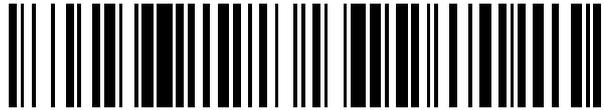


19



OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 761 710**

21 Número de solicitud: 201930994

51 Int. Cl.:

G06N 20/00 (2009.01)
A61B 3/00 (2006.01)
A61B 5/00 (2006.01)

12

SOLICITUD DE PATENTE

A1

22 Fecha de presentación:

14.11.2019

43 Fecha de publicación de la solicitud:

20.05.2020

71 Solicitantes:

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID (100.0%)
Avda. Ramiro de Maeztu nº 7
28040 MADRID ES

72 Inventor/es:

GOMEZ GARCIA, Jose Andres;
GODINO LLORENTE, Juan Ignacio;
MORO VELAZQUEZ, Laureano y
ARIAS LONDOÑO, Julian David

74 Agente/Representante:

UNGRÍA LÓPEZ, Javier

54 Título: **PROCEDIMIENTO DE CLASIFICACIÓN Y ANÁLISIS AUTOMÁTICO DE LOS MOVIMIENTOS OCULARES DE SUJETOS**

57 Resumen:

Procedimiento de clasificación y análisis automático de los movimientos oculares de sujetos.
Procedimiento de análisis automático y clasificación de movimientos oculares de sujetos, que comprende las etapas de: recibir una secuencia de movimientos oculares de un sujeto en respuesta a una serie de estímulos; registrar los valores de las componentes horizontales y verticales, en función del tiempo, de los movimientos oculares; extraer patrones temporales, espaciales, frecuenciales, frecuencial-temporales, espacio-temporales o combinaciones de los mismos, característicos de los movimientos oculares mediante modelos basados en teoría de la información, análisis de complejidad, análisis de dinámica lineal/no lineal, modelos probabilísticos gráficos y combinaciones de los mismos; y clasificar los movimientos oculares del sujeto utilizando modelos de inteligencia artificial.

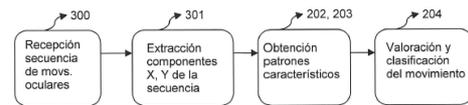


Fig.1

DESCRIPCIÓN

**PROCEDIMIENTO DE CLASIFICACIÓN Y ANÁLISIS AUTOMÁTICO DE LOS
MOVIMIENTOS OCULARES DE SUJETOS**

5

SECTOR TÉCNICO

10 La presente invención pertenece al campo técnico de la bioingeniería y los dispositivos biomédicos.

Más en particular, esta invención está relacionada con el desarrollo de procedimientos y sistemas que permiten el análisis y la clasificación automática de los movimientos oculares de diversos sujetos, objeto de estudio.

15

ANTECEDENTES DE LA INVENCIÓN

20 El análisis y la clasificación empleando movimientos oculares de sujetos ha demostrado ser de utilidad en multitud de aplicaciones diferentes, principalmente - aunque no exclusivamente- en los campos de la bioingeniería, psicología, mercadotecnia y biomedicina.

25 Así, dicho análisis y clasificación de los movimientos oculares puede emplearse en una etapa posterior, por ejemplo y sin carácter limitativo, para valorar la eficacia de un fármaco que se ha administrado previamente al sujeto; para categorizar sujetos con movimientos oculares similares a fin de crear bases de datos de interés en investigación; para estratificar un conjunto de sujetos en distintos grupos en base a las características de sus movimientos oculares; para clasificar sujetos en base a su potencial consumo de recursos médico-sanitarios, identificando determinados patrones
30 o eventos en los movimientos oculares; así como para detectar posibles anomalías en ciertos patrones de movimientos oculares.

35 De hecho, en el documento US2018271364A1 se divulga un sistema para identificar movimientos anómalos de los ojos a través de la comparación con umbrales, determinando así, la presencia de oscilaciones cuadradas, seguimientos lentos

anormales, respuesta pupilar anormal y/o oscilaciones oculares tremóricas.

Por otro lado, en la literatura científica se exponen evidencias clínicas que indican que el estudio de los movimientos oculares básicos es relevante para valorar, entre otros,
5 los trastornos neurológicos de tipo parkinsoniano.

Así, por ejemplo, en el documento US20160022137A1 se divulga un sistema automático de análisis para la detección y monitorización de desórdenes y defectos neurológicos, basado en el análisis de los movimientos oculares de un paciente.
10

En el documento US20130308099A1: se divulga, a su vez, un casco de seguimiento ocular para la evaluación neuropsicológica, que incluye la detección de daño cerebral.

Actualmente, para clasificar los movimientos oculares se emplean métodos puramente
15 manuales basados en la observación de la morfología de la señal, extrayendo características como amplitudes, velocidades o aceleraciones, o caracterizando eventos como sacadas, microsacadas, sacadas correctivas, etc. Estos métodos, en el mejor de los casos, se emplean junto a técnicas estadísticas descriptivas básicas como medias, desviaciones estándares o medidas de correlación. Esto hace que la
20 clasificación de movimientos oculares de un sujeto dependa para su análisis de la intervención manual de un experto, haciendo que el proceso sea complicado, largo y laborioso. Dicha información, que no es obvia ni observable de forma directa, se podría extraer mediante transformaciones de datos y la aplicación de técnicas de procesado de señal.

25 Existe además, la necesidad de desarrollar nuevos métodos y sistemas de análisis y clasificación que faciliten el proceso de caracterización de los movimientos oculares, lo agilicen e incluso, permitan automatizarlo.

30 **OBJETO DE LA INVENCION**

La presente invención pretende subsanar o reducir los problemas y desventajas de la técnica anterior, mencionados previamente.

A tal fin, un primer objeto de la presente invención se refiere a un procedimiento de análisis automático y clasificación de los movimientos oculares de sujetos, que comprende las siguientes etapas:

- 5 a) recibir al menos una secuencia de movimientos oculares de un sujeto registrada por un dispositivo de vídeo-oculografía, siendo dicha secuencia de movimientos oculares la respuesta del sujeto a una serie de estímulos emitidos por un dispositivo generador de estímulos;
- 10 b) extraer los valores de las componentes horizontales y verticales -en función del tiempo- de los movimientos oculares del sujeto, correspondientes a dicha secuencia de movimientos oculares;

caracterizado porque comprende, además, las siguientes etapas:

- 15 c) obtener patrones temporales, espaciales, frecuenciales, frecuencial-temporales, espacial-temporales o combinaciones de los mismos, característicos de los movimientos oculares del sujeto a partir de los valores registrados en la etapa anterior b), utilizando modelos basados en teoría de la información, modelos basados en métodos probabilísticos gráficos, métodos basados en análisis de Fourier o combinaciones de los mismos; y
- 20 d) valorar los patrones obtenidos en la etapa anterior c) y clasificar los movimientos oculares del sujeto utilizando medios de inteligencia artificial de tipo generativo o discriminativo.
- 25

Las etapas c) y d) del procedimiento de clasificación de movimientos oculares según la presente invención, permiten agilizar y automatizar dicho procedimiento, superando las desventajas de la técnica anterior arriba mencionadas.

- 30 A lo largo de la presente descripción, a la etapa c) arriba descrita, de obtención de patrones temporales, espaciales, frecuenciales, frecuencial-temporales, espacial-temporales o combinaciones de los mismos, de los movimientos oculares del sujeto, también se hará mención indistintamente como etapa "de procesado de datos".

Preferiblemente, en la etapa c) (de obtención de patrones temporales, espaciales, frecuenciales, frecuencial-temporales, espacial-temporales o combinaciones de los mismos, característicos de los movimientos oculares del sujeto) del procedimiento de clasificación según la presente invención, se obtienen patrones relativos a cualquiera de los siguientes tipos de movimientos oculares o combinaciones de los mismos:

- sacadas (movimientos oculares balísticos, extremadamente rápidos, que permiten cambiar rápidamente la mirada de un punto de interés a otro);
- seguimientos lentos (movimientos que permiten la estabilización en la retina de un objeto de interés que se está moviendo);
- movimientos fijacionales (desplazamientos de pequeña amplitud del ojo realizados durante las tareas de fijación de la mirada);
- reflejos optocinéticos (movimientos automáticos de la retina que estabilizan la imagen mientras el entorno o el sujeto está en movimiento);
- reflejos vestibulo-oculares (movimientos que estabilizan las imágenes en la retina durante los movimientos de la cabeza a través de una contrarrotación de los ojos a la misma velocidad de la cabeza pero en dirección opuesta);
- movimientos de vergencia (movimientos oculares disyuntivos que permiten a los ojos seguir objetos en diferentes campos de visión); y
- exploración visual (conjunto de movimientos realizados durante la observación de una escena y que habitualmente combina movimientos sacádicos y fijaciones mientras se recopila información de dicha escena).

