

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 686 696**

51 Int. Cl.:

G01W 1/10 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **09.04.2015 PCT/US2015/025024**

87 Fecha y número de publicación internacional: **22.10.2015 WO15160604**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **09.04.2015 E 15717774 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **06.06.2018 EP 3132291**

54 Título: **Predicción de la cobertura de nubes a corto plazo utilizando imágenes de todo el cielo basadas en tierra**

30 Prioridad:

17.04.2014 US 201414255154

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

19.10.2018

73 Titular/es:

**SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT (100.0%)
Werner-von-Siemens-Straße 1
80333 München, DE**

72 Inventor/es:

**SUN, SHANHUI;
ERNST, JAN;
SAPKOTA, ARCHANA;
RITZHAUPT-KLEISSL, EBERHARD;
WILES, JEREMY RALPH y
CHEN, TERRENCE**

74 Agente/Representante:

LOZANO GANDIA, José

ES 2 686 696 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**PREDICCIÓN DE LA COBERTURA DE NUBES A CORTO PLAZO UTILIZANDO IMÁGENES DE TODO EL CIELO BASADAS EN TIERRA**

5

CAMPO TÉCNICO

La presente invención se refiere en general a procedimientos, sistemas y aparatos para predecir la cobertura de
 10 nubes usando una cámara de imágenes de todo el cielo basada en tierra. Los procedimientos, sistemas y
 aparatos divulgados se pueden aplicar a, por ejemplo, proporcionar predicciones cortas del resultado de los
 sistemas basados en energía solar.

ANTECEDENTES

15 La integración de la energía solar en el suministro de energía reduce el coste de generar energía a partir de otros
 recursos, pero presenta sus propios problemas y costes. Los problemas se deben principalmente a la variación
 de la energía solar. El principal factor que afecta a la energía solar variable es la condición del cielo. Para
 predecir el resultado del sistema basado en la energía solar, es necesario, por lo tanto, comprender las
 20 condiciones del cielo dentro del rango temporal.

Las nubes son uno de los elementos clave en el cielo que ocasionan la variación en la energía solar. La
 irradiancia solar directa y no directa depende en gran medida de la cobertura de las nubes. Por ejemplo, cuando
 el sol está significativamente cubierto por nubes, el resplandor solar que cae directamente en la red eléctrica
 disminuye mientras que cuando el sol está despejado, hay una energía casi constante recibida en la ubicación de
 25 potencia.

Para predecir la cobertura futura de la nube, se deben determinar las ubicaciones futuras tanto de las nubes
 como del sol. Esta última está disponible, por ejemplo, de fuentes tales como un almanaque astronómico. De
 manera similar, el estado actual del cielo con respecto a las nubes es observable, por ejemplo, usando imágenes
 30 visuales. Por lo tanto, se desea combinar la información disponible sobre la posición futura del sol y el estado
 actual del cielo para proporcionar una predicción precisa de la irradiación solar directa e indirecta. El documento
 US 2013/152997 A1 divulga un procedimiento para predecir la variación de la irradiancia solar en el que se usa la
 retro-propagación de la posición del sol.

SUMARIO

Los modos de realización de la presente invención abordan y superan uno o más de los inconvenientes y
 desventajas anteriores, mediante procedimientos, sistemas y aparatos para predecir la cobertura de las nubes
 usando una cámara de imágenes de todo el cielo basada en tierra. Esta tecnología es particularmente adecuada
 40 para aplicaciones de energía solar, pero de ninguna manera se limita a ellas.

De acuerdo con algunos modos de realización de la presente invención, un procedimiento para predecir la
 cobertura de nubes a corto plazo incluye un ordenador que calcula un campo de velocidad de las nubes
 estimada en un valor de tiempo actual basado en imágenes del cielo. El ordenador determina un modelo de nube
 45 segmentada basado en las imágenes del cielo, una ubicación de sol futura correspondiente a un valor de tiempo
 futuro (por ejemplo, utilizando datos de almanaque astronómico) y ubicaciones de píxeles solares en el valor de
 tiempo futuro basándose en la ubicación futura del sol. A continuación, el ordenador aplica un algoritmo de retro-
 propagación a las ubicaciones de los píxeles solares utilizando el campo de velocidad de las nubes estimada
 para producir ubicaciones de píxeles solares propagados correspondientes a un valor de tiempo anterior. A
 50 continuación, el ordenador predice la cobertura de nubes para la ubicación futura del sol basándose en las
 ubicaciones de píxeles solares propagados y el modelo de nube segmentada.

La implementación del algoritmo de retro-propagación utilizado en el procedimiento mencionado anteriormente
 puede variar de acuerdo con diferentes modos de realización de la presente invención. En un modo de
 55 realización, el algoritmo de retro-propagación incluye, determinar una media del campo de velocidad de las
 nubes estimada, retro-propagar cada una de las ubicaciones de píxeles solares con la media del campo de
 velocidad de las nubes estimada e identificar las ubicaciones de píxeles solares propagados basándose en las
 ubicaciones de píxeles solares. Se puede aplicar un filtro de suavizado a la media del campo de velocidad de las
 nubes estimada antes de retro-propagar cada una de las ubicaciones de los píxeles solares. En otros modos de
 60 realización, el algoritmo de retro-propagación incluye la identificación de componentes de campo de velocidad en
 el campo de velocidad de las nubes estimada, correspondiendo cada componente de campo de velocidad
 respectivo a una ubicación de píxel solar respectiva. A continuación, las ubicaciones de los píxeles solares se
 retro-propagan basándose en los componentes del campo de velocidad y las ubicaciones de los píxeles solares
 propagados se identifican basándose en las ubicaciones de los píxeles solares. En otros modos de realización, el
 65 algoritmo de retro-propagación incluye el muestreo descendente del campo de velocidad de las nubes estimada
 desde una resolución original a una resolución más baja, produciendo un campo de velocidad de las nubes

submuestreado. A continuación, se aplica un filtro de suavizado al campo de velocidad de las nubes de muestreo descendente y el campo de velocidad de las nubes de muestreo descendente se muestrea desde la resolución más baja hasta la resolución original, produciendo un campo de velocidad filtrada suavemente localmente. A continuación, se identifican los componentes del campo de velocidad en el campo de velocidad filtrada suavemente localmente. Cada componente de campo de velocidad respectivo corresponde a una ubicación de píxel solar respectiva. A continuación, cada una de las ubicaciones de los píxeles solares se retro-propaga basándose en los componentes del campo de velocidad para producir las ubicaciones de los píxeles solares propagados. En otros modos de realización, el algoritmo de retro-propagación incluye muestreo aleatoriamente, para cada una de las ubicaciones de píxeles solares, de un número predeterminado de componentes de campo de velocidad contiguos dentro de un radio predeterminado en el campo de velocidad de las nubes estimada basándose en la ubicación de los píxeles solares respectivos. Entonces, cada una de las ubicaciones de los píxeles solares se retro-propaga basándose en su número predeterminado respectivo de componentes del campo de velocidad contiguos para producir las ubicaciones de los píxeles solares propagados.

El procedimiento mencionado anteriormente para predecir la cobertura de nubes a corto plazo también puede incluir características y/o refinamientos adicionales, de acuerdo con diferentes modos de realización de la presente invención. Por ejemplo, en un modo de realización, el modelo de nube segmentada se determina procesando cada una de las imágenes de cielo para clasificar cada píxel de imagen en una imagen de cielo respectiva como nube o cielo basándose en una o más características de la imagen de cielo respectiva. La una o más características pueden incluir, por ejemplo y sin limitación, valores de espectro de color, una relación de canales de color rojo y canales de color azul, valores de varianza y valores de entropía.

En algunos modos de realización, la cobertura de nubes para la ubicación futura del sol se predice al determinar primero una región de sol del modelo de nube segmentada usando las ubicaciones de píxeles solares propagados. A continuación, se identifican varios píxeles de nube dentro de la región del sol y se calcula un valor de cobertura de nubes binarias igual a una relación entre el número de píxeles de nube y el número total de píxeles de la imagen en la región del sol. En otros modos de realización, la cobertura de nubes para la ubicación futura del sol se determina determinando primero un conjunto de valores de probabilidad de píxeles, correspondiendo cada valor de probabilidad a una probabilidad de nubosidad para un respectivo píxel solar propagado en las ubicaciones de píxeles solares propagados. A continuación, se identifican varios píxeles de nubes en el modelo de nube segmentada que usa las ubicaciones de los píxeles solares propagados. A continuación, se determina una suma de los valores de probabilidad de píxeles y se usa para calcular un valor de probabilidad de cobertura de nubes. En un modo de realización, esto es igual a una relación de la suma de los valores de probabilidad de píxeles con el número de píxeles de nube.

