

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 773 183**

51 Int. Cl.:

**G01W 1/10** (2006.01)

**G06Q 10/04** (2012.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **03.01.2017 E 17450001 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **20.11.2019 EP 3343249**

54 Título: **Procedimiento para aumentar la resolución espacial de un pronóstico meteorológico**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**09.07.2020**

73 Titular/es:  
**UBIMET GMBH (100.0%)  
Donau-City-Straße 11  
1220 Wien, AT**

72 Inventor/es:  
**SPATZIERER, MANFRED**

74 Agente/Representante:  
**GONZÁLEZ PECES, Gustavo Adolfo**

**ES 2 773 183 T3**

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

## DESCRIPCIÓN

Procedimiento para aumentar la resolución espacial de un pronóstico meteorológico

### Campo técnico

5 La invención se refiere a un procedimiento, en particular a un procedimiento implementado por ordenador para aumentar la resolución espacial de un pronóstico meteorológico, en el que los puntos de cuadrícula de una primera cuadrícula tienen cada uno parámetros meteorológicos pronosticados y los parámetros meteorológicos pronosticados se interpolan sobre los puntos de cuadrícula de una segunda cuadrícula para obtener parámetros meteorológicos interpolados, en el que los puntos de cuadrícula de la segunda cuadrícula tienen una resolución espacial mayor que los puntos de cuadrícula de la primera cuadrícula. Los campos de parámetros presentes en la  
10 segunda cuadrícula pueden tener más información a pequeña escala que cuando se usa un procedimiento de interpolación simple.

Además, la invención se refiere a un producto de programa informático que comprende medios de código de programa que son adecuados para realizar las etapas de dicho procedimiento cuando el producto de programa informático se ejecuta en un dispositivo informático. La invención también se refiere a un dispositivo informático que está programado para llevar a cabo dicho procedimiento.

### Definiciones de referencia

En meteorología, se usan una serie de procedimientos para describir y/o modelar el estado de la atmósfera y a partir de estos determinar las variables meteorológicas usando procedimientos matemáticos. En el contexto de la descripción de la presente invención, los procedimientos meteorológicos relevantes se definen como sigue.

Bajo “análisis meteorológico” debe entenderse la descripción más precisa posible del estado actual de la atmósfera en un momento (en el pasado) determinado. Un “procedimiento de análisis meteorológico” es un procedimiento que se usa para la interpolación de valores medidos irregulares distribuidos espacialmente, que incluyen información adicional. En el caso más general, estos son mapas que asignan campos de estos parámetros a un número finito de valores medidos de ciertos parámetros meteorológicos.

La “reducción de escala” se entiende como una interpolación espacial de parámetros meteorológicos conocidos sobre una cuadrícula regular. La interpolación se lleva a cabo con la inclusión de información adicional conocida sobre una cuadrícula regular y finamente resuelta.

“Posprocesamiento” se refiere a los procedimientos que se usan para un refinamiento posterior de pronósticos meteorológicos generados por modelos meteorológicos numéricos. Estos pueden ser procedimientos de reducción de escala, así como procedimientos estadísticos para determinar y corregir cualquier error sistemático de dichos modelos (como el procedimiento MOS que se describe a continuación). Por medio de dichos procedimientos también se pueden generar pronósticos para parámetros que no se predicen directamente por el modelo meteorológico numérico, pero que se correlacionan de modo suficientemente fuerte con los parámetros meteorológicos pronosticados.

Se entiende que un “procedimiento MOS” en el sentido más amplio significa un procedimiento de aprendizaje automático en el que las predicciones de un modelo meteorológico numérico se usan como una variable independiente (es decir, explicativa). Además, otras variables independientes también se pueden incluir en dicho procedimiento. Los valores medidos o las cantidades derivadas de los valores medidos se usan como variables dependientes (es decir, declaradas). Los procedimientos MOS a menudo, pero no necesariamente, se implementan como procedimientos de regresión.

### Estado de la técnica

Los modelos numéricos de pronóstico meteorológico se usan para predecir el desarrollo futuro de parámetros meteorológicos mediante la resolución de ecuaciones diferenciales, que determinan la física de la atmósfera, con procedimientos numéricos asistidos por ordenador. Los modelos numéricos de pronóstico meteorológico calculan el estado futuro de la atmósfera en determinados momentos sobre la base del estado real determinado mediante mediciones. En la solución numérica, las ecuaciones diferenciales se hacen discretas, de modo que las soluciones solo están disponibles para puntos de cuadrícula de una cuadrícula que finalmente se resuelve en el espacio y el tiempo y con los cuales la Tierra está cubierta como una red. Dependiendo de la separación de los puntos de cuadrícula, la calidad del pronóstico oscila, especialmente para los parámetros del suelo. Una gran distancia entre los puntos de cuadrícula provoca imprecisiones locales, mientras que una cuadrícula estrecha ofrece una mayor precisión regional. Con los modelos numéricos de pronóstico meteorológico global usados actualmente, el espaciado de la cuadrícula es de 10 km y más. Por lo tanto, el pronóstico de parámetros del suelo, tal como, la temperatura máxima diaria, la temperatura mínima diaria o el viento de superficie para una ubicación específica a menudo es demasiado impreciso para el uso diario. Esto es especialmente cierto si los parámetros meteorológicos son

afectados por efectos orográficos de escala muy fina, tal como, por ejemplo, estancamientos, inversiones o fenómenos que pueden rastrearse hasta el suelo, tal como desviaciones en la velocidad del viento debidas a la aspereza del terreno.

