

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 644 528**

51 Int. Cl.:

**G06N 3/04** (2006.01)

G06Q 50/06 (2012.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **21.12.2011** **E 11194933 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **02.08.2017** **EP 2608118**

54 Título: **Método para la determinación asistida por ordenador del uso de energía eléctrica producida por una central de generación de energía, particularmente una central de generación de energía renovable**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**29.11.2017**

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**EGEDAL, PER;  
GROTHMANN, RALPH;  
STERZING, VOLKMAR y  
RUNKLER, THOMAS**

74 Agente/Representante:

**LOZANO GANDIA, José**

**ES 2 644 528 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).

**MÉTODO PARA LA DETERMINACIÓN ASISTIDA POR ORDENADOR DEL USO DE ENERGÍA ELÉCTRICA PRODUCIDA POR UNA CENTRAL DE GENERACIÓN DE ENERGÍA, PARTICULARMENTE UNA CENTRAL DE GENERACIÓN DE ENERGÍA RENOVABLE**

- 5 **DESCRIPCIÓN**
- 10 La invención se refiere a un método para la determinación asistida por ordenador del uso de energía eléctrica producida por una central de generación de energía, particularmente una central de generación de energía renovable, así como a un producto de programa informático correspondiente y a un programa informático correspondiente.
- 15 La energía producida por centrales de generación de energía y particularmente por centrales de generación de energía renovable puede variar de modo que no puede facilitarse ninguna disponibilidad de energía garantizada. Con respecto a centrales de generación de energía renovable, esta variación se produce debido a diferentes condiciones ambientales, por ejemplo diferentes velocidades de viento o direcciones de viento para centrales eólicas de generación de energía o radiaciones solares variables para centrales solares de generación de energía. Por este motivo, en algunos países la alimentación de energía fluctuante procedente de fuentes de energía renovable sólo se acepta si dicha alimentación no presenta problemas de seguridad para la red de transmisión de energía.
- 20 A partir de la técnica anterior se conoce el uso de previsiones meteorológicas para determinar predicciones para la energía producida en el futuro por una central de generación de energía renovable. Estas predicciones se tienen en cuenta en la planificación de curvas de carga de energía fósil. Sin embargo, la energía producida en intervalos de tiempo futuros por centrales de energía renovable no se clasifica para su utilización para diferentes fines.
- 25 El documento de Ue. Cali *et al.*: "Artificial neural network based wind power forecasting using a multi-model approach", 7th International Workshop on Large Scale Integration of Wind Power and on Transmission Networks for Offshore Wind Farms, 1 de mayo de 2008, páginas 1 a 6, da a conocer previsiones de energía eólica para parques eólicos usando redes neuronales artificiales.
- 30 El documento de Yaser Soliman Qudaih *et al.*: "Power Distribution System Planning for Smart Grid Applications using ANN", ENERGY PROCEDIA, vol. 12, 1 de enero de 2011, páginas 3 a 9, describe un método de planificación de sistemas de distribución de energía para redes eléctricas que utiliza una estructura de red neuronal artificial.
- 35 Un objetivo de la invención es proporcionar un método asistido por ordenador para predecir la energía futura producida por una central de generación de energía tal que se especifiquen cantidades de energía para usos adecuado.
- 40 Este objetivo se resuelve mediante las reivindicaciones independientes. En las reivindicaciones dependientes se definen realizaciones preferidas de la invención.
- 45 Según el método de la invención, se proporciona una pluralidad de redes neuronales que aprenden mediante datos de entrenamiento. Cada red neuronal comprende una capa de entrada de neuronas para describir entradas que afectan a la energía producida por la central, una o más capas ocultas de neuronas y una capa de salida de neuronas para describir salidas de energía de la central, comprendiendo dichas salidas de energía salidas de energía futuras para una pluralidad de puntos en el tiempo dentro de un periodo de tiempo futuro, en el que cada red neuronal de la pluralidad de redes tiene una estructura diferente y/o aprende de manera diferente. Por tanto, en el método de la invención se procesa un conjunto de redes neuronales. El término anterior "salida de energía" así como el término "nivel de energía" que se menciona a continuación deben interpretarse de manera amplia. Esos términos pueden referirse a una energía particular producida en un intervalo de tiempo pero también pueden referirse a una potencia eléctrica, es decir, energía por tiempo. Particularmente, una salida de energía puede corresponder a la potencia eléctrica (en vatios) producida en un punto en el tiempo particular. Alternativamente, la salida de energía puede referirse a la energía eléctrica (en julios o múltiplos de vatios, por ejemplo MWh) producida entre puntos en el tiempo posteriores.
- 50 Según la invención, las salidas de energía futuras para la pluralidad de puntos en el tiempo se prevén para cada red neuronal. Basándose en estas previsiones, se calculan uno o más histogramas de salidas de energía futuras, representando cada histograma la distribución y por tanto la probabilidad de salidas de energía futuras previstas por la pluralidad de redes neuronales para puntos en el tiempo en un intervalo de tiempo correspondiente que comprende un o más puntos en el tiempo posteriores. Por tanto, el periodo de tiempo futuro se divide en varios intervalos de tiempo futuros en los que para cada intervalo de tiempo futuro se calcula un histograma correspondiente basado en las previsiones de las redes neuronales.
- 60 En la siguiente etapa, se determinan uno o más niveles de energía para cada intervalo de tiempo, en los que cada nivel de energía se deriva a partir de un nivel de confianza de varios niveles de confianza, representando cada nivel de confianza un porcentaje de las salidas de energía futuras en el histograma correspondiente, en el que cada salida

de energía futura dentro de este porcentaje tiene un valor igual o superior al nivel de energía que se deriva del nivel de confianza correspondiente.

