



---

**Universidad de Valladolid**

Facultad de Ciencias

## **Trabajo Fin de Grado**

Grado en Física

**Estudio del índice de confort**

*Autor: Clara Amezúa Arranz*

*Tutores: Isidro A. Pérez Bartolomé*

*M<sup>a</sup> Ángeles García Pérez*

# ÍNDICE

<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>1.1. Definición de confort</b> .....	1
<b>1.2. Mecanismos fisiológicos para alcanzar el confort</b> .....	1
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	4
<b>3. METODOLOGÍA Y DATOS</b> .....	5
<b>3.1. Área de estudio</b> .....	5
<b>3.2. Fuente de datos</b> .....	6
<b>3.3. Índices de confort</b> .....	9
<b>3.4. Métodos usados para realizar el estudio</b> .....	13
<b>4. RESULTADOS</b> .....	15
<b>4.1. Sensaciones mensuales</b> .....	15
<b>4.2. Tendencia global del índice</b> .....	38
<b>5. CONCLUSIONES</b> .....	48
<b>5.1. Sensaciones mensuales</b> .....	48
<b>5.2. Tendencia global del índice</b> .....	49
<b>6. REFERENCIAS</b> .....	50

# 1.INTRODUCCIÓN

## 1.1. Definición de confort

Según la RAE, el *confort* es “Bienestar o comodidad material”, pudiéndose sentir tanto física como mentalmente. Muchos factores intervienen en alcanzar dicho bienestar: la situación económica, la salud, las relaciones sociales....

El tiempo y las condiciones climáticas influyen, en gran medida, en la salud de los seres humanos. El organismo humano es un sistema homeotérmico, mantiene su temperatura corporal dentro de unos límites consumiendo energía para aumentarla (produciendo calor) en ambientes fríos o emitiendo calor para disminuirla en ambientes cálidos. La temperatura corporal promedio es de unos 36,5°C o 37°C dependiendo del informe del que se haga el estudio. En este trabajo se escoge 37°C, con una posible variación de ±1°C. Si el valor de esta es superior o inferior a este valor, la salud del individuo se pone en juego (Fernández et al., 1994). Existen mecanismos tanto fisiológicos (termorregulación, modificación del ritmo respiratorio y cardiaco...) como artificiales (uso de ventiladores, prendas de abrigo...) para mantener dicha temperatura dentro del intervalo permitido.

## 1.2. Mecanismos fisiológicos para alcanzar el confort

Tiende a darse un equilibrio entre el ser humano y su entorno, pero que ello ocurra no implica necesariamente que el humano se encuentre en unas condiciones de bienestar, dado que este se puede alcanzar mientras están actuando los mecanismos autorreguladores mencionados anteriormente. El confort térmico es definido en ASHRAE (1996) como “*la condición mental en la que se expresa satisfacción con el ambiente térmico*”. Para cuantificar el balance energético que permite al cuerpo encontrarse en el rango de temperaturas óptimo para alcanzar el confort se usa la siguiente ecuación (Fanger et al., 1972):

$$M \pm R \pm Conv \pm Cond \pm E = 0$$

donde M es el calor producido por procesos metabólicos, R el calor radiado por el cuerpo, Conv es el calor intercambiado por convección, Cond el intercambiado por conducción, y E se refiere a las pérdidas debidas a la respiración, sudoración, transpiración de la piel, etc (Tornero et al., 2006).

Cuando el sumatorio de todos esos términos es cero se ha alcanzado el equilibrio; si no ocurre, se ponen en marcha mecanismos autorreguladores para conseguirlo. El confort puede ser definido también, como el conjunto de condiciones bajo las cuales los mecanismos de autorregulación son mínimos.

El intercambio del calor entre el cuerpo y el exterior está regulado por tres factores: el metabolismo, el intercambio térmico y las pérdidas por evaporación. Todos ellos vienen recogidos en la ecuación anterior.

- **El metabolismo:** es el conjunto de transformaciones químicas que ocurren en un organismo vivo con el objetivo de obtener energía a partir de los nutrientes de los alimentos. Esa energía es consumida para realizar un trabajo determinado; el exceso se transforma en calor metabólico, magnitud asociada a  $M$  en la ecuación anterior.
- **El intercambio térmico:** este intercambio se produce entre el cuerpo y el ambiente para alcanzar el equilibrio se da por convección, conducción y radiación.
- **Pérdidas por evaporación:** ocurren principalmente en los pulmones y en la piel, haciendo que el calor latente de evaporación requerido se obtenga del interior del cuerpo (el término  $E$  es negativo). Pero si la cantidad de sudor generado es mayor que la evaporación, se crea en la piel una película de líquido que dificulta la transferencia de calor desde el cuerpo hacia el exterior. En ese momento se usará el aire en contacto con la piel para regular su temperatura.

Todo lo anterior es un pequeño resumen de lo que ocurre en el sistema fisiológico de los seres humanos para encontrarse a temperatura óptima. Cabe destacar que la temperatura no es el único factor, existen muchas otras variables meteorológicas que en conjunto hacen que la sensación térmica que experimenta un individuo sea agradable o no.

La búsqueda del bienestar térmico es de vital importancia y se aplica a numerosos ámbitos como el turismo donde la influencia del clima es enorme para escoger el destino de las vacaciones, la ingeniería para fabricar máquinas de aire acondicionado..., todo ello para que el grado de confort climático sea el óptimo. Esto son las condiciones climáticas en las que cada persona se encuentra tanto psicológicamente como físicamente bien sin necesidad de frío (refrigeradores) o calor (calentadores) extras.

En todos esos ámbitos se busca el confort. Para poder cuantificarlo y así poder establecer una clasificación del bienestar entran en juego los índices de confort. Existen numerosos índices, cada uno de los cuales depende de variables meteorológicas diferentes, por lo que sus formas funcionales (ecuación) serán distintas. Los posibles resultados asociados a cada ecuación están tabulados permitiendo así obtener la clasificación querida.

Este trabajo se centra en el estudio del confort en la región de los Cárpatos. Para ello, se seguirá la siguiente estructura:

- En el *Apartado 2* aparecen expuestos los objetivos del trabajo.
- En el *Apartado 3* se describirá el área de estudio, los diferentes indicadores que se van a utilizar en el trabajo y los diferentes métodos que se emplearán para hacer la descripción del índice de confort a lo largo de toda el área, así como el proceso de obtención de todos los resultados.
- En el *Apartado 4* se expondrán los diferentes mapas mensuales con la distribución de las sensaciones obtenidas para cada índice y los gráficos que representan la tendencia por década que tiene asociada cada región.

- El *Apartado 5* está dedicado a la conclusión final del trabajo.

## 2.OBJETIVOS

El objetivo principal del trabajo es el estudio del confort climático en la Región de los Cárpatos entre 1961 y 2010.

Para su correcto desarrollo se va a:

- Hacer un reconocimiento previo del área de estudio para tener en consideración las condiciones climáticas bajo las que se encuentra.
- Definir varios indicadores, así como sus ecuaciones asociadas, variables involucradas y clasificación de los resultados.
- Determinar, en base a esos índices, la distribución del grado de confort en esa región a lo largo de esa secuencia temporal.
- Estudiar la variación temporal de las sensaciones asociadas a cada índice en la región de estudio.

## 3.METODOLOGÍA Y DATOS

### 3.1. Área de estudio

Los Cárpatos hacen de barrera natural entre Europa del Este, Europa Central y los Balcanes, siendo una de las regiones de estudio climático más importantes debido a la combinación de climas frío, templado y cálido de las tres zonas. El área de estudio de este trabajo, con extensión geográfica 50° latitud norte, 44° latitud sur, 27° longitud este y 17° longitud oeste, abarca siete países: República Checa, Eslovaquia, Polonia, Ucrania, Hungría, Rumanía y Serbia; además de extenderse también por zonas de Croacia, Bosnia y Herzegovina, Bulgaria y la República de Moldavia.

En cuanto a la vegetación, es un mosaico de campos de cultivo, pastos, prados y bosques en los que se encuentra una extraordinaria biosfera compuesta por una gran variedad de flora y especies (plantas) endémicas. En cuanto a la fauna, se puede destacar el bisonte europeo y el ciervo rojo entre los muchos mamíferos que habitan el lugar. Además, se considera a la región “el reino de los carnívoros” debido a que allí viven las mayores poblaciones de osos, lobos, lince y águilas imperiales de la Unión Europea.

A pesar de ser una región repleta de áreas de conservación de la naturaleza bien cuidadas, la contaminación del aire y el cambio climático les causan efectos notables. Debido a esto, se han llevado a cabo proyectos o estudios y establecido organizaciones con el objetivo de investigar el clima y mantener la integridad de la biosfera del lugar.

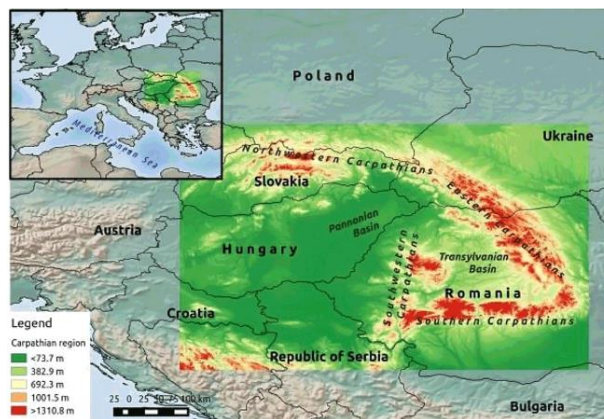


Figura 1: Región de estudio

El recuadro coloreado de la *Figura 1* (Antofie et al., 2015) indica la zona de estudio de este trabajo, exceptuando la región situada en la esquina inferior izquierda (no viene indicado en el mapa pero es una pequeña parte de Bosnia y Herzegovina), donde no hay datos disponibles.

### 3.2. Fuente de datos

El desarrollo de la tecnología en la gestión ambiental requiere bases climatológicas que cubran grandes áreas, lo que causa problemas en países pequeños ya que los servicios meteorológicos nacionales tienen diferentes instrumentos, redes de medición y herramientas de gestión de datos; esto provoca heterogeneidades en los datos meteorológicos recogidos entre un país y otro.

El proyecto CARPATCLIM tiene como objetivo homogeneizar los datos de toda la región. Para ello han creado una base de datos cuadrículada de gran resolución y de libre acceso a través de internet con estructura tanto espacial como temporal en la que aparecen representadas las diferentes variables climáticas. Cada país miembro recogió datos diarios de estaciones meteorológicas durante 1961 y 2010, compartiendo protocolos de medida para obtener la base homogénea. Desde la página web, el usuario puede encontrar los datos recogidos por cada estación, incluyendo las coordenadas geográficas de cada una y la descripción de los alrededores.

Una serie de datos es homogénea si todos ellos han sido obtenidos bajo las mismas condiciones en una estación representativa del entorno. Mientras que la existencia de series heterogéneas se puede deber a cambios en el lugar donde se encuentra la estación y cambios en el aparato o técnicas de medida.

Para conseguir la base de datos del proyecto, previamente cada país realiza una homogeneización de sus propios datos. Para conseguirlo usan el software MASH (*Multiple Analysis of Series for Homogenization*), cuyo procedimiento queda resumido en los siguientes pasos: (1) se convierten las series de datos diarios incompletas en series de datos mensuales; (2) se hace una primera estimación de las heterogeneidades de las series mensuales; (3) se realiza una suave estimación de las heterogeneidades de las series diarias usando los parámetros obtenidos en el paso 2; (4) corrección automática de las series diarias; (5) comprobación de que las series diarias son homogéneas; (6) se completan automáticamente los datos que faltan en las series diarias; (7) se crean las series mensuales a partir de las diarias; (8) comprobación de la homogeneidad de las series mensuales. Todas las variables medidas en el proyecto son homogeneizadas a partir de MASH, excepto TM (temperatura media), RS (duración del día relativa) y WS2m (velocidad del viento medida a 2 m), que derivan directamente de variables homogeneizadas y simples fórmulas.



Posteriormente se realiza una segunda homogeneización: cada país miembro (Croacia y Hungría son considerados como uno) intercambia los valores obtenidos con los países vecinos que se encuentren en un radio de 50 km de la frontera de dicho país, permitiendo así obtener datos homogéneos y armónicos con respecto a la densidad de los datos, número de variables y calidad de los datos en todo el territorio considerado.

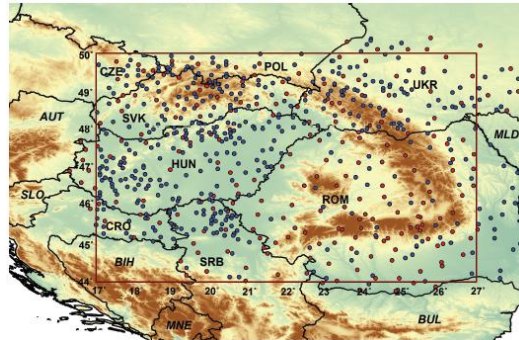


Figura 2: Mapa de las estaciones meteorológicas

En la Figura 2 (Antofie et al., 2015) aparecen representadas las estaciones meteorológicas en la región de estudio contenida en el interior del rectángulo rojo. Los puntitos rojos indican las estaciones climatológicas que recogen todas las variables, mientras que los azules representan a los centros que recogen únicamente información sobre precipitaciones.

Ahora bien, después de homogeneizar los datos de la región, el proyecto CARPATCLIM busca transformar la distribución de los datos obtenidos de las estaciones en un gran mapa de celdas de alta resolución. De la misma manera que para la homogeneización, cada país divide su territorio en celdas de alta resolución ( $0.1^\circ \times 0.1^\circ$ ) con el objetivo de que cada celdilla proporcione la serie de datos asociada a su terreno. Como no hay tantas estaciones meteorológicas como celdillas se usan técnicas de interpolación para conseguirlo; en este caso también se contrastan los resultados con las estaciones vecinas. Para realizar la interpolación se utiliza el software MISH (*the Meteorological Interpolation based on Surfaced Homogenized data basis*) que estima los parámetros de interpolación óptimos mediante variables auxiliares obtenidas de las series de datos corrigiendo los posibles errores que pueda haber.

El resultado es la división de toda la región en una cuadrícula formada por 5895 celdillas de  $0.1^\circ \times 0.1^\circ$  de resolución (en unidades de longitud son cuadrados de  $10\text{km} \times 10\text{km}$ ), cada una indicando el valor de la variable que se quiera medir en el momento que se desee.

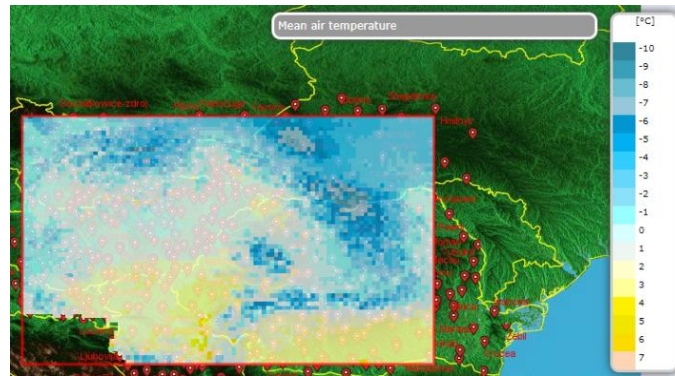


Figura 3: Ejemplo de la distribución de la temperatura media del aire el 01/01/1961

La Figura 3 ha sido obtenida directamente de la página web: [www.carpatclim-eu.org/pages/atlas/](http://www.carpatclim-eu.org/pages/atlas/).

Cada estación proporciona listas de datos anuales, mensuales y diarios de cada variable, lo cual puede observarse en la red cuadrículada. Para este trabajo basta con los mensuales, con los que se puede hacer un estudio mucho más profundo que con los anuales y, a su vez, no es tan complejo como considerar los diarios.

#### VARIABLES REQUERIDAS EN EL TRABAJO:

- **La temperatura media del aire (TM).** Es la variable que influye de manera más directa sobre el bienestar. El valor mensual se obtiene a partir del promedio de todos los diarios. Se mide en °C.
- **La humedad relativa (HR)** es la relación entre la cantidad de vapor de agua presente en el aire y el máximo valor que puede contener a la temperatura y presión a la que se encuentre en dicho instante. Se mide en %; y cuando su valor es del 100% se dice que el aire está saturado, se encuentra en su punto de rocío.
- **La velocidad del viento (WS):** las estaciones meteorológicas miden esta variable a 2 m (WS2m) o a 10 m (WS10m), dando lugar a hojas de valores diferentes. Según qué índice se usa una u otra. Sus unidades son m/s.
- **La duración del día (S)** u horas de sol que tiene un día.

Todos los datos necesarios para realizar este trabajo además de la red cuadrículada e información sobre el proyecto CARPATCLIM han sido obtenidos de su página web: [www.carpatclim-eu.org](http://www.carpatclim-eu.org).

### 3.3. Índices de confort

Para llevar a cabo un estudio detallado del confort en una región se definen indicadores que nos permiten cuantificarlo, tabularlo y llegar a las conclusiones pertinentes. Cabe destacar que este trabajo se centra en el estudio en espacios abiertos al aire libre, por lo que los índices requeridos serán diferentes a los que puede necesitar un estudio en interiores.

A continuación se van a exponer los diferentes indicadores requeridos para cuantificar la sensación de confort.