En algunos modos de realización, una o más características del procedimiento mencionado anteriormente pueden aplicarse en diversos aparatos, artículos de fabricación y sistemas. Por ejemplo, en un modo de realización, un artículo de fabricación para predecir la cobertura de nubes a corto plazo comprende un medio legible por ordenador tangible, no transitorio, que contiene instrucciones ejecutables por ordenador para realizar el procedimiento mencionado anteriormente, con o sin las características adicionales analizadas anteriormente. En otros modos de realización, un sistema para predecir la cobertura de nubes a corto plazo incluye un módulo de seguimiento y flujo, un módulo de segmentación de nubes, un módulo de predicción de ubicación del sol. El módulo de seguimiento y flujo está configurado para calcular un campo de velocidad de las nubes estimada en un valor de tiempo actual basado en imágenes del cielo. El módulo de segmentación de la nube está configurado para determinar un modelo de nube segmentada basado en las imágenes del cielo. El módulo de predicción de ubicación del sol está configurado para determinar una ubicación del sol futura correspondiente a un valor de tiempo futuro. El módulo de pronóstico de oclusión solar está configurado para determinar ubicaciones de píxeles solares en el valor de tiempo futuro basándose en la ubicación futura del sol, aplicar un algoritmo de retro-propagación a las ubicaciones de píxeles solares utilizando el campo de velocidad de las nubes estimada para generar ubicaciones de píxeles solares propagados correspondientes a un valor de tiempo anterior y predecir la cobertura de las nubes para la ubicación futura del sol basándose en las ubicaciones de píxeles solares propagados y el modelo de nube segmentada. En algunos modos de realización, el sistema también incluye una cámara de vídeo exterior de horizonte a horizonte configurada para capturar las imágenes del cielo.

Las características y ventajas adicionales de la invención se harán evidentes a partir de la siguiente descripción detallada de los modos de realización ilustrativos que procede con referencia a los dibujos adjuntos.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

Los aspectos anteriores y otros aspectos de la presente invención se entienden mejor a partir de la siguiente descripción detallada cuando se lee en conexión con los dibujos adjuntos. Con el fin de ilustrar la invención, en los dibujos se muestran modos de realización que son actualmente preferidos, entendiéndose, sin embargo, que la invención no está limitada a las instrumentalidades específicas divulgadas. En los dibujos se incluyen las siguientes figuras:

La FIG. 1 proporciona una visión general de un sistema para predecir la cobertura de nubes de una posición

de sol futura, de acuerdo con algunos modos de realización de la presente invención;

La FIG. 2 proporciona una visión general del sistema del procesamiento del módulo de predicción de ubicación del sol, de acuerdo con algunos modos de realización de la presente invención;

La FIG. 3 proporciona una ilustración general del sistema de predicción, como se usa en algunos modos de realización de la presente invención;

La FIG. 4 proporciona una ilustración general del módulo de seguimiento/flujo, de acuerdo con algunos modos de realización de la presente invención;

La FIG. 5 representa un ejemplo de un proceso que puede usarse para generar el campo de velocidad filtrada utilizando el filtrado de Kalman, de acuerdo con algunos modos de realización de la presente invención;

La FIG. 6 proporciona una visión general de un proceso para predecir la cobertura de nubes de una posición de sol futura, de acuerdo con algunos modos de realización de la presente invención; y

La FIG. 7 ilustra un entomo de cálculo a modo de ejemplo dentro del cual pueden implementarse modos de realización de la invención.

DESCRIPCIÓN DETALLADA

La siguiente descripción describe la presente invención de acuerdo con varios modos de realización dirigidos a procedimientos, sistemas y aparatos para proporcionar predicciones a corto plazo de la oclusión solar en un momento futuro basadas en imágenes del cielo adquiridas, velocidad de las nubes medida basándose en esas imágenes y conocimiento de una futura posición del sol. Por ejemplo, en un modo de realización, el proceso de predicción global funciona de la siguiente manera: la velocidad de las nubes estimada en el momento t_0 se determina a partir del algoritmo de flujo regularizado, se obtiene la posición solar en la imagen en el momento t_0+dt , donde dt es el intervalo temporal que se desea predecir. A continuación, se usa un algoritmo de retro-propagación para propagar la ubicación del sol en el momento t_0 usando la información de velocidad en el momento t_0 . A continuación, el módulo de segmentación se puede usar para calcular la cobertura de nubes en la región del sol en el momento t_0+dt (verdadera desde tierra) y el momento t_0 (predicción). La medición del error de predicción es la diferencia absoluta entre la cobertura solar estimada en la región solar y la cobertura en la región solar retro-propagada. Las técnicas descritas en el presente documento hacen una suposición razonable de que la irradiación solar depende en gran medida de la cobertura de las nubes y, por lo tanto, una predicción precisa de la cobertura de las nubes conlleva la predicción precisa de la radiación solar. Con esta suposición y simplificación, entonces predecimos la oclusión solar en diferentes intervalos temporales. El sistema incluye la adquisición de datos, la estimación de la velocidad de las nubes, la retro-propagación de la localización del sol, el módulo de segmentación de la nube y el módulo de predicción.

La FIG. 1 proporciona una descripción general de un sistema 100 para predecir la cobertura de nubes de una posición de sol futura, de acuerdo con algunos modos de realización de la presente invención. El sistema incluye un sistema de procesamiento de datos 115 que recibe la entrada de una variedad de fuentes, que incluyen una cámara 105. La cámara 105 se puede usar para capturar imágenes del cielo a intervalos predeterminados (por ejemplo, 5 segundos). Antes de su uso, la cámara puede calibrarse utilizando un software especializado, datos de ubicación de la cámara 110 y datos de calibración del sensor 125 para obtener una matriz intrínseca de cámara y un modelo de cámara ojo de pez. Las imágenes capturadas por la cámara 105 pueden luego proyectarse desde el espacio de la imagen al espacio del cielo. Los parámetros necesarios para esta proyección están disponibles después de la calibración de la cámara.

El sistema 100 utiliza un modelo de segmentación de nube capacitado para identificar nubes en datos de imagen. Para construir los datos de formación utilizados por el modelo, se muestrea aleatoriamente una cantidad predeterminada de píxeles en la nube y en el cielo (por ejemplo, 10.000 de cada uno) a partir de imágenes anotadas. El sistema 100 incluye un ordenador de entrada de usuario 120 que permite a los usuarios ver imágenes del cielo y seleccionar píxeles como "nube" o un "cielo" (es decir, sin nubes). Esta selección puede ser realizada, por ejemplo, por el usuario seleccionando partes individuales de la imagen y proporcionando una indicación de si las partes seleccionadas representan una nube. Los datos suministrados por el ordenador de entrada de usuario 120 son recibidos y procesados por un módulo de anotación de datos 115D que agrega los datos de anotación del usuario y los suministra a un módulo de segmentación de la nube 115A. El módulo de segmentación de la nube 115A luego construye un clasificador binario que puede clasificar nuevos píxeles en el momento de ejecución como nube o cielo basándose en el modelo de formación.

Las características utilizadas por el módulo de segmentación de la nube 115A para representar los píxeles del cielo y la nube pueden incluir, por ejemplo, valores de espectro de color y una relación de canales de color rojo y azul. Con respecto a los valores de espectro de color, en un modo de realización, se usa el espacio de color de tono (H), saturación (S) y valor (V). Se puede observar que los valores de los píxeles del cielo y la nube se

encuentran en diferentes espectros en H. De forma similar, los píxeles del cielo tienen más saturación en comparación con los píxeles de nubes. V se puede usar para representar el brillo. Con respecto a la relación de canales de color rojo y azul, se entiende en la técnica que el cielo despejado dispersa intensidades azules más mientras que la nube dispersa las intensidades azules y rojas por igual. Por lo tanto, se puede usar una relación de intensidades de color azul y rojo en las imágenes para distinguir entre los píxeles del cielo y la nube. En un modo de realización, se usa una relación simple de canal rojo (r) y azul (b):

$$RBR = \frac{b}{r} \quad (1)$$

En otros modos de realización, se usa una relación normalizada de canal rojo y azul:

$$RBRn = \frac{b - r}{b + r} \quad (2)$$

En otro modo de realización más, una relación normalizada diferente de canales dada por la relación de canal rojo al máximo de canal rojo y azul.

$$RBRn2 = \frac{r}{\max(r, b)} \quad (3)$$

En otro modo de realización, se emplea una diferencia entre el valor del canal rojo y el canal azul.

$$RBRdiff = (r - b) \quad (4)$$

Las características utilizadas por el módulo de segmentación de la nube 115A para representar los píxeles del cielo y la nube también pueden incluir valores de varianza y/o valores de entropía. La varianza proporciona la medida de propagación de los valores de píxeles. En un modo de realización, para cada píxel en la región de nube o cielo, se calcula la varianza en la proximidad $N \times N$. Para el cálculo rápido de la varianza, se pueden usar imágenes integrales para la imagen de suma, así como la imagen del cuadrado de intensidades. La entropía proporciona la información de textura sobre la imagen. De forma similar a la varianza, para cada píxel en la región de nube o cielo, la entropía en la proximidad $N \times N$ se puede definir de la siguiente manera:

$$Entropía = - \sum_{i \in (0,255)} p_i \log(p_i) \quad (5)$$

donde p_i se calcula usando un histograma de intensidades de imagen.

Utilizando la velocidad de las nubes, la posición futura del sol se puede retro-propagar invirtiendo los componentes de velocidad. Por ejemplo, si el tiempo actual es t_0 y se desea una predicción de cobertura de nubes en $t_0 + dt$, la ubicación del sol en el momento $t_0 + dt$ puede determinarse primero. A continuación, el sol se propaga a t_0 basándose en la velocidad calculada en t_0 . En algunos modos de realización, para simplificar el procesamiento, se supone que la velocidad del viento es constante y no se considera la evolución local de las nubes durante el período de predicción.