5 En una siguiente etapa, se asignan usos predeterminados a cantidades de energía según cada nivel de energía en los intervalos de tiempo respectivos, en la que una cantidad de energía según un nivel de energía representa la energía entre el nivel de energía y el siguiente nivel de energía inferior. Si el nivel de energía es el nivel de energía más bajo, el siguiente nivel de energía inferior corresponde a una energía de cero.

10 La invención se basa en la comprensión de que, utilizando una pluralidad de redes neuronales diferentes, pueden calcularse histogramas correspondientes que permiten la determinación de cantidades de energía que difieren en la probabilidad de que la cantidad de energía esté disponible. Esas cantidades de energía pueden asignarse a usos apropiados.

15 La pluralidad de redes neuronales utilizadas para la previsión comprende preferiblemente una o más redes neuronales recurrentes, particularmente redes neuronales recurrentes con retardo en el tiempo desplegadas en el tiempo, tales como la red neuronal recurrente dada a conocer en el documento DE 10 2007 001 026 B4. En lugar de eso, o como alternativa, la pluralidad de redes neuronales puede comprender una o más redes de realimentación positiva y/o una o más redes que implementan al menos una red de realimentación positiva dentro de al menos una red neuronal recurrente.

20 El método según la invención tiene ventajas particulares en el caso en el que la central de generación de energía sea una central de generación de energía renovable, particularmente una central eólica de generación de energía que comprende varias turbinas eólicas y/o una central solar de generación de energía que comprende varios paneles solares. Esto es porque la energía producida por estas centrales fluctuante en gran medida.

25 En una realización particularmente preferida, los niveles de confianza utilizados en el método de la invención comprenden uno o más primeros niveles de confianza, en los que el uso de la cantidad de energía según el nivel de energía correspondiente a un primer nivel de confianza es tal que la parte de la cantidad de energía correspondiente todavía no vendida a terceras partes o todavía no reservada de otro modo se ofrece a terceras partes como energía consumible a un precio predeterminado por unidad, en el que el precio predeterminado por unidad aumenta con un porcentaje creciente de las salidas de energía futuras representadas por el primer nivel de confianza.

30 En otra realización preferida, las cantidades de energía ofrecidas a terceras partes se comercializan en una plataforma de comercialización de energía, por ejemplo en una bolsa de electricidad, tal como la EEX alemana o sistemas similares, por ejemplo redes inteligentes.

35 En otra realización de la invención, las entradas de cada red neuronal comprenden datos acerca del entorno de la central de generación de energía y/o una o más características de la central de generación de energía, particularmente datos meteorológicos en una pluralidad de posiciones en el entorno de la central de generación de energía y/o datos geográficos acerca de la ubicación de la central de generación de energía. Todos esos parámetros pueden influir en las salidas de energía de la central. Además, las entradas de cada red neuronal comprenden preferiblemente datos, particularmente datos meteorológicos, medidos en puntos de tiempo pasados y/o predichos para puntos de tiempo futuros, por ejemplo basándose en previsiones meteorológicas que puede proporcionar un servicio meteorológico.

40 Los datos meteorológicos comprenden preferiblemente valores de temperatura y/o valores de presión atmosférica y/o valores de humedad atmosférica y/o velocidades de viento y/o direcciones de viento y/o valores de turbulencia y/o parámetros acerca de la radiación solar. Los parámetros acerca de las velocidades de viento y direcciones de viento son particularmente importantes para centrales de generación de energía en forma de centrales eólicas de generación de energía. Por el contrario, los parámetros acerca de la radiación solar son particularmente importantes para centrales solares de generación de energía. Estos datos pueden referirse a la cobertura de nubes en el cielo o la intensidad de la radiación solar. Los datos geográficos anteriormente mencionados pueden referirse al paisaje alrededor de la central de generación de energía que puede influir en la energía generada. Por ejemplo, en el caso en el que haya un bosque ubicado cerca de las turbinas eólicas o en el caso en el que las turbinas eólicas se encuentren en un valle, la salida de energía será menor que situar las turbinas eólicas en una colina o rodeados de agua.

45 En otra realización preferida, los niveles de confianza comprenden segundos niveles de confianza que representan preferiblemente un porcentaje menor que los primeros niveles de confianza, en la que el uso de la cantidad de energía según el nivel de energía correspondiente al segundo nivel de confianza comprende uno de los siguientes usos:

50 - ofrecer la parte de la cantidad de energía correspondiente todavía no vendida a terceras partes o todavía no reservada de otro modo como energía de control a terceras partes, en la que la energía de control (al contrario que la energía consumible) sólo se usa como energía de reserva para fluctuaciones a corto plazo o medio plazo en la producción de energía de una red de energía;

- abstenerse de ofrecer la parte de la cantidad de energía correspondiente todavía no vendida a terceras partes o todavía no reservada de otro modo a terceras partes y opcionalmente reservar esta parte de la cantidad de energía para prolongar la vida útil de la central de generación de energía y/o reducir las emisiones de ruido de la central de generación de energía y/o realizar trabajos de mantenimiento en la central de generación de energía.

