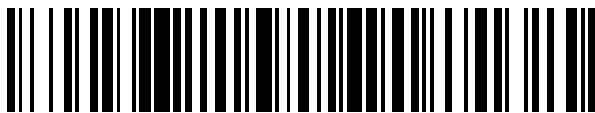


(19)



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS
ESPAÑA



(11) Número de publicación: **2 886 261**

(21) Número de solicitud: 202130072

(51) Int. Cl.:

A61B 5/11	(2006.01)
G06K 9/00	(2006.01)
G06N 20/10	(2009.01)
G06N 3/00	(2006.01)

(12)

SOLICITUD DE PATENTE

A1

(22) Fecha de presentación:

29.01.2021

(43) Fecha de publicación de la solicitud:

16.12.2021

(71) Solicitantes:

**UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ DE ELCHE
(100.0%)
Avda. de la Universidad, s/n
03202 Elche (Alicante) ES**

(72) Inventor/es:

**GARCÍA ARACIL, Nicolás Manuel;
BERTOMEU MOTOS, Arturo;
EZQUERRO GARCÍA, Santiago;
CATALÁN ORTS, José María;
GARCÍA PÉREZ, José V.;
DÍEZ POMARES, Jorge Antonio;
LLEDÓ PÉREZ, Luis Daniel;
BLANCO IVORRA, Andrea y
BARIOS HEREDERO, Juan Antonio**

(74) Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

(54) Título: **SISTEMA Y MÉTODO PARA LA EVALUACIÓN DE MOVIMIENTOS ARTICULARES
ESPECÍFICOS DEL CUERPO HUMANO**

(19)



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS
ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 886 261**

(21) Número de solicitud: 202130072

(57) Resumen:

Sistema y método para la evaluación de movimientos articulares específicos del cuerpo humano. El método comprende:

adquisición (201) de movimientos articulares (202) realizados por un usuario (114) en un ejercicio;

obtención (203) de primeros patrones de movimientos articulares (204) de usuarios expertos correspondientes al ejercicio realizado;

detección y clasificación (205) del ejercicio mediante un análisis conjunto de los movimientos articulares (202) adquiridos utilizando un modelo de aprendizaje automático previamente entrenado;

obtención (207) de segundos patrones de movimientos articulares (208) de usuarios expertos correspondientes al ejercicio detectado (206);

cálculo (209) de una primera distancia media (X_1) entre los movimientos articulares (202) adquiridos y los primeros patrones de movimientos articulares (204);

cálculo (210) de una segunda distancia media (X_2) entre los movimientos articulares (202) adquiridos y los segundos patrones de movimientos articulares (208);

evaluación (211) de la calidad del ejercicio realizado por el usuario (114) en función de la primera distancia media (X_1), de la segunda distancia media (X_2) y del ejercicio detectado (206).

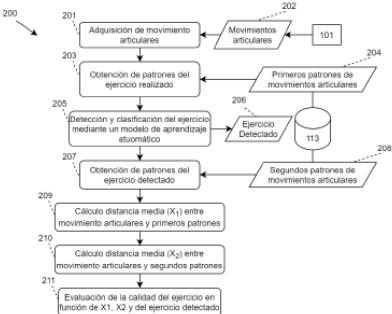


FIG. 2

DESCRIPCIÓN

SISTEMA Y MÉTODO PARA LA EVALUACIÓN DE MOVIMIENTOS ARTICULARES

ESPECÍFICOS DEL CUERPO HUMANO

5

CAMPO DE LA INVENCIÓN

El objeto de la invención se enmarca en el campo de la neurorrehabilitación y la asistencia, y más en particular, en los sistemas y métodos para la evaluación objetiva del grado de calidad de ejercicios o actividades determinados que incluyen movimientos articulares, realizados por ejemplo por un miembro superior de un paciente en sesiones de rehabilitación.

ANTECEDENTES DE LA INVENCIÓN

En el estado del arte se conocen métodos para el diagnóstico y evaluación del movimiento de los miembros superiores del cuerpo humano en ejercicios de rehabilitación que emplean redes neuronales artificiales entrenadas previamente, como por ejemplo la invención divulgada en el documento CN110197727-A, US2017182362-A1 y US9311789-B1.

La presente invención propone un método y un sistema capaz de realizar la evaluación del ejercicio mediante la fusión de técnicas de inteligencia artificial y métodos de análisis de series temporales. El fusionar estas técnicas presenta las siguientes ventajas: mayor flexibilidad a la hora de estudiar la calidad del ejercicio, estudio del movimiento realizado articulación por articulación, y visión global sobre la mejoría/empeoramiento a lo largo del tiempo. Además, el sistema de la presente invención es capaz de entrenar sistemas de inteligencia artificial mediante movimientos realizados a partir de sujetos expertos, para poder comparar dichos movimientos con los que realizar una persona con déficit motor y realizar una evaluación objetiva con la finalidad de poder clasificar el movimiento realizado dentro de un grupo de afectación específico en función de la calidad del movimiento realizado.

Además, la presente invención no solo permite obtener características asociadas con el movimiento realizado usando el miembro afectado, sino también se pueden obtener características que relacionen el miembro afectado con el miembro sano.

DESCRIPCIÓN DE LA INVENCIÓN

La presente invención se refiere a un sistema y un método para la evaluación de movimientos articulares específicos del cuerpo humano realizado en un ejercicio determinado.

La presente invención está relacionada con los métodos sistemas y dispositivos para la utilización de los datos del movimiento de un usuario, realizados por ejemplo con uno o ambos brazos, obtenidos con uno o más sensores inerciales vestibles u otra tecnología de captura de movimiento (el sistema propuesto no está limitado a sensores de movimiento inerciales vestibles, es extrapolable a cualquier sistema de captura de movimiento). De este modo, se pueden comparar movimientos realizados por el usuario durante un ejercicio concreto con respecto a los patrones obtenidos a partir de movimientos realizados por usuarios expertos (e.g. terapeutas) para el mismo ejercicio. Por ejemplo, el movimiento ejecutado por un paciente con daño cerebral es comparado con los patrones típicos de dicho movimiento según un grupo de expertos formados por terapeutas ocupacionales y fisioterapeutas.

La invención permite valorar de manera objetiva el movimiento para, por ejemplo, seguir la evolución de un paciente con déficit motor, valorar la calidad de ejercicio realizado o como sistema de rehabilitación autónomo e inteligente. En la presente invención se definen patrones o perfiles de movimiento de usuarios expertos para movimientos dentro de cualquier actividad, como ejercicios típicos de rehabilitación, o movimientos relacionados con actividades de la vida diaria. De este modo, el usuario conoce cuándo el movimiento realizado se desvía del movimiento del usuario experto, o cuándo realiza una buena ejecución de este, permitiendo una mejora en el grado de realización del ejercicio terapéutico en sucesivas repeticiones.

El sistema de la presente invención es capaz de extraer una o más características mediante la fusión de diferentes técnicas de inteligencia artificial y el uso de métodos de análisis de series temporales. A partir de la monitorización del movimiento del cuerpo, el sistema genera al menos una señal de medida de respuesta al movimiento del usuario, sacando la subjetividad de la evaluación de rehabilitación del paciente.

En una realización particular, el sistema se emplea para la valoración del movimiento de al menos un brazo y/o del tronco, por ejemplo, mediante el uso de unidades magneto-inerciales colocadas los tres segmentos de un miembro superior de un paciente (mano, antebrazo y brazo), de los cuales se extrae información temporal de diferentes coordenadas articulares del paciente.

Para obtener una valoración objetiva se propone el uso de la fusión de un modelo de inteligencia artificial, por ejemplo, el modelo OIESGP (Online Infinite Echo-State Gaussian

Process) que aprende de secuencias temporales y produce distribuciones predictivas, con un método de análisis de series temporales, en particular la distancia DTW (alineamiento temporal dinámico). El modelo OIESGP analiza el movimiento en su conjunto, siendo capaz de clasificar el movimiento entrenado con actividades de una o más personas además del 5 usuario. Por otro lado, la distancia DTW analiza el movimiento articular más en detalle, comparando un movimiento articular seguido durante la realización de la actividad, en relación con una base de datos generada con actividades de una o más personas además del usuario. Con la fusión de las características del movimiento de estas dos técnicas, se puede ofrecer a 10 un terapeuta unos datos objetivos que caractericen la calidad de la actividad realizada por el paciente.