Volviendo a la FIG. 1, en el momento de ejecución, un módulo de predicción de localización del sol 115C predice la ubicación del sol en un punto futuro en el tiempo. En el ejemplo de la FIG. 1, la ubicación del sol se predice basándose en los datos del almanaque astronómico 130. Sin embargo, en otros modos de realización, pueden usarse diferentes técnicas para predecir la posición del sol tales como, sin limitación, el modelado matemático basado en constantes geofísicas conocidas. La cámara 105 captura múltiples imágenes del cielo que son usadas por un módulo de seguimiento/flujo 115B para calcular un campo de velocidad para el cielo. A continuación, un módulo de pronóstico de ocultación solar 115E utiliza la ubicación futura del sol y el campo de velocidad para determinar la cobertura de las nubes de la ubicación futura. Más específicamente, un grupo de píxeles en la futura ubicación del sol se designan como "ubicaciones de píxeles solares". Utilizando el campo de velocidad, el módulo de previsión de ocultación solar 115E retro-propaga la ubicación de los píxeles solares invirtiendo los componentes de velocidad. Por ejemplo, si el tiempo actual es t_0 y se desea una predicción de cobertura de nubes en $t_0 + dt$, la ubicación del sol en el momento $t_0 + dt$ puede determinarse primero. A continuación, los píxeles solares correspondientes a esa ubicación se propagan a t_0 basándose en la velocidad calculada en t_0 . En algunos modos de realización, para simplificar el procesamiento, se supone que la velocidad del viento es constante y no se considera la evolución local de las nubes durante el período de predicción. A continuación, el módulo de segmentación de nubes 115A usa el clasificador antes mencionado para determinar si estas

ubicaciones de píxeles incluyen nubes. Si los píxeles incluyen nubes, la ubicación futura del sol se considera ocluida. Después de cada clasificación, o en otros intervalos, pueden emitirse datos de rendimiento del sistema 135 que pueden usarse, por ejemplo, para la evaluación comparativa del sistema.

5 La FIG. 2 proporciona una descripción general del sistema 200 del procesamiento del módulo de predicción de ubicación del sol 115C, de acuerdo con algunos modos de realización de la presente invención. El módulo de predicción del sol 115C recibe las siguientes entradas: una o más imágenes de cámara, una indicación de la ubicación geográfica de la cámara, un valor de tiempo futuro para el que se busca una predicción, y datos de almanaque astronómico. Un algoritmo de predicción de ubicación del sol 205 obtiene la posición del sol mundial en 3D a partir de datos de almanaque astronómico en términos de tiempo futuro y la ubicación geográfica de la cámara. La posición del sol mundial en 3D se puede utilizar a continuación para encontrar la posición correspondiente en el espacio de la imagen mediante la proyección extrínseca y el modelo de la cámara. Un modelo de cámara con una matriz extrínseca calculada 210 se utiliza para asignar la posición del sol mundial en 3D en el espacio de la imagen. En un modo de realización, la matriz extrínseca calculada 210 se obtiene usando 15 55 anotaciones de diferentes puntos de tiempo con el error de re-proyección de 2,1 +/- 1,3 píxeles.

La FIG. 3 proporciona una ilustración general 300 del sistema de predicción, como se usa en algunos modos de realización de la presente invención. Las predicciones de la oclusión solar se realizan mediante un módulo de predicción de oclusión solar 115E. Las entradas en el módulo de previsión de oclusión solar 115E incluyen una imagen del cielo en el momento t_0 305, una imagen segmentada 310 que muestra una segmentación binaria de la nube y el cielo, estimación de la velocidad de las nubes en el momento t_0 315. La imagen 320 muestra la imagen del cielo en el futuro, $t_0 + dt$. El círculo transparente 320A representa la ubicación real del sol en el momento $t_0 + dt$ como se determina, por ejemplo, mediante el módulo de predicción de ubicación del sol 115C. Conceptualmente, el resultado del módulo de predicción de oclusión solar 115E es una predicción del aspecto 25 325 y una predicción de la cobertura de nubes que se muestra en la imagen 330. El elemento 325A es la ubicación de los píxeles solares en $t+t_0$ (mostrado por el círculo transparente 320A en la imagen 320) retro-propagada usando la información de velocidad 315 en el momento t_0 . La imagen 330 muestra la imagen segmentada 310 que resalta la ubicación de los píxeles solares retro-propagada 330A.

30 La FIG. 4 proporciona una ilustración general 400 del módulo de seguimiento/flujo 115B, de acuerdo con algunos modos de realización de la presente invención. Un modelo de cámara 405 recibe imágenes capturadas por la cámara 105 que proyecta estas imágenes desde el espacio de la imagen al espacio del cielo. En algunos modos de realización, el módulo de seguimiento/flujo 115B utiliza su propio modelo de cámara, mientras que en otros modos de realización comparte un modelo de cámara con otro módulo. Por ejemplo, en un modo de realización, 35 el modelo de cámara 405 es el mismo modelo de cámara que se muestra en 210 en la FIG. 2. La velocidad de las nubes se estima entre un par de imágenes usando un algoritmo de flujo óptico regularizado espacialmente, representado como el módulo de determinación de flujo regularizado 410 en la FIG. 4. Esto proporciona el resultado del campo de velocidad para el cielo completo.

40 Las observaciones de flujo entre un par de imágenes pueden ser ruidosas. Para estabilizar el proceso de seguimiento e incorporar información temporal en la observación actual, en algunos modos de realización se emplea un filtro de Kalman. La FIG. 5 representa un ejemplo de un proceso 500 que puede usarse para generar el campo de velocidad filtrada utilizando el filtrado de Kalman, de acuerdo con algunos modos de realización de la presente invención. En 505, se recibe el campo de velocidad de grano fino regularizada en t_0 . A continuación, 45 en 510, el campo se muestrea de forma descendente un factor predeterminado (por ejemplo, 4). En 515, se aplica un Filtro de Kalman a nivel de píxel en el campo de velocidad muestreado de forma descendente para generar un campo de velocidad filtrada de baja resolución. El filtro Kalman a nivel de píxel se asemeja a un algoritmo predictor-corrector. Proporciona una estimación del estado del proceso en un momento particular y a continuación actualiza los valores predichos mediante la incorporación de las mediciones recibidas en ese momento particular. En un modo de realización, el filtro de Kalman a nivel de píxel se establece con 2 50 parámetros dinámicos y 2 parámetros de medición. Los parámetros dinámicos y de medición son los vectores de velocidad en las direcciones x e y respectivamente. Volviendo a la FIG. 5, en 520, el campo de velocidad filtrada de baja resolución se muestrea de forma ascendente hasta la resolución original. Esto da como resultado un campo de velocidad filtrada suave localmente que luego puede usarse a 525 para retro-propagar la ubicación del sol en el momento $t_0 + dt$.

Se pueden usar diversos algoritmos para la retro-propagación del sol dentro del alcance de la presente invención. Por ejemplo, los algoritmos pueden diferir en cómo modelan la información de velocidad observada y/o cómo filtran la información temporal. En algunos modos de realización, el algoritmo de retro-propagación 60 utiliza un campo de velocidad media global. Más específicamente, este algoritmo constituye la media de la velocidad regularizada observada en el momento t_0 . Usando este algoritmo, cada píxel en la ubicación del sol en el momento $t_0 + dt$ se retro-propaga con la misma velocidad media obtenida en el momento t_0 . En un modo de realización, este algoritmo se modifica adicionalmente mediante el uso de un filtro de Kalman, que incorpora información temporal adicional de los pares de tramas previas para proporcionar suavizado, eliminando así el ruido en la estimación de la velocidad. En otros modos de realización, el algoritmo de retro-propagación utiliza el 65 campo de velocidad completa. Este procedimiento utiliza un modelo de grano más fino para la propagación de la

velocidad para capturar mejor el comportamiento no global del movimiento de la nube. Específicamente, la ubicación del sol en el momento t_0+dt se propaga con el campo de velocidad en cada píxel en el momento t_0 . En otros modos de realización, el algoritmo de retro-propagación utiliza el campo de velocidad completa con filtro de Kalman local y global. Esto incorpora la velocidad media global así como la velocidad local de grano fino con el filtrado de Kalman utilizando un modelo de suma ponderada simple.

Una variación adicional del algoritmo de retro-propagación implementado en algunos modos de realización es utilizar el campo de velocidad completa con un enfoque de Monte Carlo. La velocidad filtrada localmente proporciona una información suave espacialmente, temporal y localmente, para la retro-propagación de la ubicación del sol. Sin embargo, es sensible al ruido en la estimación. Por lo tanto, la retro-propagación se puede modelar como un enfoque de perturbación similar a Monte Carlo. Cada píxel se propaga con la velocidad de N puntos muestreados aleatoriamente desde la proximidad con un radio r . El proceso de retro-propagación es el mismo que el algoritmo de retro-propagación de flujo máximo con o sin el filtro de Kalman. Esto da como resultado N ubicaciones propagadas finales en t_0 . La cobertura de nubes predicha está determinada por $\sum_{i=1}^N w_i c_i$, donde c_i es la cobertura de nubes en una ubicación propagada y w_i es un factor de ponderación. En un modo de realización, el factor de ponderación se establece en $w_i = 1/N$.