- **ÍNDICE DEL MALESTAR (ID)**

Del inglés *Discomfort Index*. Al igual que el confort, la sensación de malestar también se puede cuantificar aunque a efectos prácticos es lo mismo. En este caso es una medida de la temperatura aparente teniendo en cuenta los efectos de la temperatura del aire y sobre todo la humedad relativa. Existen varias ecuaciones asociadas a este índice, según el lugar y las variables necesitadas se seleccionan una u otra. Como variables participan la temperatura media del aire (TM) y la humedad relativa (HR). En este caso, la ecuación requerida es la siguiente (Polydoros y Cartalis, 2015):

$$ID = TM - 0.55(1 - 0.01HR)(TM - 14.5) \quad (1)$$

En la *Tabla 1* aparece la clasificación asociada a cada valor posible de ID.

*Tabla 1: Nivel de confort según ID a partir de la ecuación (1)*

ID	Sensación
$\geq -40$	Hiperglacial
$(-40, -20]$	Glacial
$(-20, -10]$	Frío extremo
$(-10, -1.8]$	Frío elevado
$(-1.8, 12.9]$	Frío
$(12.9, 14.9]$	Frescor
$(14.9, 19.9]$	Confort
$(19.9, 26.4]$	Caluroso
$(26.4, 29.9]$	Mucho calor
$< 29.9$	Ambiente tórrido

- **ÍNDICE DE TEMPERATURA-HUMEDAD (THI)**

THI refleja el intercambio de calor entre el cuerpo humano y el entorno a través del efecto combinado de la temperatura del aire y de la humedad relativa como variables principales. Existen varias ecuaciones asociadas a dicho índice. Se van a exponer dos de ellas.

La primera (Liang y Bi, 2017)

$$THI = 1.8TM - 0.55(1 - 0.01HR)(1.8TM - 26) + 32 \quad (2)$$

La segunda (Kyle et al., 1994) deriva directamente de ID (son la misma ecuación), aunque tienen clasificaciones diferentes:

$$THI = TM - 0.55(1 - 0.01HR)(TM - 14.5) \quad (3)$$

La *Tabla 2* y la *Tabla 3* recogen la clasificación de las posibles sensaciones de THI a partir de las ecuaciones (2) y (3) respectivamente.

*Tabla 2: Nivel de confort según THI a partir de la ecuación (2)*

THI	Sensación
< 40	Frío extremo
[40, 45)	Frío
[45, 55)	Frío ligero
[55, 60)	Frescor
[60, 65)	Confort
[65, 70)	Cálido
[70, 75)	Calor leve
[75, 80)	Calor
≥ 80	Calor excesivo

*Tabla 3: Nivel de confort según THI a partir de la ecuación (3)*

THI	Sensación
(-20, -10]	Frío excesivo
(-10, -1.8]	Frío intenso
(-1.8, 13]	Frío
(13, 15]	Frío suave
(15, 20]	Confort
(20, 26.5]	Calor
(26.5, 30]	Mucho calor
>30	Calor excesivo

- **ÍNDICE EFECTO DEL VIENTO (WEI)**

Este es un índice que determina la sensación de confort a partir de la velocidad del viento (WS), la temperatura del aire y la duración del día (S). En este caso, la velocidad del viento puede ser tomada tanto a 2 m (WS2m) como a 10 m (WS10m), por lo que se obtendrán dos resultados asociados a esos dos valores. (Jiang et al., 2018).

$$WEI = -(10\sqrt{WS} + 10.45 - WS)(33 - TM) + 8.55S \quad (4)$$

La *Tabla 4* muestra los tipos de sensaciones introducidos por la ecuación (4). Dicha clasificación es válida tanto para WS2m como para WS10m.

*Tabla 4: Nivel de confort según WEI a partir de la ecuación (4)*

WEI	Sensación
[-800, -600)	Frío
[-600, -300)	Frío suave
[-300, -200)	Confort
[-200, -50)	Cálido
[-50, 80)	Calor

- **PODER DE REFRIGERACIÓN O ÍNDICE DE HILL (H)**

El indicador propuesto por Hill mide la intensidad o poder de enfriamiento del aire. Si el aire que rodea a una persona promedio se encuentra a una temperatura inferior a  $T_c$  (la temperatura del cuerpo se toma como 37 °C) ejercerá una refrigeración sobre su cuerpo que aumentará si el aire se renueva constantemente. H depende de la temperatura del aire y de la velocidad del viento medida a 2 m. (IDEAM, 2005)

- Si  $v < 1$  m/s

$$H = (T_c - TM)(0.20 + 0.40\sqrt{WS2m}) \quad (5)$$

- Si  $v > 1$  m/s

$$H = (T_c - TM)(0.13 + 0.47\sqrt{WS2m}) \quad (6)$$

La *Tabla 5* introduce la clasificación de los tipos de sensación generada por H.

Tabla 5: Nivel de confort según H a partir de las ecuaciones (5) y (6)

H	Sensación
[0, 5)	Calor incómodo
[5, 10)	Bienestar/confort
[10, 15)	Frío suave
[15, 20)	Frío
Más de 20	Frío incómodo

- **ÍNDICE DEL CONFORT CLIMÁTICO (CI)**

CI es función de la temperatura del aire, la humedad relativa y la velocidad del viento medida a 10 m. En este caso hay una dependencia adicional en la altura sobre el nivel del mar a la que se tomen los datos, es decir, las coordenadas geográficas de cada estación meteorológica influyen en los resultados (González et al., 1998).

- Midiendo a alturas inferiores a 1000 m

$$CI = (T_c - TM)(0.05 + 0.04\sqrt{WS10m} + HR/250) \quad (7)$$

- Midiendo a alturas comprendidas entre 1000 m y 2000 m

$$CI = (T_c - TM)(0.05 + 0.06\sqrt{WS10m} + HR/180) \quad (8)$$

- Midiendo a alturas superiores a 2000 m

$$CI = (T_c - TM)(0.05 + 0.18\sqrt{WS10m} + HR/160) \quad (9)$$

La última tabla, la *Tabla 6* recoge la información proporcionada por CI.

Tabla 6: Nivel de confort según CI a partir de las ecuaciones (7), (8) y (9)

IC	Sensación térmica
[0, 3]	Calor excesivo
(3, 5]	Calor
(5, 7]	Cálido
(7, 11]	Confort/agradable
(11, 13]	Frescor
(13, 15]	Frío
Más de 15	Frío excesivo

### 3.4. Métodos usados para realizar el estudio

En el apartado de resultados aparecerán expuestos dos tipos de gráficos, unos representan la mediana mensual de los índices y los otros la tendencia global del índice.

- **SENSACIONES MENSUALES**

De la página web se han descargado archivos con los valores de las variables en cada estación durante cada mes del periodo de tiempo que comprende este estudio. Para cada variable existe un solo archivo que proporciona los datos mensuales asociados a cada nudo de la red. Cabe destacar que también aparecen las coordenadas geográficas de cada celdilla. A partir de estos archivos se han calculado 12 ficheros, uno por cada mes, en los que aparece el valor del indicador asociado a cada uno de los 5895 nudos durante el mismo mes entre 1961 y 2010.

Para cada fichero mensual, sea por ejemplo el asociado a enero, con la ayuda de Excel se calcula la mediana de los 50 (el estudio dura 50 años) valores del índice para cada estación. Finalmente se obtienen 5895 medianas, que se ordenan de menor a mayor y se les asocia una sensación según su valor teniendo en cuenta la tabla de clasificación de cada índice.

Los gráficos han sido realizados usando el programa SigmaPlot, en el que se representan las coordenadas (longitud en el eje x y latitud en el eje y) de cada una de las celdillas de la red asociadas a las sensaciones. A cada sensación se le da un color, lo cual permite obtener una representación visual del grado de confort en la región de estudio.

Con ayuda de Excel, también aparece como imagen visual una representación del porcentaje de cada sensación por mes. Aparecerá un gráfico por índice.

Este proceso se tiene que realizar para todos los meses, y, a su vez para todas las ecuaciones asociadas a los indicadores.

- **TENDENCIA GLOBAL DEL ÍNDICE**

Se parte de los mismos ficheros con los datos de las variables del punto anterior con la diferencia de que en este caso se calcula solamente un único documento. En él aparecen los valores de los índices asociados a cada nudo durante todos los meses de cada año comprendido entre 1961 y 2010; por lo tanto, el tamaño de este fichero es considerablemente más grande que el de los del apartado anterior.

Para cada nudo de la red, se calcula con ayuda de Excel la tendencia que sigue cada índice durante el tiempo que dura el estudio.

La tendencia indica el cambio de una variable con el tiempo, y sirve de interés para este trabajo porque permite observar si los valores de los índices asociados a cada celdilla cambian mucho o no a lo largo del tiempo.

Para calcularla, se realiza una regresión múltiple partiendo de la siguiente ecuación:

$$y = a + bx + c * \cos(2\pi x/12 - d)$$

donde  $b$  es la tendencia buscada. Para ello se asocia a “ $x$ ” los meses (se toma 0 el 01/1961, 1 el 02/1961..., así hasta llegar al 12/2010) y a “ $y$ ” cada valor mensual que aparece en el fichero Excel calculado al principio. Para cada celdilla se obtiene un valor de la tendencia que representa la variación del índice por mes. Si a ese número se le multiplica por 12 se obtiene la variación del índice por año. En el caso particular de este trabajo se va a estudiar la variación del índice por década, consiguiéndose multiplicando cada variación anual por 10. Posteriormente, se ordenan de menor a mayor y se agrupan en intervalos según los números resultantes.

Al igual que en el punto anterior, se usa el programa SigmaPlot para representar las coordenadas geográficas asociadas a cada agrupación de la tendencia por década, cada una de un color diferente para que sea más visual.

Finalmente, aparecerá un gráfico indicando el porcentaje de cada intervalo de la tendencia asociado a cada índice.

Esto será realizado para cada ecuación expuesta en el apartado 3.3.



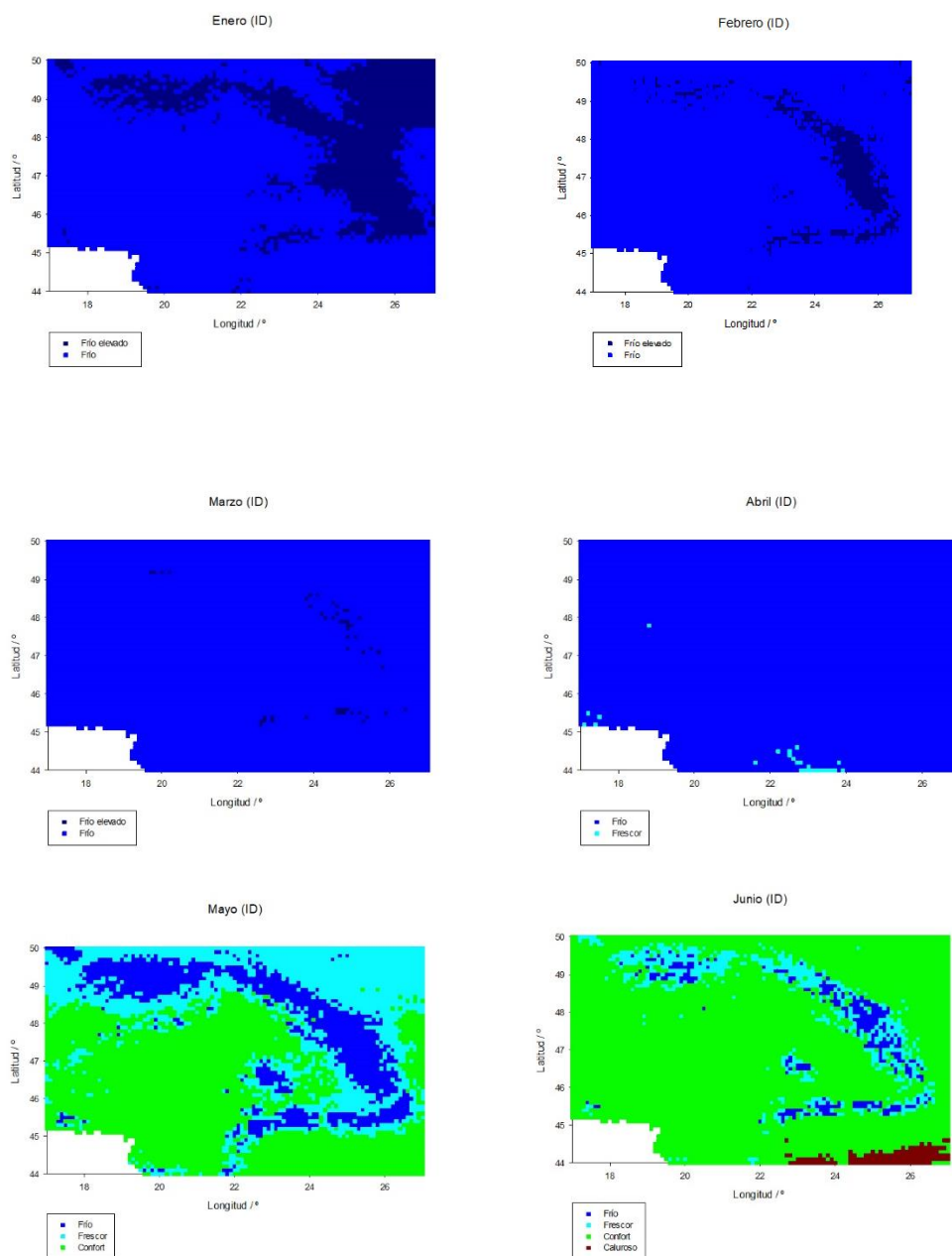
# 4. RESULTADOS

## 4.1. Sensaciones mensuales

A continuación, se van a exponer los resultados asociados a las clasificaciones mensuales de cada índice en cada región y un diagrama que recoge los porcentajes globales de cada uno.

### 4.1.1. Índice del malestar (ID)

La *Figura 4* representa la distribución mensual de las sensaciones dadas por el índice ID y la *Figura 5* contiene los porcentajes asociados a las sensaciones mensuales para ID.



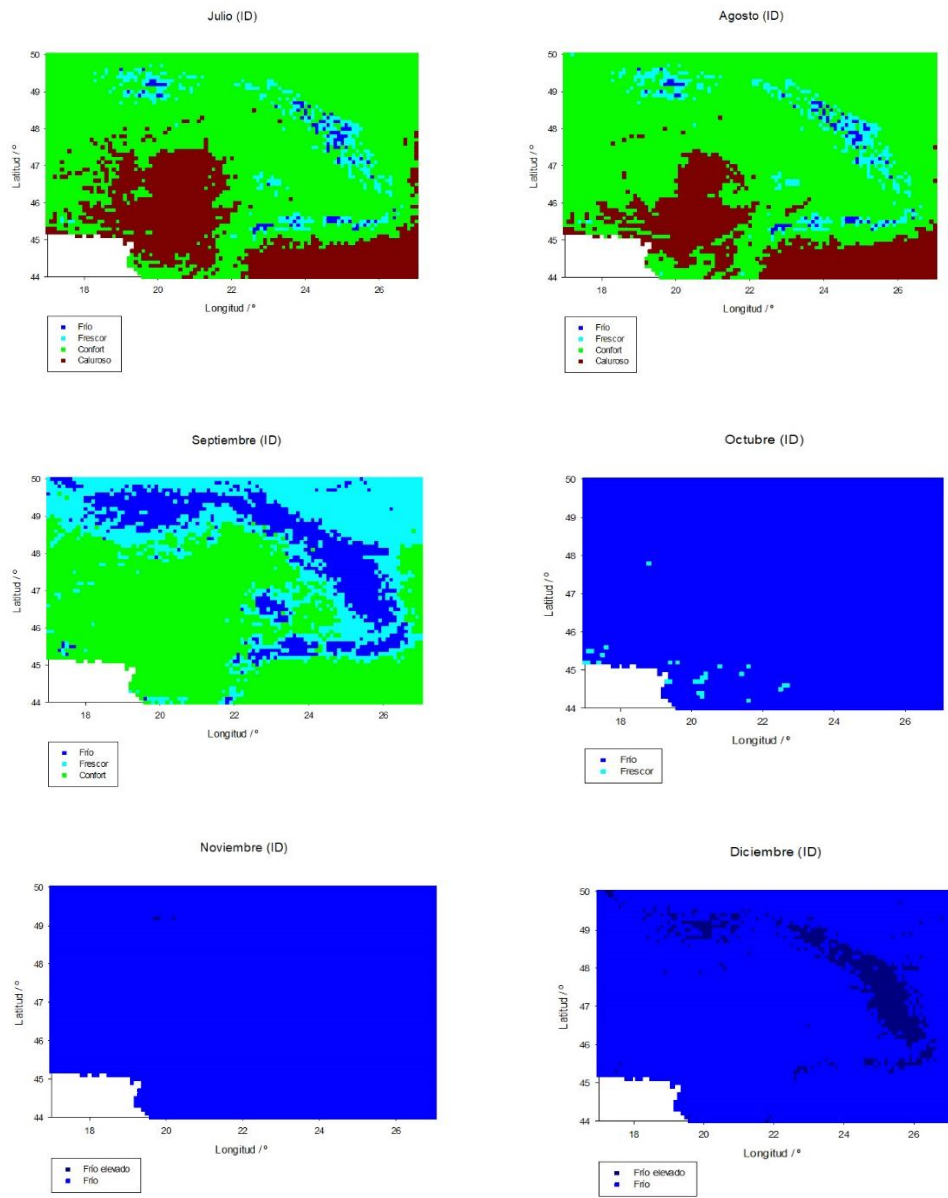


Figura 4: Mapa mensual de las sensaciones para ID

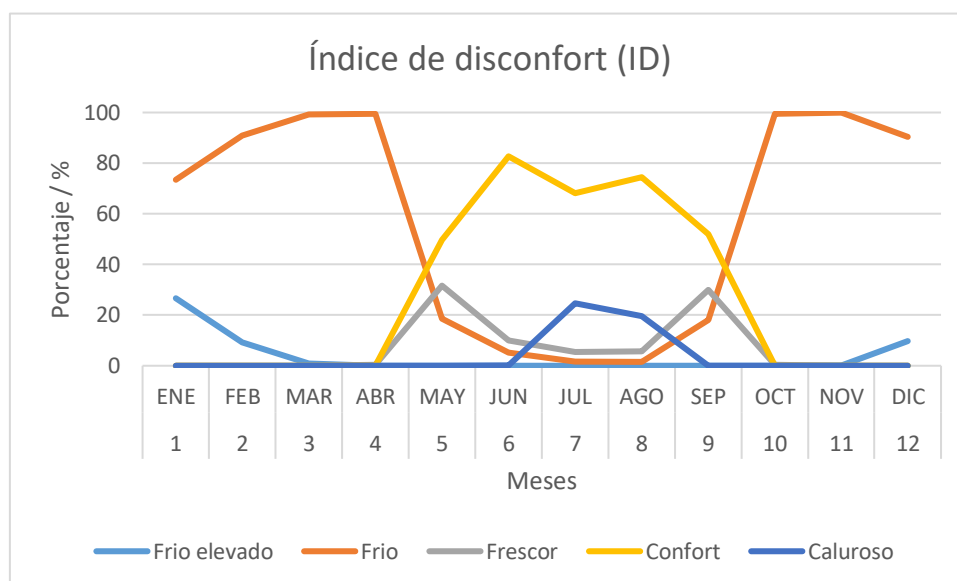


Figura 5: Porcentaje de las sensaciones de ID

De todas las sensaciones posibles dadas por la clasificación, las extremas (“hiperglacial”, “glacial”, “frío extremo”, “mucho calor” y “ambiente tórrido”) no aparecen. Esto es debido a que ID se puede entender como la temperatura equivalente en una región si se tienen en cuenta los efectos de la humedad relativa y la temperatura del aire. Si se observan los valores del índice en la clasificación para las sensaciones extremas son o muy bajos o muy elevados, de manera que es imposible que un termómetro los marque (no hace ni  $-40^{\circ}\text{C}$  en invierno, ni más de  $30^{\circ}\text{C}$  en verano).