Como ejemplo se propone un sistema capaz de obtener información de siete movimientos articulares del brazo mediante un sistema inalámbrico y vestible durante un conjunto de actividades previamente definidas, donde cada actividad está diferenciada de otra, fusionando 15 dos técnicas para la valoración de la calidad de la actividad realizada.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

A continuación, se describen de manera muy breve una serie de figuras que ayudan a comprender mejor la invención y que se relacionan expresamente con una realización de 20 dicha invención que se presenta como un ejemplo no limitativo de ésta.

La Figura 1 muestra un ejemplo de un sistema para la evaluación de movimientos articulares con una red de sensores para la adquisición del movimiento de ambos brazos y posibles configuraciones para el procesamiento y tratamiento de los datos.

25 La Figura 2 ilustra un método para la evaluación de movimientos articulares de acuerdo a una realización de la presente invención.

La Figura 3A muestra un procedimiento para la adquisición y valoración de movimiento 30 realizados por usuarios no expertos. La Figura 3B ilustra un procedimiento para la adquisición y generación de patrones de movimientos a partir de los movimientos realizados por los usuarios expertos.

35 La Figura 4 muestra, a modo de ejemplo, un gráfico de adquisición del movimiento de siete variables articulares del brazo realizado por varios expertos durante un ejercicio de

desplazamiento de la mano a la boca. Estas variables servirán para el entrenamiento de uno o varios modelos de aprendizaje automático usando varios ejercicios.

La Figura 5A muestra la evolución de la probabilidad obtenida, durante la realización del ejercicio, a partir del modelo OIESGP en función de todos los ejercicios que se han usado para el entrenamiento del modelo. La Figura 5B ilustra un gráfico con la valoración del movimiento para cada variable articular utilizando la distancia DTW entre cada movimiento articular realizado y su correspondiente patrón típico de movimiento articular.

La Figura 6 muestra un ejemplo de obtención de características relacionadas con el movimiento realizado mediante la fusión de dos técnicas distintas, modelo OIESGP y distancia DTW, para la valoración objetiva del movimiento, incluyendo opcionalmente una clasificación en un grupo determinado.

15 **REALIZACIÓN PREFERENTE DE LA INVENCIÓN**

La presente invención se refiere a un sistema y un método para la evaluación de movimientos articulares específicos del cuerpo humano en un ejercicio realizado, por ejemplo, en una terapia de rehabilitación.

La **Figura 1** representa, de acuerdo a una posible realización, un sistema 100 para la evaluación de movimientos articulares. El sistema 100 comprende un sistema de captura de movimiento 101 configurado para adquirir una pluralidad de movimientos articulares realizados por un usuario 114 durante un ejercicio concreto.

El sistema de captura de movimiento 101 puede comprender una pluralidad de sensores inerciales (preferentemente magneto-inerciales, inalámbricos y vestibles), dispuestos en distintas partes del cuerpo del usuario 114, como por ejemplo en un miembro superior (e.g. en la mano, el antebrazo y el brazo del usuario). Sin embargo, para adquirir los movimientos articulares se puede utilizar otro tipo de sistema de captura de movimiento, como los sistemas basados en sensores ópticos, técnicas de visión artificial o goniómetros electrónicos. Los sensores o tecnologías que se pueden usar en la presente invención son aquellas que tengan la capacidad de sensar o medir movimiento del cuerpo, no limitado solo a los brazos, como acelerómetros 3D, giroscopios 3D, magnetómetros 3D, técnicas basadas en visión artificial, etc.

En el ejemplo de la Figura 1 se representa una red de sensores usada para la adquisición de movimientos de ambos brazos del usuario (sensores 102, 103, 104, 105, 106 y 107) y desplazamiento del tronco (sensor 108). Este ejemplo de red de sensores incluye dos sensores (102, 107) colocados sobre el dorso de las manos, dos sensores (103, 106) colocados sobre los antebrazos, y dos sensores (104, 105) colocados sobre los brazos del usuario 114.

Sin embargo, la presente invención no está limitada a una configuración específica de sensores, de forma que el número y tipo de sensores o la tecnología de captura de movimiento y su posicionamiento puede variar mientras se emplee una metodología de captura de movimiento del cuerpo del usuario. La adquisición de los movimientos articulares realizados por el usuario 114 se realiza de manera continua a lo largo del ejercicio realizado, pudiéndose realizar el procesamiento de los mismos de manera online (en tiempo real, según se van adquiriendo) u offline (almacenándolos para procesarlos en un momento posterior).

15 El sistema 100 también comprende una base de datos de patrones 113, que almacena patrones de movimientos articulares de usuarios expertos correspondientes a uno o más ejercicios, y una unidad de procesamiento de datos (109, 112), la cual recibe los movimientos articulares adquiridos por el sistema de captura de movimiento 101, procesa los datos 20 recibidos y realiza la evaluación de la calidad del ejercicio realizado por el usuario 114.

El procesamiento de los datos de acuerdo con la presente invención puede ser centralizada en un dispositivo, ya sea colocado sobre el usuario o remoto a él. Varios ejemplos de unidades 25 de procesamiento de datos que pueden realizar las operaciones de procesamiento se muestran en la Figura 1, ya sea un dispositivo de procesamiento externo 109 (entre los que se incluye por ejemplo un teléfono inteligente 109a, una tableta 109b o un ordenador personal 109c, ya sea portátil o no) o un servidor externo 112.

La Figura 1 también representa algunos ejemplos de cómo la información se intercambia entre 30 los distintos elementos del sistema 100. La información adquirida por los sensores del sistema de captura de movimiento 101 puede ser comunicada a través de un punto de acceso inalámbrico 110 hasta un dispositivo de procesamiento externo 109. Alternativamente, la información adquirida por los sensores puede ser enviada a la nube 111 para ser procesado 35 por un servidor externo 112 con acceso a la base de datos de patrones 113, la cual también puede ser consultada por el dispositivo de procesamiento externo 109.

El procesamiento que lleva a cabo la unidad de procesamiento de datos para la evaluación del ejercicio realizado por el usuario 114 se muestra en la **Figura 2**, la cual representa las etapas de un método 200 para la evaluación de movimientos articulares de acuerdo a una 5 realización de la presente invención. En particular, el método 200 comprende las siguientes etapas:

- Adquisición 201, mediante un sistema de captura de movimiento 101, de una pluralidad de movimientos articulares 202 realizados por un usuario 114 en un ejercicio.
- 10 - Obtención 203, mediante el acceso a una base de datos de patrones 113, de unos primeros patrones de movimientos articulares 204 de usuarios expertos correspondientes al ejercicio realizado.
- Detección y clasificación 205 del ejercicio mediante un análisis conjunto de los movimientos articulares adquiridos utilizando un modelo de aprendizaje automático 15 previamente entrenado.
- Obtención 207, mediante el acceso a la base de datos de patrones 113, de unos segundos patrones de movimientos articulares 208 de usuarios expertos correspondientes al ejercicio detectado 206.
- Cálculo 209 de una primera distancia media (X_1), mediante alineamiento 20 temporal(preferentemente mediante alineamiento temporal dinámico), entre los movimientos articulares 202 adquiridos y los primeros patrones de movimientos articulares 204.
- 20 - Cálculo 210 de una segunda distancia media (X_2), mediante alineamiento temporal(preferentemente mediante alineamiento temporal dinámico), entre los movimientos articulares 202 adquiridos y los segundos patrones de movimientos articulares 208.
- Evaluación 211 de la calidad del ejercicio realizado por el usuario 114 en función de 25 los valores de la primera distancia media (X_1), la segunda distancia media (X_2) y del ejercicio detectado.

30 Los movimientos articulares adquiridos y evaluados corresponden preferentemente a movimientos de al menos una extremidad del usuario 114 (por ejemplo, a movimientos de uno o varios miembros superiores del usuario 114).

El procesamiento de los datos se realiza para la adquisición de variables relacionadas con la trayectoria articular realizada, el desplazamiento ejecutado o la velocidad de ejecución del movimiento, pero no se limita a éstas. Variables discretas adicionales, como la velocidad máxima, la velocidad angular o la aceleración, también pueden ser incluidas en este procesamiento.

De acuerdo con la presente invención, se puede generar un perfil de movimiento para cada ejercicio que se desee estudiar y compararlo con los movimientos de dicho ejercicio realizados por usuarios expertos y almacenados en la base de datos de patrones 113.