La presente invención puede contemplar en su etapa c), obtener patrones de exploración basados en transiciones, sacadas/fijaciones, escaneos de ruta (en inglés, scan-path) o mapas de calor; información frecuencial y/o frecuencial-temporal relacionada con el contenido espectral de las señales basadas en -sin ser extensivos y únicamente a modo de ejemplo- transformaciones wavelets; transformaciones en el dominio de los espectros de modulación o del análisis de Fourier; información espacio-temporal basada en el análisis de la complejidad de la señal y/o en dominios transformados de los movimientos oculares del sujeto basadas en -sin ser extensivos y a modo de ejemplo- transformaciones en espacios embebidos para el cómputo de la regularidad, comportamiento fractal o caracterizaciones de las dinámicas de rango

largo y corto, extrayendo características basadas en teoría de la información que permitan la caracterización espacio-temporal; características basadas en modelos probabilísticos para el modelado en el dominio espacial y espacio/temporal, y técnicas espectrales para el modelado frecuencial y frecuencial-temporal, junto a
5 combinaciones de los mismos.

La presente invención contempla que los medios de inteligencia artificial sean de tipo generativo, los cuales permiten una decisión suave, tales como -sin ser extensivos y a modo de ejemplo- los que emplean modelos basados en mezclas de funciones,
10 máquinas de soporte vectorial, redes bayesianas o combinaciones de los mismos. También se contempla expresamente la posibilidad de que dichos medios de inteligencia artificial sean de tipo discriminativo, los cuales permiten una decisión fuerte como -sin ser extensivos y a modo de ejemplo- modelos basados en bosques aleatorios (en inglés, random forest), máquinas de vectores de soporte y/o
15 potenciación del gradiente (en inglés, gradient boosting) o combinaciones de los mismos.

En una realización preferida de la invención el método de clasificación comprende, después de la etapa b) (registro de valores de las componentes horizontales y
20 verticales) y antes de la etapa c) (obtención de patrones temporales, espaciales, frecuenciales, frecuencial-temporales, espacio-temporales o combinaciones de los mismos), las siguientes sub-etapas:

e) detectar posibles discontinuidades temporales en los valores de las
25 componentes horizontales y verticales de los movimientos oculares del sujeto;

f) interpolar los valores de las componentes horizontales y verticales de dichos movimientos oculares en los instantes temporales correspondientes a las discontinuidades, a partir de los valores de dichas componentes horizontales y
30 verticales en los instantes temporales inmediatamente anteriores e inmediatamente posteriores a las discontinuidades; y

g) modificar los valores de las componentes horizontales y verticales de los movimientos oculares del sujeto, sustituyendo los valores en las

discontinuidades temporales por los valores interpolados en la etapa anterior f).

La sub-etapa e) descrita anteriormente (detección de discontinuidades en los valores de las componentes horizontales y verticales de los movimientos oculares) está
5 destinada a detectar aquellos instantes temporales dentro de la secuencia de movimientos oculares, en los que el sujeto parpadea. De hecho, en la presente invención se interpreta que cuando el sujeto parpadea, se produce una de dichas discontinuidades.

10 Asimismo, las sub-etapas f) y g) descritas anteriormente (interpolación de los valores de las componentes horizontales / verticales y, modificación de los valores en las discontinuidades por los valores obtenidos por interpolación, respectivamente) pretenden -precisamente- corregir cada uno de los parpadeos detectados en la etapa anterior, utilizando para ello un método de interpolación.

15 A lo largo de la presente descripción, al conjunto de sub-etapas formado por las sub-etapas e), f) y g) arriba descritas (i.e., detección de discontinuidades en los valores de las componentes horizontales y verticales de los movimientos oculares, interpolación de los valores de las componentes horizontales/verticales y modificación de los valores
20 en las discontinuidades por los valores obtenidos por interpolación, respectivamente), también se hará mención indistintamente como etapa de "preprocesado de datos".

En otra realización preferida de la invención, el método de clasificación comprende en la etapa c) obtener patrones temporales, patrones espaciales y patrones espaciales-
25 temporales característicos de los movimientos oculares del sujeto, utilizando modelos probabilísticos gráficos basados en cadenas de Markov. Aún más preferiblemente, dichos modelos probabilísticos gráficos basados en cadenas de Markov se utilizan para caracterizar los estados de transición fijación-sacada y sacada-fijación, para caracterizar espacialmente las transiciones de estado sobre el plano de visualización y
30 para caracterizar cualquier combinación de dichos estados.

En otra realización preferida diferente de la invención, el método de clasificación comprende en la etapa c) obtener patrones temporales, espaciales, espacial-temporal
frecuenciales y frecuencial-temporal característicos de los movimientos oculares del

sujeto utilizando modelos basados en teoría de la información y análisis de Fourier, comprendiendo dichos modelos una etapa de análisis de complejidad, una etapa de medida basada en dinámica lineal/no lineal o combinaciones de las mismas.

5 Aún más preferentemente, la etapa de análisis de complejidad incluye la toma de medidas de regularidad. Preferiblemente la toma de dichas medidas de regularidad comprende el cálculo de la entropía aproximada, la entropía muestreada, la entropía de permutación, la entropía de kernel gaussiano, entropía Fuzzy, o combinaciones de las mismas.

10

Por otro lado, la etapa de medida basada en dinámica lineal/no lineal incluye, preferentemente las siguientes sub-etapas:

- 15 h) embeber los valores de las componentes horizontales y verticales -en función del tiempo- de los movimientos oculares del sujeto, en un espacio de estados; y
- i) extraer las características no lineales.

20 Más referiblemente, las características no lineales se extraen calculando el máximo exponente de Lyapunov, la fluctuación descendente, dimensiones de correlación, exponente de Hurst, estimadores de entropía basados en cadenas ocultas de Markov o combinaciones de las mismas.

25 Preferentemente, el dispositivo de vídeo-oculografía (VOG) encargado de registrar la secuencia de movimientos oculares, es un dispositivo binocular . En este caso particular, el registro de los valores de las componentes horizontales y verticales en función del tiempo de los movimientos oculares de la etapa b), tendrá dos componentes, una correspondiente al ojo izquierdo y otra al ojo derecho.

30 El dispositivo generador de estímulos genera, preferiblemente, estímulos visuales, sonoros y combinaciones de estímulos visuales y sonoros. Aun más preferiblemente, el dispositivo generador de estímulos genera estímulos pertenecientes a un entorno basado en realidad virtual, un entorno basado en realidad aumentada y un entorno basado en una combinación de realidad virtual y realidad aumentada.

Preferiblemente, la etapa d) (valoración de los patrones extraídos) se realiza con medios de inteligencia artificial que comprenden una máquina de decisión que proporciona una puntuación numérica en base a los patrones extraídos en la etapa anterior c) (obtención de patrones temporales y patrones espaciales característicos de los movimientos oculares del sujeto) y clasifica los movimientos oculares del sujeto en base a dicha puntuación. Más preferiblemente, la máquina de decisión comprende una máquina de soporte vectorial, una máquina basada en modelos de mezclas, redes neuronales o combinaciones de las mismas.