Como se expuso en el apartado 3.1, en la región de estudio coexisten tres climas: frío, templado y cálido. El frío se encuentra sobre todo en la cadena montañosa de los Cárpatos donde el clima es de alta montaña y en la zona norte del territorio que corresponde a Europa del este. El clima de Europa es, en general, templado. Además de cambiar de norte a sur, también lo hace de oeste a este, disminuyendo la temperatura, por lo que en Europa del Este predomina una temperatura fría debida a las corrientes de aire polar. En la zona central del área de estudio predominará un clima templado ya que corresponde a la Europa central. Y finalmente en el sur y el sureste, donde se encuentra parte de la península de los Balcanes perteneciente a la Europa Meridional, se encuentra un clima cálido en los meses de verano, aunque en invierno las temperaturas son muy bajas.

Según ID, en los meses de enero a abril y de octubre a diciembre las sensaciones que predominan son las frías; sobre todo “frío” que alcanza su práctica totalidad en los meses de marzo, abril, octubre y noviembre. La sensación “frío elevado” aparece bastante en enero, febrero y diciembre en la zona correspondiente a la cadena montañosa.

Al estudiar el resto de los meses, sobre todo, los de verano, se puede observar muy bien la diferencia entre climas expuesta en el primer apartado. Considérense mayo y

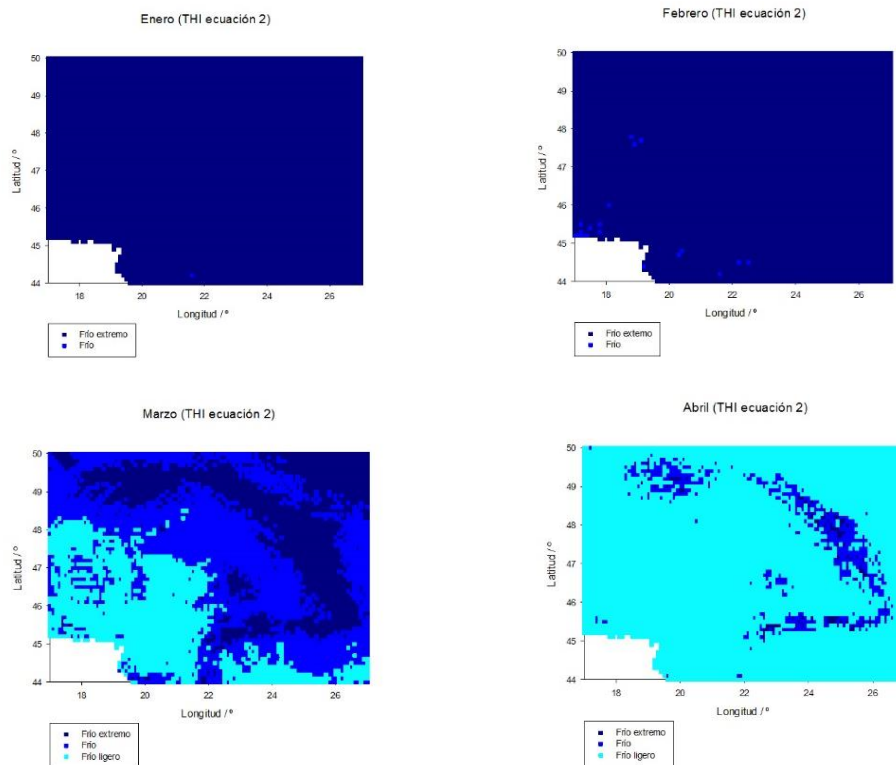
septiembre: en estos meses predomina la sensación “confort” en toda la región, pero aun así aparecen sensaciones frías en la zona correspondiente a la cadena montañosa de los Cárpatos.

En cuanto a junio, julio y agosto aparece la sensación “caluroso” en la zona sur (los Balcanes) coincidiendo perfectamente con el clima de la región en esos meses, además de “confort” en la zona central, así como ligeras sensaciones frías en la zona de la cadena montañosa.

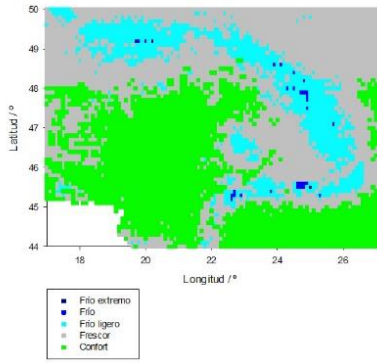
Según los resultados obtenidos, ID recoge muy bien toda la información asociada al clima de la región, por consiguiente, se obtienen resultados muy buenos. Se puede concluir que este índice es adecuado para el estudio de esta región (Ziaul y Pal, 2019).

#### 4.1.2. Índice de Temperatura-Humedad (THI) a partir de la ecuación (2)

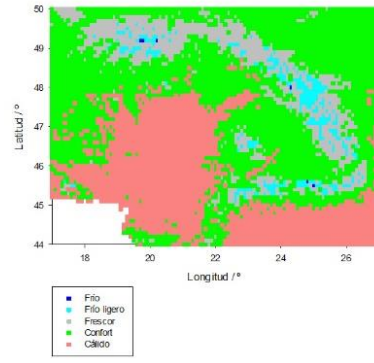
La *Figura 6* muestra los resultados de distribución de las sensaciones dadas por la ecuación (2) asociada a WEI y la *Figura 7* recoge los porcentajes de dichas sensaciones.



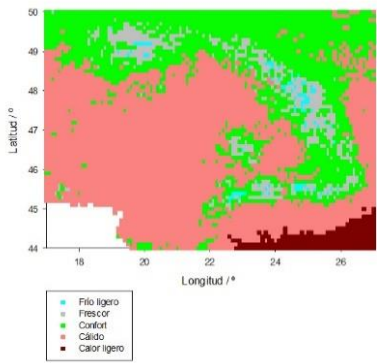
Mayo (THI ecuación 2)



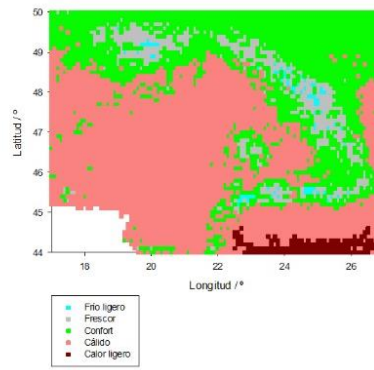
Junio (THI ecuación 2)



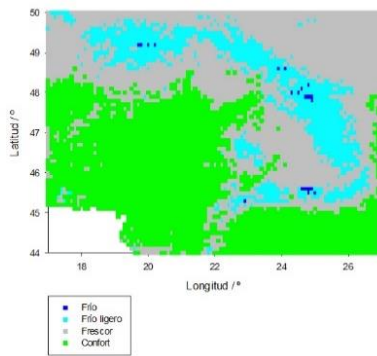
Julio (THI ecuación 2)



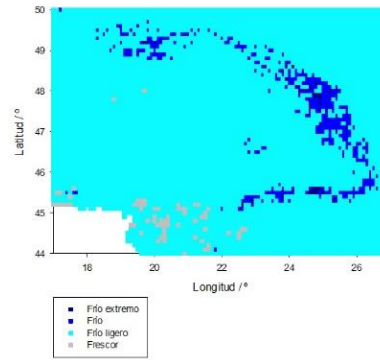
Agosto (THI ecuación 2)



Septiembre (THI ecuación 2)



Otubre (THI ecuación 2)



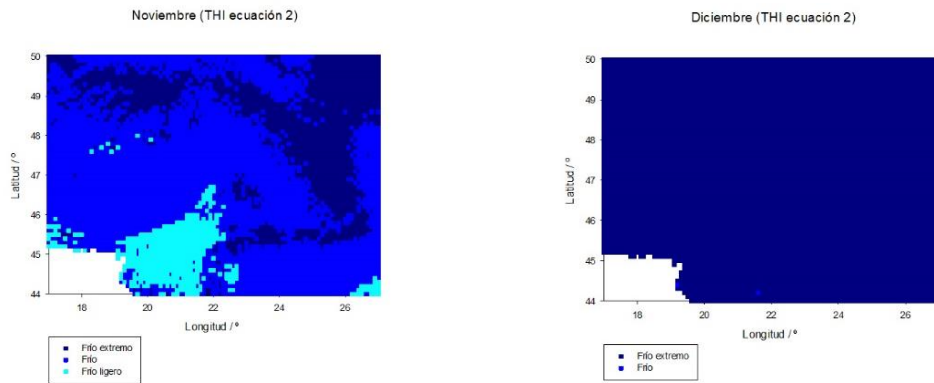


Figura 6: Mapa mensual de las sensaciones para THI a partir de la ecuación (2)

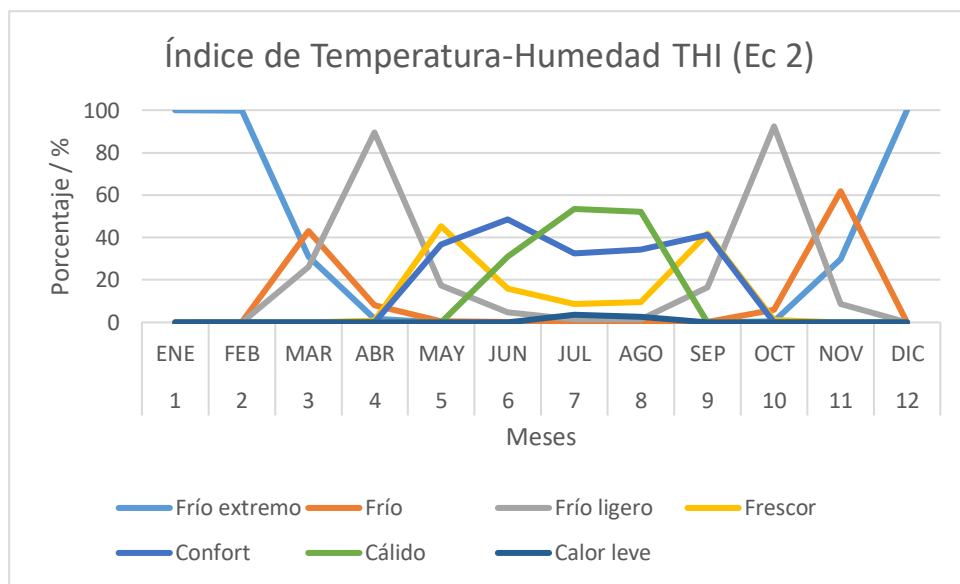


Figura 7: Porcentaje de las sensaciones de THI a partir de la ecuación (2)

En este caso, las sensaciones extremas cálidas “calor” y “calor excesivo” no aparecen. Aunque existan diferentes áreas en las que en los meses de primavera y verano el clima es cálido o templado, en general predomina el clima frío en la región.

THI hace una clasificación más completa que ID ya que distingue entre más tipos de sensaciones frías y cálidas, pero la calidad de la información que proporcionan ambos es buena.

En enero, febrero y diciembre la sensación global es “frío extremo”, existen algunos puntos de “frío” pero son prácticamente inexistentes.

En marzo y noviembre se puede observar la distribución de las sensaciones frías de manera que “frío extremo” corresponde a la cadena montañosa y a zonas del norte, “frío” se encuentra por el centro, y “frío ligero” por la zona sur.

En abril y octubre existen muy pocas celdillas de “frío extremo”, pero aun así se distingue “frío” en la cadena montañosa. Predomina “frío ligero” en toda la región, y en octubre aparece “frescor” en la zona sur.

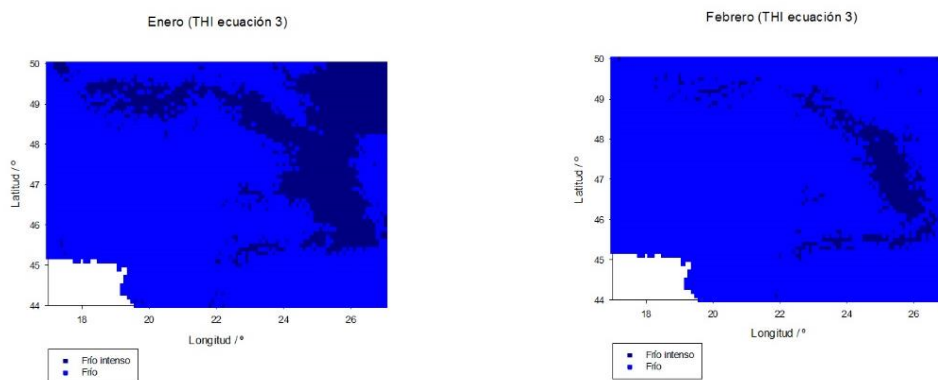
En mayo y septiembre aparece por fin “confort” que abarca toda el área central, además de “frescor” distribuido fundamentalmente por el norte y las sensaciones más frías sobre la cadena montañosa.

En los meses de verano (junio, julio y agosto) las celdillas antes asociadas a “frescor” ahora pasan a ser “confort”, y las de “confort” son “cálido”. A medida que el verano avanza el porcentaje de “cálido” aumenta, apareciendo “calor leve” en puntos del sur. Siguen existiendo, aunque sean pocos, “frío ligero” y “frescor” asociados a la cadena montañosa.

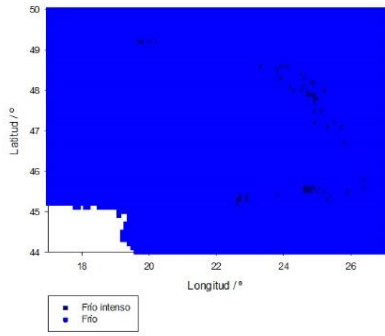
Este indicador recoge la información de forma muy detallada y completa, además de aportar resultados muy coherentes. Es un buen índice para este estudio (Weihong et al., 2012).

#### 4.1.3. Índice de Temperatura-Humedad (THI) a partir de la ecuación (3)

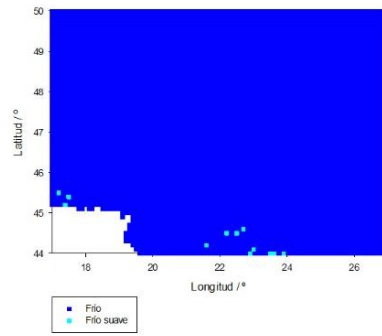
La *Figura 8* muestra la distribución de la clasificación de las sensaciones según la ecuación (3) para THI. A simple vista es bastante similar a la *Figura 4*, pero se desarrollarán las diferencias un poco más adelante. La *Figura 9* muestra los porcentajes de los puntos asociados a dichas sensaciones.