5 Por lo tanto, se han conocido varios procedimientos de posprocesamiento con los que se pueden refinar pronósticos meteorológicos numéricos. El refinamiento puede consistir, por ejemplo, en el hecho de que los parámetros meteorológicos disponibles en los puntos de cuadrícula del modelo numérico de pronóstico meteorológico se basan en puntos intermedios, por ejemplo, se interpolan a puntos de cuadrícula de una cuadrícula que tiene una resolución espacial mayor en el sentido de reducción de escala, teniendo en cuenta las condiciones locales.

10 Los procedimientos estadísticos a menudo también se usan en el contexto de los procedimientos de posprocesamiento. Model Output Statistics (MOS) es una técnica estadística establecida que usa principalmente ecuaciones de regresión multilineales que se usan para corregir los resultados de predicción de modelos numéricos de pronóstico meteorológico para una ubicación específica en función de las mediciones de la estación. En el caso de los procedimientos MOS, las series de mediciones a largo plazo (normalmente dos años y más) en estaciones meteorológicas se comparan con los pronósticos numéricos históricos correspondientes y las relaciones estadísticas halladas generalmente se mapean usando modelos de regresión lineal (véase Glahn HR and Lowry DA: The Use of Model Output Statistics (MOS) in Objective Weather Forecasting, J. Appl. Meteor., 11, 1203-1211 (1972)). Los pronósticos MOS suelen ser significativamente más precisos que los pronósticos derivados del mismo modelo numérico de pronóstico meteorológico por simple interpolación. Especialmente entonces, si las influencias en los parámetros meteorológicos (tal como la topografía o las superficies del suelo) oscilan tan localmente en las proximidades de los puntos de medición considerados que no se puede formar en un modelo numérico con la resolución habitual.

La predicción MOS en una estación meteorológica como se describió anteriormente se puede representar matemáticamente de la siguiente manera: el valor medido de un parámetro meteorológico  $p$  (por ejemplo, la temperatura a dos metros sobre el suelo) en la estación meteorológica  $s$  en el momento  $t$  se conoce como

25 
$$M_{t,p}^s$$

y la predicción de un modelo numérico para un parámetro meteorológico  $q$  en un punto de cuadrícula del modelo adyacente  $(x,y)$  durante un tiempo  $t$  se conoce como

$$\varphi_{t,q}(x,y)$$

30 Por lo general, se configuran ecuaciones de regresión para cada parámetro  $p$  y cada estación  $s$ , en el que puede restringirse al punto de cuadrícula del modelo más cercano a la estación. En el sentido de una notación compacta, los índices  $s$  y  $p$  así como las coordenadas  $(x,y)$  se omiten a continuación.

Los pares de valores medidos y pronósticos numéricos se determinan en varios puntos en el tiempo, de modo que hay una serie de tiempo correspondiente que ahora se somete a un análisis de regresión. Como parte del análisis de regresión, el parámetro numérico pronosticado  $q$  es la variable explicativa y el parámetro medido  $p$  es la variable declarada, de modo que el enfoque de regresión es el siguiente:

$$M'_t = \alpha \varphi_t + \alpha_0 \quad (\text{Fórmula 1})$$

Sin embargo, no es absolutamente necesario usar solo el parámetro del modelo correspondiente al parámetro de medición  $p$  como variable explicativa: la temperatura medida en la estación puede explicarse, por ejemplo, mediante una combinación de temperatura, humedad y presión del modelo. El enfoque de regresión es entonces (en notación simplificada)

$$M'_t = \sum_q \alpha_q \varphi_{t,q} + \alpha_0 \quad (\text{Fórmula 2})$$

40 y los coeficientes de regresión  $\alpha_0, \alpha_q$  se determinan mediante la minimización de

$$\sum_t (M'_t - M_t)$$

Si se conocen los coeficientes  $\alpha_0, \alpha_q$  para una estación  $s$  y un parámetro  $p$ , se puede hacer un pronóstico MOS para este parámetro en esta estación para cada predicción futura del modelo.