En el caso en el que la cantidad de energía se usa para la prolongación de vida útil o reducción de ruido, la salida de energía de la central puede reducirse en esta cantidad de energía (por ejemplo reduciendo las velocidades rotacionales de las turbinas eólicas), dando como resultado una vida útil más prolongada y menores emisiones de ruido. En el caso en el que la cantidad de energía se usa para trabajos de mantenimiento, la energía producida por la central puede reducirse en esta cantidad de energía para parar algunas turbinas eólicas en una central eólica de generación de energía para la realización de trabajos de mantenimiento en esas turbinas.

En otra realización de la invención, al menos una red de realimentación positiva comprende varias capas ocultas, estando cada capa oculta acoplada a un grupo de salida separado. La capa de entrada de esta red de realimentación positiva se acopla preferiblemente a cada capa oculta. Particularmente, la red neuronal de realimentación positiva descrita en la aplicación de patente alemana DE 10 2011 081 197.4 puede utilizarse en el método de la invención.

En otra variante del método de la invención, cada red neuronal de la pluralidad de redes neuronales aprende con datos de entrenamiento diferentes y/o parámetros de aprendizaje diferentes y/o se inicializa de manera diferente. Por tanto, es posible que las redes neuronales tengan la misma estructura pero difieran en otras características referentes a la fase de aprendizaje.

En otra realización de la invención, los niveles de confianza se adaptan basándose en una comparación entre las salidas de energía reales y las salidas de energía correspondientes que se habían previsto por cada red neuronal. Por tanto, puede realizarse una recalibración apropiada del modelo estadístico teniendo en cuenta las salidas de energía producida reales.

Aparte del método descrito anteriormente, la invención se refiere además a un producto de programa informático que comprende código de programa almacenado en un medio legible por ordenador que realiza el método según la invención cuando el programa se ejecuta en un ordenador. Además, la invención se refiere a un programa informático que comprende un código de programa que realiza el método de la invención cuando el código de programa se ejecuta en un ordenador.

Las realizaciones de la invención se describirán en detalle a continuación basándose en los dibujos adjuntos en los que:

la figura 1 muestra una red neuronal recurrente que puede utilizarse en una realización de la invención para la previsión de salidas de energía de una central de generación de energía;

la figura 2 muestra una red neuronal de realimentación positiva que puede utilizarse en otra realización de la invención para la previsión de salidas de energía de una central de generación de energía; y

la figura 3 muestra un diagrama que ilustra cantidades de energía utilizadas de manera diferente según una realización de la invención.

A continuación, la invención se describirá con respecto a una central de generación de energía renovable en forma de un parque eólico que comprende varias turbinas eólicas. Sin embargo, la invención también puede aplicarse a otras centrales de generación de energía y particularmente centrales de generación de energía renovable, por ejemplo para centrales solares de generación de energía que comprenden un número correspondiente de paneles solares.

El problema de las energías renovables reside en el hecho de que la cantidad de energía producida depende en gran medida de las condiciones ambientales en los alrededores de la central. Para parques eólicos, la velocidad de viento y la dirección de viento son los factores principales que influyen en la producción de energía. Según la invención descrita a continuación, se obtiene una previsión apropiada de cantidades de energía futuras producidas por la central en combinación con niveles de confianza. Un nivel de confianza corresponde a la probabilidad de que la cantidad de energía esté disponible en el futuro y, basándose en este nivel, puede ofrecerse la cantidad de energía correspondiente a diferentes precios a terceras partes, por ejemplo mediante una plataforma de comercialización de energía.

Para determinar niveles de energía que representen niveles de confianza predeterminados para cantidades de energía futuras, la invención descrita a continuación utiliza un conjunto de varias redes neuronales en el que cada red neuronal se estructura y/o entrena de manera diferente y proporciona las previsiones correspondientes de salidas de energía futuras del parque eólico. A continuación, esas salidas de energía corresponden a valores de

energía eléctrica proporcionados por la central para puntos en el tiempo correspondientes dentro de un periodo de tiempo futuro.

5 La figura 1 y la figura 2 muestran redes neuronales que pueden utilizarse en el conjunto de redes neuronales. La red de la figura 1 es una red NN1 neuronal recurrente de retardo en el tiempo que se despliega en el tiempo para capturar la memoria del sistema más un horizonte de previsión para el que se determinan las salidas de energía futuras. Los puntos en el tiempo para los que se determinan las salidas de energía futuras pueden basarse en intervalos horarios mientras que el horizonte de previsión puede comprender varios días o incluso semanas.

10 La red mostrada en la figura 1 se conoce a partir de la técnica anterior. Particularmente, esta red tiene la misma estructura que la red dada a conocer en el documento DE 10 2007 001 026 B1. La red comprende una capa I de entrada, una capa H oculta recurrente así como una capa O de salida. La capa de entrada comprende varias entradas  $x_{t-3}$ ,  $x_{t-2}$ ,  $x_{t-1}$ ,  $x_t$  medidas que forman vectores de entrada que influyen en la salida de energía del parque eólico. Particularmente, esas entradas comprenden datos meteorológicos de red que incluyen parámetros meteorológicos en varias ubicaciones horizontales y verticales en el entorno del parque eólico. Los datos meteorológicos de red comprenden particularmente valores de temperatura y/o valores de presión atmosférica y/o velocidad de viento y/o direcciones de viento y/o valores de turbulencia y/o valores de humedad atmosférica. En el caso en el que la central es una central solar de generación de energía, los datos también pueden comprender parámetros acerca de la radiación solar, por ejemplo la cobertura de nubes en el cielo o la intensidad de la radiación solar y similares.