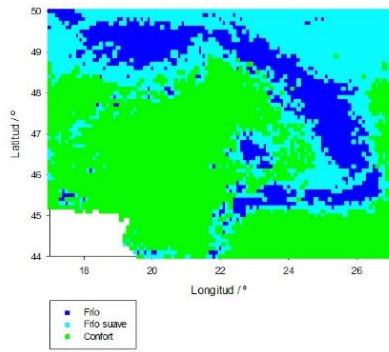
Marzo (THI ecuación 3)



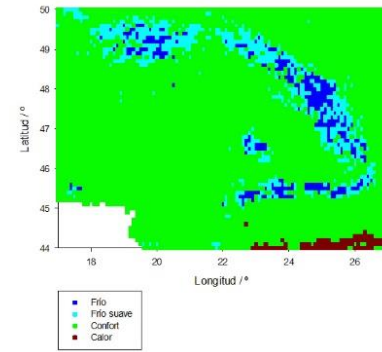
Abril (THI ecuación 3)



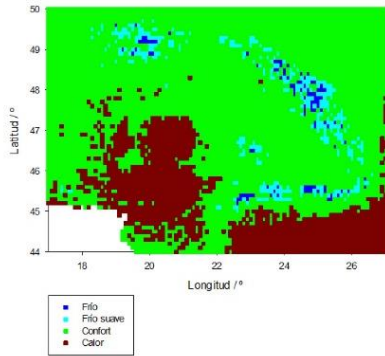
Mayo (THI ecuación 3)



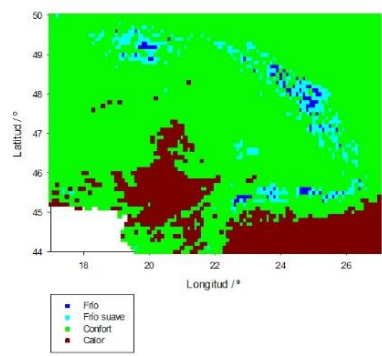
Junio (THI ecuación 3)



Julio (THI ecuación 3)



Agosto (THI ecuación 3)





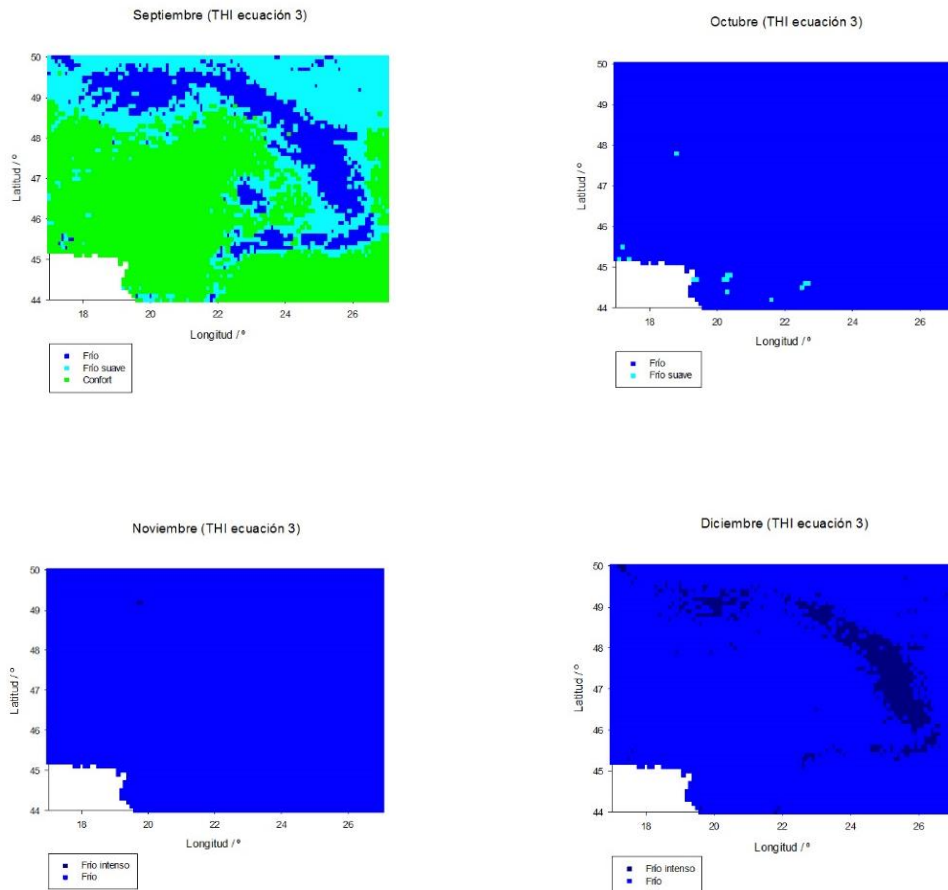


Figura 8: Mapa mensual de las sensaciones para THI a partir de la ecuación (3)

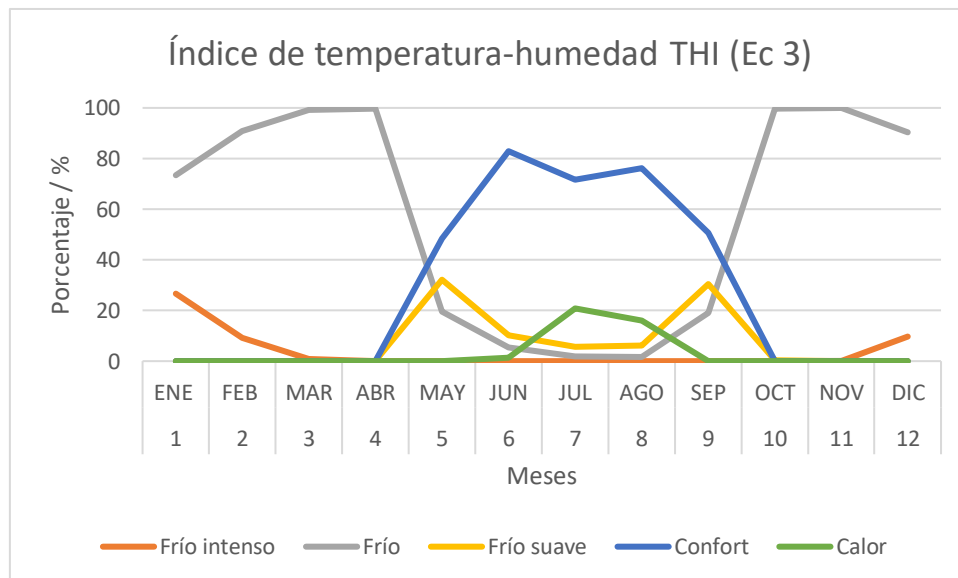


Figura 9: Porcentaje de las sensaciones para THI a partir de la ecuación (3)

La clasificación del THI a partir de la ecuación (3) solo difiere con la de la ecuación (2) en que tiene una sensación más de calor, y en que los nombres de las sensaciones cambian

un poco de una a otra. En este caso, no aparecen las sensaciones “frío excesivo”, “mucho calor” y “calor excesivo”. Al igual que en los otros dos índices, las más cálidas tienden a no aparecer.

En los meses de invierno, principalmente (enero, febrero, marzo, noviembre y diciembre) la sensación predominante es “frío”, que abarca prácticamente toda el área salvo pinceladas de “frío intenso” situadas en la cadena montañosa en los meses más fríos.

En abril y octubre todo el territorio es “frío”, pero aparecen unos pequeños puntos asociados a “frío suave” situados en el inferior del rectángulo.

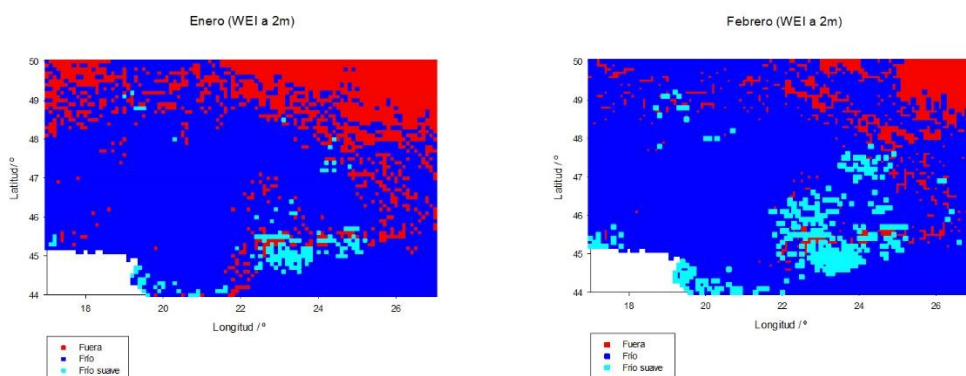
En mayo y septiembre, meses predominantes del clima templado, aparece “confort” por el sur y el centro de la región. Las sensaciones “frío suave” y “frío” se sitúan por el norte, y esta última describe la característica cadena montañosa.

En junio, julio y agosto, aparece “calor” por la zona sur abarcando más área a medida que el verano avanza, mientras que las sensaciones más frías se reparten por el resto de la zona: siendo “confort” la dominante por el centro y norte, y “frío” y “frío suave” en las montañas.

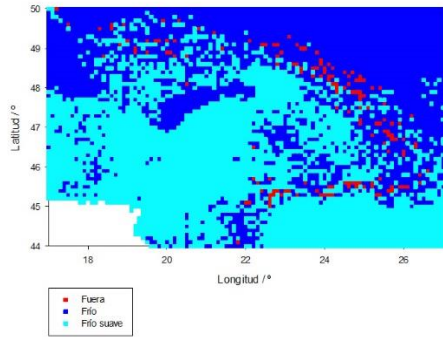
Cabe destacar la similitud de los resultados entre esta clasificación y la obtenida a partir de ID. Como en ese caso, los resultados obtenidos son buenos y la clasificación es suficiente para comprender la distribución de las sensaciones del territorio. Esta ecuación es un buen índice (Ciobotaru et al., 2017).

#### 4.1.4. Índice de efecto del viento (WEI) midiendo la velocidad del viento a 2 m

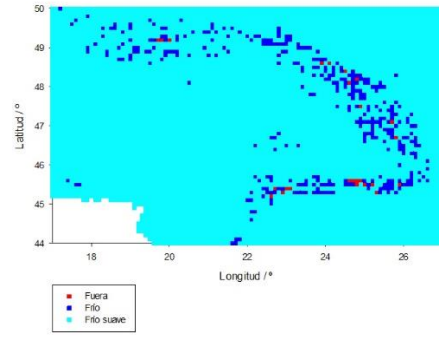
La *Figura 10* introduce la distribución de las sensaciones dadas por WEI con WS2m, y la *Figura 11* los porcentajes asociados a esas sensaciones.



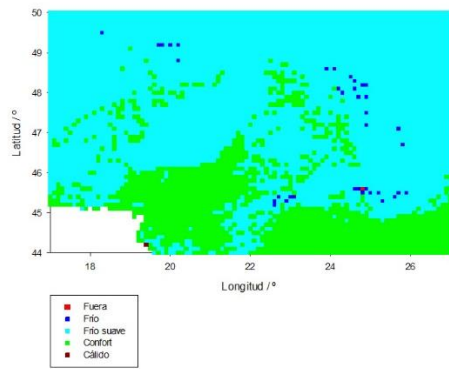
Marzo (WEI a 2m)



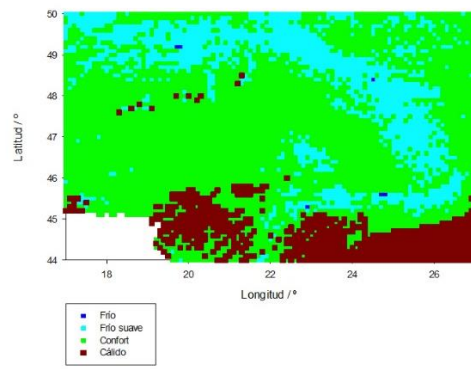
Abril (WEI a 2m)



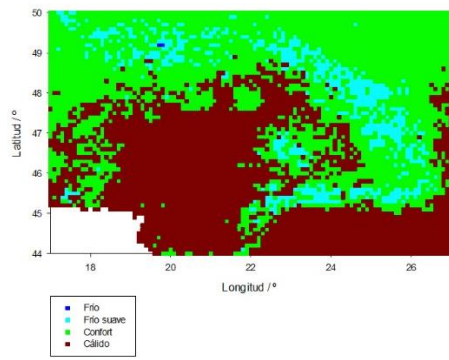
Mayo (WEI a 2m)



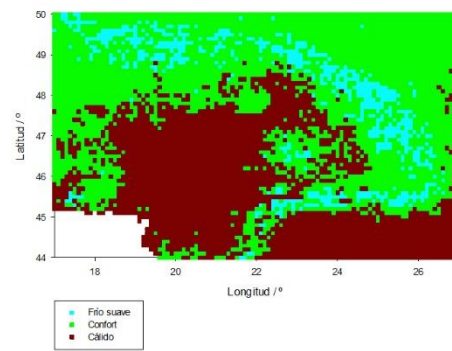
Junio (WEI a 2m)



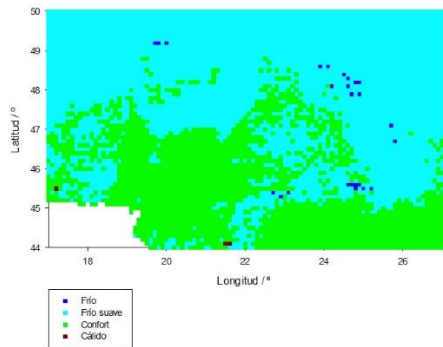
Julio (WEI a 2m)



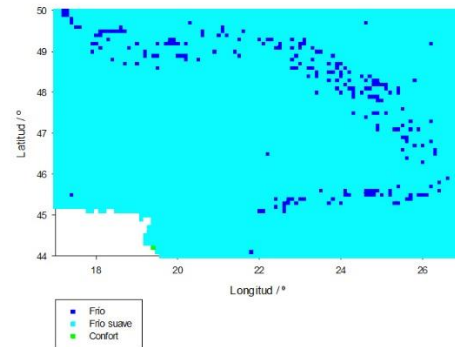
Agosto (WEI a 2m)



Septiembre (WEI a 2m)



Octubre (WEI a 2m)



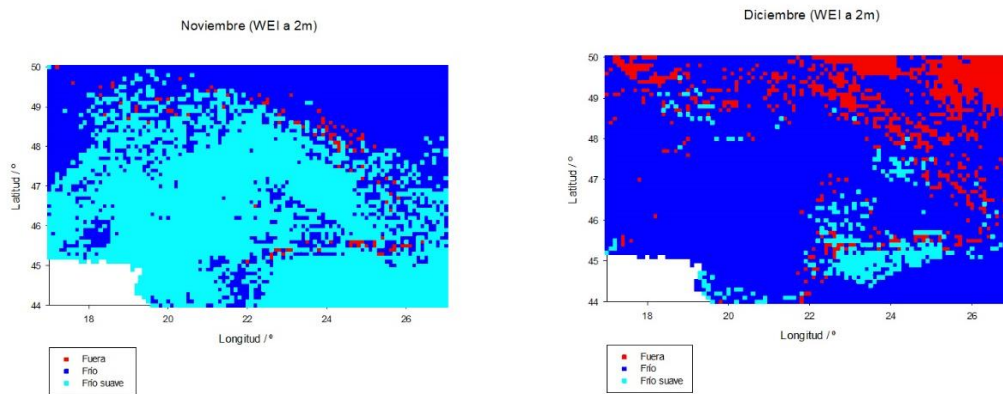


Figura 10: Mapa mensual de las sensaciones para WEI midiendo la velocidad del viento a 2 m

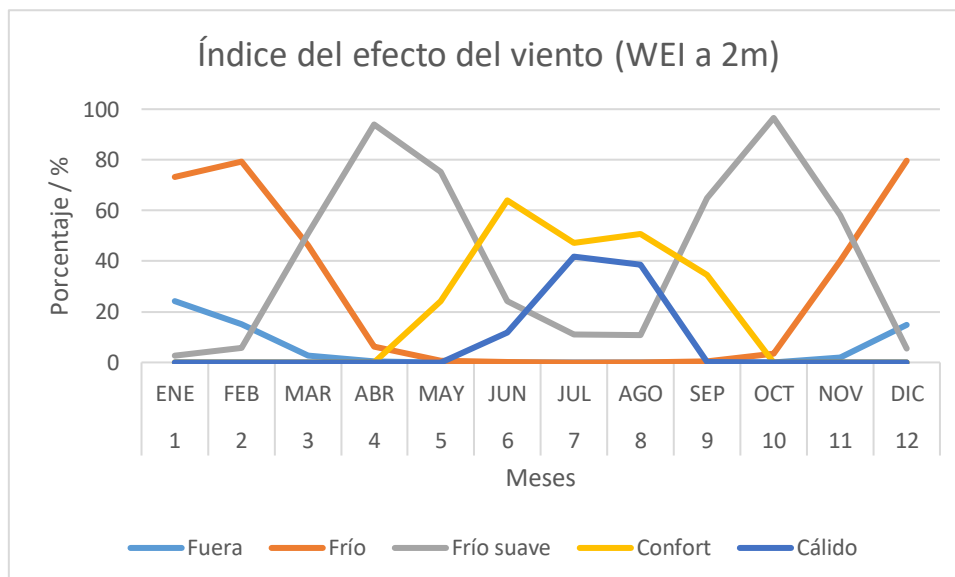


Figura 11: Porcentaje de las sensaciones para WEI midiendo la velocidad del viento a 2 m

En este caso no aparece la sensación “calor”. Pero a diferencia del resto de los índices, existe un gran porcentaje de “fuera”. Antes de comentar los gráficos obtenidos conviene hacer una explicación de los puntos a los que se les asocia “fuera”. El artículo de donde procede la clasificación del índice WEI, realizó un estudio del confort usando ese mismo indicador en un área de China (Jiang et al., 2018). Esta región se caracteriza por tener un clima frío y húmedo durante todo el año, con lluvia abundante y mucha luz solar, aunque la característica principal es que no hay grandes variaciones de la temperatura (no hace frío intenso en invierno ni calor sofocante en verano). En el caso de China, este indicador es perfecto para realizar el estudio ya que permite recoger la información y hacer la descripción del territorio de manera correcta. En el caso de los Cárpatos, al ser una región en la que el clima frío tiene gran influencia, esta clasificación no abarca suficientes tipos de sensaciones frías para caracterizar la región. Los puntos “fuera” son aquellos que

tienen asociado un valor del índice que no entra dentro de los posibles valores vistos en la *Tabla 4* (son valores menores a -800). A pesar de este inconveniente, la información obtenida de este índice también es buena, de hecho, los puntos “fuera” aparecen en las regiones donde el clima es más frío (norte y las montañas).