45 Dado que el hallazgo y la aplicación de tales relaciones estadísticas representan un esfuerzo computacional significativamente menor que resolver las ecuaciones diferenciales determinantes dentro de un modelo numérico, un

procedimiento de posprocesamiento MOS puede usarse en principio en una cuadrícula de resolución espacialmente mucho más alta que lo que es posible para modelo numérico de pronóstico meteorológico.

5 También se establece la idea de usar el procedimiento MOS diseñado originalmente para su uso en estaciones meteorológicas (es decir, puntos distribuidos irregularmente) para obtener pronósticos refinados en una cuadrícula regular (véase Glahn, B., Gilbert K., Cosgrove R., Ruth DP and Sheets K.: The Gridding of MOS, Wea. Forecasting, 24, 520-529 (2009)). Esta puede implementarse, como se describe en Glahn, B. and Dallavalle, J.P.: Gridded MOS - Techniques, Status and Plans, Preprints, 18th Conference on Probability and Statistics in the Atmospheric Sciences, Atlanta, GA, Amer. Meteor. Soc., 2.1, principalmente de tres maneras:

10 En el primer caso más simple, las relaciones estadísticas (tal como de acuerdo con la Fórmula 1 o 2) se derivan de datos históricos en todas las estaciones meteorológicas disponibles y después simplemente se aplican a todos los demás puntos (con condiciones meteorológicas comparables) de la red regular para pronósticos futuros.

15 En el segundo caso, las relaciones estadísticas (por ejemplo, de acuerdo con la Fórmula 1 o 2) se derivan en las estaciones meteorológicas y solo se aplican a ellas, para luego usar un procedimiento de análisis para calcular los pronósticos en una cuadrícula regular a partir de los pronósticos para las ubicaciones de las estaciones meteorológicas.

La tercera posibilidad consiste en interpolar los valores medidos en las estaciones meteorológicas mediante un análisis sobre una cuadrícula regular y después derivar y aplicar las relaciones estadísticas en cada punto de esta cuadrícula.

20 Un procedimiento de análisis meteorológico para la interpolación de parámetros meteorológicos es el denominado procedimiento VERA (Vienna Enhanced Resolution Analysis). El procedimiento VERA se describe con más detalle en los siguientes artículos:

- Mayer, D., R. Steinacker, 2013: VERA - Ein objektives Verfahren zur Analyse von meteorologischen Messwerten. Mitteilungsblatt des Hydrographischen Dienstes in Österreich, 88, 9-44 ([http://www.univie.ac.at/amk/veraflex/test/Facebook/Hydrologisches\\_Mitteilungsblatt\\_VERA.pdf](http://www.univie.ac.at/amk/veraflex/test/Facebook/Hydrologisches_Mitteilungsblatt_VERA.pdf))

25 - Pötschacher, W., R. Steinacker, and M. Dorninger, 1996: VERA - A high resolution analysis scheme for the atmosphere over complex terrain. Preprints, Seventh Int. Conf. on Mesoscale Processes, Reading, United Kingdom, Amer. Meteor. Soc., 245-247.

30 El objetivo del procedimiento VERA es analizar la información de medición de puntos distribuidos irregularmente mediante la incorporación de campos predefinidos estática o dinámicamente (huellas digitales) sobre una cuadrícula regular. La idea básica del procedimiento VERA consiste en la suposición justificada de que los campos meteorológicos se componen aditivamente debido a diferentes influencias (dependiendo de la topografía o la superficie del suelo) y que el componente independiente tiene gradientes y curvaturas comparativamente débiles, es decir, el valor de sus primeras y segundas derivadas espaciales es bajo. Por lo tanto, la rugosidad de un campo meteorológico es soportada por los campos de huellas digitales predefinidos y ponderados como parte del análisis, en el que para los factores de ponderación se permite una variación espacial, pero también usando una condición de suavizado. El componente básico suavizado, que está determinado principalmente por la situación climática general, se conoce como el componente no explicado y los campos de huellas digitales ponderados representan los componentes explicados.

40 Desde un punto de vista matemático, el análisis VERA es la solución a un problema de optimización. Por un lado, la condición para la curvatura mínima de la parte no explicada y los factores de ponderación se colocan en el campo de análisis, y, por otro lado, se requiere que la diferencia entre los valores de análisis y observación en los puntos de la estación también sea mínima.

Mediante la elección adecuada de los campos de huellas digitales, es posible separar tres componentes, que tienen diferentes significados físicos:

- 45
- 1) Una parte que es independiente de las influencias del suelo e invariante en altura (parte no explicada)
  - 2) Una parte directamente influenciada por la cubierta del suelo y la forma del terreno (todas las partes explicadas con la excepción del componente determinado por la altura)
  - 3) Un gradiente vertical (ponderación de la huella topográfica)

50 La división en estos componentes permite una reducción de escala espacial del análisis desde la cuadrícula de análisis con distancias de punto de cuadrícula en el intervalo de unos pocos kilómetros hasta aproximadamente 100 m. Esta depende solo de la resolución de los campos de huellas digitales (modelo de terreno, así como los campos derivados del mismo, cubierta del suelo).

