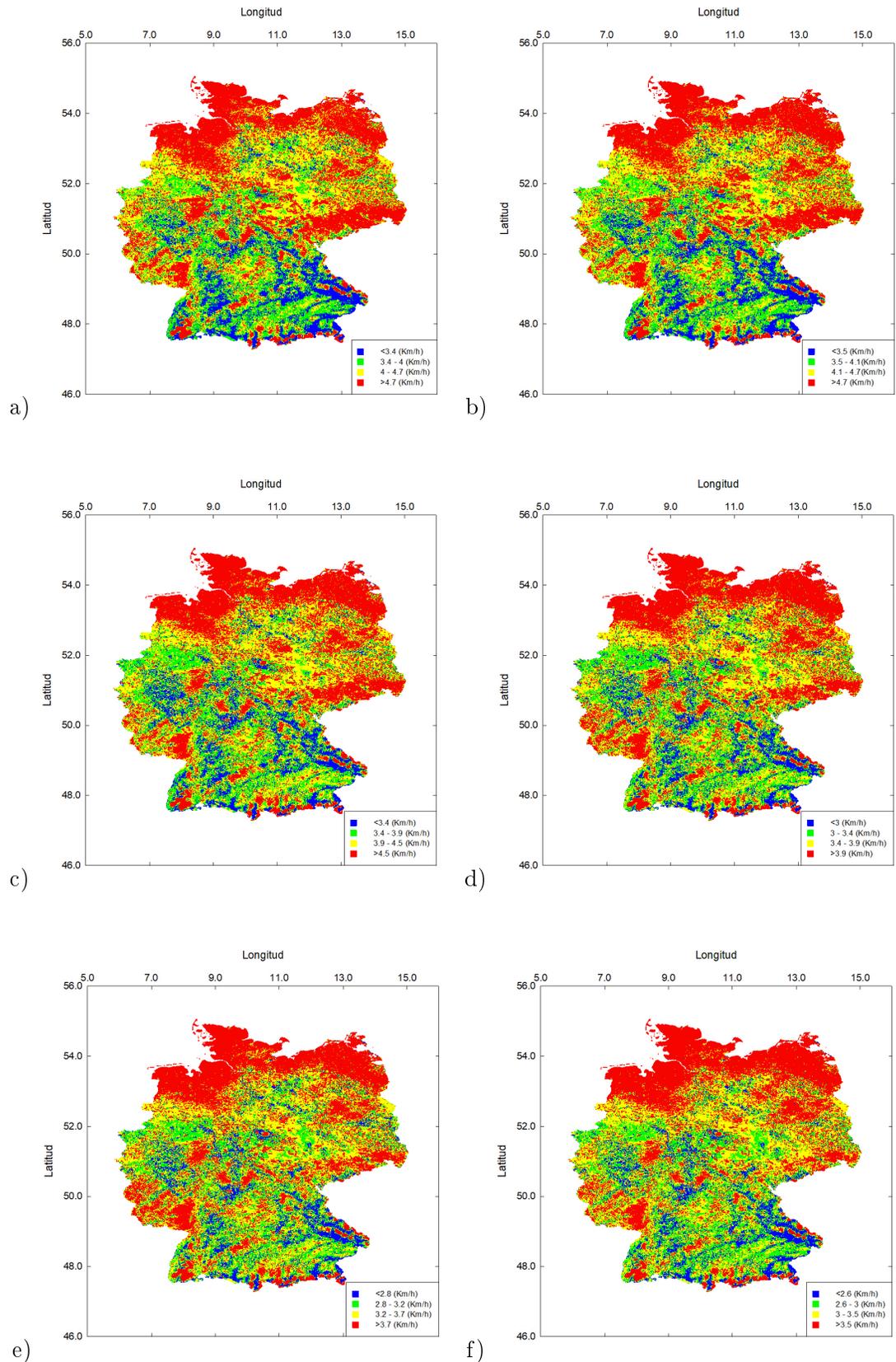


Figura 26: Mapas de la temperatura: a)enero, b)febrero, c)marzo, d)abril, e)mayo, f)junio, g)julio, h)agosto, i)septiembre, j)octubre, k)noviembre y l)diciembre.