En enero, febrero y diciembre (los meses más fríos) predomina la sensación “frío”, y aparecen también celdillas asociadas a “frío suave”. Los puntos “fuera”, como se ha expuesto anteriormente, aparecen en la parte superior del recuadro y en la zona de la cadena montañosa.

En marzo, abril y octubre las sensaciones empiezan a ser algo más cálidas: “frío suave” domina la región, entreviéndose algunos puntos de “frío”. “Fuera” es prácticamente inexistente.

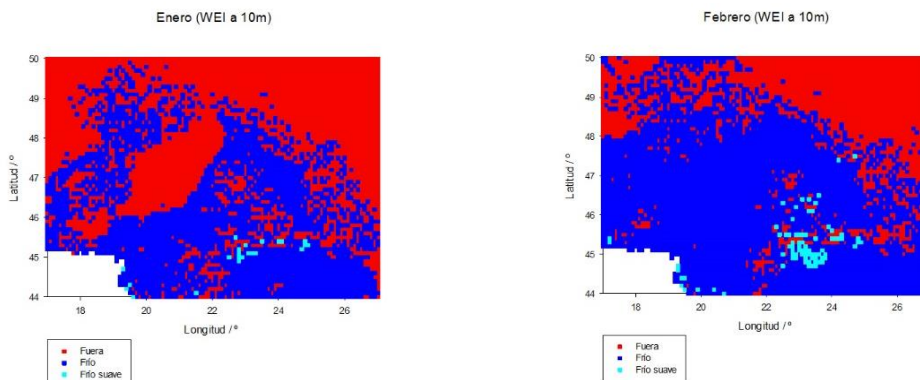
Mayo y septiembre traen consigo a “confort”, situado en el inferior del gráfico. El resto está recubierto por “frío suave” y pequeños puntitos de “frío”.

En los meses de verano, junio, julio y agosto, se encuentra “cálido” que abarca el sur y parte del centro de la región. Hasta ahora WEI es de los índices que más territorio abarca con sensaciones asociadas al calor durante estos meses. Aunque no lo parezca, la sensación predominante es “confort”, extendiéndose por el resto del territorio moteada por “frío suave” en la cadena montañosa.

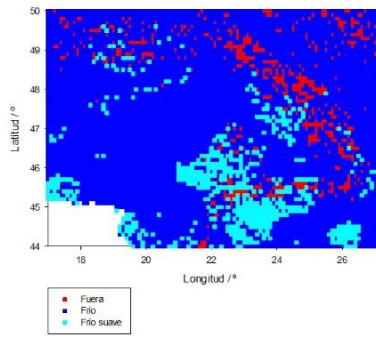
En resumen, a pesar de que WEI con WS2m presente algunos problemas y no tenga asociada una clasificación muy precisa, permite distinguir los tres climas principales de la región y hacerse una idea global de las sensaciones de la región (Terjung et al., 1966).

#### 4.1.5. Índice del efecto del viento (WEI) midiendo la velocidad del viento a 10 m

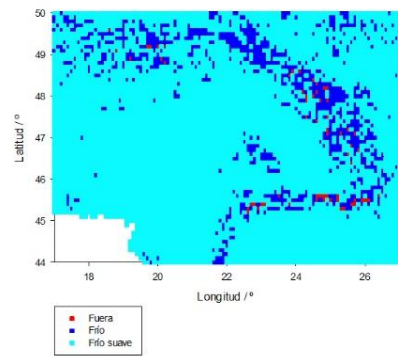
En la *Figura 12* aparecen los resultados obtenidos usando este indicador, mientras que la *Figura 13* contiene el porcentaje mensual de cada sensación.



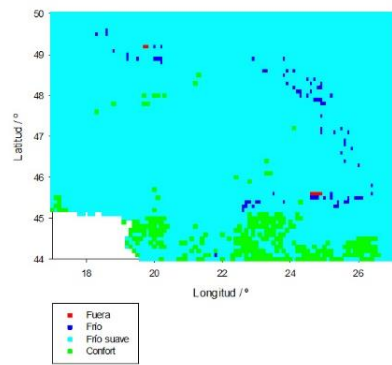
Marzo (WEI a 10m)



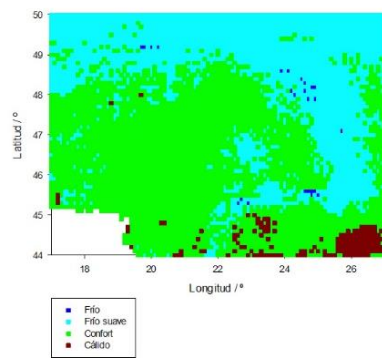
Abril (WEI a 10m)



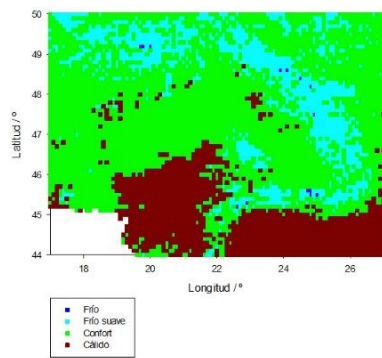
Mayo (WEI a 10m)



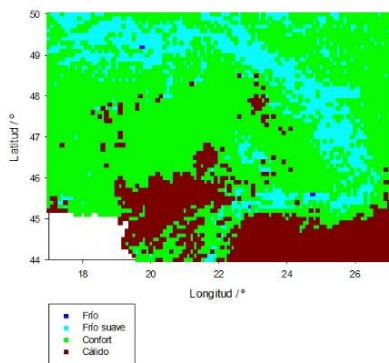
Junio (WEI a 10m)



Julio (WEI a 10m)



Agosto (WEI a 10m)



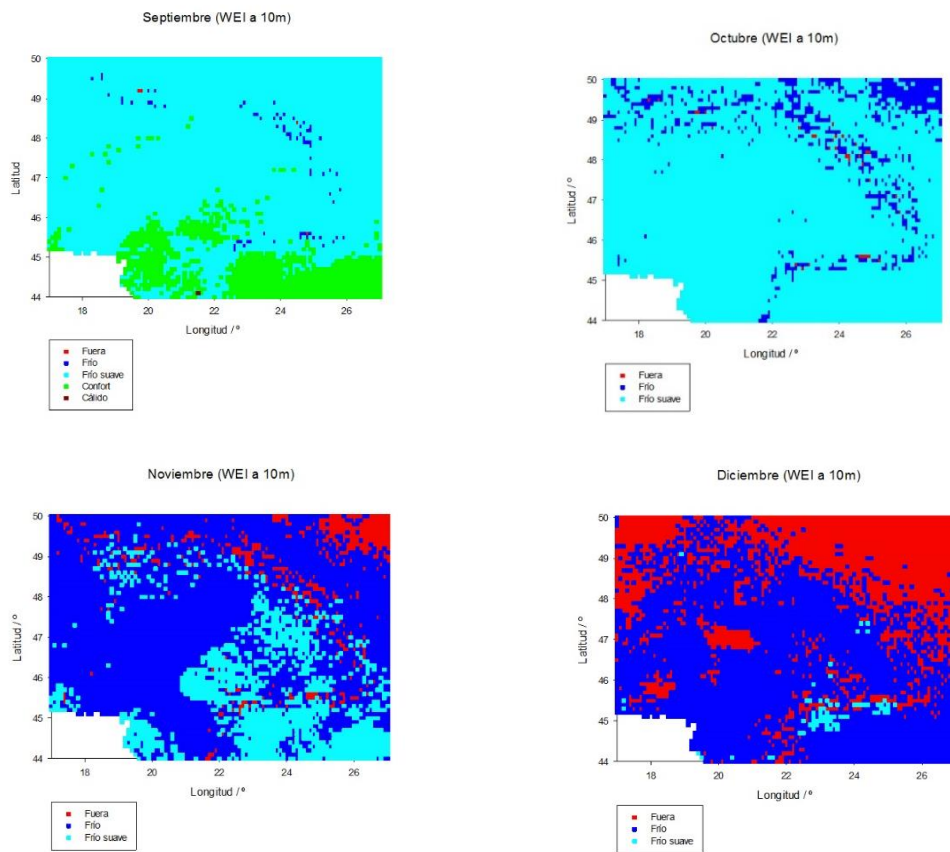


Figura 12: Mapa mensual de las sensaciones para WEI midiendo la velocidad del viento a 10 m

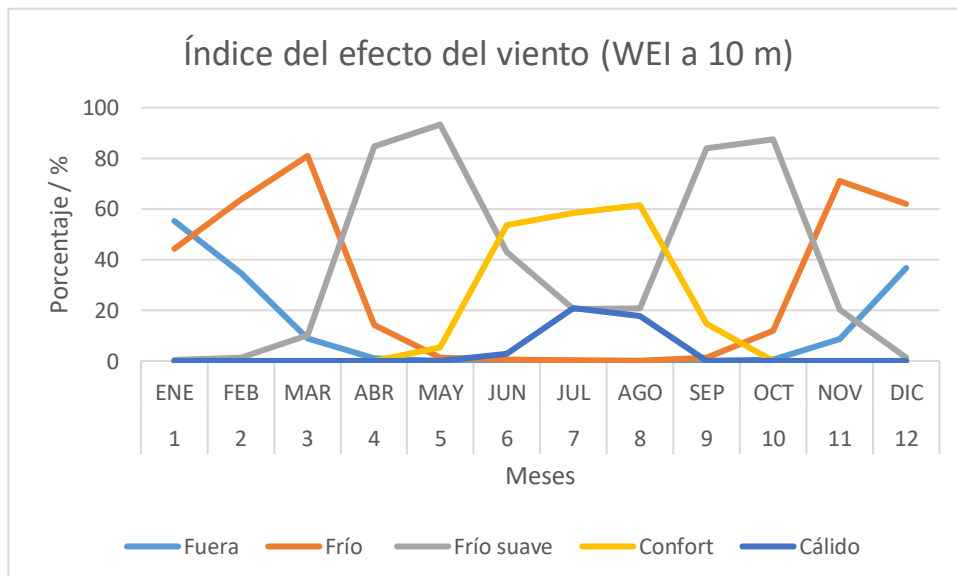


Figura 13: Porcentaje de las sensaciones para WEI midiendo la velocidad del viento a 10 m

La velocidad y dirección del viento cambian con el aumento de la altitud sobre el suelo, por lo tanto, al medir WS10m la distribución de las sensaciones cambia. En este caso predominan las sensaciones frías, por lo que el porcentaje de puntos “fuera” aumenta. La explicación de estos puntos es la misma que en el apartado 4.1.4 (Jiang et al., 2018).

Enero y diciembre son los meses que mayor porcentaje de “fuera” tienen, además de ser la sensación predominante. El resto está cubierto por “frío” con pequeñas motas de “frío suave”.

En marzo y noviembre el porcentaje de “fuera” desciende aunque todavía es un número considerable. Predomina “frío”, “frío suave” queda relegado al sur de la región con un porcentaje inferior.

En abril y octubre, la región está prácticamente cubierta por “frío suave”, encontrándose “frío” y algún que otro “fuera” sobre la cadena montañosa.

En mayo y septiembre empieza a aparecer “confort” por el sur del área aunque la sensación predominante sigue siendo “frío suave” que se encuentra sobre el resto del territorio. El porcentaje de “frío” y “fuera” no es nulo, pero es ínfimo en comparación al resto. Ambos se encuentran describiendo la silueta de la cadena montañosa.

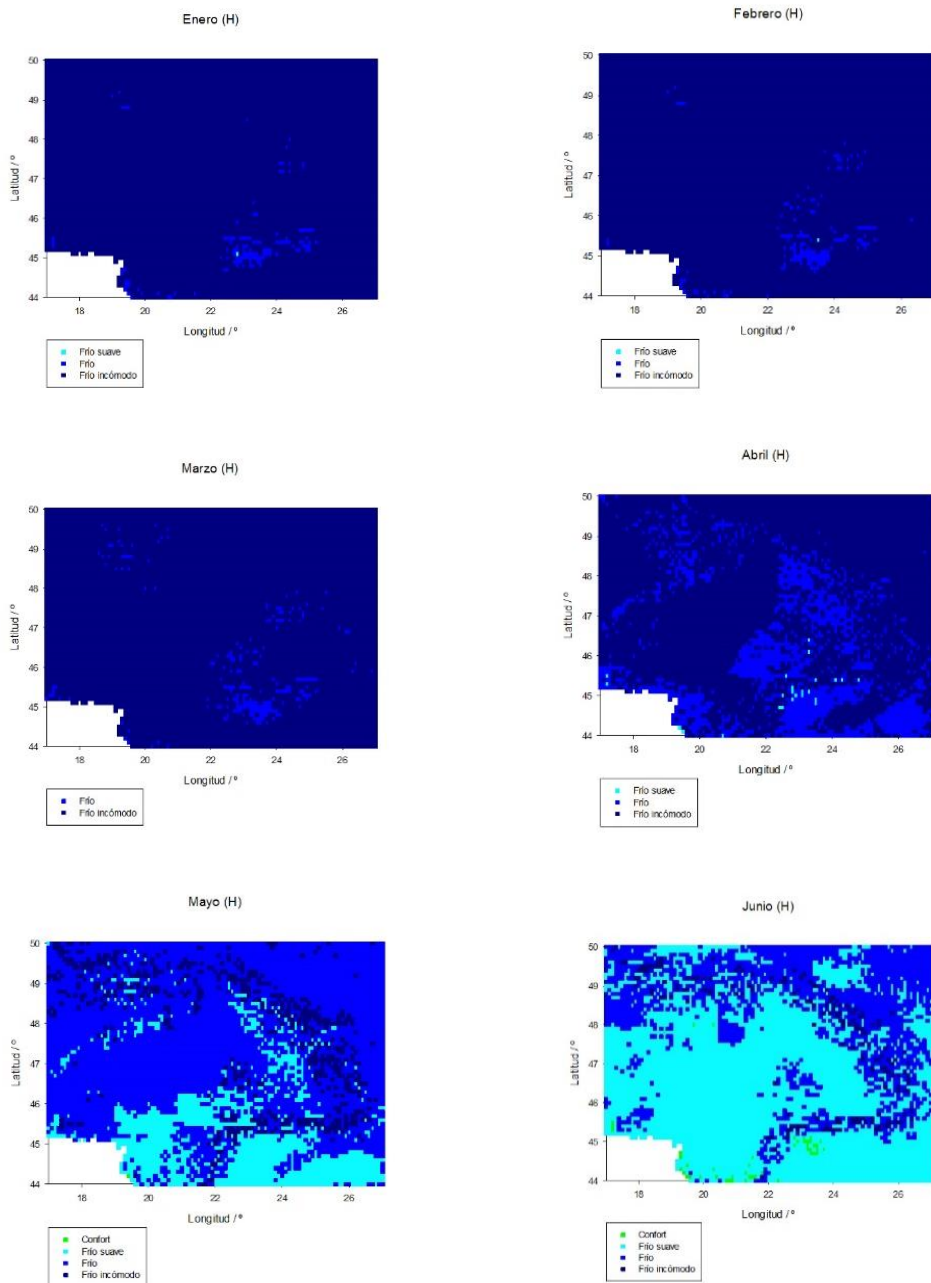
Finalmente, en los meses de verano, desaparece la sensación “fuera”, lo que vuelve a dar evidencias de que este índice es útil sobre todo en regiones con climas más cálidos. En la zona sur aparece “calor”, con porcentaje importante pero no muy elevado, y “confort” que es la sensación predominante. A diferencia de WEI con WS2m, el porcentaje de “calor” es menor con WS10m que en el otro. El norte y la cadena montañosa están caracterizados por “frío suave”, y todavía se distinguen algunas celdillas de “frío”.

De la misma manera que en el apartado anterior, este índice, incluso obteniendo puntos “fuera”, permite dar información global de la región, además de obtener resultados correctos y concluyentes sobre su clima.



#### 4.1.6. Poder de refrigeración o Índice de Hill (H)

La *Figura 14* expone los resultados obtenidos para H y la *Figura 15* muestra los porcentajes mensuales de cada sensación.