La interpolación de mediciones distribuidas irregularmente de un parámetro meteorológico  $p$  en el tiempo  $t$  en una cuadrícula regular de acuerdo con el procedimiento VERA se puede representar matemáticamente de la siguiente manera:

$$\{M_{t,p}^s | s \in \text{Lista de estaciones}\} \rightarrow A_{t,p}(x,y).$$

5 Como se describió anteriormente, el campo de análisis  $A_{t,p}(x,y)$  puede representarse como la suma de una parte no explicada  $\gamma_0$  y una parte explicada, en la que la parte explicada nuevamente es la suma de productos de ponderación de huellas digitales dependientes del tiempo  $\gamma_k$  y huellas digitales independientes del tiempo  $\Psi_k$  (es decir, los campos estáticos explicativos):

$$A_{t,p}(x,y) = \sum_k \gamma_{k,t,p}(x,y) \Psi_k(x,y) + \gamma_{0,t,p}(x,y).$$

10 Por lo tanto, las variables de entrada de un análisis VERA para el parámetro  $p$  en el tiempo  $t$  son los valores medidos  $\{M_{t,p}^s | s \in \text{lista de estaciones}\}$  así como los campos de huellas digitales  $\Psi(x,y)$ . Las variables de resultado o salida son los campos de ponderación de huellas digitales  $\gamma_{k,t,p}(x,y)$  así como el campo de la parte no explicada  $\gamma_{0,t,p}(x,y)$  y finalmente (compuesto a partir de estos) el campo de análisis  $A_{t,p}(x,y)$ . En D. Maraun ET AL: "Precipitation downscaling under climate change: Recent developments to bridge the gap between dynamical models and the end user", Reviews of Geophysics, Bd. 48, Nr. 3, 1. Januar 2010, se comparan varios procedimientos de reducción de escala entre sí.

Los procedimientos descritos no siempre pueden satisfacer satisfactoriamente la necesidad general de pronósticos meteorológicos que tienen una alta precisión cualitativa y están en una resolución espacial alta y tienen varias desventajas.

20 La presente invención tiene como objeto superar las desventajas mencionadas y mejorar aún más la calidad del pronóstico de los parámetros meteorológicos interpolados y aumentar aún más la resolución espacial.

### Descripción de la invención

Para lograr este objetivo, la invención consiste esencialmente en un procedimiento del tipo mencionado al principio que:

25 - para cada uno de los puntos de cuadrícula de la segunda cuadrícula hay una serie cronológica de variables de salida de un procedimiento de análisis meteorológico relacionado con el pasado, con el cual los datos de medición de los parámetros meteorológicos determinados en las estaciones de medición meteorológica se interpolan en los puntos de cuadrícula de la segunda cuadrícula;

30 - para cada uno de los puntos de cuadrícula de la segunda cuadrícula existen datos que describen una relación estadística entre la serie cronológica de variables de salida del procedimiento de análisis meteorológico y una serie cronológica de parámetros meteorológicos pronosticados en el pasado en los puntos de cuadrícula de la primera cuadrícula geográfica,

- los datos que describen la relación estadística se usan para determinar las variables de salida pronosticadas del procedimiento de análisis meteorológico para cada uno de los puntos de cuadrícula de la segunda cuadrícula a partir de los parámetros meteorológicos pronosticados existentes para los puntos de cuadrícula de la primera cuadrícula, y

35 - la etapa de síntesis del procedimiento de análisis meteorológico se lleva a cabo con las variables de salida pronosticadas para obtener pronósticos de los parámetros meteorológicos en los puntos de cuadrícula de la segunda cuadrícula.

40 El procedimiento de acuerdo con la invención combina así un procedimiento de análisis (tal como VERA), que interpola mediciones distribuidas espacialmente de manera irregular en una cuadrícula regular, con un procedimiento estadístico de posprocesamiento (tal como MOS), que está destinado principalmente a compensar errores sistemáticos en modelos numéricos de pronóstico meteorológico. El procedimiento de posprocesamiento también permite la predicción de cualquier parámetro para el que haya series cronológicas (como la ponderación de las huellas digitales y la parte no explicada del análisis VERA), dependiendo de los pronósticos meteorológicos numéricos. La combinación de ambos procedimientos aumenta la resolución espacial de los pronósticos del clima y optimiza la calidad del pronóstico. La combinación no es tal que los análisis se aproximen a la cuadrícula diana con interpolación simple y por medio de regresión a partir de los datos del modelo. En cambio, la invención toma un nuevo camino al integrar un procedimiento en el otro, es decir, de tal manera que el procedimiento estadístico de posprocesamiento se usa para predecir al menos una variable de salida del procedimiento de análisis

50 El procedimiento de acuerdo con la invención comprende esencialmente cuatro etapas, de las que las dos primeras etapas solo tienen que llevarse a cabo una vez y las dos últimas etapas son necesarias para cada pronóstico. En la primera etapa, se realiza un análisis meteorológico, en el que las variables de salida del procedimiento de análisis se

calculan a partir de datos de medición históricos, de modo que se obtiene un archivo, es decir, una serie cronológica de las variables de salida calculadas.