10

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

Para complementar la descripción que se está realizando y con objeto de ayudar a una mejor comprensión de las características de la invención, se acompaña como parte integrante de dicha descripción, un juego de dibujos en donde con carácter ilustrativo y no limitativo, se ha representado lo siguiente:

15

Figura 1. Diagrama de bloques que muestra las etapas principales del procedimiento de análisis automático y clasificación de movimientos oculares de sujetos, según la presente invención;

20

Figura 2. Diagrama de bloques que muestra una posible forma de obtención de la secuencia de movimientos oculares de un sujeto;

25

Figura 3. Diagrama de bloques que muestra algunas etapas de una posible realización del procedimiento de la invención, que incluye preprocesado;

Figura 4. Diagrama de bloques que muestra en más detalle, entre otras, las distintas sub-etapas de las que consta la etapa de preprocesado en una posible realización del procedimiento de la invención;

30

Figura 5. Diagrama de bloques que muestra, entre otras, las distintas sub-etapas de las que consta una etapa de procesado (u obtención de patrones característicos de los movimientos oculares) por medio de modelos probabilísticos gráficos, en una posible

realización del procedimiento de la invención;

Figura 6. Diagrama de bloques que muestra, entre otras, las distintas sub-etapas de las que consta una etapa de procesado (u obtención de patrones característicos de los movimientos oculares) por medio de modelos basados en teoría de la información, en una posible realización del procedimiento de la invención;

Figura 7. Gráfica tridimensional que ilustra los resultados obtenidos al clasificar, en dos grupos diferentes (normales y no normales), los movimientos oculares de una pluralidad de sujetos utilizando un procedimiento de clasificación según la presente invención;

Figura 8. gráfica que ilustra el análisis frecuencial para dos grupos diferentes (“normal” y “no normal”), utilizando un procedimiento basado en análisis de Fourier y que ilustra comportamientos diferenciadores en cada uno de los grupos considerados; y

Figuras 9A, 9B, 9C, 9D. Imágenes esquemáticas que muestran, en forma de mapa de calor, la distribución de los movimientos oculares de distintos sujetos, en respuesta a la imagen que se presenta.

20

REALIZACIONES PREFERENTES DE LA INVENCIÓN

A lo largo de la presente descripción, así como en las figuras, las etapas o elementos con funciones iguales o similares se designarán con las mismas referencias numéricas.

25

La Figura 1, muestra las etapas principales del procedimiento de clasificación de movimientos oculares de sujetos, según la presente invención.

Como puede apreciarse en la figura, la realización más sencilla del procedimiento según la presente invención comprende una primera etapa 300 que en la que se recibe una secuencia de movimientos oculares de un sujeto. Posteriormente, de esta secuencia de movimientos oculares se extraen 301 los valores de las componentes horizontales y verticales de los movimientos oculares, como una función del tiempo.

30

En una tercera etapa, dicho procedimiento contempla obtener 202, 203 patrones temporales y espaciales característicos de los movimientos oculares del sujeto a partir de los valores obtenidos en la etapa anterior 301, utilizando para ello, modelos
5 basados en teoría de la información, en métodos probabilísticos gráficos y combinaciones de los mismos. En una última etapa dicho método se valoran 204 los patrones extraídos en la etapa anterior y se clasifican los movimientos oculares del sujeto utilizando modelos de inteligencia artificial.

10 En algunas de las figuras 2 a 6 que siguen a continuación, se dan detalles adicionales y ejemplos de implementación de aspectos concretos de las etapas principales del procedimiento de la invención, descritos en la Figura 1.

En la figura 2 se muestra una posible forma de obtención de la secuencia de
15 movimientos oculares de los sujetos. En este caso particular, el registro 001 de dichos movimientos oculares se realiza mediante técnicas de VOG. Durante la etapa de registro se ingresan 101 primeramente datos de los sujetos de estudio. Estos pueden incluir datos demográficos o características extraídas de otros rasgos motores o no
20 motores. Seguidamente, se emplea un protocolo de inducción de movimientos oculares 102 mediante el uso de una batería de experimentos predeterminados, en los que se presenta una serie de estímulos al usuario sobre un dispositivo de visualización 106, como una pantalla o monitor. Este procedimiento permite la reproducción de las mismas condiciones de estudio de diferentes sujetos o del mismo sujeto en diversos momentos temporales. En el marco de este protocolo se utilizan tres tipos de
25 estímulos:

1. Seguimientos lentos 103: en el que un objeto que se mueve a una tasa constante se presenta en un dispositivo de proyección 106.
2. Exploración visual 104: en el que una serie de ilustraciones o imágenes
30 predeterminadas son presentadas al sujeto en el dispositivo de proyección 106.
3. Reflejo optocinético 105: en el que se presentan al sujeto una serie de barras horizontales y verticales que se mueven a una tasa constante.

Los movimientos oculares inducidos son registrados 107 a través de un dispositivo

binocular de grabación de VOG, que realiza el seguimiento y grabación de los movimientos oculares de los pacientes. Los registros son vinculados con los datos del sujeto y posteriormente almacenados 108 en un medio de almacenamiento, como puede ser un medio interno o la nube.

5

En la Figura 3 se muestra un diagrama de bloques que ilustra algunas etapas de una posible realización del procedimiento de la invención. En esta realización particular de la invención se incluye una etapa de preprocesado 201 de datos, de tal manera que se evalúe, entre otros, la presencia de parpadeos. Dicha etapa 201 de preprocesado de datos se realiza previamente a las etapas 202, 203 de procesado (u obtención de patrones temporales y espaciales característicos de los movimientos oculares del sujeto) que utilizan -respectivamente- modelos basados en teoría de la información y en métodos probabilísticos gráficos. Al igual que en la realización más general del procedimiento mostrada en la figura 1, el procedimiento ilustrado en la Figura 3 también concluye con la etapa 204, en la que se valoran los patrones extraídos en la etapa anterior y se clasifican los movimientos oculares del sujeto.

La Figura 4 muestra las etapas iniciales de un procedimiento de clasificación de movimientos oculares de sujetos, según la presente invención. Como puede observarse en dicha figura, el procedimiento comienza con la etapa 300 en la que se recibe una secuencia de movimientos oculares de un sujeto, se lee dicha secuencia y se extraen, en una etapa posterior 301, los valores de las componentes horizontales y verticales de los movimientos oculares, como una función del tiempo.

Como -en este ejemplo particular de realización de la invención- la secuencia de movimientos oculares se ha obtenido a partir de un dispositivo binocular de VOG, el registro de los valores de las componentes horizontales (coordenada x) y verticales (coordenada y) en función del tiempo de los movimientos oculares tiene dos componentes, una componente 302 correspondiente al ojo izquierdo, y otra componente 303 correspondiente al ojo derecho. En otras palabras, de la etapa 301 se obtiene una pareja de series temporales con coordenadas x, y, una correspondiente al ojo derecho 302 y otra correspondiente al el ojo izquierdo 303.

Se continuará con el preprocesado 201 de los datos que comprende una primera

etapa de detección de parpadeos 304. Dicha detección de parpadeos se consigue detectando posibles discontinuidades temporales en los valores de las componentes horizontales y verticales de los movimientos oculares del sujeto. Este procedimiento es de suma importancia debido a que los parpadeos introducen en los registros valores indeterminados de la posición de los ojos, que son debidos a la discontinuidad en el seguimiento que introducen dichos eventos. Preferiblemente, se utiliza, por ejemplo, el algoritmo de detección de parpadeos detallado de Holmqvist, 2011. Todos los eventos reconocidos como parpadeos podrían ser guardados en un dispositivo de almacenamiento 305.

10

Tras haber detectado las discontinuidades en las series temporales introducidas por los parpadeos, en este procedimiento particular según la presente invención se aplica una etapa de corrección, que en esta realización particular de la invención utiliza un algoritmo de corrección basado en la interpolación calculada entre los puntos anteriores al parpadeo y aquellos sucesivos al mismo. De esta manera las discontinuidades en las series temporales son reemplazadas en una etapa 306 por estimaciones del movimiento del ojo tal como si no se hubiese producido el evento de parpadeo. En esta realización particular de la invención, tales procedimientos de detección son solamente aplicados cuando los movimientos oculares del sujeto hagan una labor de seguimiento, como en reflejos optocinéticos o seguimientos lentos.

20

Los procedimientos de corrección de parpadeo son aplicados a ambos ojos, obteniendo finalmente un ojo derecho corregido con coordenadas (x_d, y_d) 307 y uno izquierdo con coordenadas (x_i, y_i) 308. Las series temporales corregidas resultantes son luego guardadas en un medio de soporte 309.

25

En el procedimiento de acuerdo con la presente invención, tras la etapa de preprocesado 201, que es recomendable pero opcional, tiene lugar una etapa de procesado de datos 202, 203 (es decir una etapa destinada a obtener patrones temporales y espaciales característicos de los movimientos oculares del sujeto). La presente invención contempla dos tipos de procesado de datos diferentes, así como la eventual combinación de los mismos.