La FIG. 6 proporciona una visión general de un proceso 600 para predecir la cobertura de nubes de una posición de sol futura, de acuerdo con algunos modos de realización de la presente invención. En 605, se calcula un campo de velocidad de las nubes estimada en un valor de tiempo actual basándose en una pluralidad de imágenes de cielo. A continuación, en 610, se determina un modelo de nube segmentada basándose en la pluralidad de imágenes del cielo. A continuación, en 615, se determina una ubicación de sol futura correspondiente a un valor de tiempo futuro.

Continuando con referencia a la FIG. 6, en 620, las ubicaciones de los píxeles solares en el valor del tiempo futuro se determinan basándose en la ubicación futura del sol. A continuación, en 625, se aplica un algoritmo de retro-propagación a las ubicaciones de los píxeles solares usando el campo de velocidad de las nubes estimada para producir una pluralidad de ubicaciones de píxeles solares propagados correspondientes a un valor de tiempo anterior. A continuación, en 630, se predice la cobertura de las nubes para la ubicación futura del sol basándose en la pluralidad de ubicaciones de píxeles solares propagados y el modelo de nubes segmentadas. En algunos modos de realización, la métrica de evaluación es la diferencia en la oclusión solar predicha frente a la verdadera desde tierra debido a las nubes. Se pueden usar las siguientes definiciones de cobertura de nubes u oclusión solar:

$$cloudcover_{binary} = N_c/N_s \quad (6)$$

donde N_c es el número de píxeles de nubes en la región del sol y N_s es el número total de píxeles en la región del sol, y/o

$$cloudcover_{probability} = P_c/N_s \quad (7)$$

donde $P_c = \sum_{i \in (1, N_s)} p_i$ y p_i es la probabilidad de nubosidad en el píxel i .

Se pueden hacer refinamientos adicionales a las técnicas descritas en la FIG. 6 para compensar las distorsiones de imagen que afectan el rendimiento del sistema. Por ejemplo, en algunas imágenes del cielo, una franja vertical de deslumbramiento puede aparecer en el centro del sol (véase, por ejemplo, la imagen 320 en la figura 3). La franja vertical puede provocar la subestimación del flujo y afecta a la segmentación de la nube. Para reducir este problema, en algunos modos de realización, la franja se detecta automáticamente convirtiendo la imagen en un mapa de borde haciendo funcionar un detector de borde y enmascarando la región/franja que tiene la intensidad máxima en la dirección vertical. Además, debido al brillo del sol cerca de la región circun-solar, hay una alta probabilidad de que el cielo despejado se detecte falsamente como una nube. El umbral adaptable para la clasificación de la nube para superar este problema a menudo ocasiona la detección errónea de nubes más gruesas. Para evitar este problema en la evaluación del sistema, en algunos modos de realización, el sol pasa a una posición fuera del sol suponiendo un sol virtual en esa ubicación. Esto no cambia la geometría y reduce las variables en la evaluación de los procedimientos de retro-propagación descritos en el presente documento.

La FIG. 7 ilustra un entorno informático a modo de ejemplo 700 dentro del cual pueden implementarse modos de realización de la invención. Por ejemplo, el entorno informático 700 puede usarse para implementar uno o más componentes del sistema 100 mostrados en la FIG. 1. Los ordenadores y los entornos informáticos, tales como el sistema informático 710 y el entorno informático 700, son conocidos por los expertos en la materia y, por lo tanto, se describen brevemente aquí.

Como se muestra en la FIG. 7, el sistema informático 710 puede incluir un mecanismo de comunicación tal como

un bus del sistema 721 u otro mecanismo de comunicación para comunicar información dentro del sistema informático 710. El sistema informático 710 incluye además uno o más procesadores 720 acoplados con el bus del sistema 721 para procesar la información.

5 Los procesadores 720 pueden incluir una o más unidades centrales de procesamiento (CPU), unidades de procesamiento gráfico (GPU) o cualquier otro procesador conocido en la técnica. Más en general, un procesador como se usa en el presente documento es un dispositivo para ejecutar instrucciones legibles por máquina almacenadas en un medio legible por ordenador, para realizar tareas y puede comprender cualquiera o una combinación de hardware y firmware. Un procesador también puede comprender una memoria que almacena
10 instrucciones legibles por la máquina ejecutables para realizar tareas. Un procesador actúa sobre información manipulando, analizando, modificando, convirtiendo o transmitiendo información para uso mediante un procedimiento ejecutable o un dispositivo de información, y/o dirigiendo la información a un dispositivo de salida. Un procesador puede usar o comprender las capacidades de un ordenador, controlador o microprocesador, por ejemplo, y acondicionarse usando instrucciones ejecutables para realizar funciones de propósito especial no realizadas por un ordenador de propósito general. Un procesador puede estar acoplado (eléctricamente y/o comprendiendo componentes ejecutables) con cualquier otro procesador que permita la interacción y/o comunicación entre ellos. Un procesador o generador de interfaz de usuario es un elemento conocido que comprende circuitos electrónicos o software o una combinación de ambos para generar imágenes de visualización o partes de las mismas. Una interfaz de usuario comprende una o más imágenes de visualización
20 que permiten la interacción del usuario con un procesador u otro dispositivo.

Continuando con referencia a la FIG. 7, el sistema informático 710 también incluye una memoria del sistema 730 acoplada al bus del sistema 721 para almacenar información e instrucciones para ser ejecutadas por los procesadores 720. La memoria del sistema 730 puede incluir medios de almacenamiento legibles por ordenador en forma de memoria volátil y/o no volátil, tales como memoria de solo lectura (ROM) 731 y/o memoria de acceso aleatorio (RAM) 732. La RAM 732 puede incluir otros dispositivos de almacenamiento dinámico (por ejemplo, RAM dinámica, RAM estática y DRAM síncrona). La ROM 731 puede incluir otro(s) dispositivo(s) de almacenamiento estático (por ejemplo, ROM programable, PROM borrable y PROM borrable eléctricamente). Además, la memoria del sistema 730 se puede usar para almacenar variables temporales u otra información intermedia durante la ejecución de instrucciones mediante los procesadores 720. Un sistema básico de entrada/salida (BIOS) 733, que contiene las rutinas básicas que ayudan a transferir información entre los elementos dentro del sistema informático 710, como durante el arranque, puede almacenarse en la ROM 731. La RAM 732 puede contener módulos de datos y/o programas que son accesibles inmediatamente y/o están siendo utilizados actualmente por los procesadores 720. La memoria del sistema 730 puede incluir adicionalmente, por ejemplo, el sistema operativo 734, los programas de aplicación 735, otros módulos de programa 736 y los datos de programa 737.

El sistema informático 710 también incluye un controlador de disco 740 acoplado al bus de sistema 721 para controlar uno o más dispositivos de almacenamiento para almacenar información e instrucciones, tales como un disco duro magnético 741 y un disco extraíble 742 (*por ejemplo*, unidad de disquete, unidad de disco compacto, unidad de cinta y/o unidad de estado sólido). Los dispositivos de almacenamiento se pueden agregar al sistema informático 710 utilizando una interfaz de dispositivo adecuada (*por ejemplo*, una interfaz de sistema informático pequeña (SCSI), electrónica de dispositivo integrada (IDE), bus serie universal (USB) o FireWire).

El sistema informático 710 también puede incluir un controlador de visualización 765 acoplado al bus de sistema 721 para controlar una pantalla o monitor 766, tal como un tubo de rayos catódicos (CRT) o pantalla de cristal líquido (LCD), para mostrar información a un usuario de ordenador. El sistema informático incluye una interfaz de entrada 760 y uno o más dispositivos de entrada, tales como un teclado 762 y un dispositivo señalador 761, para interactuar con un usuario de ordenador y proporcionar información a los procesadores 720. El dispositivo señalador 761, por ejemplo, puede ser un ratón, un lápiz óptico, una bola de seguimiento o un dispositivo señalador tipo palanca para comunicar información de dirección y ordenar selecciones a los procesadores 720 y para controlar el movimiento del cursor en la pantalla 766. La pantalla 766 puede proporcionar una interfaz de pantalla táctil que permite que la entrada complemente o reemplace la comunicación de la información de dirección y las selecciones de comandos mediante el dispositivo señalador 761.

El sistema informático 710 puede realizar una parte o la totalidad de los pasos de procesamiento de los modos de realización de la invención en respuesta a los procesadores 720 que ejecutan una o más secuencias de una o más instrucciones contenidas en una memoria, tal como la memoria del sistema 730. Dichas instrucciones se pueden leer en la memoria del sistema 730 desde otro medio legible por ordenador, tal como un disco duro magnético 741 o una unidad de medios extraíbles 742. El disco duro magnético 741 puede contener una o más memorias de datos y archivos de datos utilizados por los modos de realización de la presente invención. Los contenidos de la memoria de datos y los archivos de datos se pueden codificar para mejorar la seguridad. Los procesadores 720 también se pueden emplear en una disposición de multiprocesamiento para ejecutar la una o más secuencias de instrucciones contenidas en la memoria del sistema 730. En modos de realización alternativos, se puede usar una circuitería cableada en lugar de o en combinación con instrucciones de software. Por lo tanto, los modos de realización no están limitadas a ninguna combinación específica de circuitos de

hardware y software.