5 La serie cronológica se extiende, por ejemplo, durante al menos un año, preferentemente durante al menos dos años. En detalle, el procedimiento es preferentemente tal que los datos de medición de los parámetros meteorológicos comprobados en el pasado en las estaciones de medición meteorológica se interpolan en los puntos de cuadrícula de la segunda cuadrícula usando el procedimiento de análisis meteorológico, en el que la interpolación, con respecto a cada punto de cuadrícula de la segunda cuadrícula, comprende el cálculo de las variables de salida del procedimiento de análisis y la interpolación se lleva a cabo para una pluralidad de eventos en el pasado.

10 En la segunda etapa, se hallan las relaciones estadísticas entre los datos numéricos históricos del pronóstico meteorológico y las variables de salida calculadas en la primera etapa.

En la tercera etapa, las variables de salida del análisis se pronostican para tiempos futuros mediante el uso de las relaciones encontradas en la segunda etapa sobre la base de los datos numéricos actuales del pronóstico meteorológico.

15 En la cuarta etapa, se sintetizan las variables de salida de pronóstico y la información adicional usada en el procedimiento de análisis, para determinar en los puntos de cuadrícula de la segunda cuadrícula los pronósticos deseados de los parámetros meteorológicos.

20 Con respecto al procedimiento de análisis, se prevé preferentemente que el procedimiento de análisis comprenda un procedimiento VERA, en el que el procedimiento VERA comprende, con respecto a cada punto de cuadrícula de la segunda cuadrícula, la formación de una función de interpolación en la que un parámetro meteorológico del punto de cuadrícula respectivo se representa como función de una parte no explicada y campos de huellas digitales ponderados con factores de ponderación, en el que la parte no explicada y los factores de ponderación forman las variables de salida del procedimiento de análisis mencionadas anteriormente. Como se indicó en la introducción, el procedimiento VERA permite tener en cuenta factores de influencia específicos de la ubicación sobre los parámetros meteorológicos deseados en una medida particular.

25 Con respecto a la relación estadística en la segunda etapa, se prevé preferentemente que la relación estadística se determine mediante análisis de regresión.

En particular, el análisis de regresión comprende un procedimiento de Model Output Statistics (MOS).

30 El análisis de regresión se integra preferentemente en el procedimiento VERA de tal manera que el análisis de regresión comprende establecer al menos una ecuación de regresión con la que una variable de salida del procedimiento de análisis se representa como una combinación lineal de parámetros meteorológicos que predicen al menos un punto de la primera cuadrícula en el pasado.

35 En particular, el procedimiento de regresión o MOS está integrado en el procedimiento VERA de tal manera que al menos un factor de ponderación y/o la parte no explicada se usa como la variable de salida que se representará mediante la al menos una ecuación de regresión.

40 En el contexto del análisis de regresión, el procedimiento es preferentemente tal que la variable de salida a determinar, es decir, por ejemplo, el al menos un factor de ponderación y/o la parte no explicada del procedimiento VERA, la variable declarada y los pronósticos de un modelo meteorológico numérico en los puntos de la primera cuadrícula (o valores determinados por la simple interpolación de estos pronósticos) representan las variables explicativas. En el caso más simple, solo se puede usar un único parámetro meteorológico del modelo numérico del clima como una variable explicativa, de modo que el enfoque de regresión pueda estar de acuerdo con la Fórmula 1 anterior.

45 La variable dependiente en la ecuación de regresión, en particular el al menos un factor de ponderación y/o la parte no explicada del procedimiento VERA, también puede ser preferentemente una función de varios parámetros meteorológicos que provienen del modelo numérico del clima. El enfoque de regresión está de acuerdo con la fórmula 2 dada anteriormente. En otras palabras, se proporciona en la presente que el análisis de regresión consiste en establecer al menos una ecuación de regresión con la que una variable de salida del procedimiento de análisis se representa como una combinación lineal de parámetros meteorológicos que predicen al menos un punto de cuadrícula de la primera cuadrícula en el pasado.

50 Como es sabido per se, una realización preferente proporciona que el análisis de regresión diseñado como un procedimiento MOS se lleve a cabo de acuerdo con el procedimiento de los mínimos cuadrados.