■ Velocidad del viento:



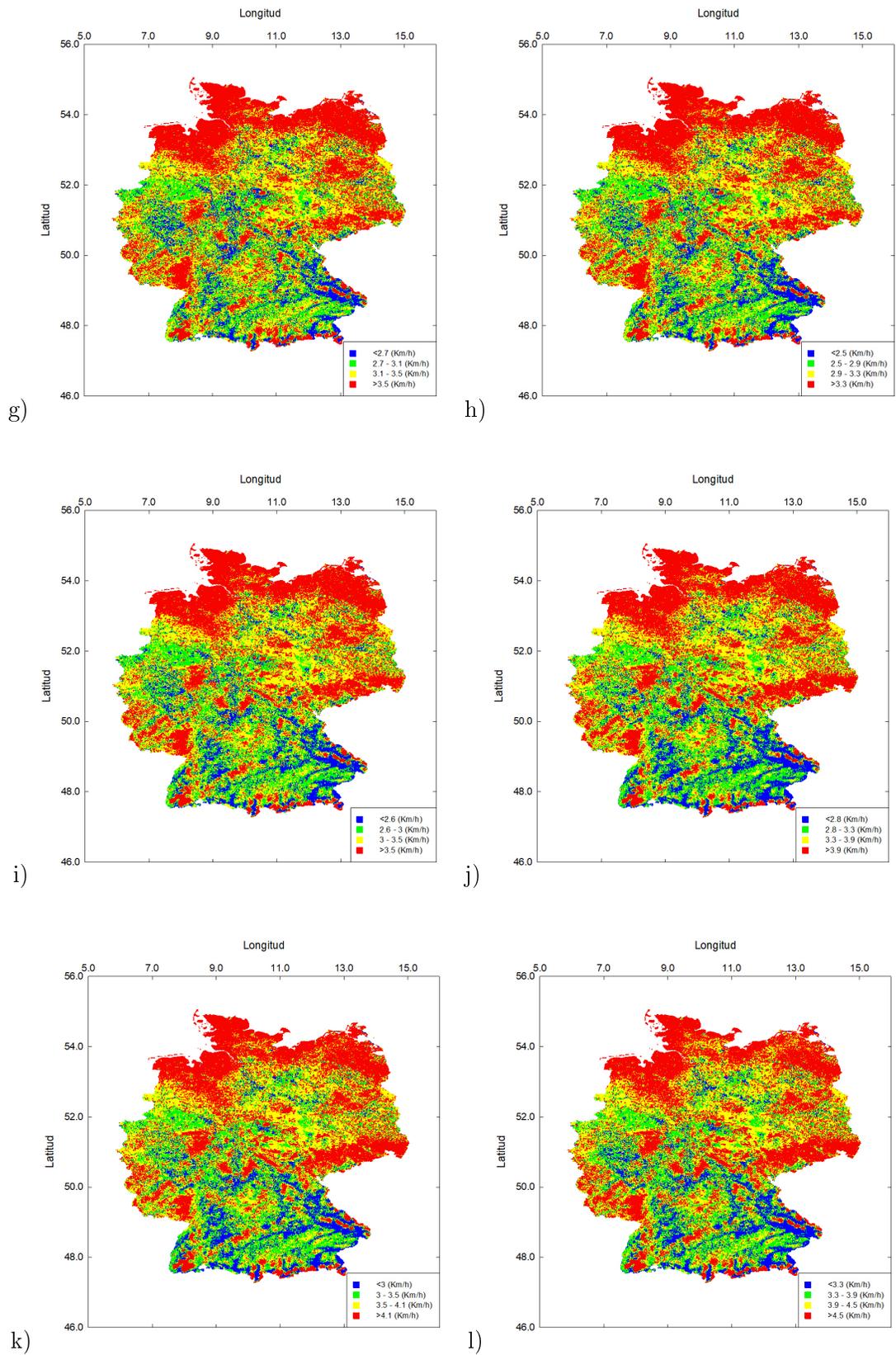
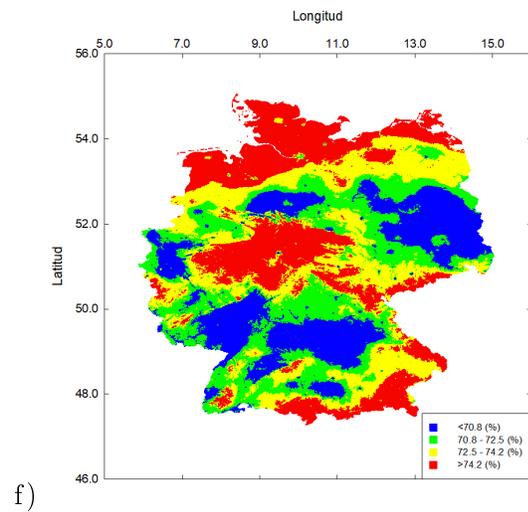
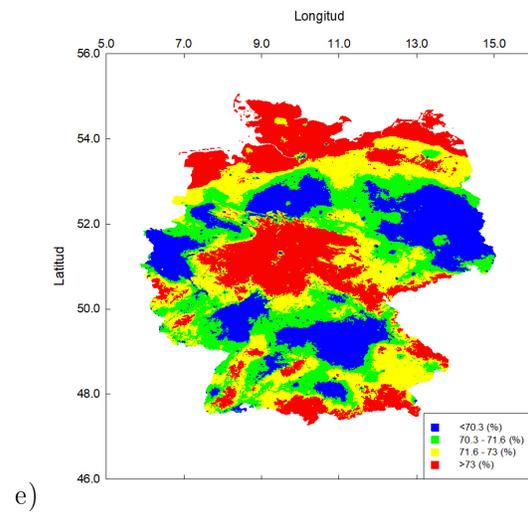
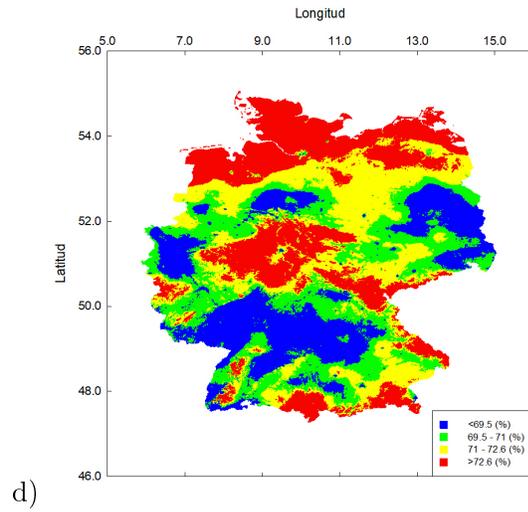
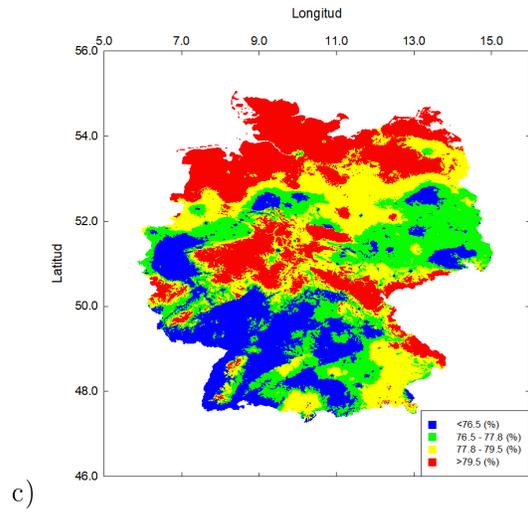