30

De este modo, en la Figura 5 se describe una posible etapa 202 de procesado con

métodos basados en modelos probabilísticos gráficos. En esta etapa particular, de acuerdo con la presente invención, se parte de las series temporales corregidas para el ojo derecho 401 y para el ojo izquierdo 402 y se procede a aplicar, a modo de ejemplo para esta realización, un procesado que utiliza modelos probabilísticos basados en cadenas de Markov 403. No obstante, la presente invención también contempla expresamente el uso de otras técnicas.

En la realización mostrada en la Figura 5 se realiza primeramente un modelado de los datos (es decir, de las componentes horizontales y verticales en función del tiempo de los movimientos oculares del sujeto), con cadenas Markovianas discretas ocultas 404 a través de un procedimiento similar al explicado en “*A tutorial on hidden Markov models and selected applications in speech recognition*”. Rabiner, L. R. (1989). *Proceedings of the IEEE*, 77(2), 257-286. En dicho procedimiento se usa el procedimiento de Baum-Welch para el cómputo y ajuste de los parámetros necesarios para modelar los datos. Posteriormente, los rasgos son analizados tanto para caracterizar los estados de transición, fijación-sacada, sacada-fijación 405, como para caracterizar 406 espacialmente las transiciones de estado en el plano de visualización. Estas caracterizaciones pueden ser extraídas, sin ánimo de ser exhaustivos y a modo de ejemplo en esta realización, siguiendo el método general presentado en “*Scanpath modeling and classification with hidden Markov models*”. Coutrot, A., Hsiao, J. H., & Chan, A. B. (2018). *Behavior research methods*, 50(1), 362-379” y en “*Understanding eye movements in face recognition using hidden Markov models*”. Chuk, T., Chan, A. B., & Hsiao, J. H. (2014). *Journal of Vision*, 14(11), 8-8. En dicho método los rasgos son extraídos a partir de los patrones de observación modelados con cadenas markovianas. Finalmente los rasgos caracterizados podrían ser guardados 407 en el dispositivo de almacenamiento.

Por otra parte, en la Figura 6 se describe una posible etapa 203 de procesado (extracción de patrones de los movimientos oculares) con modelos basados en teoría de la información. Al igual que en el procesado con cadenas markovianas (mostrado en la figura 5), se parte de la misma base: las coordenadas (x_d, y_d) 501 y (x_i, y_i) 502 corregidas; sobre las cuales, en esta realización particular de la presente invención, se aplicarán técnicas de procesamiento de la señal basadas en el análisis de la complejidad 503.

En esta etapa de procesado, y teniendo en cuenta las diferencias entre ambas coordenadas, cada ojo se estudia por separado. En este sentido se extraen las coordenadas de cada ojo 504, de tal manera que se genere una serie temporal independiente para la coordenada X 505 y otra para la coordenada Y 506. Tras esto se procederá a la caracterización de cada una de las coordenadas usando medidas de complejidad 507. Dentro de este bloque se llevan a cabo dos procedimientos:

1. Se extraen medidas de regularidad directamente sobre la serie temporal 508. Estas incluyen, sin ánimo de ser exhaustivos y a modo de ejemplo en esta realización, la entropía aproximada (según un procedimiento similar al descrito, por ejemplo, en "*Approximate entropy as a measure of system complexity*". Pincus, S. M. (1991). *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 88(6), 2297-2301); la entropía muestreada (según un procedimiento similar al descrito, por ejemplo, en "*Physiological time-series analysis using approximate entropy and sample entropy*". Richman, J. S., & Moorman, J. R. (2000). *American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology*, 278(6), H2039-H2049); la entropía de permutación (según un procedimiento similar al descrito, por ejemplo, en "*Permutation entropy and its main biomedical and econophysics applications: a review*". Zanin, M., Zunino, L., Rosso, O. A., & Papo, D. (2012) *Entropy*, 14(8), 1553-1577) la entropía de kernel gaussiano (según un procedimiento similar al descrito, por ejemplo, en "*Gaussian kernel approximate entropy algorithm for analyzing irregularity of time-series*" Li-Sheng Xu, Kuan-Quan Wang and Lu Wang, (2005) *International Conference on Machine Learning and Cybernetics*, pp. 5605-5608 Vol. 9.) y la entropía Fuzzy (según un procedimiento similar al descrito, por ejemplo, en "*Fuzzy entropy metrics for the analysis of biomedical signals: assessment and comparison*." Azami, Hamed, et al. (2019): *IEEE Access* 7. 104833-104847). Estas medidas buscan computar el nivel de regularidad de las señales, lo que se interpreta como una estimación de la complejidad relacionada con la tasa de generación de nueva información.
2. Se extraen a su vez medidas basadas en dinámica no lineal. Para ello primeramente se hace necesario el embebimiento en un espacio de estados

509 a través del teorema de Takens (según se describe, por ejemplo, en
 “*Nonlinear time series analysis (Vol. 7)*”. Kantz, H., & Schreiber, T. (2004)
 Cambridge University Press) que permite una reconstrucción homeomórfica -
 realizable y con propiedades equivalentes al atractor original del sistema.
 5 Después se hace posible la extracción de características no lineales 510 como
 la dimensión de correlación, el exponente de Hurst o el máximo exponente de
 Lyapunov (según se describe, por ejemplo en, “*Nonlinear time series analysis
 (Vol. 7)*”. Kantz, H., & Schreiber, T. (2004). Cambridge University Press), el
 análisis de fluctuación descendente (según se describe, por ejemplo, en
 10 “*Quantification of scaling exponents and crossover phenomena in nonstationary
 heartbeat time series*” Peng, C. K., Havlin, S., Stanley, H. E., & Goldberger, A.
 L. (1995). *Chaos: An Interdisciplinary Journal of Nonlinear Science*", 5(1), 82-
 87), y estimadores de entropía basados en cadenas ocultas de Markov (según
 se describe, por ejemplo, en “*Entropies from Markov models as complexity
 15 measures of embedded attractors*”. Arias-Londoño, J., & Godino-Llorente, J.
 (2015). *Entropy*, 17(6), 3595-3620). En términos generales estas
 características buscan determinar las propiedades del atractor reconstruido,
 tales como su dimensión fractal, las correlaciones a rango corto y largo plazo,
 la tasa de generación de información o métricas relacionadas con la dinámica
 20 de las trayectorias del atractor.

Los grupos de características extraídas (o patrones) pueden ser guardados en un
 medio de soporte 511 para su posterior análisis.

25 Tras haber obtenido patrones sobre las secuencias temporales, el procedimiento
 según la invención utiliza técnicas basadas en inteligencia artificial o aprendizaje de
 máquina para valorar 204 los patrones extraídos y clasificar los movimientos oculares
 del sujeto.

30 Para ello, una posible realización del procedimiento según la invención contempla el
 uso de una máquina de soporte vectorial que asigna una puntuación a los movimientos
 oculares del sujeto en función de los patrones temporales y espaciales obtenidos en
 las etapas 202 y/o 203 de procesamiento de datos. Preferiblemente, dicha máquina se ha
 entrenado previamente con un corpus de datos de sujetos. Podrían utilizarse otros

tipos de máquinas de decisión sin que esto altere el espíritu de la invención.

Dicho corpus de datos contiene preferiblemente patrones temporales y espaciales correspondientes a secuencias de movimientos oculares, grabados binocularmente, de
5 sujetos que fueron sometidos a varios experimentos de inducción de movimientos oculares: de tipo sacádico, fijacional, de seguimientos lentos, de exploración visual y de reflejo optocinético. Preferiblemente, las secuencias de movimientos oculares se adquieren usando un sistema con una tasa de muestreo superior a 250Hz tal, por ejemplo, como un sistema Eyelink 1000Plus, utilizando una tasa de muestreo de 1000
10 Hz y empleando un soporte de barbilla para estabilizar la cabeza del sujeto durante el proceso de grabación.

El procedimiento de clasificación según la invención comprende -opcionalmente- una última etapa, destinada a la presentación, valoración y categorización de los
15 movimientos del sujeto.