10 El proceso de la **Figura 3A** describe, de manera genérica de acuerdo a una posible realización, un procedimiento para la valoración de movimientos realizados por los pacientes o usuarios no expertos. El procedimiento empieza con la calibración 301 del sistema de captura de movimiento 101. A continuación, se obtiene 302 el conjunto de los patrones de movimiento típicos obtenido con los movimientos de usuarios expertos mediante consulta a una base de datos externa. Después se selecciona 303 la condición inicial de la posición del paciente (usuario 114), ya que los movimientos pueden ser realizados por ejemplo en bipedestación, sedestación o en de cúbito supino. A continuación, se realiza la adquisición 304 del movimiento a realizar y el procesamiento de los datos adquiridos por el sistema de captura de movimiento 101. En el bloque 305 se realiza el análisis tanto a nivel global de movimiento como a nivel particular, como por ejemplo evaluar la trayectoria seguida por cada articulación individualmente con respecto a la trayectoria deseada. Este análisis se realiza mediante la fusión de diferentes técnicas de inteligencia artificial o aprendizaje automático. Este análisis devuelve una o más variables relacionadas con dicho movimiento, siendo 20 almacenado 306 en un perfil del usuario. Se comparan 307 los valores obtenidos tras el análisis con los patrones de movimientos de los usuarios expertos, clasificando 308 el movimiento, conociendo la calidad del movimiento realizado y pudiendo discernir entre subgrupos de movimientos. La clasificación del movimiento es también almacenada en el bloque 306. Finalmente, se suministra 309 al usuario información sobre la calidad del 25 movimiento realizado, con el propósito de obtener una retroalimentación (en tiempo real, en caso de que el análisis se realice de manera online) y poder corregir dicho movimiento en 30 futuros ejercicios.

35 El proceso de la **Figura 3B** describe el procedimiento para la creación del perfil de patrones de movimientos típicos a partir de los movimientos realizados por uno o más usuarios

expertos. El procedimiento comienza con la calibración 310 del sistema de captura de movimiento 101. Después, se selecciona 311 la condición inicial de la posición del usuario experto (e.g. bipedestación, sedestación o en de cúbito supino). A continuación, se realiza la adquisición 312 y procesamiento de los datos adquiridos por el sistema de captura de movimiento 101 que se almacena en el perfil de experto 314. En el bloque 313 se realiza el entrenamiento de uno o más modelos de inteligencia para, por ejemplo, poder evaluar la trayectoria seguida por cada articulación con respecto a la trayectoria típica definida por los 5 usuarios expertos. Finalmente, este modelo entrenado es almacenado 314 en el perfil de patrones de movimiento del usuario experto.

10 La **Figura 4** muestra un ejemplo de los patrones de movimientos articulares típicos de uno o varios expertos que corresponden a un ejercicio determinado, donde se han medido siete variables articulares del brazo (q1: abducción-aducción del hombro, q2: flexión-extensión del hombro, q3: rotación interna-externa del hombro, q4: flexión-extensión del codo, q5: 15 pronación-supinación, q6: desviación radial-cubital de la muñeca, q7, flexión-extensión de la muñeca). En cada gráfica se representa la evolución de una variable articular normalizada X_3 , en función del grado articular máximo (valor 1) y mínimo (valor 0) alcanzado durante el ejercicio realizado, con respecto al tiempo de ejecución (tiempo [seg]). Esta información puede ser usada para la evaluación del movimiento realizado por parte de un usuario no experto y 20 poder clasificar el movimiento de acuerdo con este patrón típico de movimiento. La línea gruesa 401 representa la trayectoria articular promedio realizado por el/los usuarios expertos y el área 402 en torno a la línea gruesa 401 representa la desviación que dicha trayectoria puede tener a lo largo de su ejecución. El ejercicio presentado en este ejemplo representa un desplazamiento de la mano a la boca, usado frecuentemente en terapias de 25 neurorrehabilitación.

La **Figura 5A** muestra la evolución de la probabilidad de detección del ejercicio realizado mediante un modelo OIESGP entrenado 313 con los movimientos articulares de varios ejercicios, como el presentado en la Figura 4. De este modo, cuando el usuario no experto 30 termina de ejecutar el ejercicio, el modelo realiza una predicción sobre el ejercicio realizado más probable. La línea gruesa 501 hace referencia al ejercicio que se le ha pedido al usuario que realice, mientras que el resto de líneas hacen referencia al resto de ejercicios que ha sido utilizados para el entrenamiento del modelo OIESGP. La clasificación del ejercicio puede ser correcta o errónea dependiendo de la calidad del ejercicio realizado en comparación con el 35 movimiento típico de los expertos.

- En la **Figura 5B** se presenta, en varias gráficas, una posible medición de la calidad del ejercicio realizado estudiando la distancia entre los movimientos deseados o típicos (primeros patrones de movimientos articulares 205) y los movimientos ejecutados (movimientos articulares 203 adquiridos por el sistema de captura de movimiento 101) mediante el algoritmo de alineamiento temporal dinámico (DTW, "Dynamic Time Warping"), el cual proporciona una medida de similitud entre dos secuencias de datos temporales. De este modo, al calcular la distancia DTW de cada variable articular se puede realizar un estudio de cada movimiento articular individualmente, detectando las articulaciones que deben mejorar (por ejemplo, aquellas cuya distancia DTW sea superior a un umbral determinado). Las cinco gráficas de la Figura 5B se representan en dos dimensiones, donde en el eje horizontal se representan las muestras y en el eje vertical los grados articulares medidos durante el movimiento en cinco variables articulares diferentes. La línea continua 502 hace referencia a la trayectoria articular promedio del/los expertos, obtenida conforme a la Figura 4, y la línea discontinua 503 representa la trayectoria articular realizada por el usuario no experto. Por tanto, la calidad del movimiento ejecutado se obtiene a partir del algoritmo DTW, medido en relación con la trayectoria articular seguida, de forma que a cada movimiento articular se le puede asociar el valor medido mediante la distancia DTW.
- La gráfica de la **Figura 6** representa una posible visualización de la valoración del movimiento realizado. Esta gráfica se representa en dos dimensiones, donde:
- La variable X_1 representa la distancia DTW entre el movimiento deseado (primeros patrones de movimientos articulares 204 de usuarios expertos correspondientes al ejercicio a realizar) y el movimiento realizado (movimientos articulares 202 medidos durante el ejercicio del usuario 114).
 - La variable X_2 representa la distancia DTW entre el movimiento detectado 206 (o clasificado por inteligencia artificial) y el movimiento realizado (movimientos articulares 202 adquiridos).
- La Figura 6 agrupa los resultados de los ejercicios obtenidos mediante la fusión de las dos técnicas, modelo de aprendizaje automático mediante inteligencia artificial (OIESGP) y alineamiento temporal dinámico (DTW). De este modo, el eje de abscisas (primera distancia media X_1) y el eje de ordenadas (segunda distancia media X_2) representa la distancia DTW

media de todos los movimientos articulares 202 adquiridos con respecto al movimiento deseado y al movimiento detectado 206, respectivamente.

Por otra parte, en la gráfica se distinguen los movimientos que el sistema de aprendizaje 5 automático ha detectado o clasificado correctamente 601 y los movimientos que el sistema de procesamiento no ha detectado o clasificado correctamente 602. Así, cuando para un ejercicio concreto las distancias medias X_1 y X_2 son iguales, y el resultado está, por tanto, ubicado en la diagonal principal 603, esto implica que el sistema de predicción ha clasificado correctamente 601 el ejercicio. En caso contrario, cuando el resultado no esté en la diagonal 10 principal 603 implica que el sistema de predicción lo ha clasificado incorrectamente 602.

Por otra parte, cuanto más pequeñas sean estas distancias DTW, indistintamente de si el sistema de predicción ha realizado bien o mal la clasificación, implica que los movimientos articulares del ejercicio han sido realizados con una mayor precisión. Además, en el caso de 15 que el sistema de predicción no haya podido clasificar correctamente 602 el ejercicio, el espacio entre dicha distancia y la diagonal principal 603 indica una mayor o peor ejecución del ejercicio. Para estudiar, por ejemplo, la evolución de un paciente con algún tipo de déficit motor grave y con posibilidad de mejora, se espera que las distancias obtenidas mediante estos datos objetivos, obtenidos a partir de la fusión de las dos técnicas aquí presentadas, 20 empleen con un valor alto (resultados en la parte superior derecha de la gráfica) y vayan disminuyendo conforme vaya mejorando su capacidad motora.