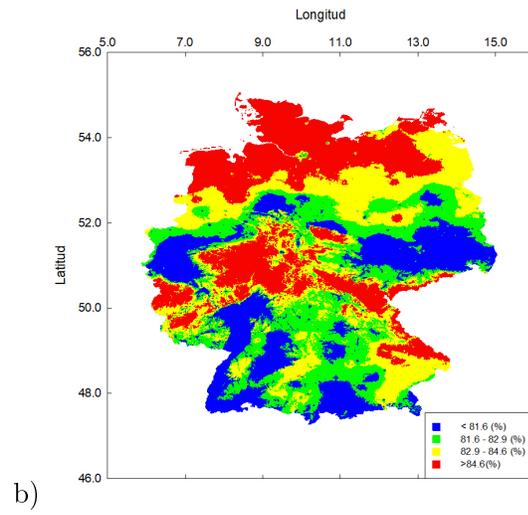
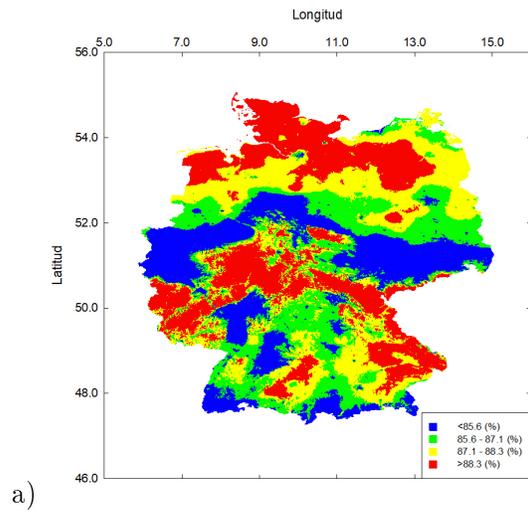


Figura 27: Mapas de la velocidad del viento: a)enero, b)febrero, c)marzo, d)abril, e)mayo, f)junio, g)julio, h)agosto, i)septiembre, j)octubre, k)noviembre y l)diciembre.