Como se indicó anteriormente, el sistema informático 710 puede incluir al menos una memoria o un medio legible por ordenador para llevar a cabo instrucciones programadas de acuerdo con los modos de realización de la invención y para contener estructuras de datos, tablas, registros u otros datos descritos en el presente documento. El término "medio legible por ordenador" tal como se usa en el presente documento se refiere a cualquier medio que participe en el suministro de instrucciones a los procesadores 720 para su ejecución. Un medio legible por ordenador puede adoptar muchas formas, incluyendo, pero sin limitarse a, medios no transitorios, medios no volátiles, medios volátiles y medios de transmisión. Los ejemplos no limitantes de medios no volátiles incluyen discos ópticos, unidades de estado sólido, discos magnéticos y discos magnetoópticos, tales como discos duros magnéticos 741 o unidades de medios extraíbles 742. Los ejemplos no limitantes de medios volátiles incluyen memoria dinámica, tal como la memoria del sistema 730. Los ejemplos no limitantes de medios de transmisión incluyen cables coaxiales, cables de cobre y fibra óptica, incluidos los cables que forman el bus del sistema 721. Los medios de transmisión también pueden adoptar la forma de ondas acústicas o luminosas, como las generadas durante las comunicaciones de datos de infrarrojos y ondas de radio.

El entorno informático 700 puede incluir además el sistema informático 710 que funciona en un entorno de red que utiliza conexiones lógicas con uno o más ordenadores remotos, como el dispositivo informático remoto 780. El dispositivo de cálculo remoto 780 puede ser un ordenador personal (portátil o de escritorio), un dispositivo móvil, un servidor, un router, una PC de red, un dispositivo par u otro nodo de red común, y típicamente incluye muchos o todos los elementos descritos anteriormente relativos al sistema informático 710. Cuando se usa en un entorno de red, el sistema informático 710 puede incluir el módem 772 para establecer comunicaciones a través de una red 771, tal como Internet. El módem 772 puede estar conectado al bus del sistema 721 a través de la interfaz de red del usuario 770, o a través de otro mecanismo apropiado.

La red 771 puede ser cualquier red o sistema en general conocido en la técnica, incluyendo Internet, una intranet, una red de área local (LAN), una red de área amplia (WAN), una red de área metropolitana (MAN), una conexión o serie de conexiones directas, una red telefónica celular, o cualquier otra red o medio capaz de facilitar la comunicación entre el sistema informático 710 y otros ordenadores (por ejemplo, el dispositivo informático remoto 780). La red 771 puede estar cableada, inalámbrica o una combinación de las mismas. Las conexiones alámbricas pueden implementarse usando Ethernet, bus serie universal (USB), RJ-6 o cualquier otra conexión por cable en general conocida en la técnica. Las conexiones inalámbricas pueden implementarse usando Wi-Fi, WiMAX y Bluetooth, infrarrojos, redes celulares, satélite o cualquier otra metodología de conexión inalámbrica en general conocida en la técnica. Además, varias redes pueden funcionar solas o en comunicación entre ellas para facilitar la comunicación en la red 771.

Una aplicación ejecutable, como se usa en el presente documento, comprende instrucciones codificadas o legibles por máquina para acondicionar el procesador para implementar funciones predeterminadas, tales como las de un sistema operativo, un sistema de adquisición de datos de contexto u otro sistema de procesamiento de información, por ejemplo, en respuesta a la entrada o al comando del usuario. Un procedimiento ejecutable es un segmento de código o instrucción legible por máquina, subrutina u otra sección distinta de código o parte de una aplicación ejecutable para realizar uno o más procesos particulares. Estos procesos pueden incluir recibir datos y/o parámetros de entrada, realizar operaciones en los datos de entrada recibidos y/o realizar funciones en respuesta a los parámetros de entrada recibidos, y proporcionar datos y/o parámetros de salida resultantes.

Una interfaz gráfica de usuario (GUI), como se usa en el presente documento, comprende una o más imágenes de visualización, generadas por un procesador de visualización y que permiten la interacción del usuario con un procesador u otro dispositivo y funciones de adquisición y procesamiento de datos asociadas. La GUI también incluye un procedimiento ejecutable o una aplicación ejecutable. El procedimiento ejecutable o la aplicación ejecutable condiciona el procesador de visualización para generar señales que representan las imágenes de visualización de GUI. Estas señales se suministran a un dispositivo de visualización que muestra la imagen para su visualización por parte del usuario. El procesador, bajo el control de un procedimiento ejecutable o una aplicación ejecutable, manipula las imágenes de visualización de la GUI en respuesta a las señales recibidas de los dispositivos de entrada. De esta manera, el usuario puede interactuar con la imagen de visualización utilizando los dispositivos de entrada, lo cual permite la interacción del usuario con el procesador u otro dispositivo.

Las funciones y los pasos del proceso en el presente documento se pueden realizar de manera automática o total o parcial en respuesta al comando del usuario. Una actividad (incluido un paso) realizada automáticamente se realiza en respuesta a una o más instrucciones ejecutables o funcionamiento del dispositivo sin el inicio directo del usuario de la actividad.

El sistema y los procesos de las figuras no son exclusivos. Otros sistemas, procesos y menús pueden obtenerse de acuerdo con los principios de la invención para lograr los mismos objetivos. Aunque esta invención se ha descrito con referencia a modos de realización particulares, debe entenderse que los modos de realización y variaciones mostrados y descritos en el presente documento son solo a título ilustrativo. Los expertos en la

técnica pueden implementar modificaciones en el diseño actual sin apartarse del alcance de la invención. Como se describe en el presente documento, los diversos sistemas, subsistemas, agentes, gestores y procesos pueden implementarse utilizando componentes de hardware, componentes de software y/o combinaciones de los mismos.

REVINDICACIONES

- 5 1. Un procedimiento para predecir la cobertura de nubes a corto plazo, comprendiendo el procedimiento:
 10 calcular (605), mediante un ordenador, un campo de velocidad de las nubes estimada en un valor de tiempo
 actual basado en una pluralidad de imágenes de cielo; determinar (610), mediante el ordenador, un modelo
 de nube segmentada basado en la pluralidad de imágenes del cielo; determinar (615), mediante el ordenador,
 una ubicación de sol futura correspondiente a un valor de tiempo futuro; determinar (620), mediante el
 15 ordenador, una pluralidad de ubicaciones de píxeles solares en el valor de tiempo futuro basándose en la
 ubicación futura del sol; aplicar (625), mediante el ordenador, un algoritmo de retro-propagación a la
 pluralidad de ubicaciones de píxeles solares usando el campo de velocidad de las nubes estimada para
 producir una pluralidad de ubicaciones de píxeles solares propagados correspondientes a un valor de tiempo
 anterior; y predecir (630), mediante el ordenador, la cobertura de las nubes para la ubicación futura del sol
 basándose en la pluralidad de ubicaciones de píxeles solares propagados y el modelo de nubes
 segmentadas.
- 20 2. El procedimiento según la reivindicación 1, en el que el algoritmo de retro-propagación comprende:
 determinar una media del campo de velocidad de las nubes estimada;
 retro-propagar cada una de la pluralidad de ubicaciones de píxeles solares con la media del campo de
 velocidad de las nubes estimada; e
 25 identificar la pluralidad de ubicaciones de píxeles solares propagados basándose en la pluralidad de
 ubicaciones de píxeles solares;
 y opcionalmente aplicar un filtro de suavizado a la media del campo de velocidad de las nubes estimada
 antes de la retro-propagación de cada una de la pluralidad de ubicaciones de píxeles solares.
- 30 3. El procedimiento según la reivindicación 1,
 en el que el algoritmo de retro-propagación comprende: identificar una pluralidad de componentes de campo
 de velocidad en el campo de velocidad de las nubes estimada, correspondiendo cada componente de campo
 de velocidad respectivo a una ubicación de píxel solar respectiva; retro-propagar cada una de la pluralidad de
 35 ubicaciones de píxeles solares basándose en la pluralidad de componentes de campo de velocidad; e
 identificar la pluralidad de ubicaciones de píxeles solares propagados basándose en la pluralidad de
 ubicaciones de píxeles solares; o en el que el algoritmo de retro-propagación comprende: muestrear de forma
 descendente el campo de velocidad de las nubes estimada desde una resolución original a una resolución
 40 más baja, produciendo un campo de velocidad de las nubes con muestreo inferior; aplicar un filtro de
 suavizado al campo de velocidad de las nubes con muestreo inferior; realizar un muestreo ascendente del
 campo de velocidad de las nubes con muestreo descendente de la resolución más baja a la resolución
 original, produciendo un campo de velocidad filtrada suave localmente; identificar una pluralidad de
 45 componentes de campo de velocidad en el campo de velocidad filtrada suave localmente, correspondiendo
 cada componente de campo de velocidad respectivo a una ubicación de píxel solar respectiva; y retro-
 propagar cada una de la pluralidad de ubicaciones de píxeles solares basándose en la pluralidad de
 componentes de campo de velocidad para producir la pluralidad de ubicaciones de píxeles solares
 propagados; o en el que el algoritmo de retro-propagación comprende: para cada ubicación de píxel solar
 50 incluida en la pluralidad de ubicaciones de píxeles solares, muestrear aleatoriamente un número
 predeterminado de componentes de campo de velocidad contiguos dentro de un radio predeterminado en el
 campo de velocidad de las nubes estimada basándose en la ubicación de los píxeles solares respectiva; y
 retro-propagar cada una de la pluralidad de ubicaciones de píxeles solares basándose en su número
 predeterminado respectivo de componentes de campo de velocidad contiguos para producir la pluralidad de
 ubicaciones de píxeles solares propagados.
- 55 4. El procedimiento según de la reivindicación 1, que determina el modelo de nube segmentada basado en la
 pluralidad de imágenes del cielo comprende:
 para cada una de la pluralidad de imágenes del cielo, clasificar cada píxel de imagen en una imagen de cielo
 60 respectiva como nube o cielo basándose en una o más características de la imagen del cielo respectiva,
 en el que la una o más características incluyen uno o más de los valores del espectro de color, una relación
 de canales de color rojo y canales de color azul, valores de varianza y valores de entropía.
- 65 5. El procedimiento según de la reivindicación 1, en el que la ubicación futura del sol correspondiente al valor de
 tiempo futuro se determina usando datos de almanaque astronómico.