Finalmente, los datos objetivos obtenidos mediante el sistema aquí propuesto permiten separar distintos grupos, en función de la calidad de movimiento realizado. Para ello, se puede 25 usar una técnica de agrupación (o de 'clustering'), a través de inteligencia artificial, con el fin de agrupar diferentes calidades de movimiento, obteniendo así unas fronteras de clasificación (604, 605). La definición de dichas fronteras de clasificación de grupos se puede obtener a partir de un modelo de aprendizaje automático no supervisado, como puede ser un modelo SVM de un número determinado de clases (tres clases o grupos, en el ejemplo de la Figura 30 6). Estos límites o fronteras pueden ser usados para la clasificación del patrón de movimiento realizado, pudiendo valorar de manera objetiva dicho movimiento.

Por tanto, la evaluación de la calidad del ejercicio realizado puede determinar un grupo al que pertenecen los valores de primera distancia media (X_1) y segunda distancia media (X_2) de 35 entre un conjunto de grupos (A, B, C) previamente obtenidos mediante una técnica de análisis

de grupos, donde los grupos (A, B, C) están definidos mediante las fronteras de clasificación (604, 605) en el espacio bidimensional de los valores de primera distancia media (X_1) y los valores de segunda distancia media (X_2).

- 5 De este modo, el sistema, ante un ejercicio específico o un conjunto de ellos, puede ofrecer la fase en la que se encuentra el usuario que ha realizado los ejercicios, por ejemplo, dentro de una recuperación motora. Se puede así representar una posible evolución de un paciente de neurorrehabilitación mediante la fusión de las dos técnicas propuestas. El objetivo de la terapia es que el resultado del ejercicio se encuentre dentro de la frontera de clasificación 605,
- 10 grupo A, que corresponde a un patrón de movimiento típico o normal, ante un conjunto de movimientos de brazo específicos, mediante la fusión de ambos algoritmos.

Durante la recuperación de un paciente con afectación motora grave, la calidad de los movimientos realizados suele ser atípica (grupo C), con una distancia elevada a la diagonal principal 603, y el modelo de aprendizaje automático no detecta correctamente, en la mayoría de los casos, el ejercicio que se está realizando, por lo que el paciente no es capaz de ejecutar de manera correcta los ejercicios propuestos. Despues, gracias a las actividades de rehabilitación y a la repetición de ejercicios, el sistema detecta la mejoría (grupo B), donde la unidad de procesamiento de datos es capaz de detectar un mayor número de ejercicios,

15 aunque la calidad del ejercicio realizado es baja, ya que todavía se obtiene un valor elevado de la distancia tanto en X_1 como en X_2 . Finalmente, al terminar el proceso de rehabilitación y siempre que el paciente haya podido recuperar la movilidad, la unidad de procesamiento de datos es capaz de detectar un mayor número de movimientos realizados y, además, la distancia a X_1 y X_2 es pequeña (grupo A).

- 20 25 Por tanto, mediante la fusión de técnicas de inteligencia artificial y de alineamiento temporal dinámico se puede agrupar un conjunto de movimientos en subgrupos, dependiendo de la calidad de la actividad realizada. Esta segmentación permite un mejor análisis de cómo los patrones de movimiento de un usuario evolucionan a lo largo de diferentes sesiones terapéuticas. El análisis se puede realizar de manera offline, después de la actividad (e.g. unos días después); sin embargo, también se puede realizar un análisis en tiempo real para producir una retroalimentación inmediata al usuario durante la realización de la actividad.

- 30 35 Los datos objetivos que otorga la técnica aquí presentada ofrecen, de una manera sencilla y clara, la calidad de los movimientos realizados durante un ejercicio, pudiendo evaluar la

mejora o empeoramiento del mismo en diferentes sesiones a lo largo del tiempo. Además, utilizando la agrupación mediante fronteras se puede determinar el grupo al que pertenece el ejercicio realizado.

- 5 Aunque la principal información sobre la calidad del movimiento viene presentada mediante la fusión de las dos técnicas (Figura 6), cada técnica ofrece una información adicional. Por un lado, la técnica de clasificación del ejercicio mediante inteligencia artificial ofrece una información global del ejercicio realizado, analizando todos los movimientos articulares conjuntamente para su clasificación (Figura 5A).

10

Por otro lado, la técnica que estudia la distancia DTW entre el ejercicio deseado y el ejercicio ejecutado (Figura 5B) proporciona una información más detallada de cada movimiento articular individualmente, pudiendo el sistema evaluar la mejora o empeoramiento del movimiento articulación por articulación.

15

REIVINDICACIONES

1. Método para la evaluación de movimientos articulares específicos del cuerpo humano, caracterizado por que comprende:

5 la adquisición (201), mediante un sistema de captura de movimiento (101), de una pluralidad de movimientos articulares (202) realizados por un usuario (114) en un ejercicio;

la obtención (203), mediante el acceso a una base de datos de patrones (113), de unos primeros patrones de movimientos articulares (204) de usuarios expertos correspondientes al ejercicio realizado;

10 la detección y clasificación (205) del ejercicio mediante un análisis conjunto de los movimientos articulares (202) adquiridos utilizando un modelo de aprendizaje automático previamente entrenado;

15 la obtención (207), mediante el acceso a la base de datos de patrones (113), de unos segundos patrones de movimientos articulares (208) de usuarios expertos correspondientes al ejercicio detectado (206);

el cálculo (209) de una primera distancia media (X_1), mediante alineamiento temporal, entre los movimientos articulares (202) adquiridos y los primeros patrones de movimientos articulares (204);

20 el cálculo (210) de una segunda distancia media (X_2), mediante alineamiento temporal, entre los movimientos articulares (202) adquiridos y los segundos patrones de movimientos articulares (208);

25 la evaluación (211) de la calidad del ejercicio realizado por el usuario (114) en función de la primera distancia media (X_1), de la segunda distancia media (X_2) y del ejercicio detectado (206).

2. Método según la reivindicación 1, caracterizado por que la evaluación (211) de la calidad del ejercicio realizado comprende determinar un grupo al que pertenecen los valores de primera distancia media (X_1) y segunda distancia media (X_2) de entre un conjunto de grupos previamente obtenidos mediante una técnica de análisis de grupos.

3. Método según la reivindicación 2, caracterizado por que los grupos están definidos mediante fronteras de clasificación (604, 605) en el espacio bidimensional de valores de primera distancia media (X_1) y valores de segunda distancia media (X_2).

35 4. Método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que la

evaluación (211) de la calidad del ejercicio realizado incluye la evaluación de cada movimiento articular individualmente mediante el cálculo de una distancia, utilizando alineamiento temporal, entre cada movimiento articular (202) adquirido y el correspondiente movimiento articular obtenido de los patrones de movimientos articulares.

5. Método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que los movimientos articulares (202) adquiridos y evaluados corresponden a movimientos de al menos una extremidad del usuario (114).

10 6. Sistema para la evaluación de movimientos articulares específicos del cuerpo humano, caracterizado por que comprende:

un sistema de captura de movimiento (101) configurado para adquirir una pluralidad de movimientos articulares (202) realizados por un usuario (114) en un ejercicio;

una base de datos de patrones (113) que almacena patrones de movimientos articulares de usuarios expertos correspondientes a diferentes ejercicios; y

una unidad de procesamiento de datos (109, 112) configurada para:

- recibir los movimientos articulares (202) adquiridos por el sistema de captura de movimiento (101);
 - obtener, mediante el acceso a la base de datos de patrones (113), unos primeros patrones de movimientos articulares (204) de usuarios expertos correspondientes al ejercicio realizado;
 - detectar y clasificar el ejercicio mediante un análisis conjunto de los movimientos articulares (202) adquiridos utilizando un modelo de aprendizaje automático previamente entrenado;
 - obtener, mediante el acceso a la base de datos de patrones (113), unos segundos patrones de movimientos articulares (208) de usuarios expertos correspondientes al ejercicio detectado (206);
 - calcular una primera distancia media (X_1), mediante alineamiento temporal, entre los movimientos articulares (202) adquiridos y los primeros patrones de movimientos articulares (204);
 - calcular una segunda distancia media (X_2), mediante alineamiento temporal, entre los movimientos articulares (202) adquiridos y los segundos patrones de movimientos articulares (208); y
 - evaluar la calidad del ejercicio realizado por el usuario (114) en función de la primera distancia media (X_1), de la segunda distancia media (X_2) y del

ejercicio detectado (206).