■ Humedad relativa:



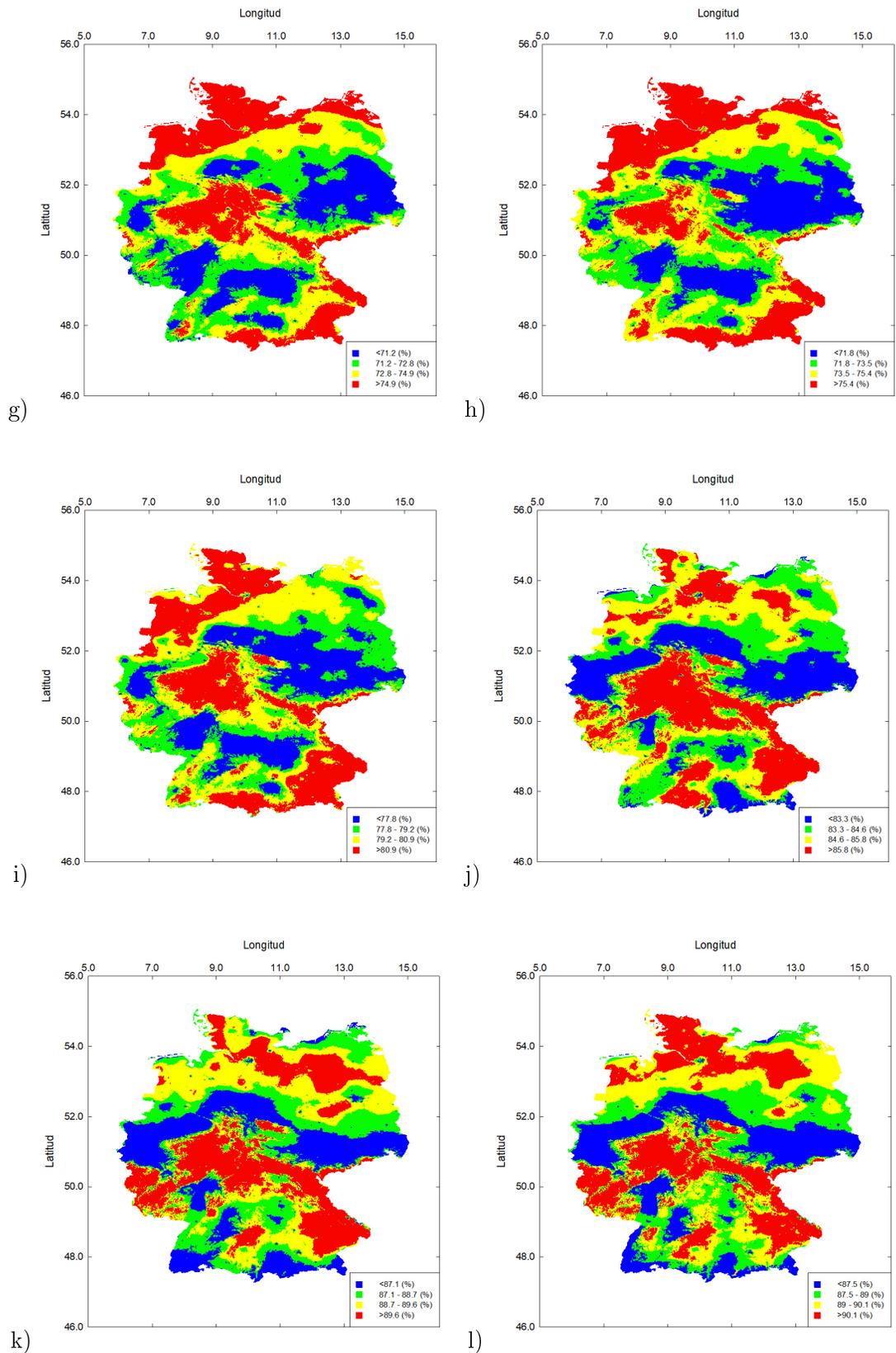
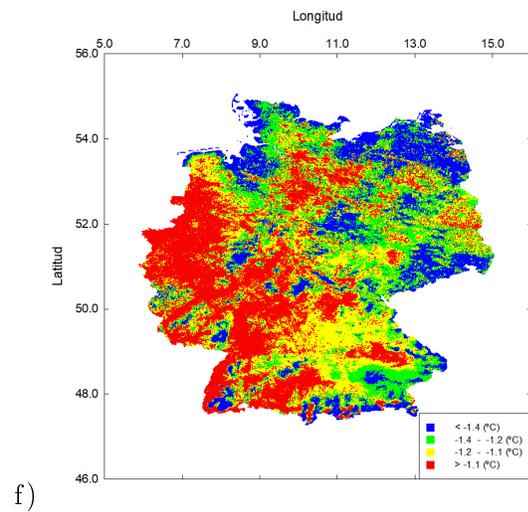
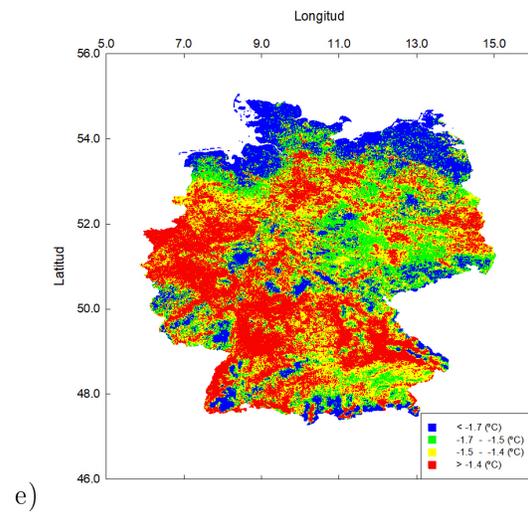
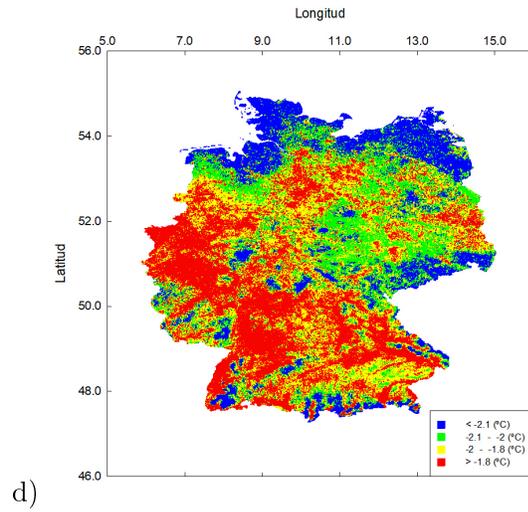
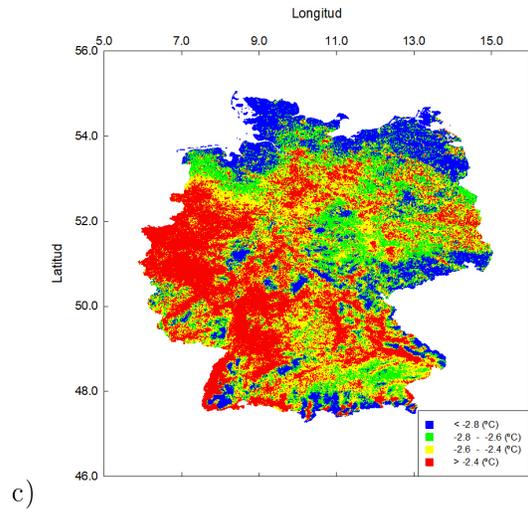