Dicha etapa comprende la lectura de los resultados de clasificación obtenidos con el sistema automático 204, bien de una memoria intermedia o del dispositivo de almacenamiento utilizado en los que dichos resultados habían sido almacenados
20 previamente.

Tales resultados son luego utilizados para preparar y presentar al usuario del sistema un informe con los resultados.

25 En la figura 7 se muestra una gráfica tridimensional que ilustra los resultados obtenidos al clasificar, en dos grupos diferentes ("normal" y "no normal"), los movimientos oculares de una pluralidad de sujetos utilizando un procedimiento de clasificación según la presente invención.

30 En la figura 8 se muestra una gráfica que ilustra el análisis frecuencial para dos grupos diferentes ("normal" y "no normal"), utilizando un procedimiento basado en análisis de Fourier y que ilustra comportamientos diferenciadores en cada uno de los grupos considerados.

Cada una de las imágenes 9A, 9B, 9C, 9D muestra esquemáticamente un mapa de calor que ilustra la distribución de los movimientos oculares de un sujeto diferente, que dicho sujeto ha realizado en respuesta a una imagen que forma parte de la serie de estímulos.

5

En las Figuras 9A y 9C, se muestra cómo las áreas de la imagen exploradas por algunos de los sujetos fueron más pequeñas y sus movimientos oculares estuvieron compuestos principalmente por fijaciones. Los movimientos oculares de estos sujetos se clasificaron como pertenecientes al grupo “no normal”.

10

Por el contrario, los movimientos oculares de los sujetos representados en las Figuras 9B y 9D, muestran que dichos sujetos exploraron un área mayor de la imagen de la serie de estímulos. Además, sus movimientos presentaron un mayor número de eventos sacádicos. Los movimientos oculares de estos sujetos se clasificaron como pertenecientes al grupo “normal”.

15

La presente invención no está limitada, en modo alguno, a las realizaciones aquí divulgadas. Para la persona experta en la técnica serán evidentes otras posibles realizaciones diferentes de esta invención, a la vista de la presente descripción. En consecuencia, el alcance de protección de la presente invención está definido, exclusivamente, por las reivindicaciones que siguen a continuación.

20

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de análisis automático y clasificación de los movimientos oculares de sujetos, que comprende las siguientes etapas:
- 5
- a) recibir (300) al menos una secuencia de movimientos oculares de un sujeto registrada por un dispositivo de vídeo-oculografía, siendo dicha secuencia de movimientos oculares la respuesta del sujeto a una serie de estímulos emitidos por un dispositivo generador de estímulos;
- 10
- b) extraer (301) los valores de las componentes horizontales y verticales -en función del tiempo- de los movimientos oculares del sujeto, correspondientes a dicha secuencia de movimientos oculares;
- 15
- caracterizado porque comprende, además, las siguientes etapas:
- c) obtener (202, 203) patrones temporales, espaciales, frecuenciales, frecuencial-temporales, espacial-temporales o combinaciones de los mismos, característicos de los movimientos oculares del sujeto, a partir de los valores registrados en la etapa anterior b), utilizando modelos basados en teoría de la información, modelos basados en métodos probabilísticos gráficos, análisis de Fourier y combinaciones de los mismos; y
- 20
- d) valorar (204) los patrones extraídos en la etapa anterior c) y clasificar los movimientos oculares del sujeto utilizando medios de inteligencia artificial de tipo generativo o discriminativo.
- 25
2. Procedimiento de clasificación de movimientos oculares de sujetos según la reivindicación 1 en el que, en la etapa c) de obtención de patrones característicos de los movimientos oculares del sujeto, se extraen patrones relativos a cualquiera de los siguientes movimientos oculares o combinaciones de los mismos: sacadas; seguimientos lentos; movimientos fijacionales; reflejos optocinéticos; reflejos vestibulo-oculares; movimientos de vergencia; y exploración visual.
- 30

3. Procedimiento de clasificación de movimientos oculares de sujetos según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que los medios de inteligencia son de tipo generativo y emplean modelos basados en mezclas de funciones, máquinas de soporte vectorial, redes bayesianas o combinaciones de los mismos.
- 5
4. Procedimiento de clasificación de movimientos oculares de sujetos según cualquiera de las reivindicaciones 1 y 2, en el que los medios de inteligencia son de tipo discriminativo y emplean modelos basados en bosques aleatorios, máquinas de vectores de soporte, potenciación del gradiente o combinaciones de los mismos.
- 10
5. Procedimiento de clasificación de movimientos oculares de sujetos según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende, después de la etapa b) y antes de la etapa c), las siguientes sub-etapas:
- 15
- e) detectar (304) posibles discontinuidades temporales en los valores de las componentes horizontales y verticales de los movimientos oculares del sujeto;
 - f) interpolar los valores de las componentes horizontales y verticales de dichos movimientos oculares en los instantes temporales correspondientes a las discontinuidades, a partir de los valores de dichas componentes horizontales y verticales en los instantes temporales inmediatamente anteriores e inmediatamente posteriores a las discontinuidades; y
 - g) modificar (306) los valores de las componentes horizontales y verticales de los movimientos oculares del sujeto, sustituyendo los valores en las discontinuidades temporales por los valores interpolados en la etapa anterior f).
- 20
- 25
6. Procedimiento de clasificación de movimientos oculares de sujetos según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la etapa c) comprende obtener (202) patrones temporales, espaciales, frecuenciales, frecuencial-temporales, espacio-temporales o combinaciones de los mismos, característicos de los movimientos oculares del sujeto, utilizando modelos probabilísticos gráficos basados en cadenas de Markov (403).
- 30

7. Procedimiento de clasificación de movimientos oculares de sujetos según la reivindicación 6, en el que los modelos probabilísticos gráficos basados en cadenas de Markov (403) se utilizan para caracterizar (405) los estados de transición fijación-sacada y sacada- fijación, para caracterizar (406) espacialmente las transiciones de estado sobre el plano de visualización y para caracterizar cualquier combinación de dichos estados.
8. Procedimiento de clasificación de movimientos oculares de sujetos según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en el que la etapa c) comprende obtener (203) patrones temporales y patrones espaciales característicos de los movimientos oculares del sujeto, utilizando modelos basados en teoría de la información, comprendiendo dichos modelos una etapa de análisis de complejidad (503), una etapa de medida basada en dinámica lineal/no lineal o combinaciones de las mismas.
9. Procedimiento de clasificación de movimientos oculares de sujetos según la reivindicación 8, en el que la etapa de análisis de complejidad (503) incluye la toma de medidas de regularidad (508)
10. Procedimiento de clasificación de movimientos oculares de sujetos según la reivindicación 9, en el que la toma de medidas de regularidad comprende el cálculo de la entropía aproximada, la entropía muestreada, la entropía de permutación, la entropía de kernel gaussiano, entropía Fuzzy o combinaciones de las mismas.
11. Procedimiento de clasificación de movimientos oculares de sujetos según la reivindicación 8, en el que la etapa de la etapa de medida basada en dinámica lineal/no lineal incluye las siguientes sub-etapas:
- h) embeber los valores de las componentes horizontales y verticales -en función del tiempo- de los movimientos oculares del sujeto, en un espacio de estados; y
 - i) extraer las características no lineales.
12. Procedimiento de clasificación de movimientos oculares de sujetos según la

reivindicación 11, en el que la características no lineales se extraen calculando el máximo exponente de Lyapunov, dimensiones de correlación, exponente de Hurst, fluctuación descendente, estimadores de entropía basados en cadenas ocultas de Markov o combinaciones de las mismas.

5

13. Procedimiento de clasificación de movimientos oculares de sujetos según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la etapa la etapa d) se realiza con medios de inteligencia artificial que comprenden una máquina de decisión, que proporciona una puntuación numérica en base a los patrones obtenidos en la etapa anterior c) y clasifica los movimientos oculares del sujeto en base a dicha puntuación.

10

14. Procedimiento de clasificación de movimientos oculares de sujetos según la reivindicación 13, en el que la máquina de decisión es una máquina de soporte vectorial, una máquina basada en modelos de mezclas, una máquina basada en árboles de decisión, redes neuronales o combinaciones de las mismas.