25 En una variante de la red mostrada en la figura 1, también pueden usarse datos meteorológicos de red predichos por un modelo adecuado y proporcionados por ejemplo por un servicio meteorológico como datos de entrada en la figura 1. En dicha variante, la capa de entrada también incluye entradas  $x_{t+1}$ ,  $x_{t+2}$  y sucesivas para puntos en el tiempo futuros  $t$ ,  $t+1$  y sucesivos. La capa I de entrada se acopla mediante matrices B y un desviación  $\Theta$  apropiada con grupos neuronales recurrentes ocultos  $s_{t-3}$ ,  $s_{t-2}$  y sucesivos en la capa H oculta. Los grupos ocultos se conectan mediante matrices A. Cada uno de los grupos neuronales ocultos se conecta a un grupo de salida  $y_{t-2}$ ,  $y_{t-1}$  y sucesivos en la capa O de salida mediante matrices C. Esos grupos de salida forman las salidas de energía anteriormente mencionadas que se predicen para puntos en el tiempo futuros  $t+1$ ,  $t+2$  y sucesivos por la red neuronal.

30 La figura 2 muestra una realización de una red NN2 neuronal de realimentación positiva que también puede utilizarse en el conjunto de redes neuronales para la previsión de salidas de energía de un parque eólico. La red corresponde a la red tal como se describe en la solicitud de patente alemana DE 10 2011 081 197.4 ya mencionada anteriormente. La red comprende una capa I de entrada, varias capas H1, H2 y H3 ocultas así como una capa O de salida que comprende varios grupos O1, O2, O3 de salida. De manera similar a la figura 1, la capa de entrada comprende vectores de entrada correspondientes. En una variante de la red de la figura 2, sólo pueden usarse vectores de entrada predichos futuros, por ejemplo en forma de datos meteorológicos previstos. En la red mostrada en la figura 2, las entradas de la capa de entrada se alimentan de todas las capas H1, H2 y H3 ocultas intermedias para evitar la pérdida de información de entrada. Además, cada capa oculta se conecta a un grupo de salida, es decir una capa H1 oculta se conecta a un grupo O1 de salida, una capa H2 oculta se conecta a un grupo O2 de salida y una capa H3 oculta se conecta a un grupo O3 de salida. De manera similar a la figura 1, los grupos de salida mostrados en la figura 2 representan salidas de energía futuras correspondientes del parque eólico predichas por la red neuronal. En la realización mostrada en la figura 2, cada grupo de salida representa las mismas salidas de energía futuras. La salida de energía final determinada por un punto en el tiempo correspondiente puede representarse por el valor medio de las salidas de energía de cada grupo de salida.

45 Cuando la red de la figura 2 aprende, el aprendizaje no sólo se aplica a la última capa de salida sino también a las capas ocultas intermedias. En una primera etapa de la red mostrada en la figura 2 (capa H1 oculta), la previsión de la salida de energía sólo se basa en los datos de entrada de la capa I de entrada. En una segunda etapa (capa H2 oculta), la red no sólo usa las influencias externas sino también la información de entrada procesada de la etapa previa, es decir el flujo de información desde la primera capa H1 oculta. Lo mismo se aplica a la capa H3 oculta que usa la información procesada de la capa H2 oculta además de la información de entrada de la capa I de entrada.

50 En otra realización de la invención, el conjunto de redes neuronales puede comprender una combinación de la red neuronal recurrente de la figura 1 y la red de realimentación positiva de la figura 2. Copias de la red de realimentación positiva de la figura 2 pueden sustituir en la red de la figura 1 al acoplamiento entre las entradas y los grupos neuronales ocultos mediante matrices B. Es decir, la capa de salida de la red NN2 se usa como grupo neuronal en la capa H oculta. Además, la matriz B de la figura 1 se sustituye por la estructura de la figura 2 que acopla la capa I de entrada con los grupos O1 a O3 de salida. Además, cada vector  $x_{t-3}$ ,  $x_{t-2}$  y sucesivos de entrada mostrado en la figura 1 se sustituye por la capa I de entrada mostrada en la figura 2. También pueden usarse otras variantes de redes neuronales según la invención. Sin embargo, las redes neuronales necesitan estar estructuradas y aprender de modo que puedan proporcionar previsiones apropiadas para una secuencia de salidas de energía futuras de un parque eólico u otra central de generación de energía. Es decir, las redes neuronales aprenden mediante datos de entrenamiento apropiados correspondientes a entradas conocidas y salidas de energía conocidas de la central de generación de energía.

La invención utiliza un conjunto de redes neuronales que han aprendido de manera apropiada en el que cada red del conjunto difiere de las otras redes. Particularmente, las redes pueden tener estructuras diferentes o pueden aprender o inicializarse de manera diferente. Particularmente, es posible utilizar la misma estructura para todas las redes neuronales del conjunto, pero cada red neuronal aprende con datos de entrenamiento diferentes y/o con parámetros de aprendizaje diferentes. Por ejemplo, las velocidades de aprendizaje de las redes pueden ser diferentes. Además, las redes pueden inicializarse mediante matrices diferentes (aleatorias).