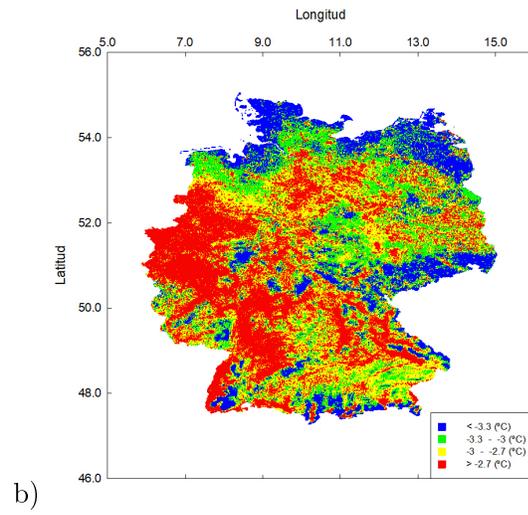
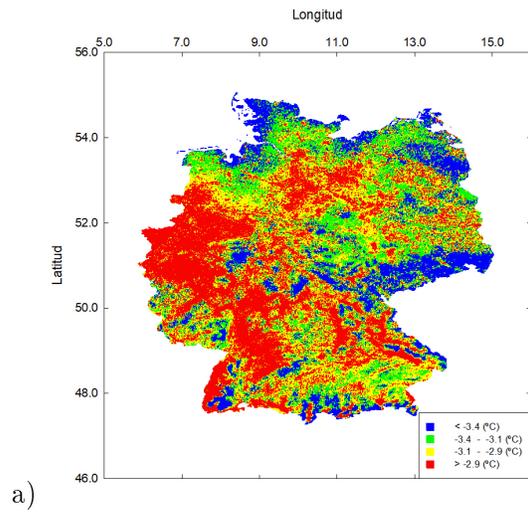


Figura 28: Mapas de la humedad relativa: a)enero, b)febrero, c)marzo, d)abril, e)mayo, f)junio, g)julio, h)agosto, i)septiembre, j)octubre, k)noviembre