55 Una ventaja particular del procedimiento de acuerdo con la invención es que las variables de salida determinadas en la tercera etapa del procedimiento por medio de la relación estadística, en particular el procedimiento MOS, se pueden usar en el procedimiento VERA (cuarta etapa) para "reducir" aún más las previsiones resultantes. Esto se logra, por ejemplo, mediante el uso de un modelo digital del terreno que tiene una resolución más alta que la

segunda cuadrícula. La etapa de síntesis del procedimiento VERA puede llevarse a cabo con campos de huellas digitales que representan la resolución más alta, mientras que los factores de ponderación y la parte no explicada, que se determinó en la tercera etapa del procedimiento para el punto de cuadrícula más cercano de la segunda cuadrícula, pueden dejarse sin cambios. Se descubrió que de esta manera se puede lograr una predicción de alta calidad con una resolución espacial muy alta si se obtiene una descripción correspondientemente precisa de los factores de influencia específicos de la ubicación usando los campos de huellas digitales.

Para este propósito, el procedimiento de acuerdo con la invención se desarrolla preferentemente de manera tal que las variables de salida pronosticadas se usan en el procedimiento de análisis meteorológico para interpolar un parámetro meteorológico para un punto intermedio adyacente que se encuentra entre los puntos de cuadrícula de la segunda cuadrícula.

En particular, para la determinación del parámetro meteorológico del punto intermedio, se usa una función de interpolación del procedimiento VERA, la cual en el punto intermedio tiene valores válidos de los campos de huellas digitales y la misma parte no explicada y los mismos factores de ponderación que el siguiente punto vecino de la segunda cuadrícula o simplemente valores interpolados de la parte no explicada y los factores de ponderación de los cuatro puntos de cuadrícula adyacentes de la segunda cuadrícula.

En general, el procedimiento de acuerdo con la invención es adecuado para el procesamiento adicional de parámetros de pronóstico de cualquier origen. Muy a menudo, los parámetros meteorológicos pronosticados se determinan usando un pronóstico meteorológico numérico.

Tampoco existen restricciones con respecto a la selección de los parámetros meteorológicos. Los parámetros meteorológicos incluyen preferentemente la temperatura del aire, la humedad relativa del aire, la presión atmosférica, la dirección del viento, la velocidad del viento, las ráfagas de viento, la capa de nubes y/o la cantidad de precipitación y/o parámetros que pueden derivarse de estos.

Matemáticamente, el procedimiento de acuerdo con la invención se puede representar en una realización preferente como sigue. La siguiente ecuación VERA se usa inicialmente de acuerdo con el procedimiento VERA explicado en la introducción:

$$A_{t,p}(x,y) = \sum_k \gamma_{k,t,p}(x,y) \Psi_k(x,y) + \gamma_{0,t,p}(x,y).$$

El enfoque de acuerdo con la invención es ahora establecer ecuaciones de regresión MOS separadas para la parte no explicada  $\gamma_{0,t,p}(x,y)$  así como la ponderación de huellas digitales  $\gamma_{k,t,p}(x,y)$ . Para este propósito, la parte no explicada, así como la ponderación de las huellas digitales, se usan en función de los parámetros meteorológicos  $\phi$ , y, a saber, como una combinación lineal  $\alpha_0 + \alpha_1\phi_1 + \alpha_2\phi_2 \dots$ . Se aplican ecuaciones separadas para cada parámetro  $p$  y en cada punto de cuadrícula  $(x, y)$ , y las dependencias correspondientes deben omitirse nuevamente a continuación por razones de compactabilidad:

$$\gamma'_{0,t} = \sum_q \alpha_{0,q} \varphi_{t,q} + \alpha_{0,0}$$

$$\gamma'_{k,t} = \sum_q \alpha_{k,q} \varphi_{t,q} + \alpha_{k,0}$$

Después de calcular los coeficientes de regresión  $\alpha_{0,0}$ ,  $\alpha_{0,q}$  y  $\alpha_{k,0}$ ,  $\alpha_{k,q}$  mediante las minimizaciones habituales de

$$\sum_t (\gamma'_{0,t} - \gamma_{0,t})^2$$

y

$$\sum_t (\gamma'_{k,t} - \gamma_{k,t})^2$$

ahora se pueden calcular las proporciones del "análisis VERA de pronóstico MOS" para cada predicción futura del modelo.

### Ejemplo de realización

La invención se explica con más detalle a continuación usando un ejemplo de realización.

#### Etapa 1 - Análisis VERA:

En el contexto del análisis VERA, la interpolación de datos de medición de parámetros meteorológicos que están presentes en puntos distribuidos irregularmente (estaciones meteorológicas) se realiza sobre una cuadrícula regular,

teniendo en cuenta información adicional (en particular, constante en el tiempo) (tal como, por ejemplo, orografía, propiedades del suelo). El análisis VERA se puede llevar a cabo para cada punto en el tiempo para el que hay datos de medición disponibles, independientemente de todos los otros puntos en el tiempo tratados. Los datos de entrada son los valores medidos (diferentes para cada punto en el tiempo) así como los campos de la información adicional (huellas digitales) (que normalmente son constantes en el tiempo, pero por supuesto oscilan espacialmente). Los datos de salida son las ponderaciones de huellas digitales que oscilan espacial y temporalmente, así como la parte no explicada del análisis que también oscila espacial y temporalmente.