15

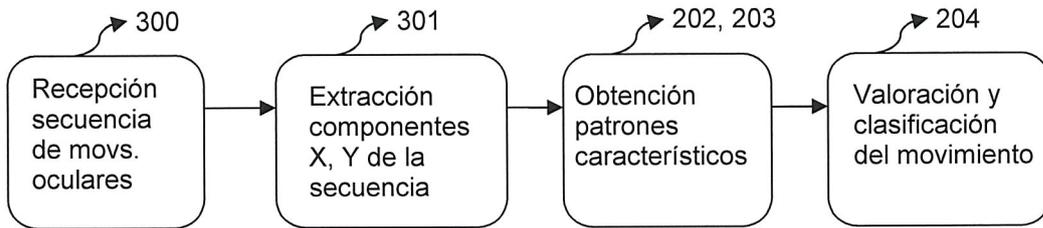


Fig.1

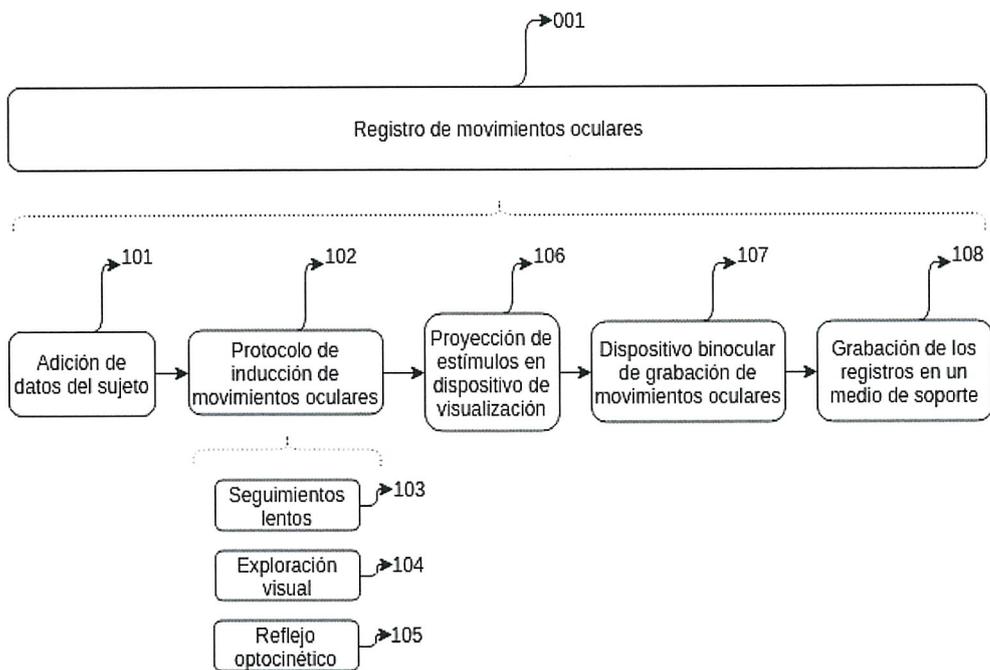


Fig.2

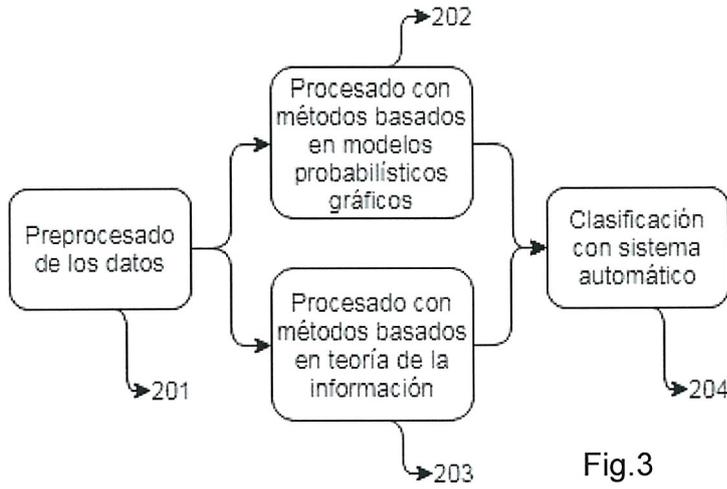


Fig.3

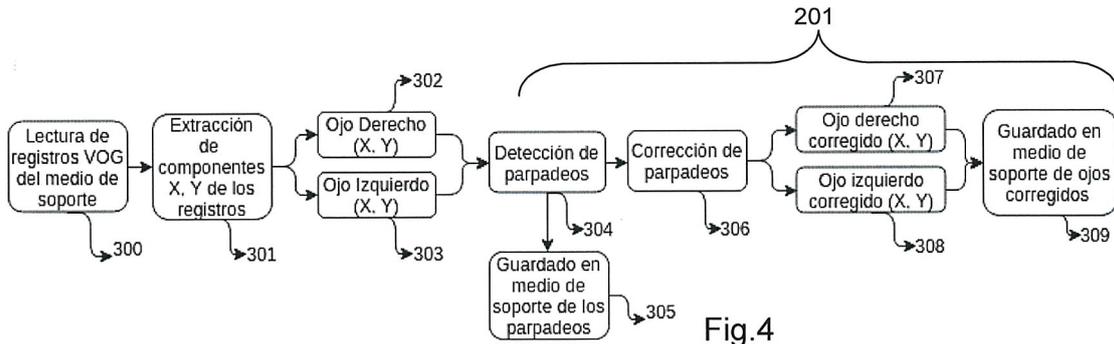


Fig.4

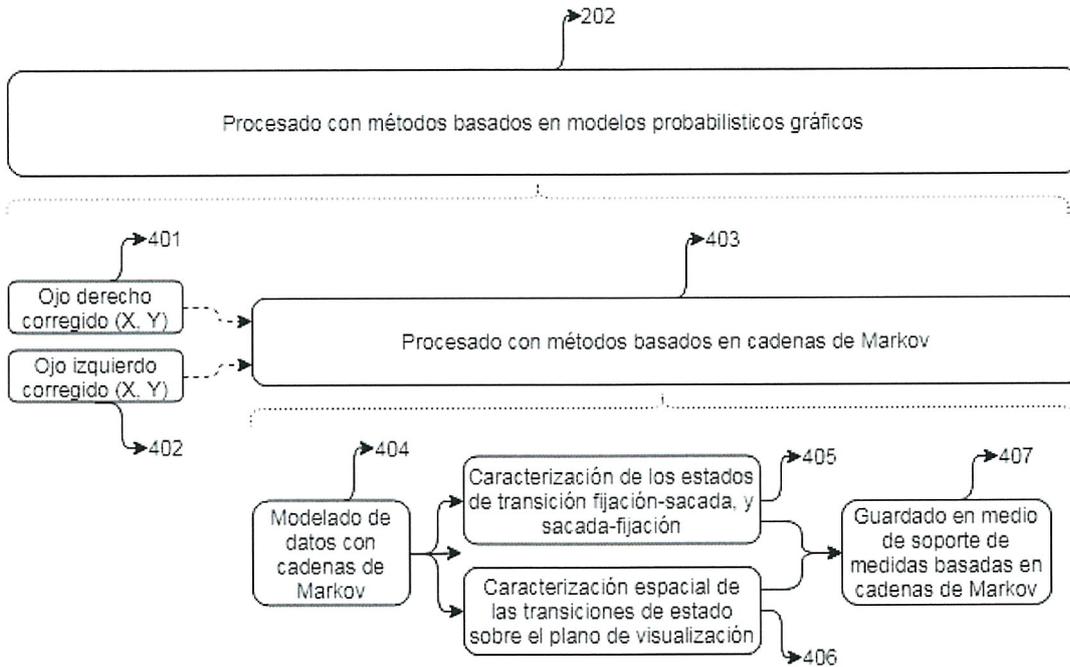


Fig.5

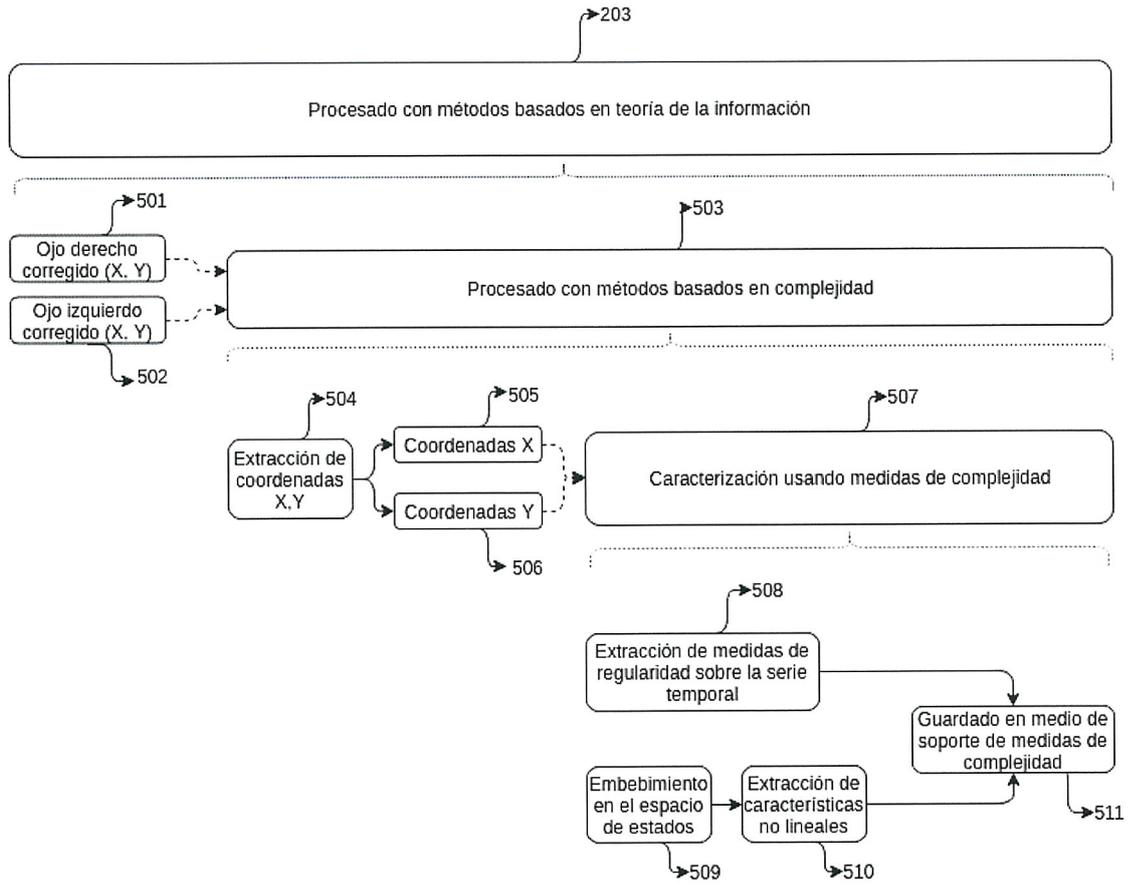


Fig. 6

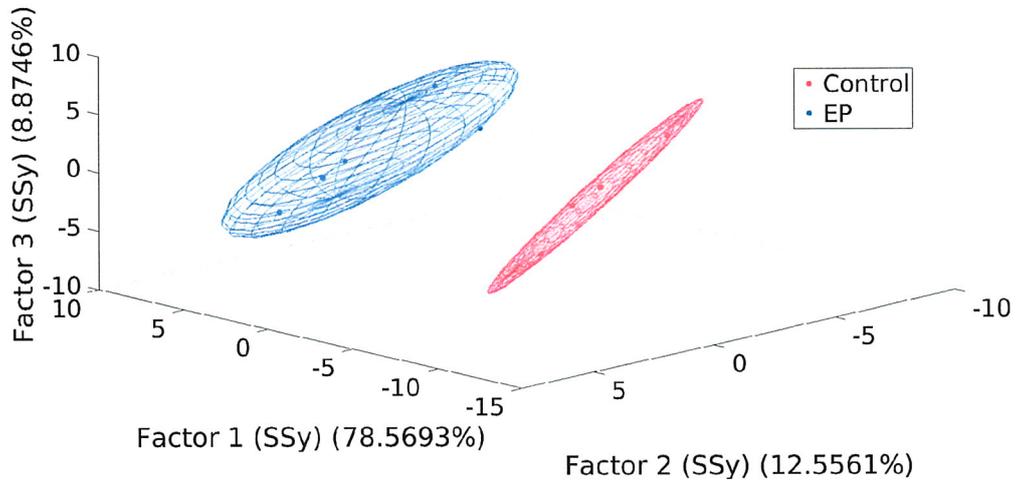


Fig. 7

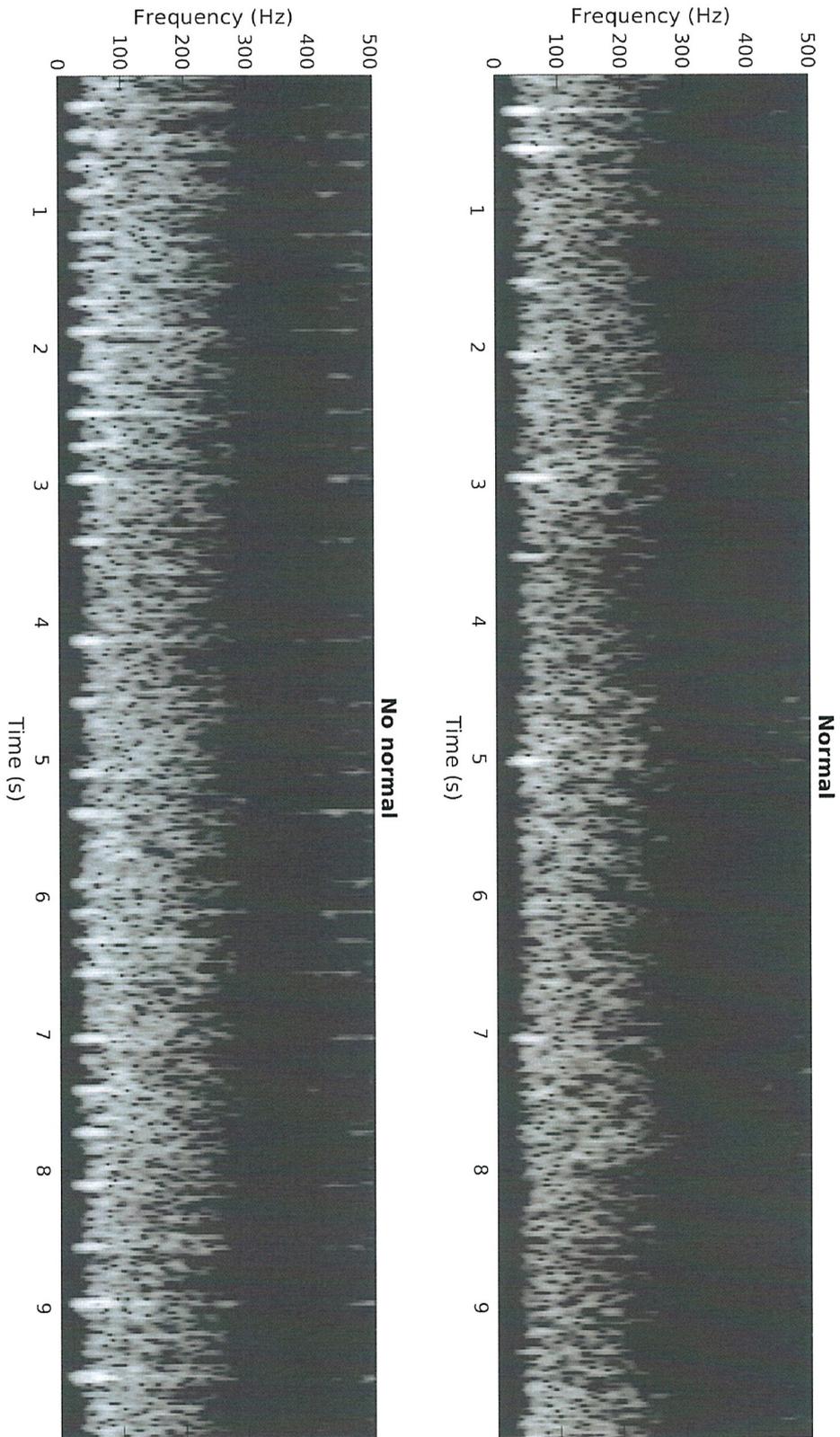


Fig. 8

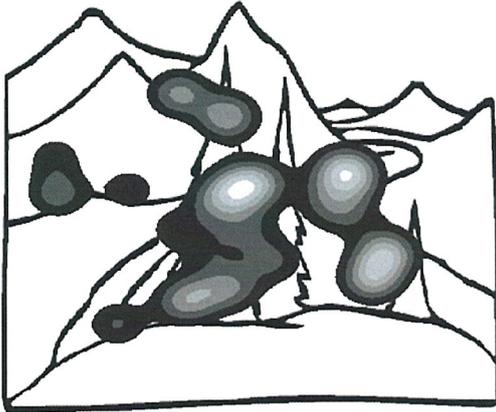


Fig. 9A

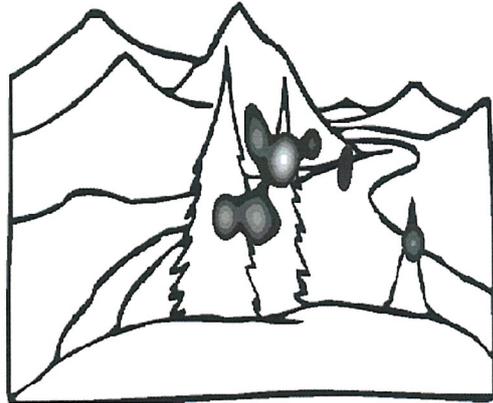


Fig. 9B

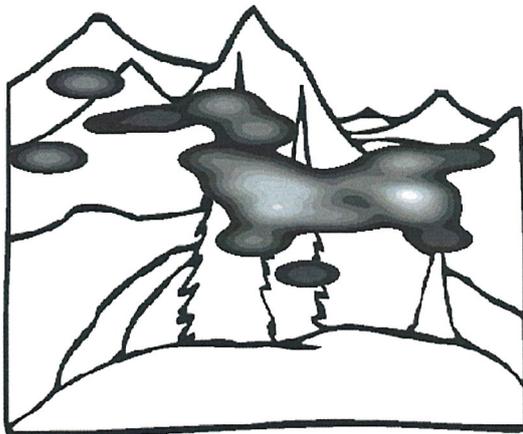


Fig. 9C

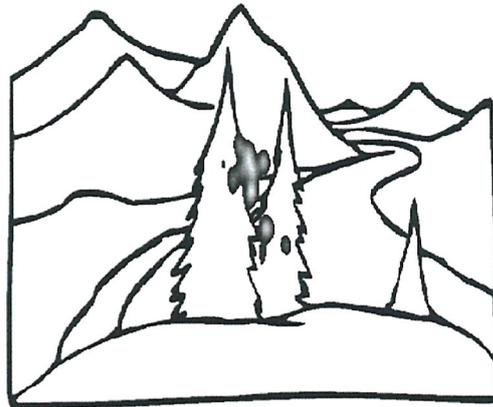


Fig. 9D



- ②① N.º solicitud: 201930994
②② Fecha de presentación de la solicitud: 14.11.2019
③② Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TECNICA

⑤① Int. Cl.: Ver Hoja Adicional

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	⑤⑥ Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
X	MACAS MARTIN et al. Hidden Markov models for analysis of eye movements of dyslexic children. 2013 18th International Conference on Digital Signal Processing (DSP), 20130701 IEEE. 01/07/2013, Páginas 1 - 5, ISSN 1546-1874, <DOI:10.1109/ICDSP.2013.6622783>. Todo el documento.	1-14
A	ANDREAS BULLING et al. Eye Movement Analysis for Activity Recognition Using Electrooculography. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 20110401 IEEE Computer Society, USA. , 01/04/2011, Vol. 33, Nº 4, Páginas 741 - 753, ISSN 0162-8828, <DOI: 10.1109/TPAMI.2010.86>. Todo el documento.	1-14
A	CHEN SHANEN et al. Automatic Diagnosis of Epileptic Seizure in Electroencephalography Signals Using Nonlinear Dynamics Features. IEEE Access IEEE, USA. 30/11/0002, Vol. 7, Páginas 61046 - 61056, <DOI:10.1109/ACCESS.2019.2915610>. Todo el documento.	1-14