y l)diciembre.

■ Wind Chill:



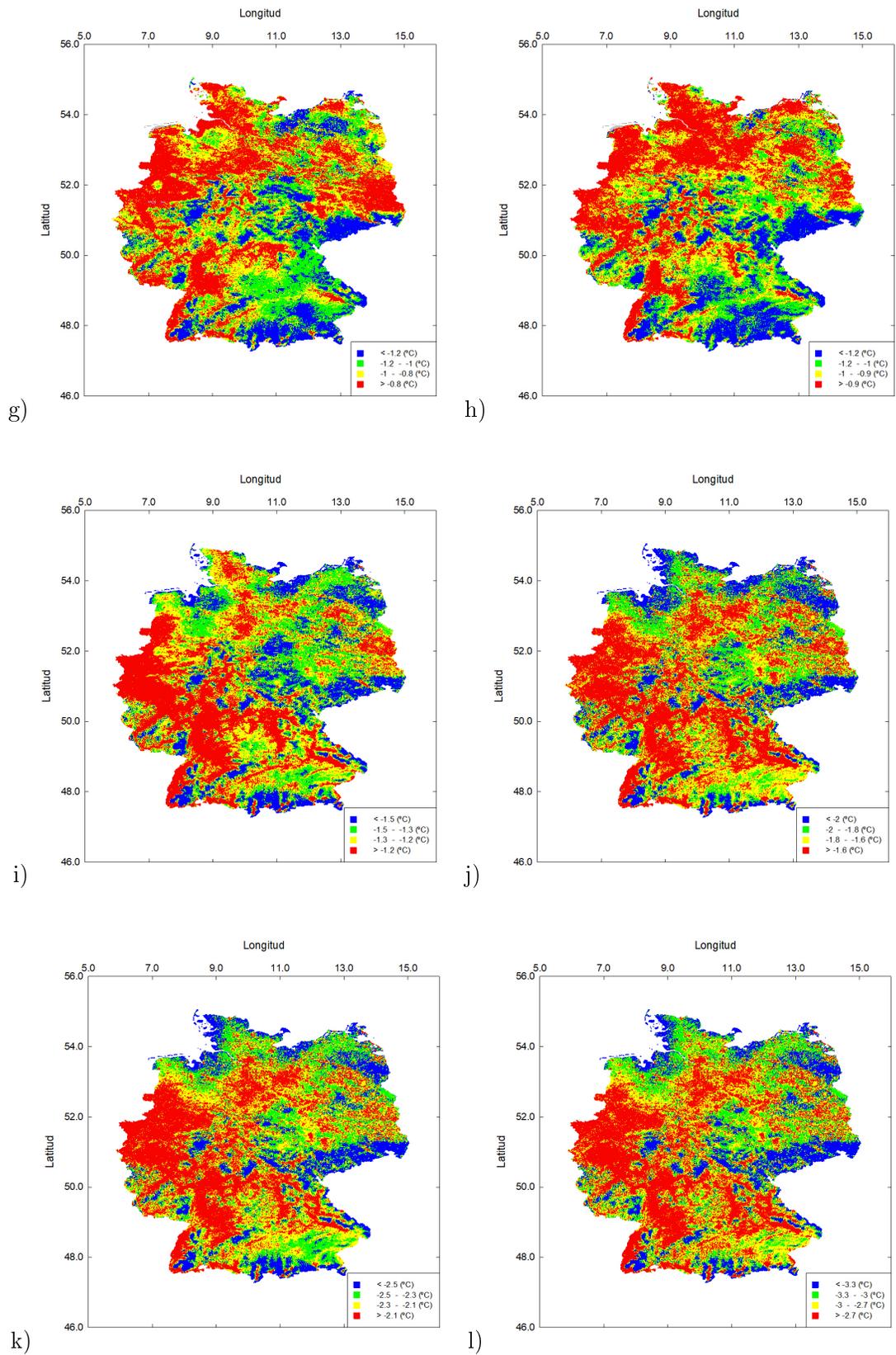
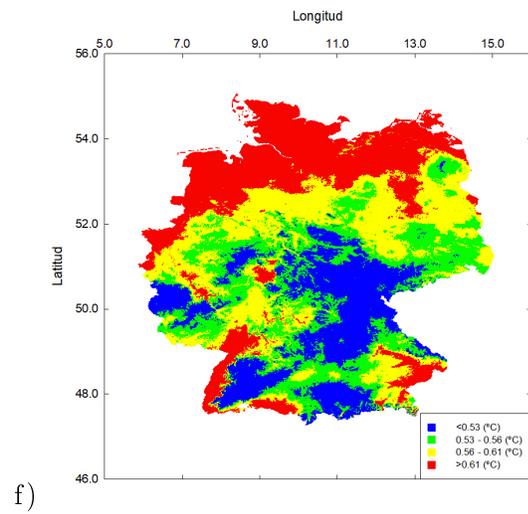
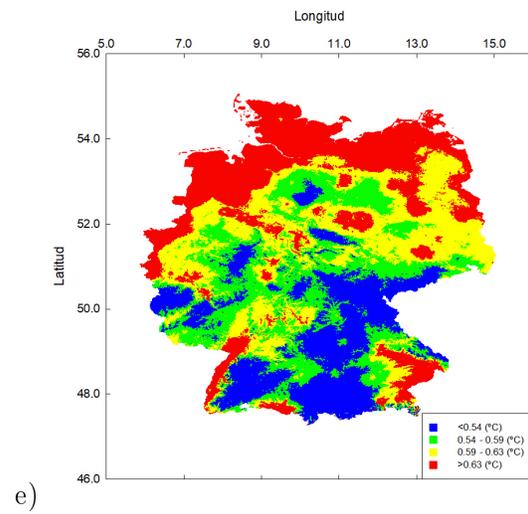
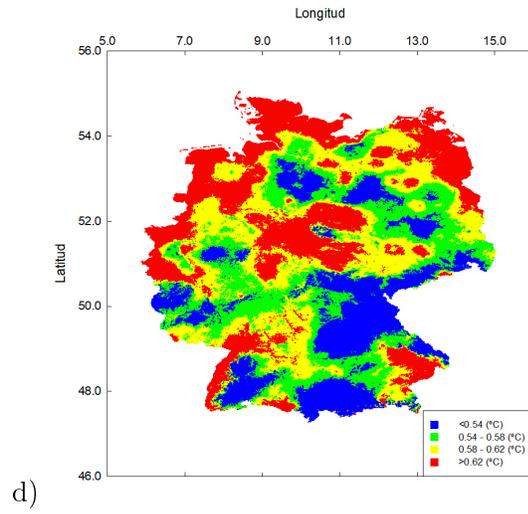