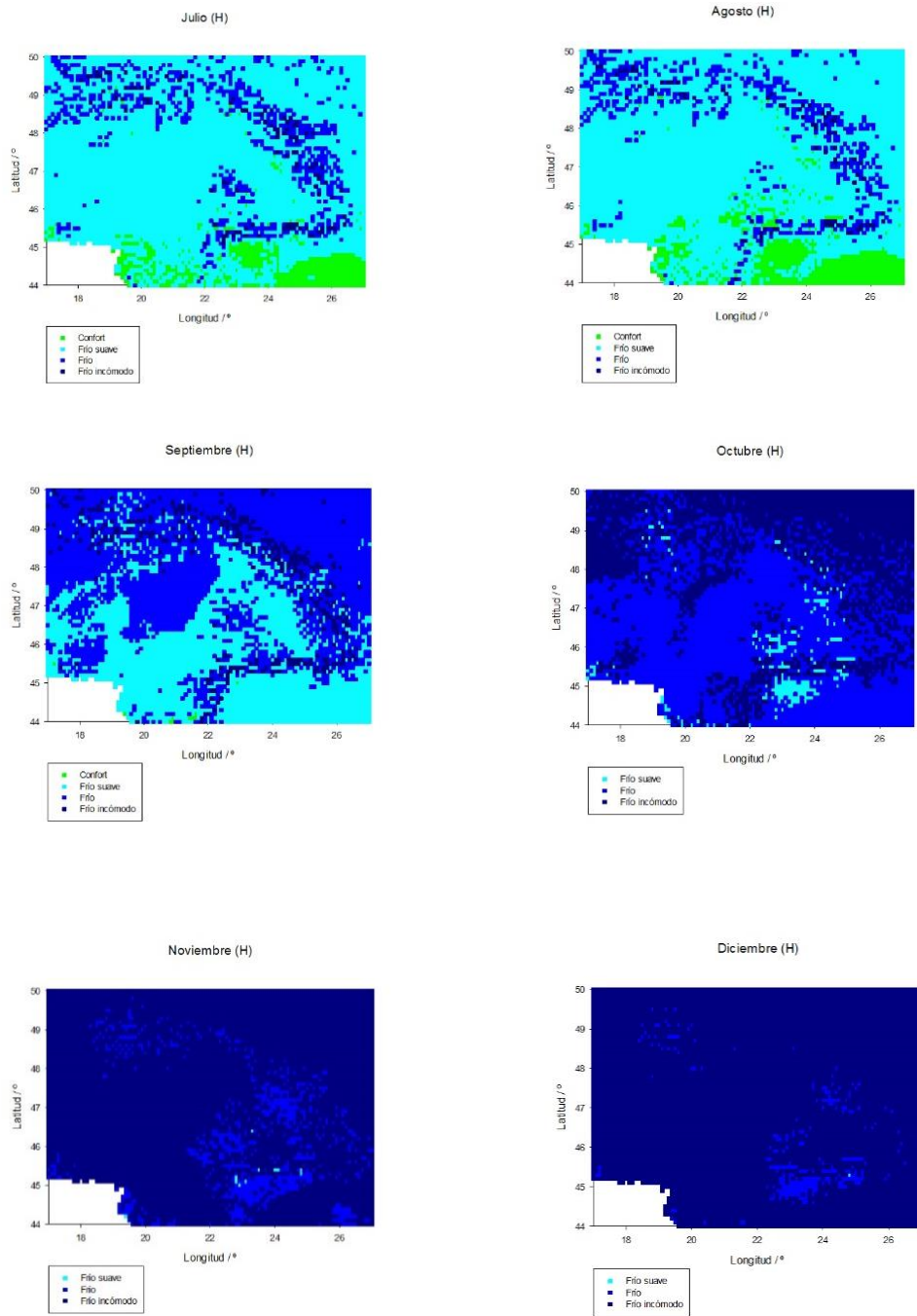


Figura 14: Mapa mensual de las sensaciones para H

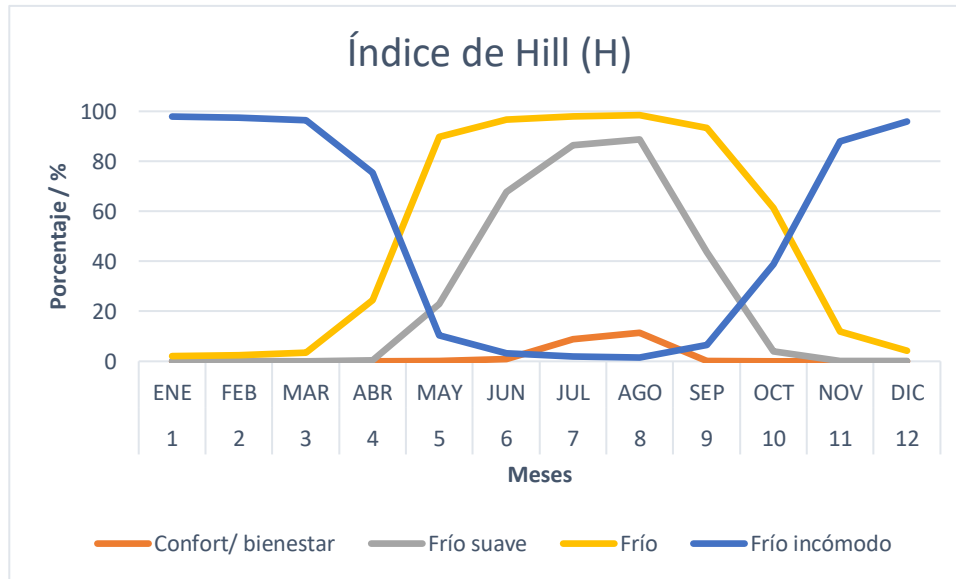


Figura 15: Porcentaje de las sensaciones para H

Los resultados que se obtienen para este índice son bastante curiosos ya que carece de sensaciones cálidas (la sensación “calor incómodo” no aparece), incluso en los meses de verano. El artículo del que se obtuvo la referencia de este índice hace el estudio en Colombia, donde el clima es mucho más cálido que en la región de los Cárpatos, por lo que aparecen las diferentes sensaciones que tiene asociada la clasificación de H. Aun así, se puede observar un gradiente de las sensaciones más frías a más templadas a medida que se acercan los meses de verano.

Enero, febrero, marzo, noviembre y diciembre son los meses más fríos en los que destaca “frio incómodo” con pequeñas trazas de “frio”. Estos resultados no difieren mucho de los obtenidos por el resto de los índices.

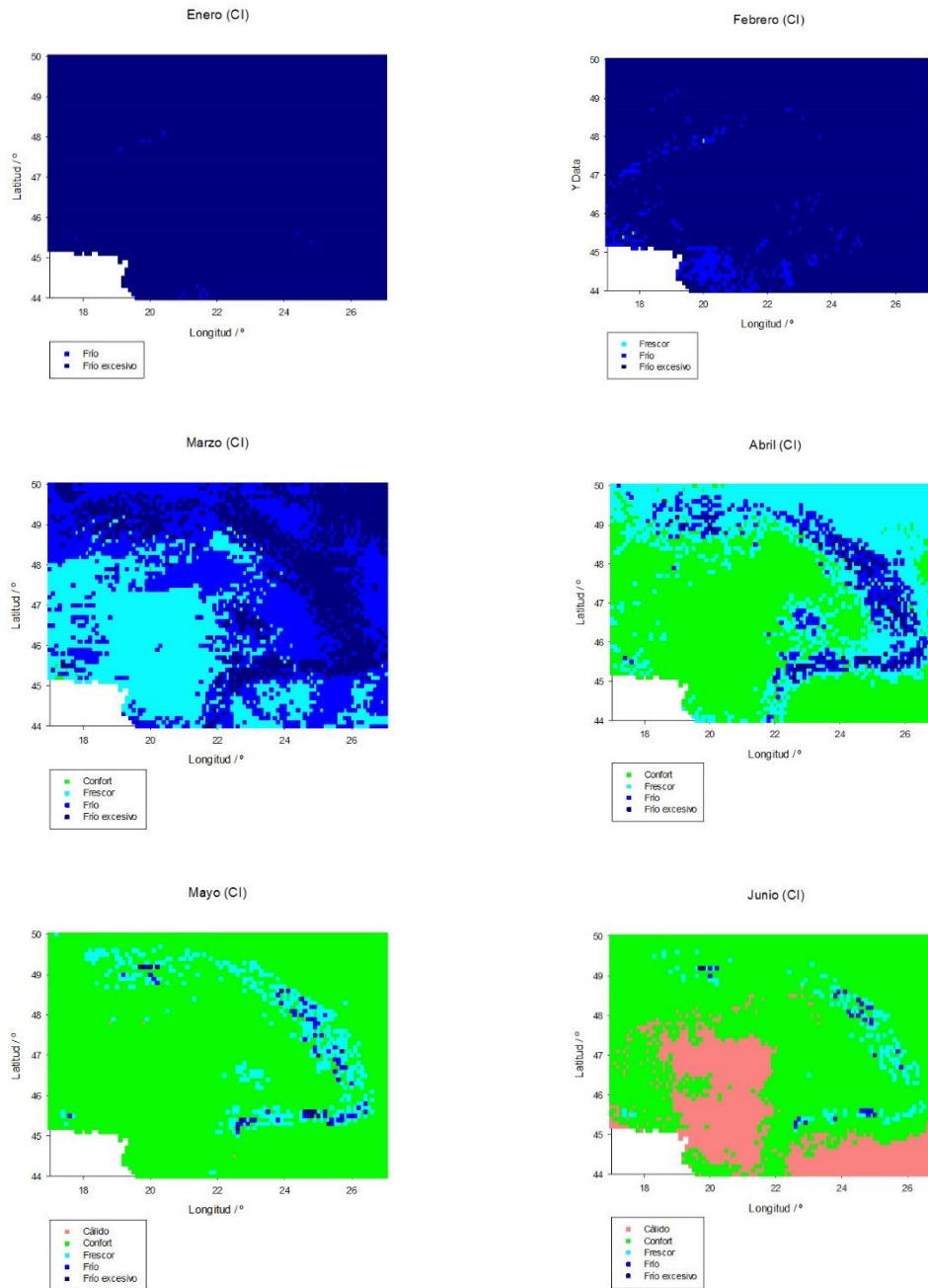
En mayo y septiembre, aparece “frio suave” por la zona sur, aunque sigue predominando “frio” por el norte. “Frio incómodo” caracteriza la cadena montañosa, y existen algunos puntos de “confort”. A diferencia con otros índices en los que durante estos meses las sensaciones de frio extremas desaparecían y los puntos de “confort” estaban en auge, aquí no ocurre.

En los meses de verano domina “frio suave” por el norte, el porcentaje de “confort” aumenta por el sur. Siguen existiendo puntos de “frio” y “frio intenso” por la cadena montañosa.

En resumen, los resultados de H no permiten distinguir los tres climas principales de la región ya que no aportan ninguna información sobre el clima cálido de los Balcanes en los meses de verano. La distribución del gradiente de sensaciones tiene lógica, pero no da información suficientemente acertada (Kozminski y Michalska, 2018).

#### 4.1.7. Índice del confort climático (CI)

Para CI, los resultados aparecen en la *Figura 16* y sus porcentajes mensuales asociados en la *Figura 17*.



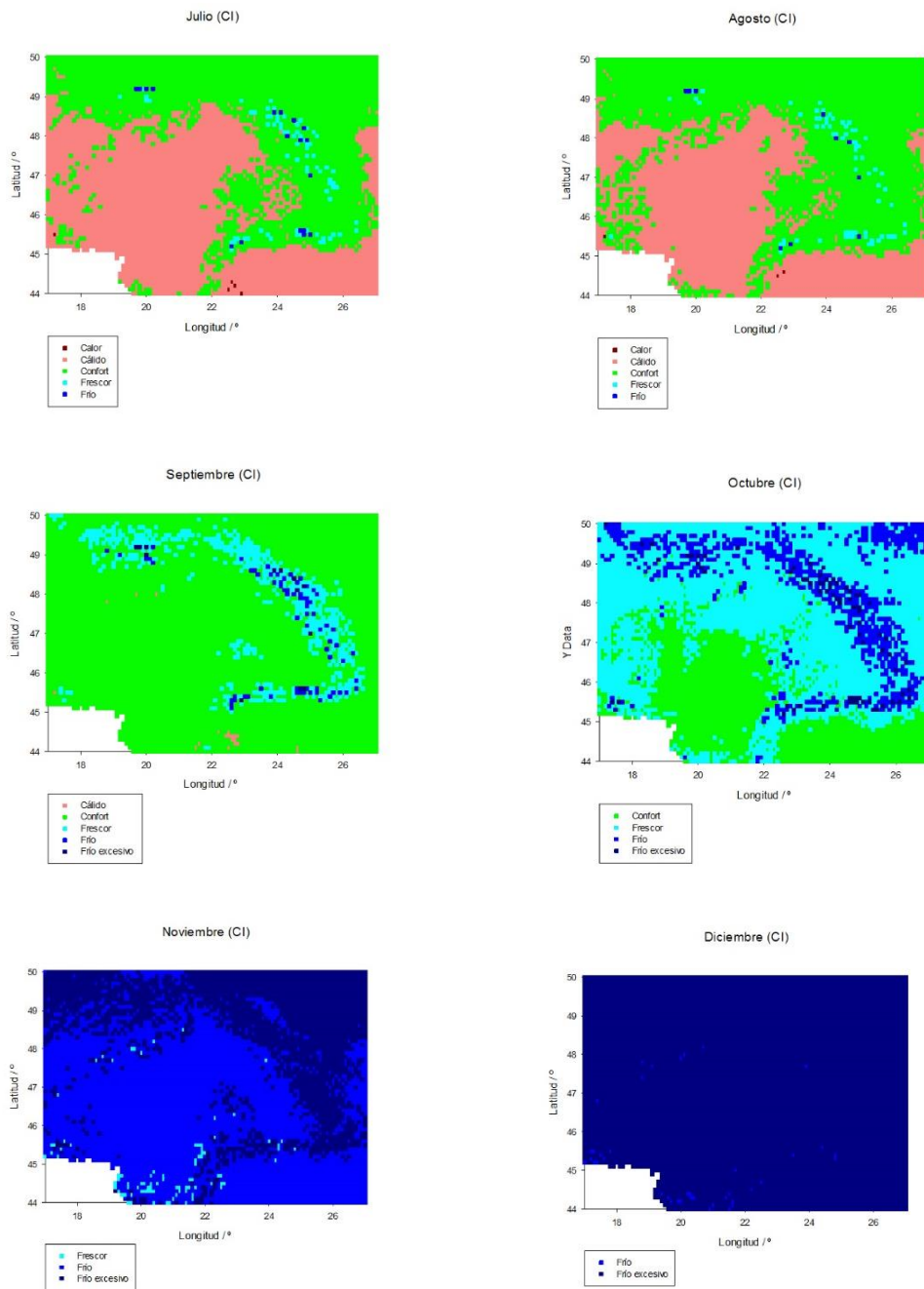


Figura 16: Mapa mensual de las sensaciones para CI

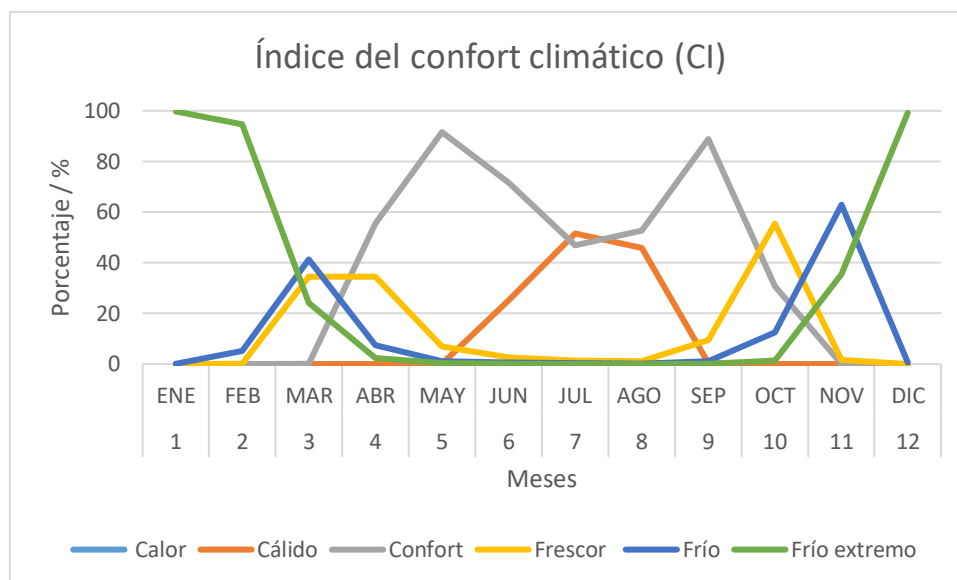


Figura 17: Porcentaje de las sensaciones para CI

La sensación “calor excesivo” no aparece, aunque sí que hace una descripción un poco más detallada de las sensaciones cálidas.

En los meses más fríos del invierno (enero, febrero y diciembre) toda la región está cubierta por “frío extremo” que alcanza prácticamente el 100% de su totalidad. Se distinguen algunas celdillas de “frío”.

En marzo y noviembre aparece “frescor”, teniendo mayor porcentaje en marzo. En ambos esta sensación recubre el sur del rectángulo. Domina “frío” en toda la región, recubierto por “frío extremo” en la cadena montañosa y en el norte.

Aparece “confort” en abril y octubre, recubriendo la zona sur y el centro prácticamente en su totalidad en abril. “Frescor” recubre el resto de la zona y “frío” está asociado a la cadena montañosa.

En mayo y septiembre, en la totalidad del territorio aparece la sensación “confort”, que recubre el norte, centro y sur, con la excepción de la cadena montañosa cubierta de “frescor” y pequeñas motas de “frío”.

En los meses más calurosos, junio, julio y agosto, “cálido” abarca todo el sur. También aparece, aunque su porcentaje es ínfimo, “calor” cuyos puntos asociados se encuentran únicamente en el límite sur. El resto del área está cubierto por “confort”, a excepción de algunas zonas de la cadena montañosa donde se encuentran “frescor” y “frío” (pero son muy pocas).