6. El procedimiento según de la reivindicación 1, en el que la predicción de la cobertura de nubes para la ubicación futura del sol basándose en la pluralidad de ubicaciones de píxeles solares propagados y el modelo de nubes segmentadas comprende:
- 5 determinar una región de sol del modelo de nube segmentada usando la pluralidad de ubicaciones de píxeles solares propagados; identificar una cantidad de píxeles de nubes dentro de la región del sol; y
- calcular un valor de cobertura de nube binaria igual a una relación entre el número de píxeles de nubes y el número total de píxeles de la imagen en la región del sol.
- 10 7. El procedimiento según de la reivindicación 1, en el que la predicción de la cobertura de nubes para la ubicación futura del sol basándose en la pluralidad de ubicaciones de píxeles solares propagados y el modelo de nubes segmentadas comprende:
- 15 determinar una pluralidad de valores de probabilidad de píxeles, correspondiendo cada valor de probabilidad a una probabilidad de nubosidad para un respectivo píxel solar propagado en la pluralidad de ubicaciones de píxeles solares propagados;
- identificar un número de píxeles de nubes en el modelo de nube segmentada usando la pluralidad de ubicaciones de píxeles solares propagados;
- 20 determinar una suma de la pluralidad de valores de probabilidad de píxeles; y
- calcular un valor de probabilidad de cobertura de nubes igual a una relación de la suma de la pluralidad de valores de probabilidad de píxeles con el número de píxeles de nube.
- 25 8. Un artículo de fabricación para predecir la cobertura de nubes a corto plazo, con el artículo de fabricación que comprende un medio legible por ordenador tangible no transitorio que contiene instrucciones ejecutables por ordenador para realizar un procedimiento de acuerdo con una o más de las reivindicaciones 1-7.
- 30 9. Un sistema para predecir la cobertura de nubes a corto plazo, comprendiendo el sistema:
- un módulo de seguimiento y flujo (115B) configurado para calcular un campo de velocidad de las nubes estimada en un valor de tiempo actual basándose en una pluralidad de imágenes del cielo;
- 35 un módulo de segmentación de nubes (115A) configurado para determinar un modelo de nube segmentada basándose en la pluralidad de imágenes del cielo;
- un módulo de predicción de ubicación del sol (115C) configurado para determinar una ubicación futura del sol correspondiente a un valor de tiempo futuro;
- 40 un módulo de previsión de oclusión solar (115E) configurado para:
- determinar una pluralidad de ubicaciones de píxeles solares en el valor de tiempo futuro basándose en la ubicación futura del sol;
- 45 aplicar un algoritmo de retro-propagación a la pluralidad de ubicaciones de píxeles solares usando el campo de velocidad de las nubes estimada para producir una pluralidad de ubicaciones de píxeles solares propagados correspondientes a un valor de tiempo anterior; y
- 50 predecir la cobertura de las nubes para la ubicación futura del sol basándose en la pluralidad de ubicaciones de píxeles solares propagados y el modelo de nubes segmentadas.
- 55 10. El sistema de la reivindicación 9, que comprende además: una cámara de vídeo exterior de horizonte a horizonte configurada para capturar la pluralidad de imágenes del cielo.