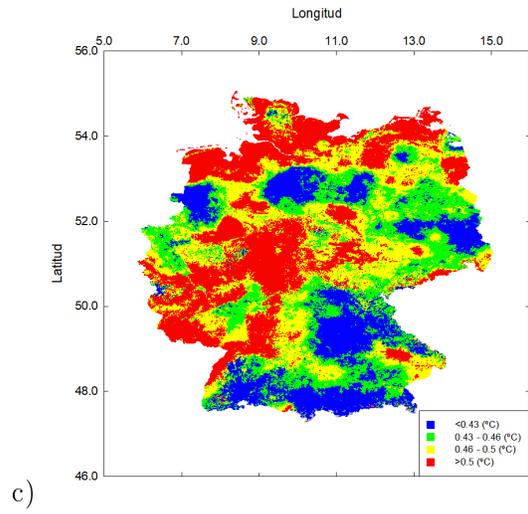
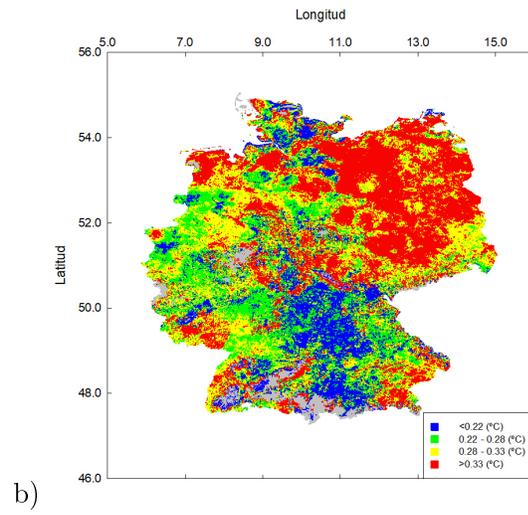
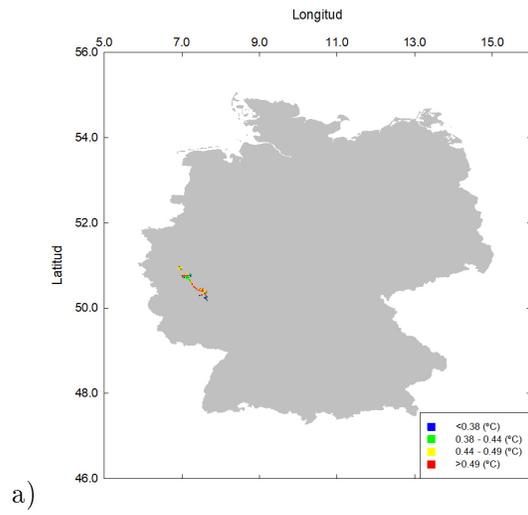


Figura 29: Mapas del WC-T: a)enero, b)febrero, c)marzo, d)abril, e)mayo, f)junio, g)julio, h)agosto