En la práctica, el análisis VERA se lleva a cabo en una cuadrícula de resolución espacial seleccionable, la resolución a lo sumo puede ser en la que están presentes los campos de huellas digitales. Por lo general, se elige una resolución más grande. En la primera etapa del procedimiento descrito en la presente, el análisis VERA se lleva a cabo en una cuadrícula que es más grande que los campos de huellas digitales ("segunda cuadrícula"), en el que el análisis se lleva a cabo, por ejemplo, en una cuadrícula por hora, que se extiende por un total de dos años o más. Después, para cada punto espacial de la cuadrícula seleccionada hay una serie cronológica de variables de salida del análisis VERA, es decir, una serie cronológica para la ponderación de las huellas digitales y la parte no explicada del análisis.

Etapa 2: capacitación de un procedimiento MOS para predecir la ponderación de las huellas digitales y la parte no explicada del análisis:

Las series cronológicas de los campos de ponderación de huellas digitales, así como la parte no explicada de análisis de la etapa 1 se pueden considerar individualmente para cada punto de cuadrícula y para cada tipo de huella digital. Además, los pronósticos del clima archivados están disponibles para los puntos de cuadrícula de una cuadrícula con una resolución más baja ("primera cuadrícula") para el mismo periodo en un modelo numérico. Ahora, la serie cronológica de la ponderación de las huellas digitales y la parte no explicada con series cronológicas de los parámetros meteorológicos de pronóstico histórico del modelo numérico se llevan a un contexto estadístico en un enfoque MOS. En el presente caso de la aplicación MOS, la ponderación de las huellas digitales y la parte no explicada representan la variable dependiente (explicada), mientras que los parámetros meteorológicos pronosticados del modelo numérico se observan como una variable independiente (explicativa). El hecho de que la resolución espacial del modelo numérico del clima sea más grande que aquella en la que están disponibles los análisis VERA no es un problema, ya que se espera obtener detalles espaciales porque el procedimiento MOS se lleva a cabo por separado para cada punto de cuadrícula VERA. Si el procedimiento MOS (como de costumbre) se basa en un análisis de regresión lineal, se obtienen como datos de salida de la etapa 2 para cada punto de cuadrícula VERA ("segunda cuadrícula") coeficientes de una ecuación de regresión que muestran una relación entre los parámetros meteorológicos predichos del modelo numérico y del componente VERA en consideración.

En principio, las etapas 1 y 2 solo deben llevarse a cabo una vez. Los datos de salida de la etapa 2 se usarán en la siguiente etapa de forma regular (siempre que haya un nuevo pronóstico del modelo numérico del clima usado, es decir, varias veces al día).

Etapa 3: Uso operativo del modelo para predecir regularmente los parámetros VERA:

Para cada punto temporal futuro para el que esté disponible un pronóstico meteorológico numérico (pero sin valores de medición y, por lo tanto, sin análisis VERA), los parámetros meteorológicos del pronóstico del modelo ahora se pueden insertar y predecir en la ecuación de regresión correspondiente determinada en la etapa 2. Se calculan la ponderación de las huellas digitales y el análisis no explicado del pronóstico para todos los puntos de la "segunda" cuadrícula en la que están disponibles los análisis históricos (etapa 1).

Etapa 4: Composición del análisis de pronóstico y reducción de escala de VERA:

Por un lado, los pronósticos de la ponderación de las huellas digitales y la parte no explicada calculados en la etapa 3 se pueden usar para armar un análisis de pronóstico en la "segunda" cuadrícula, pero, por otro lado, se puede llevar a cabo una reducción de escala adicional usando campos de huellas digitales finamente resueltos.

**REIVINDICACIONES**

- 5 1. Procedimiento para aumentar la resolución espacial de un pronóstico meteorológico, en el que hay parámetros meteorológicos pronosticados disponibles para los puntos de cuadrícula de una primera cuadrícula y los parámetros meteorológicos pronosticados se interpolan a los puntos de cuadrícula de una segunda cuadrícula para obtener parámetros meteorológicos interpolados, en donde los puntos de cuadrícula de la segunda cuadrícula tienen una resolución espacial mayor que los puntos de la primera cuadrícula, **caracterizado**