A	WANG LEI et al. Seizure pattern-specific epileptic epoch detection in patients with intellectual disability. BIOMEDICAL SIGNAL PROCESSING AND CONTROL, 20170306 ELSEVIER, AMSTERDAM, NL. Manfredi Claudia, 06/03/2017, Vol. 35, Páginas 38 - 49, ISSN 1746-8094, <DOI: 10.1016/j.bspc.2017.02.008>. Todo el documento.	1-14

Categoría de los documentos citados

- X: de particular relevancia
Y: de particular relevancia combinado con otro/s de la misma categoría
A: refleja el estado de la técnica

- O: referido a divulgación no escrita
P: publicado entre la fecha de prioridad y la de presentación de la solicitud
E: documento anterior, pero publicado después de la fecha de presentación de la solicitud

El presente informe ha sido realizado

para todas las reivindicaciones

para las reivindicaciones nº:

<p>Fecha de realización del informe 10.05.2020</p>	<p>Examinador M. Muñoz Sanchez</p>	<p>Página 1/3</p>
---	---	------------------------------



- ②¹ N.º solicitud: 201930994
②² Fecha de presentación de la solicitud: 14.11.2019
③² Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TECNICA

⑤¹ Int. Cl.: Ver Hoja Adicional

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	⑤ ⁶ Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
A	ZHEN-LAN JIN et al. Eye movements reveal process of feature integration. Wavelet Active Media Technology and Information Processing (ICWAMTIP), 2012 International Conference on, 20121217 IEEE. , 17/12/2012, Páginas 62 - 65, ISSN ISBN 978-1-4673-1684-2 ; ISBN 1-4673-1684-9, <DOI: 10.1109/ICWAMTIP.2012.6413440>. Todo el documento.	1-14