7. Sistema según la reivindicación 6, caracterizado por que el sistema de captura de movimiento (101) comprende al menos un sensor dispuesto en al menos una extremidad del usuario (114).
8. Sistema según cualquiera de las reivindicaciones 6 a 7, caracterizado por que el sistema de captura de movimiento (101) comprende al menos un sensor inercial.
- 10 9. Sistema según cualquiera de las reivindicaciones 6 a 8, caracterizado por que la unidad de procesamiento de datos (109, 112) está configurada para evaluar la calidad del ejercicio realizado mediante la determinación de un grupo al que pertenecen los valores de primera distancia media (X_1) y segunda distancia media (X_2) de entre un conjunto de grupos previamente obtenidos mediante una técnica de análisis de grupos.
- 15 10. Sistema según la reivindicación 9, caracterizado por que los grupos están definidos mediante fronteras de clasificación (303, 304) en el espacio bidimensional de valores de primera distancia media (X_1) y valores de segunda distancia media (X_2).
- 20 11. Sistema según cualquiera de las reivindicaciones 6 a 10, caracterizado por que la unidad de procesamiento de datos (109, 112) está configurada para evaluar cada movimiento articular individualmente mediante el cálculo de una distancia, utilizando alineamiento temporal, entre cada movimiento articular (202) adquirido y el correspondiente movimiento articular obtenido de los patrones de movimientos articulares expertos.
- 25 12. Sistema según cualquiera de las reivindicaciones 6 a 11, caracterizado por que la unidad de procesamiento de datos es un teléfono inteligente (109a), una tableta (109b), un ordenador personal (109c) o un servidor externo (112).