La figura 3 muestra un diagrama DI que ilustra la predicción de cantidades de energía para un horizonte de previsión según una realización de la invención. Las abscisas  $t$  del diagrama DI corresponden a un horizonte de previsión desde el presente  $t_0$  hasta un punto en el tiempo futuro  $t_1$ . En este periodo de tiempo, se calculan diferentes cantidades de energía en forma de bloques EA1, EA2 y EA3 de energía para intervalos TI de tiempo correspondientes. Por razones de claridad sólo algunos de los intervalos de tiempo y sólo algunos de los bloques de energía se designan con números de referencia. Las cantidades EA1 de energía se indican mediante bloques con sombreado oblicuo, las cantidades EA2 de energía se indican mediante bloques con puntos y las cantidades EA3 de energía se indican mediante bloques con sombreado vertical. Los límites superiores de los bloques EA1, EA2 y EA3 corresponden a los niveles L1, L2 y L3 de energía, respectivamente. Esos niveles de energía corresponden a niveles particulares de potencia  $P$  eléctrica según las ordenadas del diagrama DI. A continuación se describirá el cálculo de este nivel de energía.

Para una pluralidad de diferentes puntos en el tiempo dentro del periodo de tiempo entre  $t_0$  y  $t_1$ , se calculan las salidas de energía correspondientes de cada una de las redes neuronales en el conjunto de redes neuronales. La distancia entre puntos en el tiempo posteriores es inferior al intervalo TI de tiempo, es decir el intervalo TI de tiempo incluye varios puntos en el tiempo. Particularmente, un intervalo TI de tiempo puede referirse a un periodo de tiempo de un día, mientras que la diferencia entre puntos en el tiempo posteriores puede ser un intervalo de una hora. Para todos los puntos en el tiempo dentro de un intervalo TI de tiempo correspondiente, se determina el histograma de las apariciones de las salidas de energía previstas por la pluralidad de redes neuronales. Después, se derivan los niveles L1, L2 y L3 de energía para niveles de confianza correspondientes. Cada nivel de confianza especifica un porcentaje de las salidas de energía incluidas en el histograma que tienen un valor igual o superior al nivel de energía correspondiente que va a determinarse. Es decir, basándose en un umbral de confianza predeterminado (por ejemplo, del 99%) la predicción de las salidas de energía y los valores de confianza indican que la energía disponible en este periodo de tiempo es igual o superior al nivel de energía mostrado para esta confianza en el eje Y.

Las cantidades EA1, EA2 y EA3 de energía correspondientes dentro de un intervalo TI de tiempo respectivo se definen de la siguiente manera. La cantidad EA1 de energía se refiere a la energía acumulada representada por el área bajo el nivel L1 de energía dentro de un intervalo TI de tiempo respectivo. La cantidad EA2 de energía se refiere a la energía acumulada entre el nivel L2 de energía y el nivel L1 de energía dentro de un intervalo TI de tiempo respectivo. El nivel EA3 de energía se refiere a la energía acumulada entre el nivel L3 de energía y el nivel L2 de energía dentro del intervalo TI de tiempo. Obviamente, los diferentes bloques de energía según los diferentes niveles de confianza tienen una probabilidad de disponibilidad diferente. Particularmente, los porcentajes asignados a los niveles de confianza disminuyen desde el nivel de confianza representado por el nivel L1 de energía hasta el nivel de confianza representado por el nivel L3 de energía. En la realización mostrada en la figura 3, el nivel de confianza que hace referencia al nivel L1 de energía se refiere a que es seguro que una cantidad de energía está disponible, es decir a una cantidad de energía comparable con la carga básica. Esto puede corresponder a un porcentaje de, por ejemplo, el 99%. La cantidad EA2 de energía representa un menor porcentaje de, por ejemplo, el 80% y se refiere a una energía que tiene una alta probabilidad de estar disponible. Por el contrario, la cantidad EA3 de energía se refiere al nivel de confianza más bajo, de, por ejemplo, el 60% y corresponde a un bloque de energía de energía fluctuante.

Según las cantidades de energía futuras para los diferentes niveles de confianza, se definen diferentes usos para estas cantidades. En la realización mostrada en la figura 3, los usos se refieren a ofrecer las partes de las cantidades de energía correspondientes todavía no vendidas o todavía no reservadas de otro modo como energía consumible a terceras partes, por ejemplo mediante una plataforma de comercialización de energía. El precio por unidad de la cantidad de energía disminuye desde la cantidad EA1 de energía hasta la cantidad EA3 de energía dentro de un intervalo TI de tiempo debido al hecho de que la probabilidad de que la energía esté disponible disminuye. Además, los precios por unidad de un intervalo de tiempo al siguiente en el futuro para cantidades de energía correspondientes disminuirán debido a que la fiabilidad de las previsiones disminuirá.

Aparte del nivel de confianza utilizado en la figura 3, pueden definirse niveles de confianza adicionales. Las cantidades de energía correspondientes de esos niveles de confianza pueden tener otros usos. Por ejemplo, se puede definir un nivel de confianza para una cantidad de energía que va a utilizarse como una denominada energía de control. Esta cantidad de energía se refiere a un nivel de confianza bajo tal que la energía no es adecuada para venderse como energía consumible, pero puede ofrecerse como energía de reserva para un operador de red en caso de fluctuación de energía en la red de energía. El precio por unidad para esta energía de control es mucho menor que la energía consumible directamente. Además, puede definirse un nivel de confianza incluso menor para una cantidad de energía no destinada a ofrecerse a terceras partes debido al alto riesgo de falta de disponibilidad. Si

5 se desea, esta cantidad de energía puede utilizarse para reducir las emisiones de ruido del parque eólico y prolongar la vida útil de las turbinas eólicas o de un parque eólico, por ejemplo haciendo funcionar las turbinas eólicas a velocidades de rotación menores. Además, esta energía puede utilizarse para realizar trabajos de mantenimiento, es decir algunas de las turbinas eólicas en el parque eólico se paran de modo que la producción de energía se reduce en esta energía. Por tanto, pueden realizarse trabajos de mantenimientos en las turbinas eólicas paradas.