A	WADEHN FEDERICO et al. Model-Based Separation, Detection, and Classification of Eye Movements. IEEE TRANSACTIONS ON BIOMEDICAL ENGINEERING, 20190529 IEEE SERVICE CENTER, PISCATAWAY, NJ, USA. 29/05/2019, Vol. 67, Nº 2, Páginas 588 - 600, ISSN 0018-9294, <DOI: 10.1109/TBME.2019.2918986>. Todo el documento.	1-14
A	US 2014327881 A1 (KIDERMAN ALEXANDER D et al.) 06/11/2014, Todo el documento.	1-14
A	WO 2009129222 A2 (JOHNS HOPKING UNIVERSITY et al.) 22/10/2009, Todo el documento.	1-14
A	US 2015223683 A1 (DAVIDOVICS NATAN SIMCHA et al.) 13/08/2015, Todo el documento.	1-14
A	NEISHA A CHADWICK et al. Classifying eye and head movement artifacts in EEG signals. Digital Ecosystems and Technologies Conference (DEST), 2011 Proceedings of the 5th IEEE International Conference on, 20110531 IEEE. , 31/05/2011, Páginas 285 - 291, ISSN ISBN 978-1-4577-0871-8; ISBN 1-4577-0871-X, <DOI: 10.1109/DEST.2011.5936640>. Todo el documento.	1-14

Categoría de los documentos citados

X: de particular relevancia

Y: de particular relevancia combinado con otro/s de la misma categoría

A: refleja el estado de la técnica

O: referido a divulgación no escrita

P: publicado entre la fecha de prioridad y la de presentación de la solicitud

E: documento anterior, pero publicado después de la fecha de presentación de la solicitud

El presente informe ha sido realizado

para todas las reivindicaciones

para las reivindicaciones nº:

Fecha de realización del informe
10.05.2020

Examinador
M. Muñoz Sanchez

Página
2/3

CLASIFICACIÓN OBJETO DE LA SOLICITUD

G06N20/00 (2019.01)

A61B3/00 (2006.01)

A61B5/00 (2006.01)

Documentación mínima buscada (sistema de clasificación seguido de los símbolos de clasificación)

G06N, A61B

Bases de datos electrónicas consultadas durante la búsqueda (nombre de la base de datos y, si es posible, términos de búsqueda utilizados)

INVENES, EPODOC, WPI, NPL, XPIEE, XPI3E