, i)septiembre, j)octubre, k)noviembre y l)diciembre.

■ Heat Index:



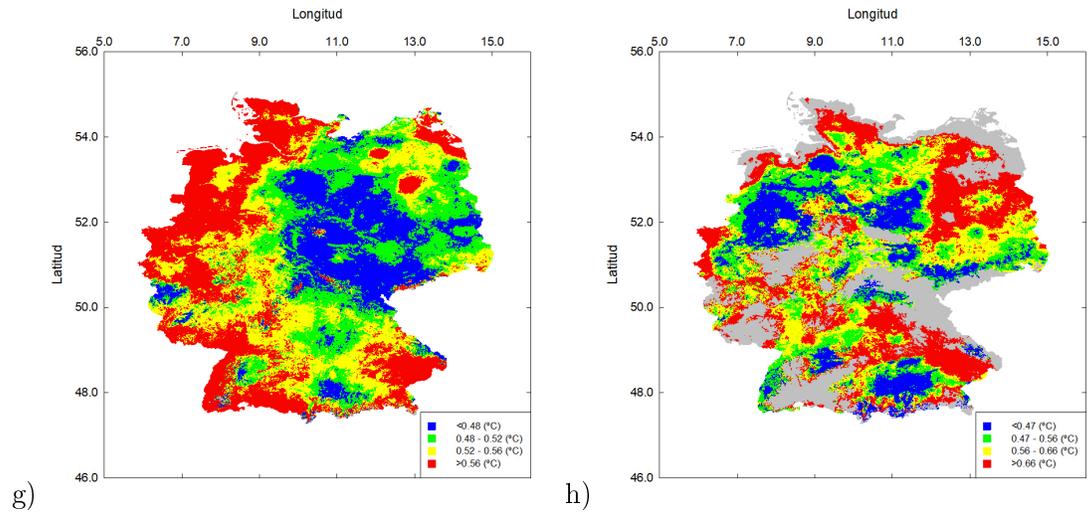


Figura 30: Mapas del HI-T: a)marzo, b)abril, c)mayo, d)junio, e)julio, f)agosto, g)septiembre y h)octubre.