30

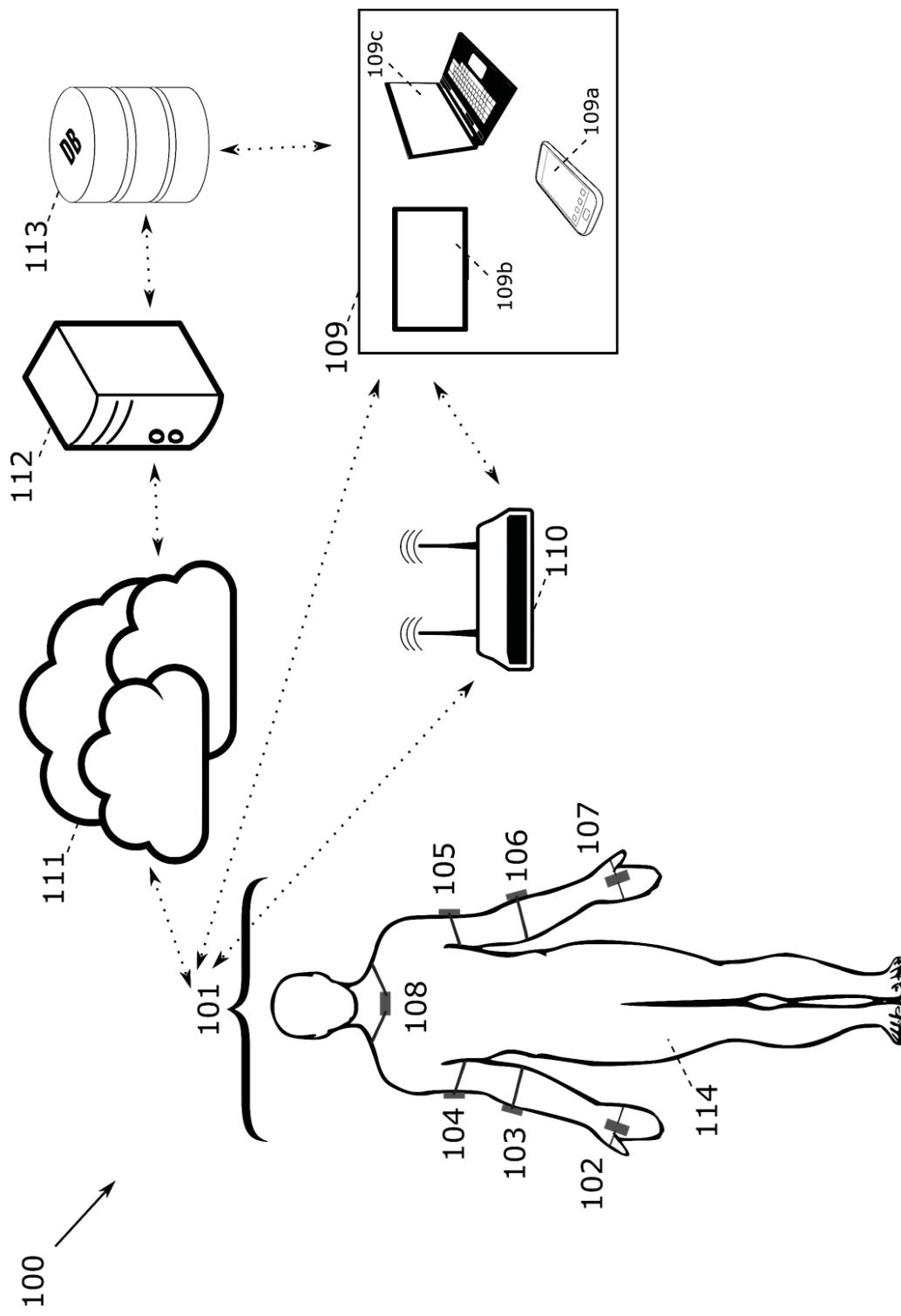


FIG. 1

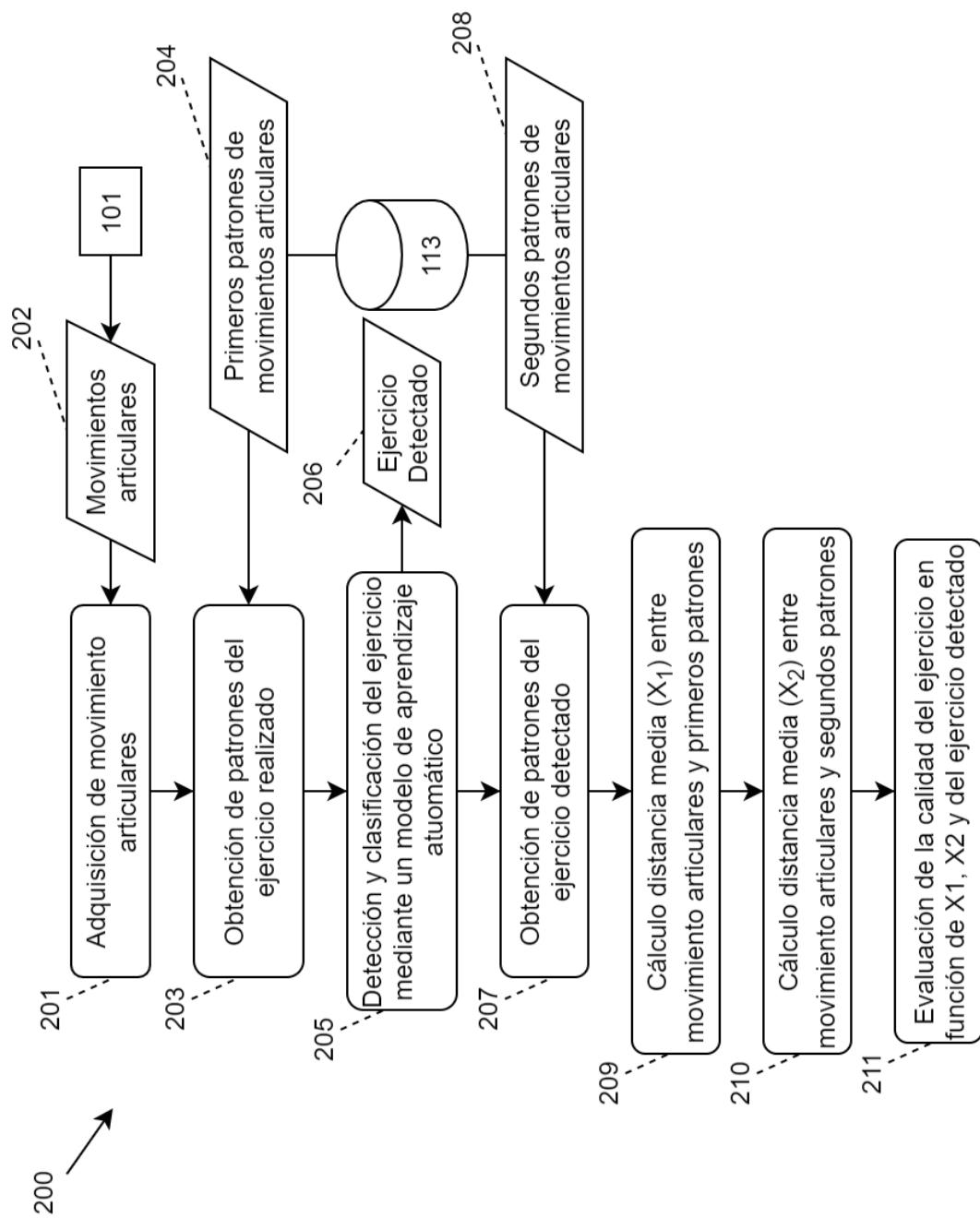


FIG. 2

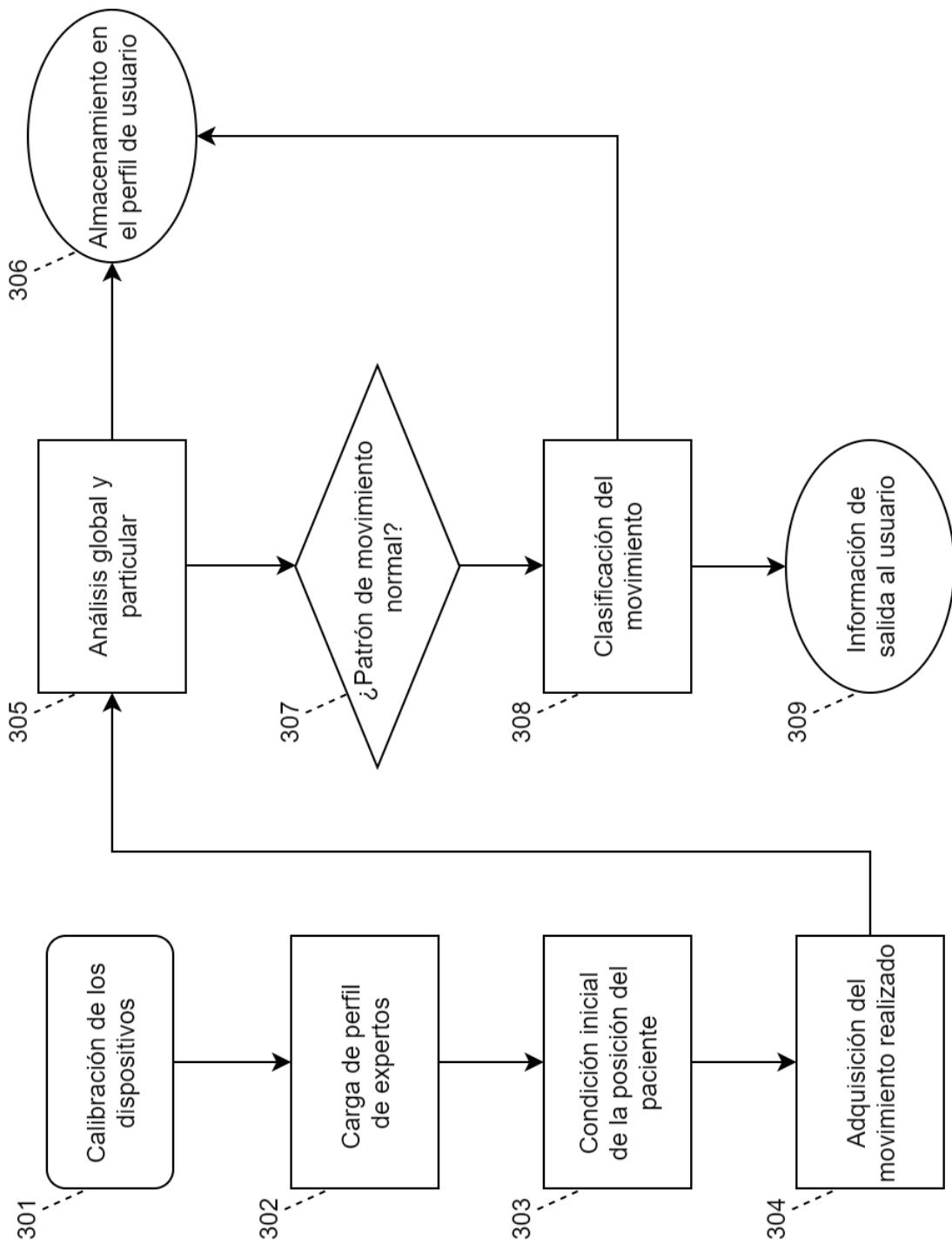


FIG. 3A

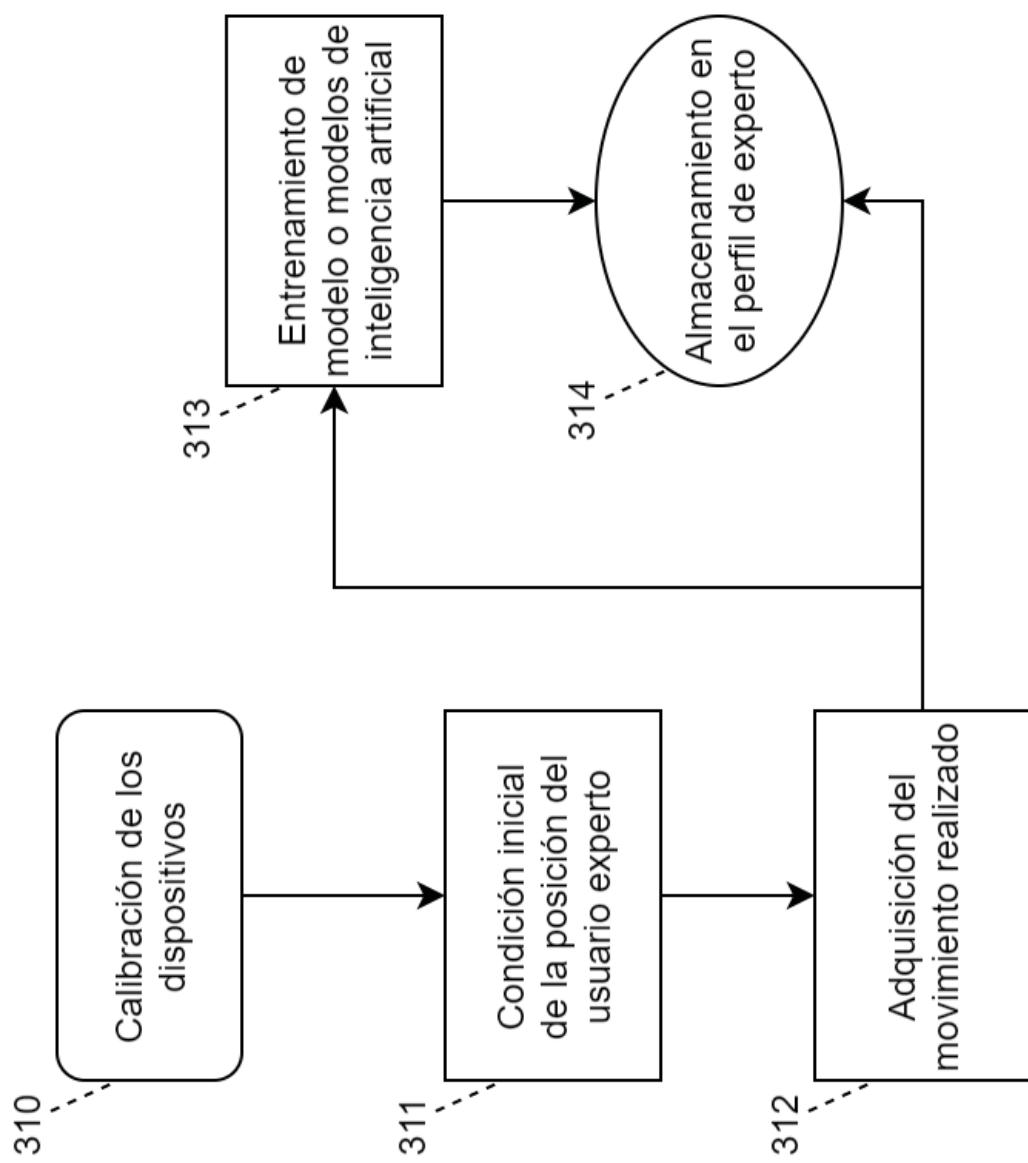


FIG. 3B

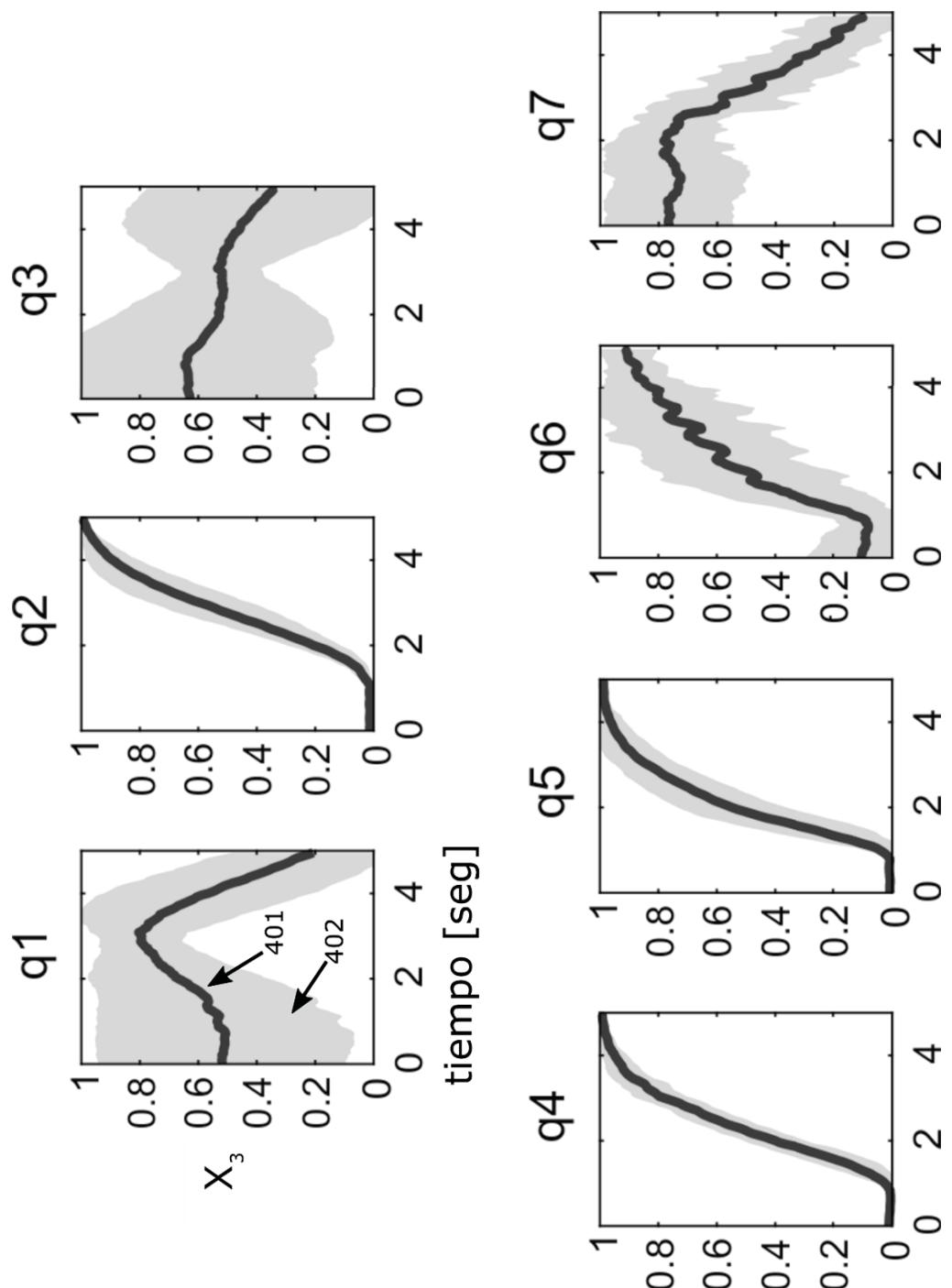


FIG. 4

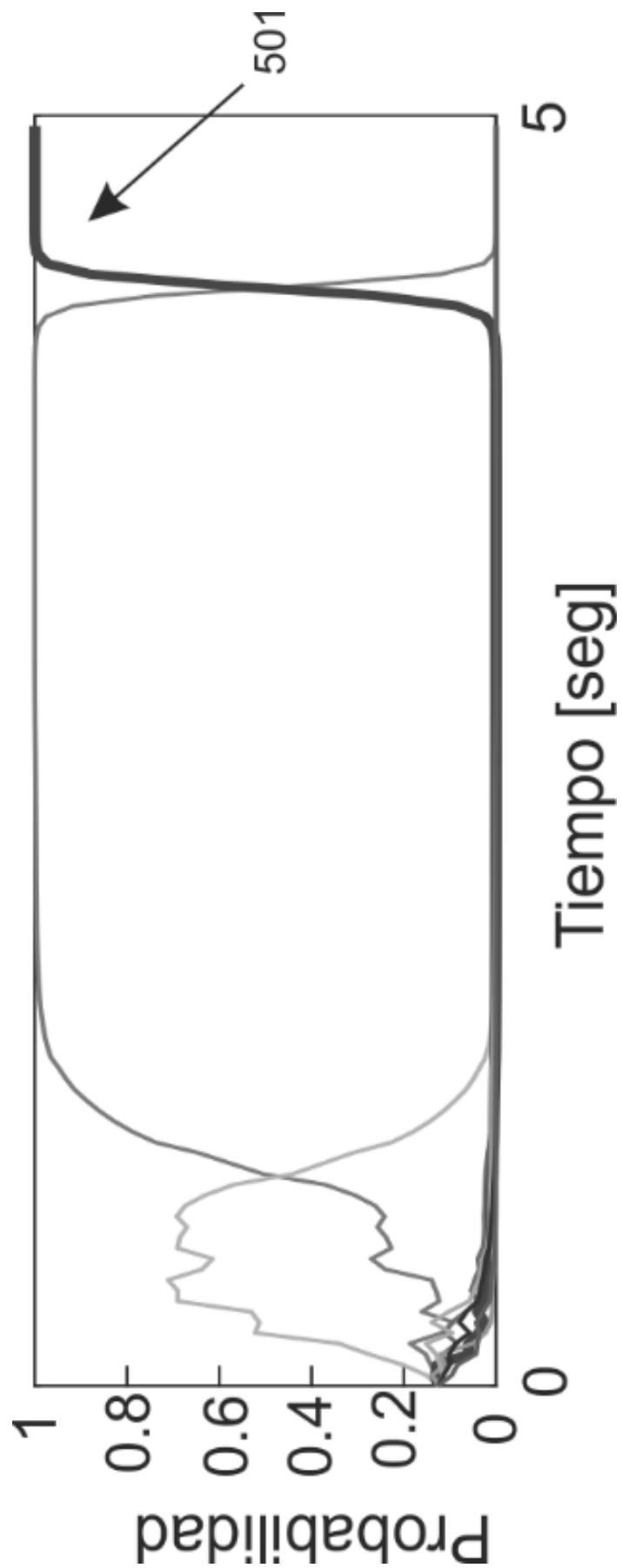


FIG. 5A

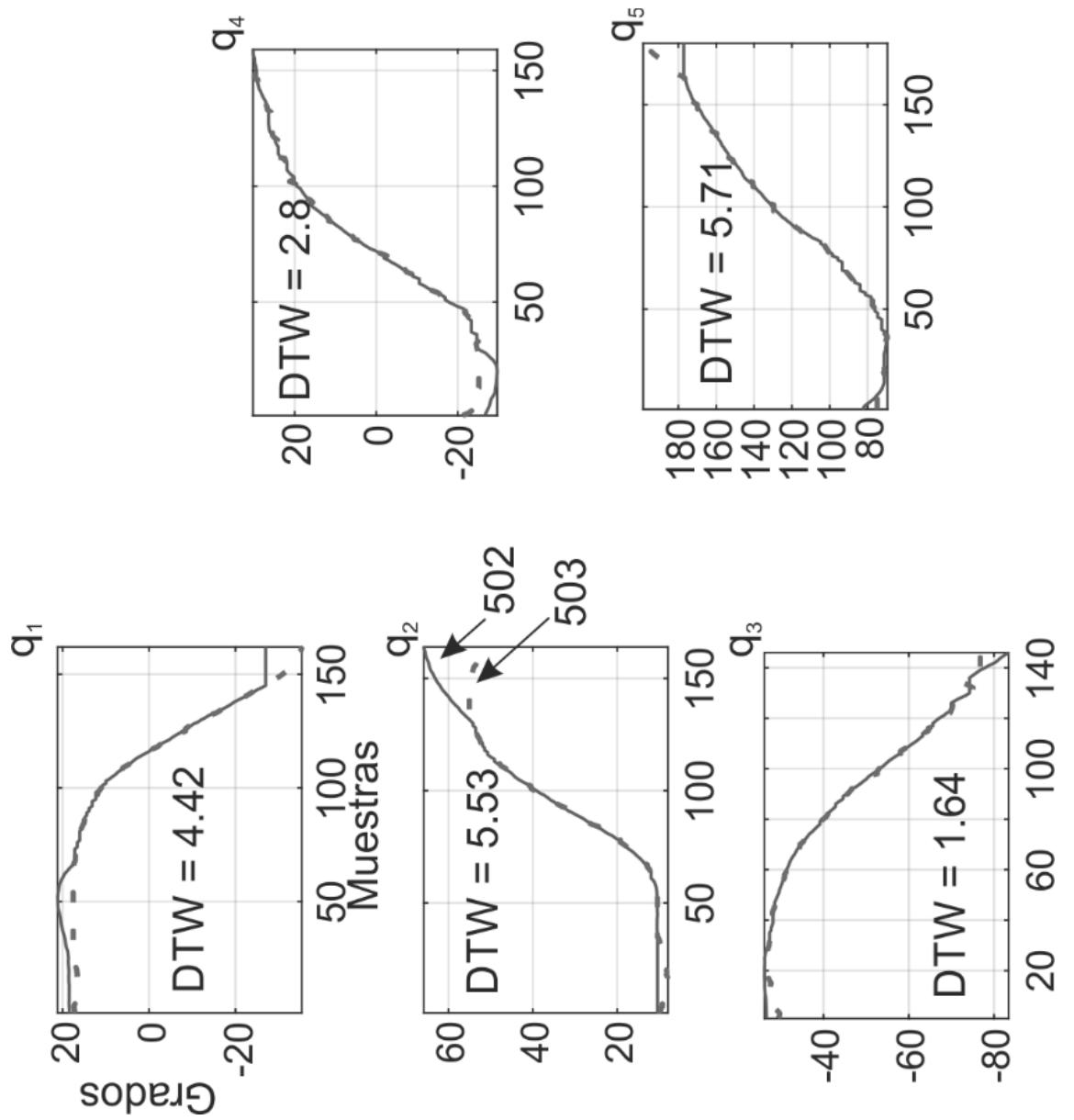


FIG. 5B

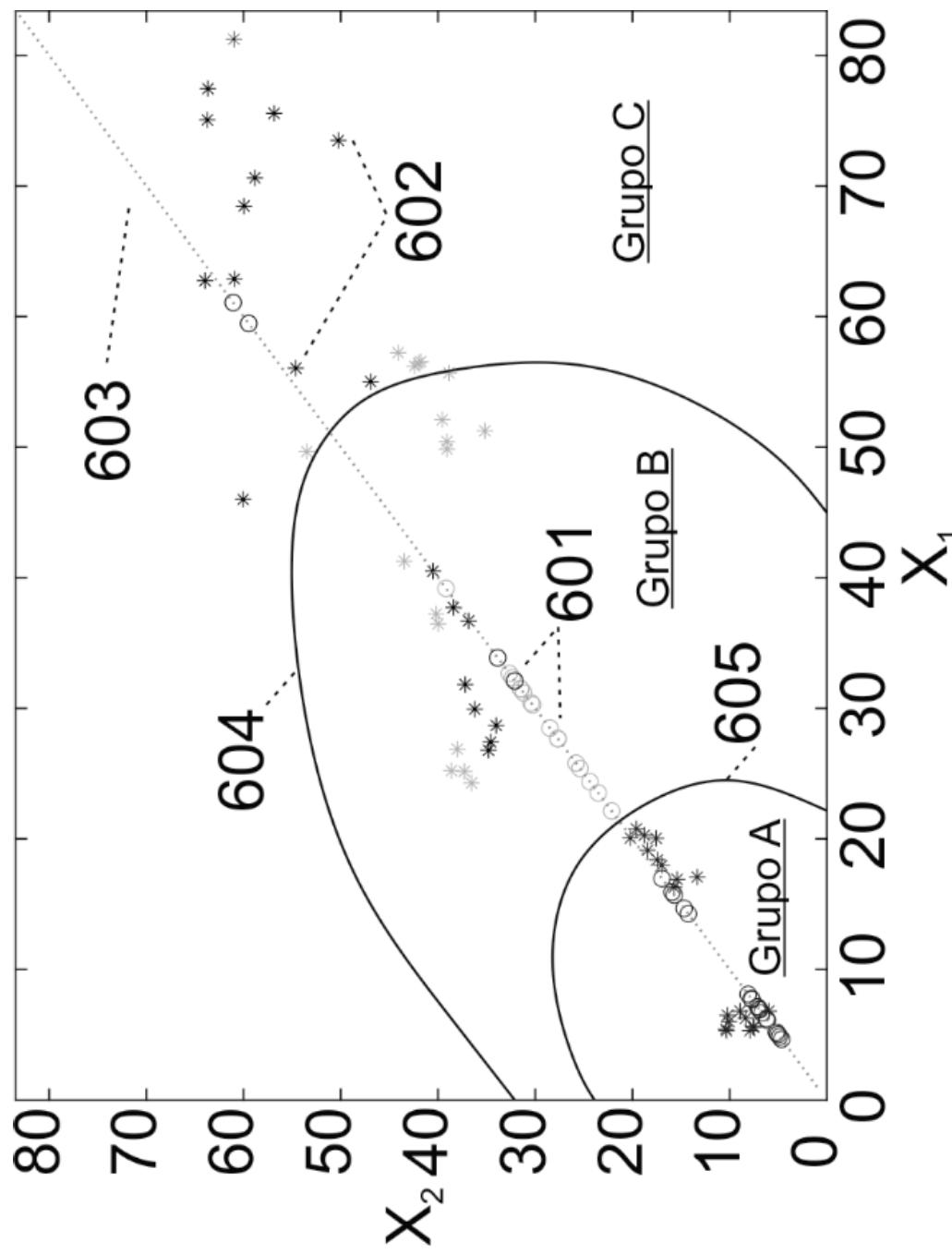


FIG. 6



OFICINA ESPAÑOLA
DE PATENTES Y MARCAS
ESPAÑA

②1 N.º solicitud: 202130072

②2 Fecha de presentación de la solicitud: 29.01.2021

③2 Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TECNICA

⑤1 Int. Cl.: Ver Hoja Adicional