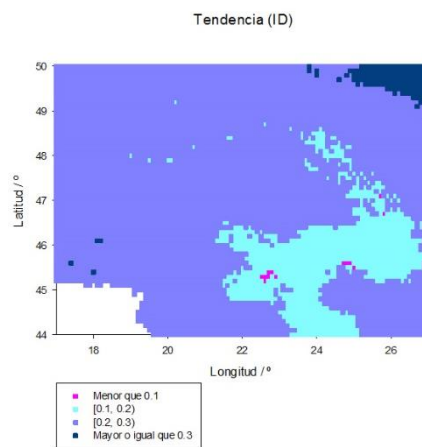
Como conclusión, a partir de este índice se obtiene información bastante concluyente y detallada del estudio de la sensación de confort de la región. Es un buen índice para realizar el estudio ([Lai et al., 2014](#)).

## 4.2. Tendencia global del índice

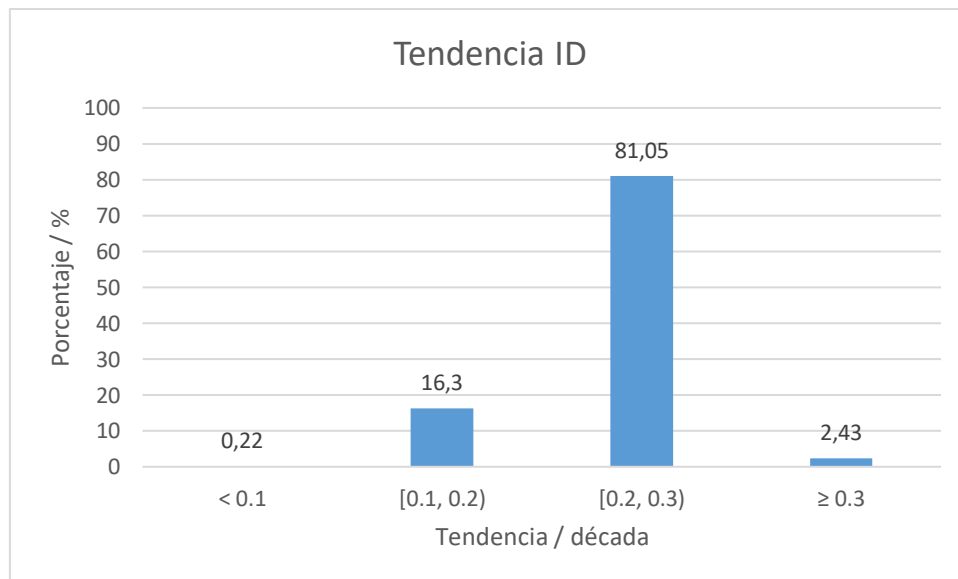
En este apartado se van a reproducir varias imágenes que recogen la variación del valor de cada índice por década y su diagrama asociado con el porcentaje de puntos relacionado con cada intervalo de variación.

### 4.2.1. Índice del malestar (ID)

La tendencia para ID viene representada en la *Figura 18*, mientras que los porcentajes de los valores que adquiere aparecen en la *Figura 19*.



*Figura 18: Tendencia global para ID*



*Figura 19: Porcentaje de la tendencia para ID*

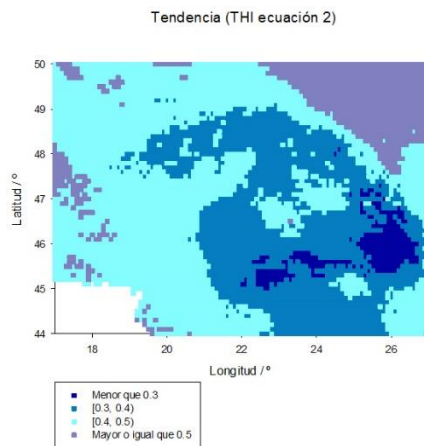


La variación del valor de ID por década no sobrepasa 0.4. Predomina un cambio del índice comprendido entre 0.2 y 0.3. Estos resultados nos indican que ID prácticamente no varía con el tiempo. Cabe recordar que se han calculado las tendencias con los valores de ID globales, no se han segmentado por meses. La variación más alta del índice se da en el noreste (la esquina superior derecha)

Además, en estas figuras aparece representada la variación por década, por lo que la variación del índice de un año a otro será inexistente prácticamente. En cuanto al coeficiente de correlación, se obtienen resultados satisfactorios, superiores a 0.91. Con esto se concluye que los valores de la tendencia son correctos (Mushore et al., 2019).

#### 4.2.2. Índice de Temperatura-Humedad (THI) a partir de la ecuación (2)

La variación por década de THI a partir de la ecuación (2) viene recogida en la *Figura 20*, y el porcentaje de los puntos asociados a cada valor de la tendencia aparece en la *Figura 21*.



*Figura 20: Tendencia global para THI a partir de la ecuación (2)*

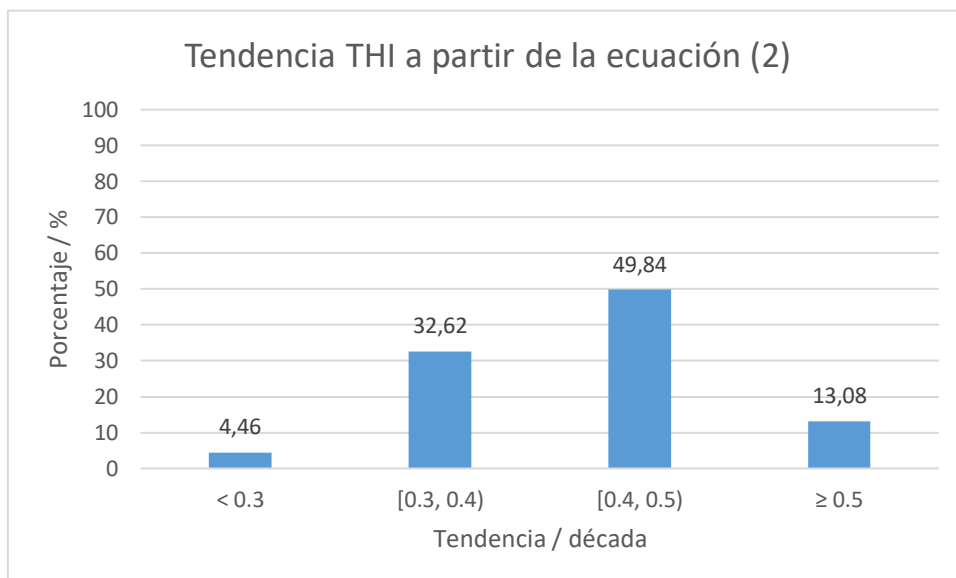


Figura 21: Porcentaje de la tendencia para THI a partir de la ecuación (2)

La tendencia de este indicador no supera 0.6, su valor predominante se encuentra comprendido en el intervalo [0.4, 0.5). Por lo tanto, los valores que adquiere el índice no varían prácticamente nada por década, concluyendo que de un año a otro la sensación en cada celdilla es la misma. La máxima variación del índice se encuentra en el noreste, y en algunos puntos del oeste.

En este caso los valores del coeficiente de correlación también son adecuados, sobrepasan 0.91 (Xu et al., 2018).

#### 4.2.3. Índice de Temperatura-Humedad (THI) a partir de la ecuación (3)

La Figura 22 indica la distribución de los resultados obtenidos para la tendencia de THI a partir de la ecuación (3), y la Figura 23 contiene el porcentaje de los puntos asociados a cada valor de esta.

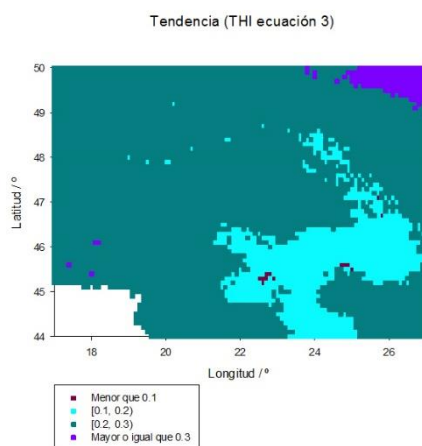


Figura 22: Tendencia global para THI a partir de la ecuación (3)

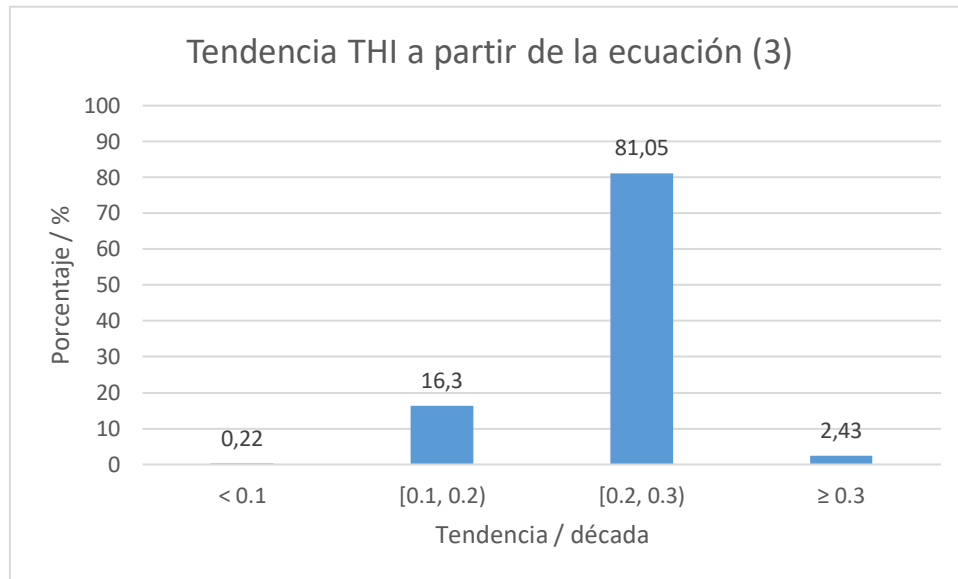


Figura 23: Porcentaje de la tendencia para THI a partir de la ecuación (3).

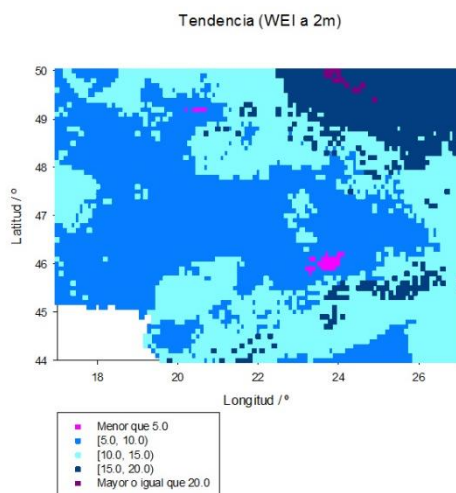
Como la ecuación (3) de THI y la ecuación (1) asociada a ID son la misma, tendrán los mismos resultados de la tendencia, ya que los valores numéricos obtenidos son iguales. Cabe recalcar que esto no ocurre en las sensaciones mensuales, ya que ambos son índices diferentes y, por lo tanto, tienen clasificaciones distintas. Esto implica que al hacer la distribución de las sensaciones, que para cada índice se realiza siguiendo su propia clasificación, no se obtengan los mismos resultados.

La variación por década del valor de THI con la ecuación (3) es aún menor que la obtenida con la ecuación (2), cómo máximo cambia 0.4. La tendencia que más aparece se encuentra en [0.2, 0.3), con un porcentaje de casi un 80 %. La máxima variación se encuentra distribuida en el noreste.

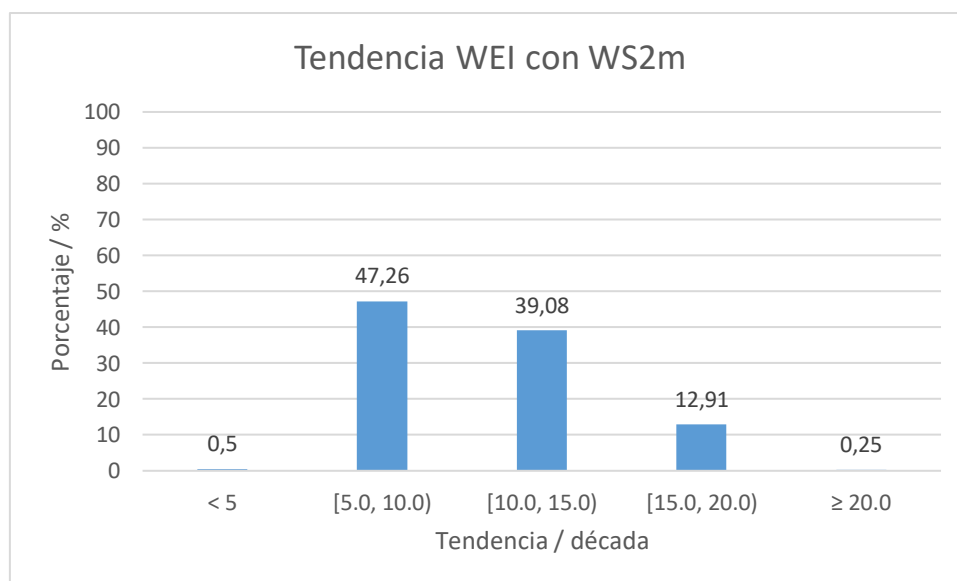
Los valores del coeficiente de correlación son correctos, superando 0.91. Con todo esto se puede concluir que el cambio en el índice es prácticamente inexistente (Abed y Matzarakis, 2018).

#### 4.2.4. Índice del efecto del viento (WEI) midiendo la velocidad del viento a 2 m

En la *Figura 24* aparece la tendencia asociada a WEI con WS2m, y el porcentaje de sus valores asociados aparece en la *Figura 25*.



*Figura 24: Tendencia global para WEI midiendo la velocidad del viento a 2 m*



*Figura 25: Porcentaje de la tendencia para WEI midiendo la velocidad del viento a 2 m*

En este índice las variaciones son del orden de las decenas, bastante mayores en comparación con el resto cuyas variaciones son del orden de las décimas. De primeras puede parecer que son valores elevados, pero si se compara con los números que aparecen en la *Tabla 4* cuyo valor absoluto máximo es 800, la variación no es tan elevada. Además cabe recordar que se ha visto en el apartado 4.1.4 y 4.1.5 la aparición de puntos “fuera” cuyo valor del índice asociado es, en valor absoluto, un número mayor que 800 (ya se

explicó qué eran estos puntos y por qué se salían de la clasificación). Por lo tanto el valor de la variación en comparación sigue siendo bastante pequeño.

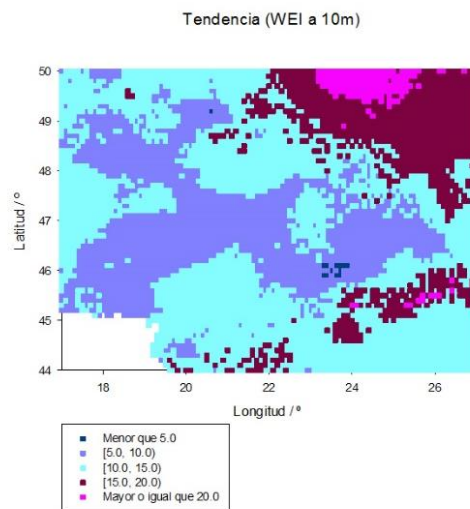
La variación predominante se encuentra comprendida entre [5.0, 10.0), que al compararla con los valores tabulados en la clasificación se puede concluir que es muy difícil que se den variaciones en el indicador, y si ocurren, estas variaciones se darían entre dos sensaciones consecutivas.

En este caso el coeficiente de correlación es, como mínimo, 0.9.

Como en los índices anteriores, los valores más elevados de la tendencia se encuentran en la esquina superior derecha, aunque en este caso también aparecen unos pocos puntos en el sureste (Eludoyin y Adelekan, 2013).

#### 4.2.5. Índice del efecto del viento (WEI) midiendo la velocidad del viento a 10 m

Para WEI con WS10m la distribución de la tendencia aparece en la *Figura 26*, y el porcentaje en la *Figura 27*.