10 La invención tal como se describe a continuación tiene varias ventajas. Particularmente, la cantidad de energía prevista dentro de un periodo de tiempo futuro puede clasificarse según la probabilidad de que la energía esté disponible. Según las diferentes categorías, se asocian diferentes usos con las correspondientes cantidades de energía. Las cantidades de energía comparables con la carga básica que es seguro que están disponibles pueden venderse a precios especiales. Las cantidades de energía con un nivel de confianza menor pueden venderse a precios reducidos, por ejemplo como energía de control, o pueden utilizarse para reducir el consumo de vida útil o las emisiones de ruido de la central de generación de energía. Además, la información sobre las cantidades de energía futuras según los niveles de confianza puede ofrecerse a un operador de red de energía para la planificación de curvas de producción de energía fósil.

15

**REIVINDICACIONES**

1. Método para la determinación asistida por ordenador del uso de energía eléctrica producida por una central de generación de energía, particularmente una central de generación de energía renovable, siendo la energía eléctrica fluctuante, que comprende las etapas de:
  - proporcionar una pluralidad de redes (NN1, NN2) neuronales que aprenden mediante datos de entrenamiento, comprendiendo cada red (NN1, NN2) neuronal una capa (I) de entrada de neuronas para describir entradas ( $x_{t-3}$ ,  $x_{t-2}$ ,  $x_{t-1}$ ,  $x_t$ ) que afectan a la energía producida por la central, una o más capas (H, H1, H2, H3) ocultas de neuronas y una capa (O, O1, O2, O3) de salida de neuronas para describir salidas ( $y_{t-3}$ ,  $y_{t-2}$ ,  $y_{t-1}$ ,  $y_t$ ,  $y_{t+1}$ ,  $y_{t+2}$ ,  $y_{t+3}$ ) de energía de la central, comprendiendo dichas salidas de energía salidas ( $y_{t+1}$ ,  $y_{t+2}$ ,  $y_{t+3}$ ) de energía futuras para una pluralidad de puntos en el tiempo dentro de un periodo de tiempo futuro, en el que cada red (NN1, NN2) neuronal tiene una estructura diferente y/o aprende de manera diferente;
  - prever las salidas ( $y_{t+1}$ ,  $y_{t+2}$ ,  $y_{t+3}$ ) de energía futuras para la pluralidad de puntos en el tiempo por cada red (NN1, NN2) neuronal; caracterizado por las etapas de:
    - calcular uno o más histogramas de salidas ( $y_{t+1}$ ,  $y_{t+2}$ ,  $y_{t+3}$ ) de energía futuras, representando cada histograma la distribución de salidas ( $y_{t+1}$ ,  $y_{t+2}$ ,  $y_{t+3}$ ) de energía futuras previstas por la pluralidad de redes (NN1, NN2) neuronales para puntos en el tiempo en un intervalo (TI) de tiempo correspondiente que comprende uno o más puntos en el tiempo posteriores;
    - determinar uno o más niveles de energía para cada intervalo (TI) de tiempo, en el que cada nivel (L1, L2, L3) de energía se deriva a partir de un nivel de confianza de varios niveles de confianza, representando cada nivel de confianza un porcentaje de las salidas ( $y_{t+1}$ ,  $y_{t+2}$ ,  $y_{t+3}$ ) de energía futuras en el histograma correspondiente, en el que cada salida ( $y_{t+1}$ ,  $y_{t+2}$ ,  $y_{t+3}$ ) de energía futura dentro de este porcentaje tiene un valor igual o superior al nivel (L1, L2, L3) de energía que se deriva para el nivel de confianza correspondiente;
    - asignar usos predeterminados a cantidades (EA1, EA2, EA3) de energía según cada nivel de energía en cada intervalo (TI) de tiempo, en el que una cantidad (EA1, EA2, EA3) de energía según un nivel (L1, L2, L3) de energía representa la energía entre el nivel (EA1, EA2, EA3) de energía y el siguiente menor nivel de energía en el intervalo (TI) de tiempo respectivo.
2. Método según una de las reivindicaciones anteriores, en el que la pluralidad de redes (NN1, NN2) neuronales comprende una o más redes (NN1) neuronales recurrentes, particularmente redes neuronales recurrentes con retardo en el tiempo desplegada en el tiempo, y/o una o más redes (NN2) de realimentación positiva y/o una o más redes que implementan al menos una red (NN1) de realimentación positiva en al menos una red (NN1) neuronal recurrente.
3. Método según la reivindicación 1 ó 2, en el que la central de generación de energía renovable es una central de energía eólica que comprende varias turbinas eólicas y/o una central de energía solar que comprende varios paneles solares.
4. Método según una de las reivindicaciones anteriores, en el que los niveles de confianza comprenden uno o más primeros niveles de confianza, en el que el uso de la cantidad (EA1, EA2, EA3) de energía según el nivel (L1, L2, L3) de energía correspondiente a un primer nivel de confianza es tal que la parte de la cantidad (EA1, EA2, EA3) de energía todavía no vendida a terceras partes o todavía no reservada de otro modo se ofrece a terceras partes como energía consumible a un precio predeterminado por unidad, en el que el precio predeterminado por unidad aumenta con un porcentaje creciente de las salidas ( $y_{t+1}$ ,  $y_{t+2}$ ,  $y_{t+3}$ ) de energía futuras representadas por el primer nivel de confianza.
5. Método según la reivindicación 4, en el que las cantidades (EA1, EA2, EA3) de energía ofrecidas a terceras partes se comercializan en una plataforma de comercialización de energía.
6. Método según una de las reivindicaciones anteriores, en el que las entradas ( $x_{t-3}$ ,  $x_{t-2}$ ,  $x_{t-1}$ ,  $x_t$ ) de cada red (NN1, NN2) neuronal comprenden datos acerca del entorno de la central de generación de energía y/o una o más características de la central de generación de energía, particularmente datos meteorológicos en una pluralidad de posiciones en el entorno de la central de generación de energía y/o datos geográficos acerca de la ubicación de la central de generación de energía.
7. Método según una de las reivindicaciones anteriores, en el que las entradas ( $x_{t-3}$ ,  $x_{t-2}$ ,  $x_{t-1}$ ,  $x_t$ ) de cada red (NN1, NN2) neuronal comprenden datos, particularmente datos meteorológicos, medidos en puntos de tiempo del pasado y/o predichos para puntos de tiempo futuros.