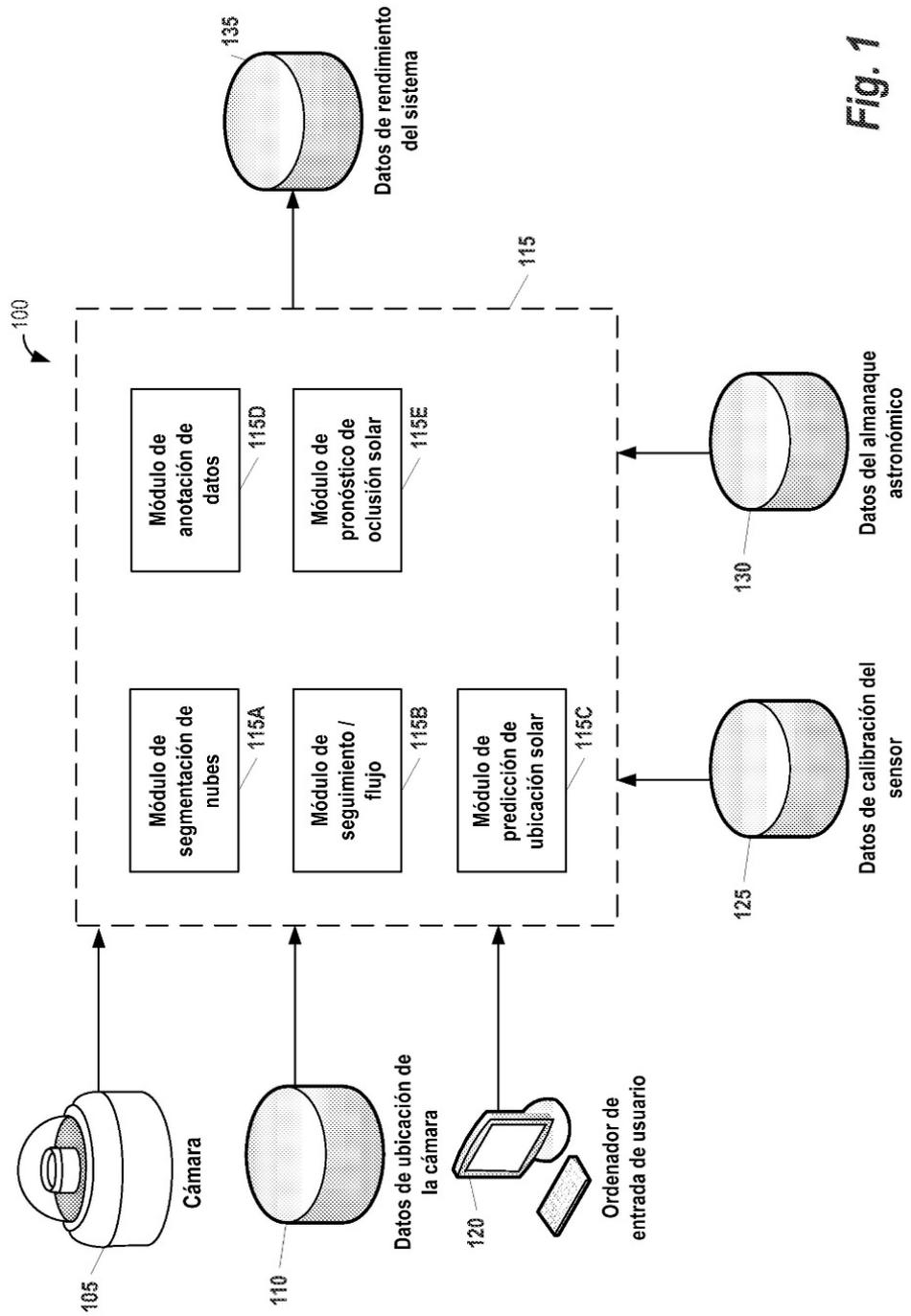


Fig. 1

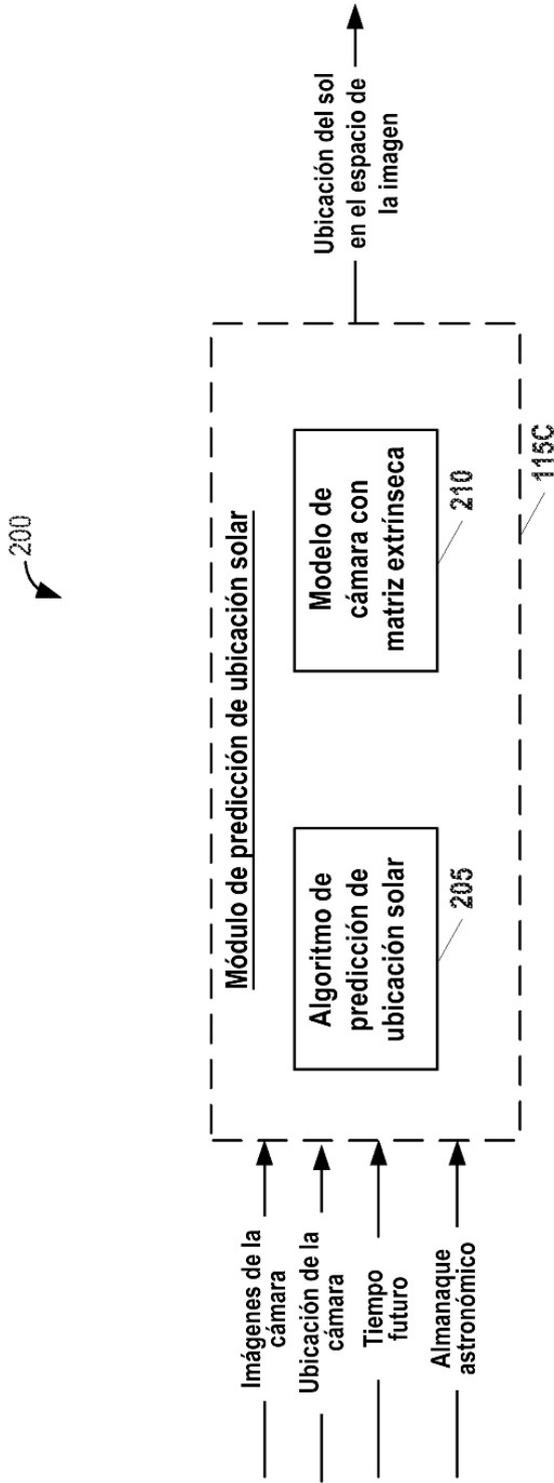


Fig. 2

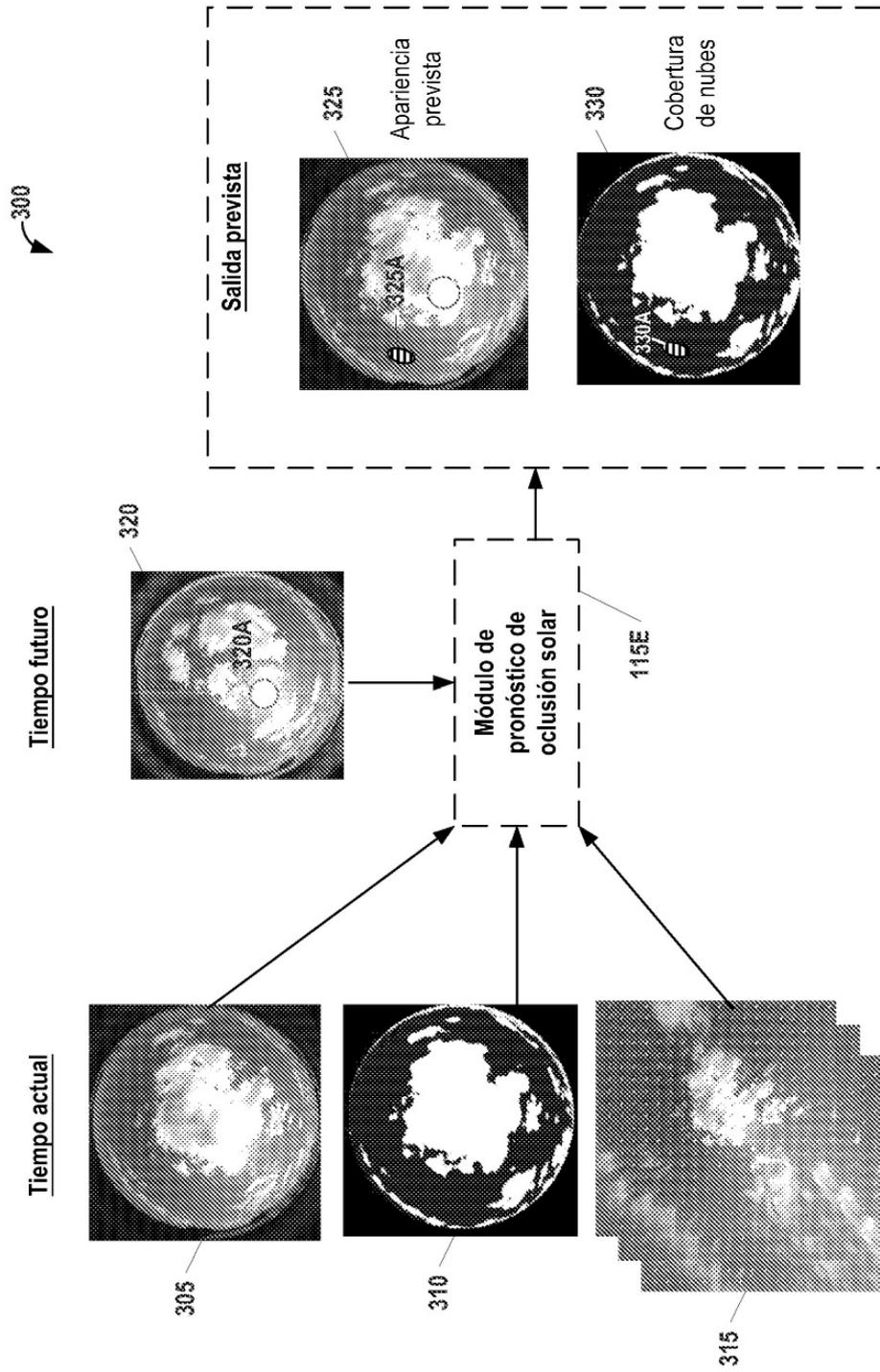


Fig. 3

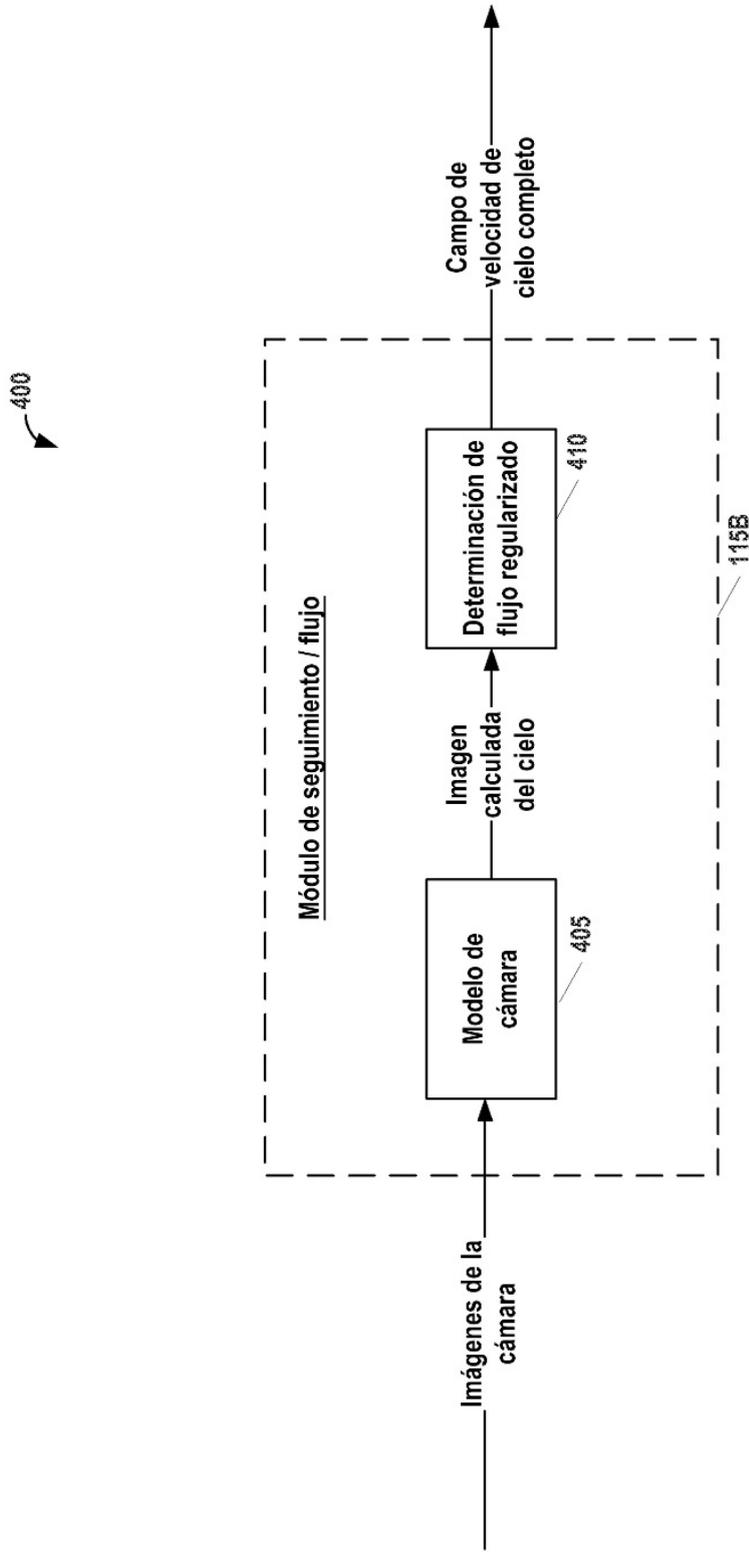