*Figura 26: Tendencia global para WEI midiendo la velocidad del viento a 10 m*

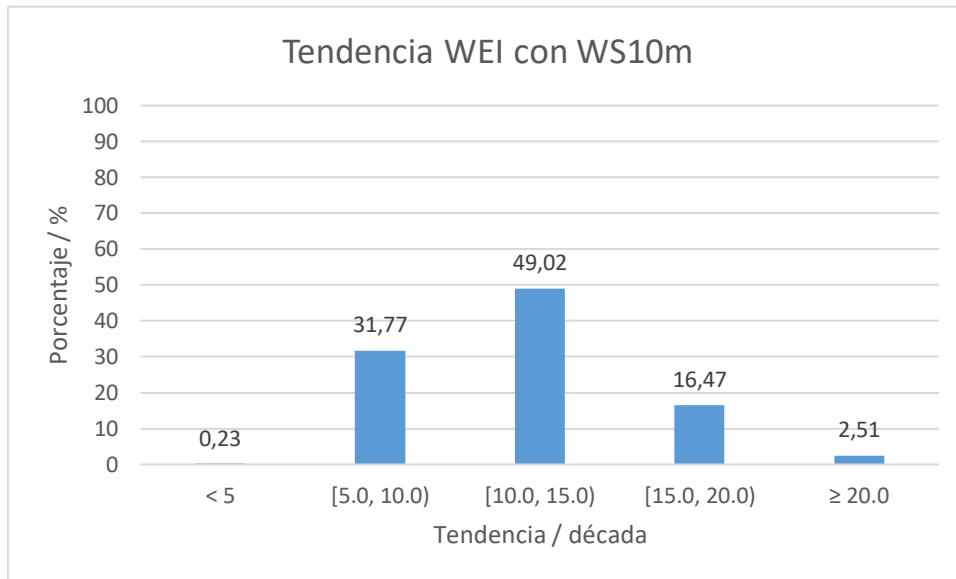


Figura 27: Porcentaje de la tendencia para WEI midiendo la velocidad del viento a 10 m

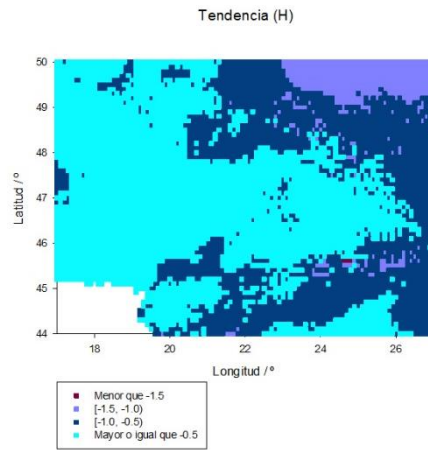
Al igual que el apartado anterior los valores de la tendencia son del orden de las decenas, la explicación sería la misma que para WEI con WS2m.

La tendencia predominante que se distribuye prácticamente por toda la región, tiene asociada valores pertenecientes al intervalo [10.0, 15.0), por lo que no supone un cambio importante en el índice. La máxima variación del índice se encuentra en puntos del noreste, y algunos sutiles en el sureste.

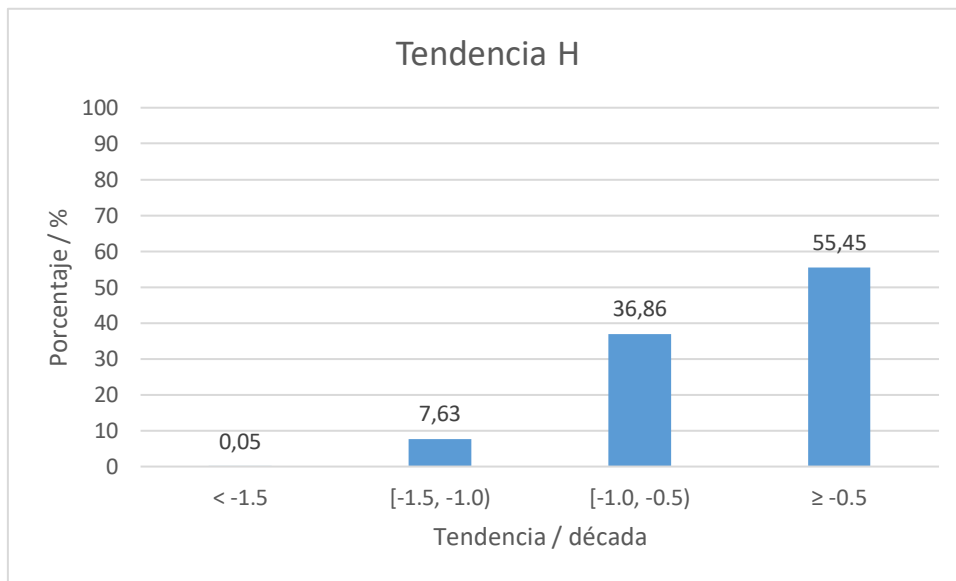
Los valores del coeficiente de correlación superan a 0.89, por lo tanto, son correctos. En resumen, se puede concluir que la sensación global permanece constante a lo largo del tiempo (Wu et al., 2020).

#### 4.2.6. Poder de refrigeración o índice de Hill (H)

En la *Figura 28* aparecen los resultados de la tendencia para H, mientras que la *Figura 29* recoge los valores de los porcentajes asociados a cada tendencia.



*Figura 28: Tendencia global para H*



*Figura 29: Porcentaje de la tendencia para H*

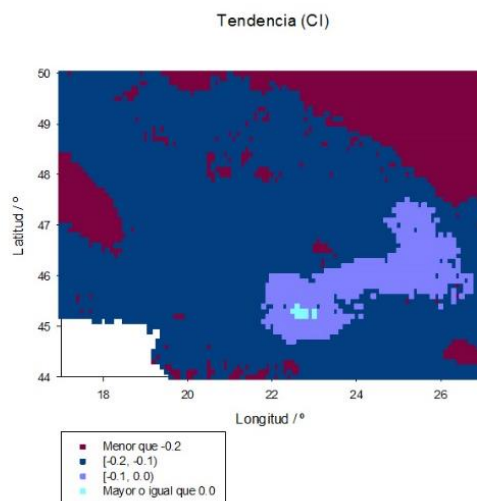
En este caso la tendencia toma valores negativos, es decir, el valor del índice en vez de aumentar con el tiempo, disminuye. La tendencia no supera -1.7, siendo una variación ínfima. Por el otro lado, nunca llega a anularse. El porcentaje más elevado está asociado a una variación superior a -0.5 que nunca llega a 0, por lo que se puede concluir que la distribución de las sensaciones a lo largo de todo el territorio de estudio es prácticamente invariante.

La mayor variación del índice es prácticamente inexistente, tiene asociada tres puntos que se pueden visualizar con dificultad aproximadamente en el centro de la región. Los puntos situados en el noreste, que para los índices anteriores tienen asociados las variaciones más elevadas, se les relaciona con una tendencia comprendida entre  $[-1.5, -1.0)$  que puede considerarse la variación máxima debido al bajo porcentaje de los puntos asociados con una tendencia inferior a  $-1.5$ .

En el caso de H, el coeficiente de correlación adquiere valores superiores a  $0.68$ . Siendo más bajos que en los índices anteriores, pero aun así correctos (<https://www.minambiente.gov.co/index.php/comunicaciones-nacionales-de-cambio-climatico/segunda-comunicacion>).

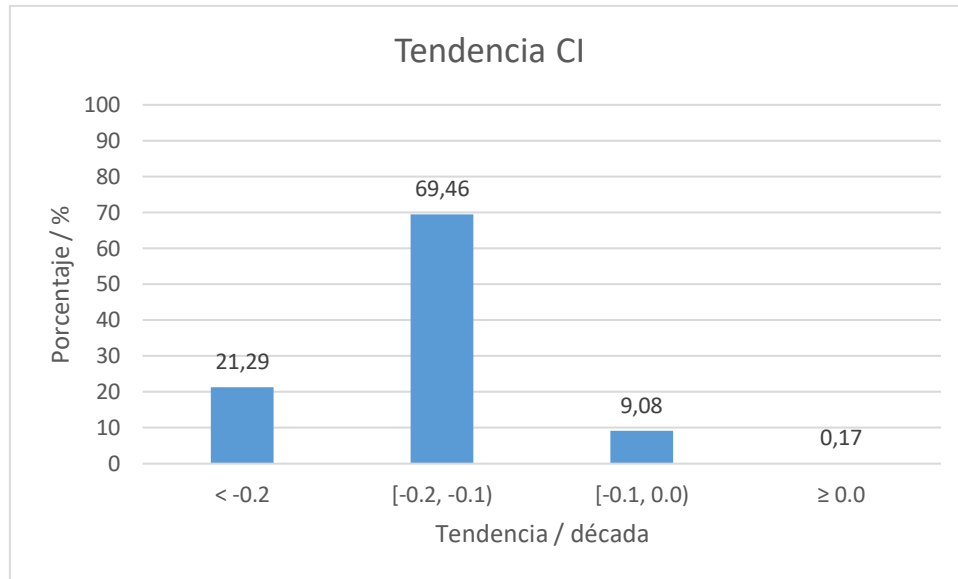
#### 4.2.7. Índice del confort climático (CI)

Los valores de la tendencia para CI aparecen en la *Figura 30*, y sus porcentajes asociados en la *Figura 31*.



*Figura 30: Tendencia global para CI*





*Figura 31: Porcentaje de la tendencia para CI*

Para CI la tendencia también adquiere prácticamente en su totalidad valores negativos, por lo que el valor del índice disminuye con el tiempo. Son valores muy pequeños.

En valor absoluto, la mayor variación se encuentra situada, al igual que para los índices anteriores, en puntos del noreste principalmente. Por otro lado, para la tendencia con valores superiores a 0 su porcentaje asociado es ínfimo, el número de sus puntos asociados en el mapa no es nada elevado.

Los valores que adquiere el coeficiente de correlación son correctos, siendo superiores a 0.79, inferior en comparación a los mínimos valores asociados al resto de los índices (Lin y Matzarakis, 2008).

## 5. CONCLUSIONES

### 5.1. Sensaciones mensuales

- En aspectos generales, todos los índices permiten hacer una descripción razonable del confort de la región, ya que el gradiente de sensaciones obtenido con cada indicador es correcto. Se obtienen sensaciones más cálidas en el sur, sensaciones templadas o confort en el centro, y frías por el norte y la cadena montañosa. Dependiendo del mes en el que se haga el estudio, este gradiente comprenderá sensaciones más frías, templadas o cálidas; pero en general, los tres climas característicos de la región se ven representados.
- Al hacer el estudio de las sensaciones se observa en prácticamente todos los índices la ausencia de sensaciones extremas, sobre todo cálidas. Ello es debido a que aunque en la zona sur (los Balcanes) el clima sea cálido en verano, lo predominante durante el resto del año son temperaturas bajas.
- En cuanto a los resultados obtenidos se vio que algunos indicadores presentaban problemas. WEI, tanto midiendo WS2m como WS10m, presentaba puntos “fuera”. Ya se explicó que estos eran debidos a que el artículo de donde se obtuvo la información realizaba un estudio de confort en una región de China, con un clima cuyas temperaturas son muchos más elevadas que las de los Cárpatos, por lo que este índice era perfecto para esa zona. En este caso hay regiones cuya sensación es mucho más fría que la que puede recoger la clasificación del WEI, por lo que aparecen los puntos “fuera” que no entran dentro de la clasificación. De todas formas, se puede hacer una interpretación de estos puntos asociándoles una sensación cuyo grado de frío sea máximo; además estos se encuentran situados en los meses y en las zonas (norte y la cadena montañosa) donde el clima es el más frío. Podría haber ocurrido que “fuera” se encontrara en puntos aleatorios del mapa y en meses de verano, en cuyo caso no se podría haber hecho una interpretación de estos y habría que desechar el índice por no obtener resultados concluyentes.
- Otro índice que presenta problemas es H, curiosamente no aparecen sensaciones cálidas. Al igual que para WEI, la información para H se obtuvo en un artículo que hacía un estudio del confort en Colombia. Se puede concluir que H se debe usar preferiblemente para caracterizar zonas más cálidas. Aun así, el gradiente de las sensaciones frías a las templadas de los meses de invierno a los de verano es correcto, además de que distingue entre varias sensaciones frías. Considerando únicamente estas sensaciones se puede llegar a observar la diferencia de climas entre zonas y momento del año, aunque no especifique correctamente el tipo de clima de cada región.
- El resto de índices dan una información completa y correcta de la distribución de confort en la región, que está completamente relacionada con el clima de cada zona. Así se concluye con que al no haber diferencias drásticas entre un índice y

otro, el estudio se ha realizado adecuadamente, además de haber obtenido resultados coherentes.

## **5.2. Tendencia global del índice**

Conviene recordar que los valores de la tendencia se han obtenido a partir de los resultados globales para cada índice, no se separaban por meses.

- Excepto para H y CI, los valores de la tendencia son positivos, es decir, cada 10 años el valor del índice que tienen asociados las celdillas aumenta. Para los otros dos índices, al ser negativa, este disminuye.
- Las zonas donde se encontraba la mayor variación estaban situadas en el noreste, coincidiendo en este lugar para todos los índices, unos con más porcentaje que otros, pero siempre situados en torno a esa zona. Aunque sea la mayor variación, el valor sigue siendo muy pequeño.
- El valor absoluto de la tendencia es muy pequeño, la variación de las sensaciones con el tiempo es inexistente prácticamente. Con esto se puede concluir que la distribución general de las sensaciones en el mapa se mantendrá prácticamente constante durante el tiempo que dura el estudio. Es decir, no habrá variaciones bruscas en el tipo de sensaciones que tienen asociadas las diferentes zonas de la región de los Cárpatos.

## 6. REFERENCIAS

- ABED S.S., MATZARAKIS A. (2018), Quantification of the Tourism Climate of Algeria Based of the Climate-Tourism-Information-Scheme, *Atmosphere*, 9, 250.
- ANTOFIE T., NAUMANN G., SPINONI J., VOGT J. (2015), Estimating the water needed to end the drought or reduce the drought severity in the Carpathian Region, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 19, 177-193.
- ASHRAE (1996), Thermal comfort conditions, *ASHRAE standard 55.66*, New York.
- CIBOTARU A.M., ANDRONACHE I., DEY N., PETRALLI M., DANESHVAR M.R.M., WANG Q., RADULOVIC M., PINTILII R.D. (2018), Temperature- Humidity Index described by fractal Higuchi Dimension affects tourism activity in the urban environment of Focsani City (Romania), *Theoretical and Applied Climatology*, 136, 1009-1019.
- ELUDOYIN O.M., ADELEKAN I.O. (2013), The physiologic climate of Nigeria, *Int. J. Biometeorol*, 57, 241-264.
- FANGER P.O., HOJBJERRE J., THOMSEN, J.O.B (1974), Thermal comfort conditions in the morning and in the evening, *International Journal of Biometeorology*, 18, 16-22.
- FERNÁNDEZ F. (1994), Clima y confortabilidad humana. Aspectos metodológicos, *Serie Geográfica*, 4, 109-125.
- GONZÁLEZ O.C. (1998), Metodología para el cálculo del confort climático en Colombia, IDEAM.
- IDEAM, I.D. (2005), Atlas climatológico de Colombia, Parte II, Bogotá D.C.
- JIANG H., YANG Y., BAI Y. (2018), Evaluation of All-for-the-One Tourism in Mountain Areas Using Multi-Source Data, *Sustainability*, 10, 4065.
- KOZMINSKI C., MICHALSKA B. (2018), Wind speed and direction on the Polish Baltic coast and conditions for recreation, *Idojaras*, 122, 393-408.
- LAI D., GUO D., HOU Y., LIN C., CHEN Q. (2014), Studies of outdoor thermal comfort in northern China, *Building and Environment*, 77, 110-118.
- LIANG C., BI W. (2017), Seasonal Variation Analysis and SVR Forecast of Tourist Flows during the Year: A Case Study of Huangshan Mountain, *IEEE 2nd International Conference on Big Data Analysis*.

LIN T.P., MATZARAKIS A. (2008), Tourism climate and thermal comfort in Sun Moon Lake, Taiwan, *Int. J. Biometeorol*, 52, 281-290.

MUSHORE T., CHIMUTI B., GWENZI J., MANJOWE M., MUTASA C., MASHONJOWA E., MHIZHA T., MUROYIWA G., ROUSTA I. (2019), *Physics and Chemistry of the Earth*, 110, 138-148.

POLYDOROS A., CARTALIS C. (2014), Assessing thermal risk in urban areas. An application for the urban agglomeration of Athens, *Adv. Build. Energy Res.*, 8, 74-83.

SPINONI J., SZALAI S., SZENTIMREY T., LAKATOS M., BIHARI Z., NAGY A., NÉMETH A., KOVÁCS T., MIHIC D., DACIC M., PETROVIC P., KRZIC A., HIEBL J., AUER I., MILKOVIC J., STEPANEK P., ZAHRADNÍČEK P., KILAR. P., LIMANOWKA D., PYRC R., CHEVAL S., BIRSAN M.V., DUMITRESCU A., DEAK G., MATEI M., ANTOLOVIC I., NEJEDLÍK P., STASTNÝ P., KAJABA P., BOCHNÍČEK O., GALO D., MIKULOVÁ K., NAVYVANETS Y., SKRYNYK O., KRAKOVSKA S., GNATIUK N., TOLASZ R., ANTOFIE T., VOGT J. (2015), Climate of the Carpathian Region in the period 1961-2010: climatologies and trends of 10 variables, *International Journal of Climatology*, 35, 1322-1341.

TORNERO J., PÉREZ A., GÓMEZ F. (2006), Ciudad y confort ambiental: estado de la cuestión y aportaciones recientes, *Cuad. de Geogr.*, 80, 147-182.

TERJUNG W.H. (1966), Physiologic climates of the conterminous of the United States: A bioclimatic clasification based on man, *Annals of the Association of American Geographers*, 56, 141-179.

WEIHONG C., YUANQING H., ZONGSHENG L., SHUXIN W., CHUNFENG W., LI C. (2012), A correlation analysis between climate comfort degree and monthly variation of tourist in Lijiang, *Scientia Geographica Sinica*, 12, 1459-1464.

WU F.F., YANG X.H., SHEN Z.Y., YI Z.J. (2020), Long-term trends and spatiotemporal variations of climate comfort in China during 1966-2016, *Thermal Science*, 4, 2445-2453.

XU M., HONG B., MI J., YAN S. (2018), Outdoor thermal comfort in an urban park during winter in cold regions of China, *Sustainable Cities and Society*, 43, 208-220.

ZIAUL SK., PAL S. (2019), Assessing outdoor thermal confort of English Bazar Municipality and its surrounding, West Bengal, India, *Advances in Space Research*, 64, 567-580.