  - 10 - **porque** para cada uno de los puntos de cuadrícula de la segunda cuadrícula existe una serie cronológica relacionada con el pasado de las variables de salida de un procedimiento de análisis meteorológico, con el cual se interpolan datos de medición de los parámetros meteorológicos determinados en las estaciones de medición meteorológica sobre los puntos de cuadrícula de la segunda cuadrícula,
  - 15 - **porque** para cada uno de los puntos de cuadrícula de la segunda cuadrícula existen datos que describen una relación estadística entre la serie cronológica de variables de salida del procedimiento de análisis meteorológico y una serie cronológica de parámetros meteorológicos predichos en el pasado en los puntos de cuadrícula de la primera cuadrícula,
  - 20 - **porque** los datos que describen la relación estadística se usan para determinar las variables de salida pronosticadas del procedimiento de análisis meteorológico para cada uno de los puntos de cuadrícula de la segunda cuadrícula a partir de los parámetros meteorológicos pronosticados para el futuro que existen para los puntos de cuadrícula de la primera cuadrícula, y
  - 25 - **porque** se realiza una etapa de síntesis del procedimiento de análisis meteorológico con las variables de salida pronosticadas para obtener pronósticos de los parámetros meteorológicos en los puntos de la segunda cuadrícula.
- 25 2. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado porque** las series cronológicas relacionadas con el pasado de las variables de salida del procedimiento de análisis meteorológico se obtienen interpolando datos de medición de parámetros meteorológicos determinados en el pasado en estaciones de medición meteorológica usando el procedimiento de análisis meteorológico en puntos de cuadrícula de la segunda cuadrícula, en donde la interpolación, con respecto a cada punto de cuadrícula de la segunda cuadrícula, comprende calcular las variables de salida del procedimiento de análisis y la interpolación se lleva a cabo para varios instantes existentes en el pasado.
- 30 3. Procedimiento de acuerdo con las reivindicaciones 1 o 2, **caracterizado porque** el procedimiento de análisis comprende un procedimiento VERA, en donde dicho procedimiento VERA, con respecto a cada punto de cuadrícula de la segunda cuadrícula, comprende la formación de una función de interpolación en la que un parámetro meteorológico del punto de cuadrícula respectivo se representa como una función de una parte no explicada y de los campos de huellas digitales ponderados con factores de ponderación, en donde la parte no explicada y los factores de ponderación forman las variables de salida del procedimiento de análisis.
- 35 4. Procedimiento de acuerdo con las reivindicaciones 1, 2 o 3, **caracterizado porque** la relación estadística se determina mediante análisis de regresión.
- 40 5. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 4, **caracterizado porque** el análisis de regresión comprende establecer al menos una ecuación de regresión con la cual una variable de salida del procedimiento de análisis se representa como una combinación lineal de parámetros meteorológicos pronosticados en el pasado al menos en un punto de cuadrícula de la primera cuadrícula.
- 45 6. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 5, **caracterizado porque** para cada variable de salida del procedimiento de análisis se establece una ecuación de regresión separada.
7. Procedimiento de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 4 a 6, **caracterizado porque** el análisis de regresión comprende o forma un procedimiento de Model Output Statistics (MOS).
8. Procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 4 a 7, **caracterizado porque** el análisis de regresión diseñado como un procedimiento MOS se lleva a cabo de acuerdo con el procedimiento de los mínimos cuadrados.
- 50 9. Procedimiento de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, **caracterizado porque** los parámetros meteorológicos de pronóstico (para el futuro o en el pasado) en los puntos de cuadrícula de la primera cuadrícula se determinan o han sido determinados mediante un pronóstico meteorológico numérico.
10. Procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, **caracterizado porque** las variables de salida pronosticadas se usan en el procedimiento de análisis meteorológico para interpolar un parámetro

meteorológico para un punto intermedio adyacente que se encuentra entre los puntos de cuadrícula de la segunda cuadrícula.

- 5
11. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 10, **caracterizado porque** para determinar el parámetro meteorológico del punto intermedio, se usa el procedimiento VERA, que tiene valores válidos de los campos de huellas digitales en el punto intermedio y la misma parte no explicada pronosticada y los mismos factores de ponderación pronosticados que al menos un punto de cuadrícula adyacente de la segunda cuadrícula o un valor interpolado a partir de estos de la parte no explicada y los factores de ponderación.
- 10
12. Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 11, **caracterizado porque** los parámetros meteorológicos incluyen la temperatura del aire, la humedad relativa del aire, la presión atmosférica, la dirección del viento, la velocidad del viento, las ráfagas de viento, la capa de nubes y/o la cantidad de precipitación y/o parámetros derivados de los mismos.
13. Producto de programa informático que comprende un medio de código de programa adecuado para llevar a cabo las etapas de un procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 12 cuando el producto de programa informático se ejecuta en un dispositivo informático.
- 15
14. Dispositivo informático para realizar el procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 12, **caracterizado porque** el dispositivo informático está programado con un producto de programa informático de acuerdo con la reivindicación 13.