Fig. 4

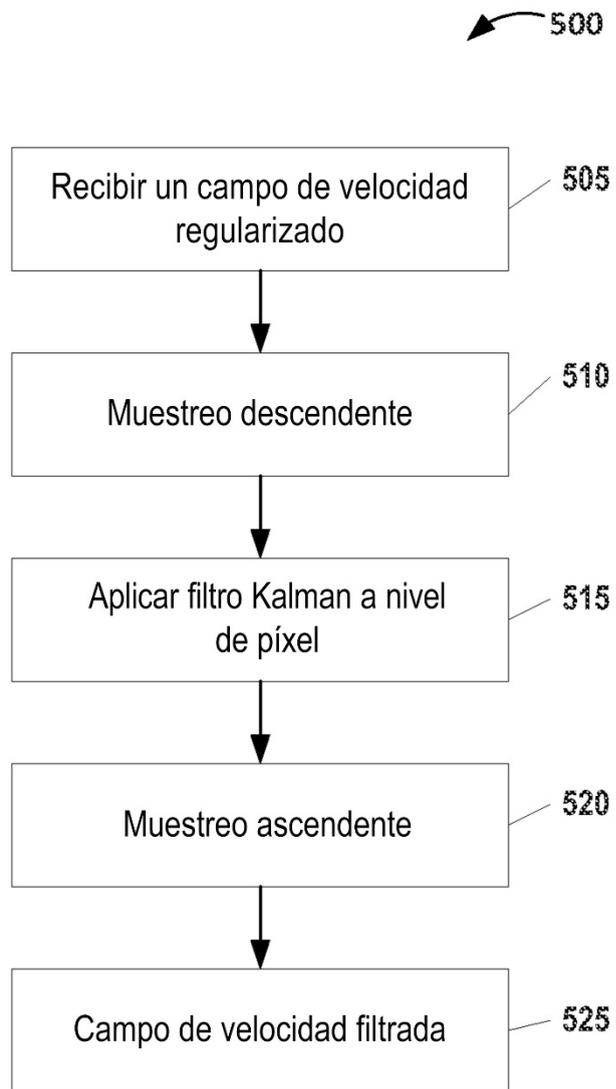


Fig. 5

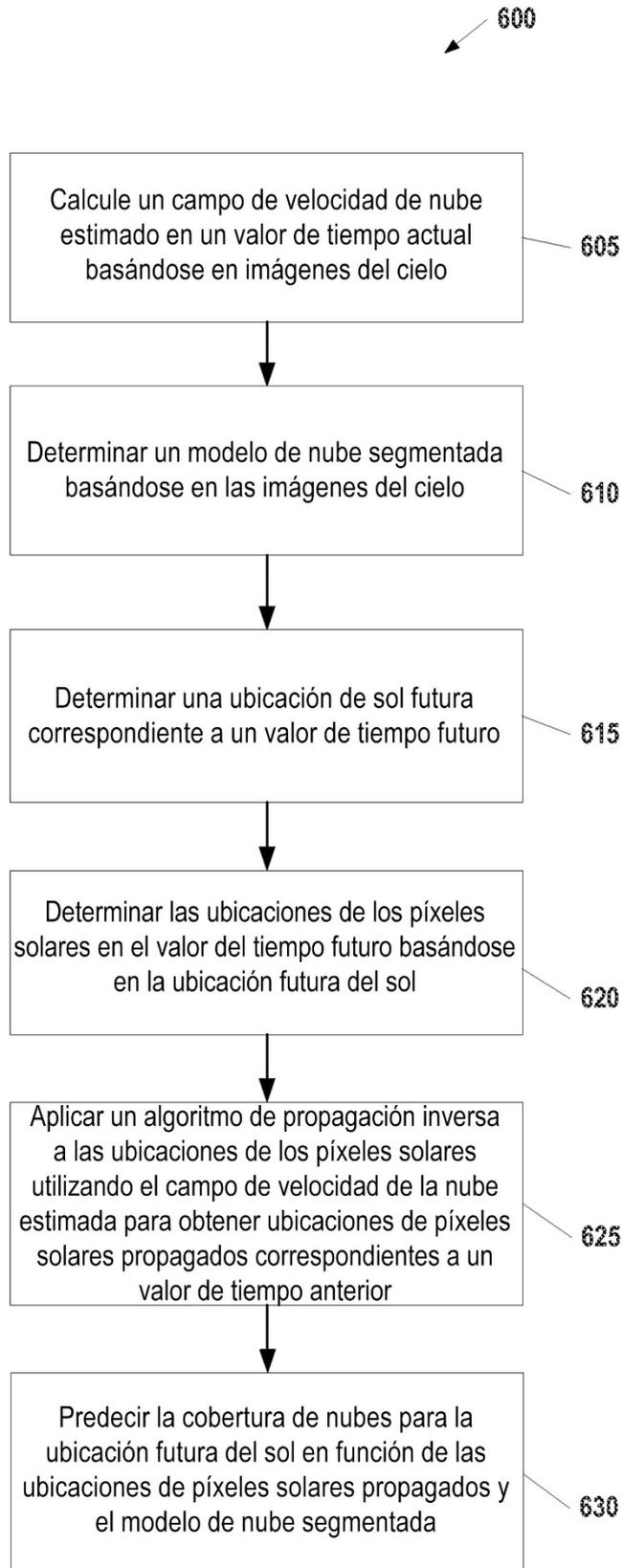


Fig. 6

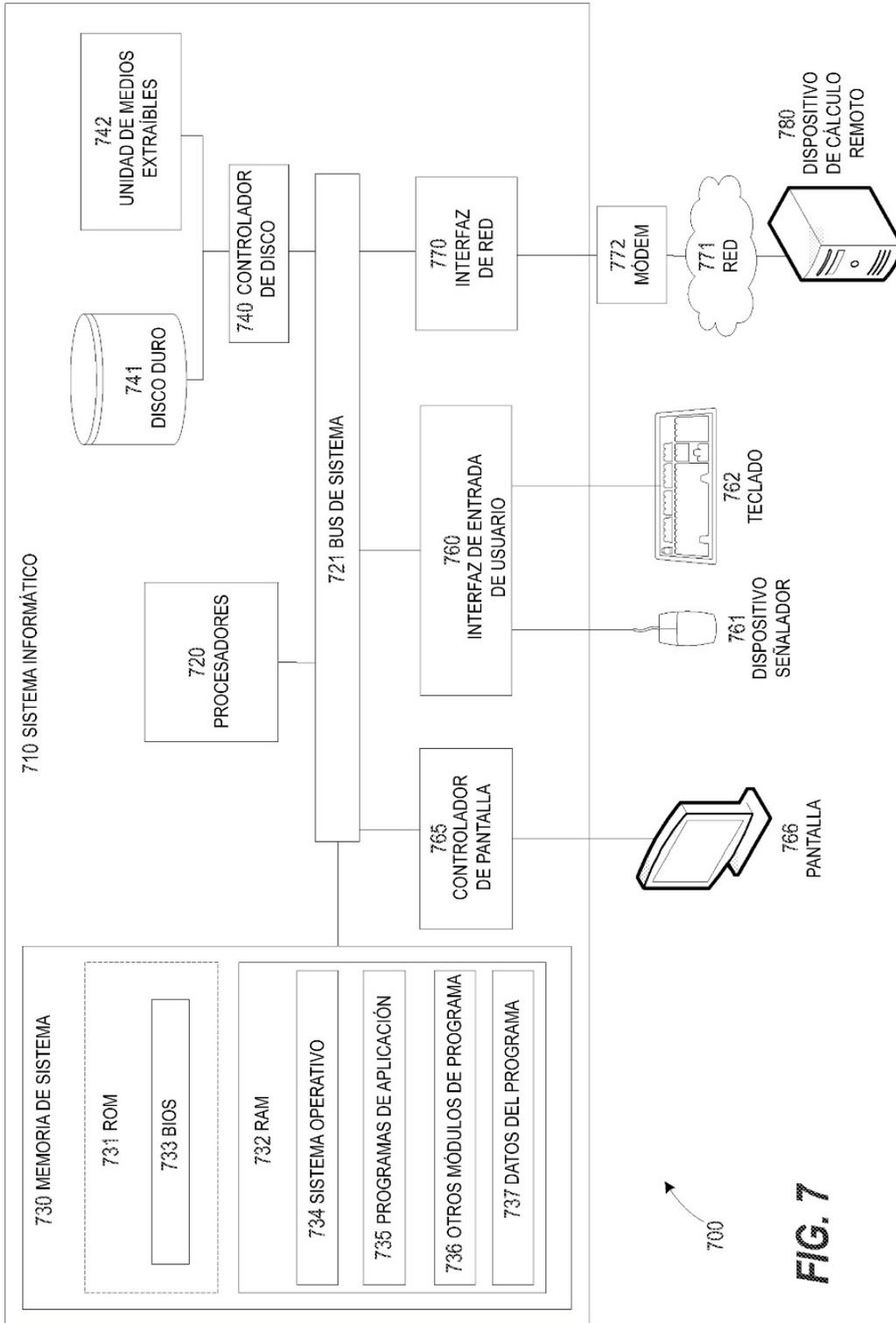


FIG. 7