8. Método según la reivindicación 6 ó 7, en el que los datos meteorológicos comprenden valores de temperatura y/o valores de presión atmosférica y/o valores de humedad atmosférica y/o velocidades de viento y/o direcciones de viento y/o valores de turbulencia y/o parámetros acerca de la radiación solar.
- 5 9. Método según una de las reivindicaciones anteriores, en el que los niveles de confianza comprenden uno o más segundos niveles de confianza que representan preferiblemente un porcentaje menor que el primer nivel de confianza, en el que el uso de la cantidad (EA1, EA2, EA3) de energía según el nivel (L1, L2, L3) de energía correspondiente a un segundo nivel de confianza comprende uno de los siguientes usos:
- 10 - ofrecer la parte de la cantidad (EA1, EA2, EA3) de energía todavía no vendida a terceras partes o todavía no reservada de otro modo como energía de control a terceras partes;
- abstenerse de ofrecer la parte de la cantidad (EA1, EA2, EA3) de energía todavía no vendida a terceras partes o todavía no reservada de otro modo a terceras partes y opcionalmente reservar esta parte la
- 15 cantidad de energía para prolongar la vida útil de la central de generación de energía y/o reducir las emisiones de ruido de la central de generación de energía y/o realizar trabajos de mantenimiento en la central de generación de energía.
10. Método según una de las reivindicaciones anteriores en combinación con la reivindicación 2, en el que al menos una red (NN1) de realimentación positiva comprende varias capas (H1, H2, H3) ocultas, estando cada capa oculta acoplada a un grupo (O1, O2, O3) de salida separado.
- 20 11. Método según la reivindicación 10, en el que la capa (l) de entrada de la al menos una red (NN1) de realimentación positiva se acopla a cada capa (H1, H2, H3) oculta.
- 25 12. Método según una de las reivindicaciones anteriores, en el que cada red (NN1, NN2) neuronal de la pluralidad de redes (NN1, NN2) neuronales aprende con datos de entrenamiento diferentes y/o parámetros de aprendizaje diferentes y/o se inicializa de manera diferente para la aprendizaje.
- 30 13. Método según una de las reivindicaciones anteriores, en el que los niveles de confianza se adaptan basándose en una comparación entre las salidas de energía reales y las salidas ( $y_{t+1}$ ,  $y_{t+2}$ ,  $y_{t+3}$ ) de energía correspondientes que se habían previsto por cada red (NN1, NN2) neuronal .
- 35 14. Producto de programa informático que comprende un código de programa almacenado en un medio legible por ordenador para realizar un método según una de las reivindicaciones anteriores cuando el código de programa se ejecuta en un ordenador.
- 40 15. Programa informático que comprende un código de programa para realizar un método según una de las reivindicaciones 1 a 13 cuando el código de programa se ejecuta en un ordenador.