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	66 Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
X	BERTOMEU MOTOS, ARTURO. "Upper-limb kinematic analisys and artificial intelligent techniques for neurorehabilitation and assistive environments". Tesis, septiembre 2019, Universidad Miguel Hernández. <p>recuperado de internet: URL: https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=248360 URL: https://scholar.google.es/citations?view_op=view_citation&hl=es&user=Z-7t1d4AAAAJ&sortby=pubdate&citation_for_view=Z-7t1d4AAAAJ:ULOm3_A8WrAC [recuperados el 06/02/2020]; páginas. 53-64, figuras 5.1-5.6</p>	1-12
A	US 2017182362 A1 (MCLEOD ADAM et al.) 29/06/2017, (resumen) párrafos [85 - 91]	1-12
A	CN 110197727 A (1ST AFFILIATED HOSPITAL SUN YAT SEN UNIV et al.) 03/09/2019, (resumen)	1-12
A	WO 2009083831 A1 (KONINKL PHILIPS ELECTRONICS NV et al.) 09/07/2009, todo el documento.	1-12
A	US 2017087416 A1 (HU FEI et al.) 30/03/2017, todo el documento.	1-12

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 02.12.2021	Examinador A. Astudillo Lizaga	Página 1/2
--	-----------------------------------	---------------

CLASIFICACIÓN OBJETO DE LA SOLICITUD

A61B5/11 (2006.01)

G06K9/00 (2006.01)

G06N20/10 (2019.01)

G06N3/00 (2006.01)

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

A61B, G06K, G06N

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