FIG 1

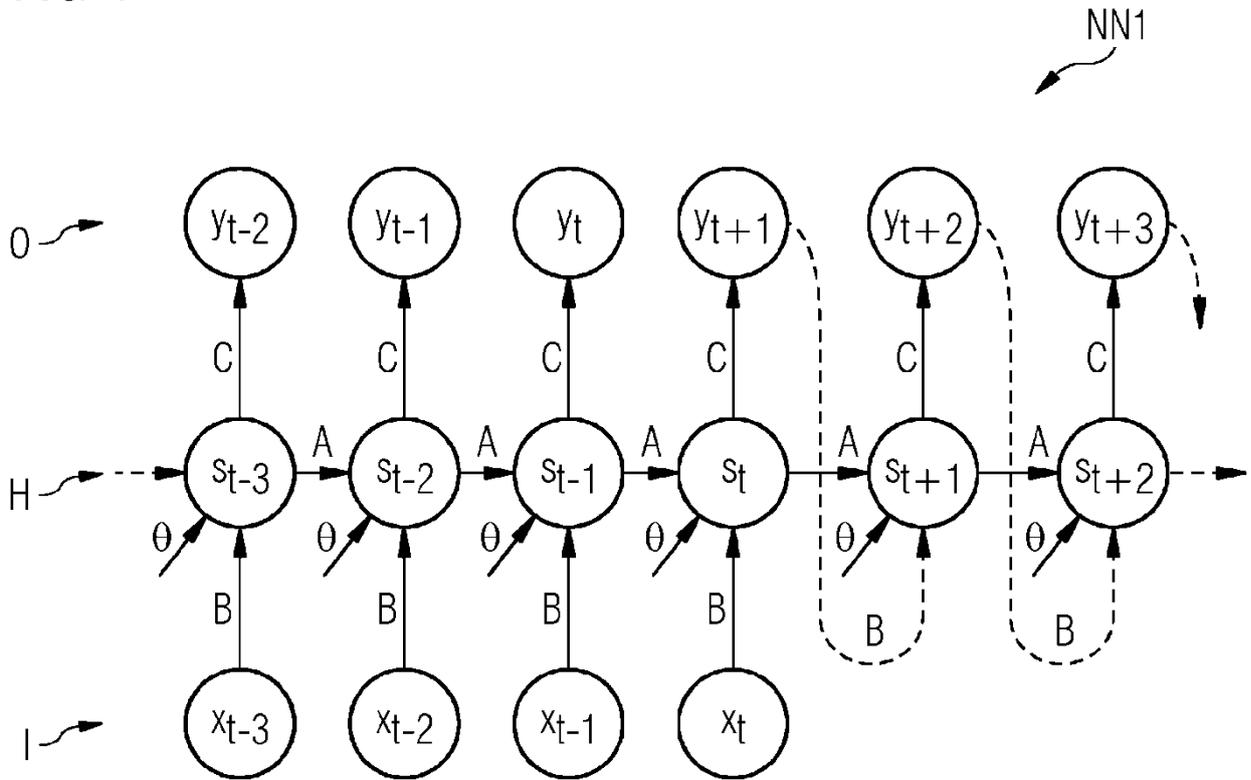
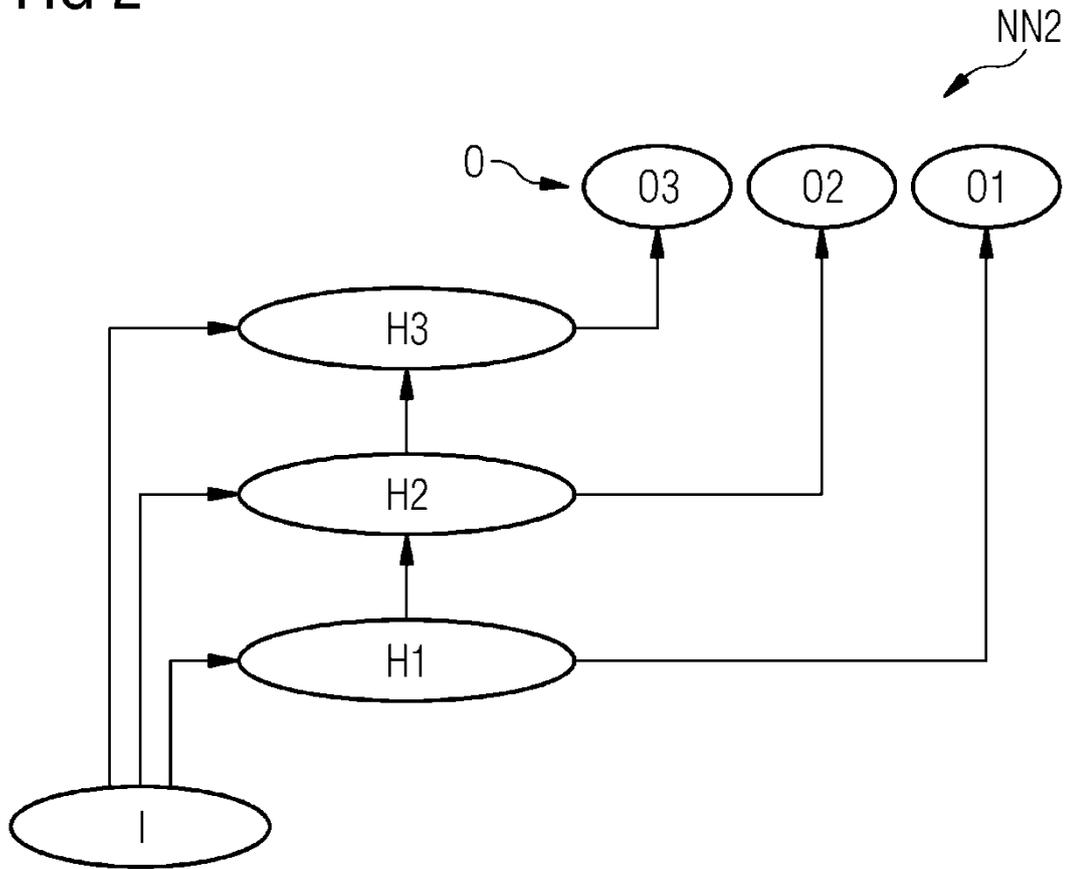


FIG 2



DI ↘

FIG 3

