

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **3 014 814**

51 Int. Cl.:

G06T 13/40 (2011.01)

G06T 5/00 (2014.01)

G06T 7/30 (2007.01)

G06T 19/20 (2011.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **27.09.2021** **PCT/ES2021/070695**

87 Fecha y número de publicación internacional: **07.04.2022** **WO22069775**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **27.09.2021** **E 21811107 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **06.11.2024** **EP 4224428**

54 Título: **Procedimiento para generación de una cabeza y una dentadura virtuales en cuatro dimensiones**

30 Prioridad:

30.09.2020 ES 202030984

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

25.04.2025

73 Titular/es:

MOVUM TECH, S.L. (100.00%)
Plaza Descubridor Diego de Ordás, 2 5°C
28003 Madrid, ES

72 Inventor/es:

BURGOS ARTIZZU, XAVIER P. y
PIEDRA CASCÓN, WENCESLAO

74 Agente/Representante:

PONS ARIÑO, Ángel

ES 3 014 814 T3

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

DESCRIPCION

Procedimiento para generación de una cabeza y una dentadura virtuales en cuatro dimensiones

5 OBJETO DE LA INVENCION

El procedimiento objeto de la presente invención pertenece al campo de la medicina, y se refiere específicamente al concepto de paciente virtual 4D (cuatro dimensiones). Este concepto, así como el método descrito puede incluir la digitalización tridimensional de la cabeza de un paciente, de la región intraoral maxilar y mandibular, de sus huesos y estructuras anatómicas adyacentes. También incluye la integración del movimiento de dinámica facial para simular el resultado estético y funcional final antes de que se le haya realizado un tratamiento, que podría incluir cirugías, tratamientos ortodónticos y/o prostodónticos.

15 ANTECEDENTES DE LA INVENCION

Actualmente, las rehabilitaciones orales implican un diagnóstico y una planificación de tratamiento integrales. La incorporación de referencias faciales durante la fase de encerado diagnóstico digital, asegura la integración estética y funcional de la rehabilitación protésica final con el rostro del paciente. Además, la visualización del resultado del tratamiento obtenido mediante la simulación virtual realizada antes del tratamiento, mejora la comunicación con el paciente y entre los clínicos y los técnicos de laboratorio, aumentando la predictibilidad del resultado final.

Las referencias faciales pueden ser integradas en la cara del paciente usando fotografías 2D en diferentes posiciones o una reconstrucción facial 3D. Existen varias metodologías de escaneo facial en 3D, como la fotogrametría, la estereofotogrametría, el escaneo con rayo láser, el escaneo con luz estructurada y el escaneo dual con luz estructurada con sensores infrarrojos. La fotogrametría y la estereofotogrametría son métodos pasivos, mientras que las tecnologías de escaneo por rayo láser y escaneo con luz estructurada emplean sensores activos en 3D, donde los patrones de luz se proyectan en el tejido blando de la cara del paciente para ser capturados por una cámara de alta resolución o cámaras que utilizan una triangulación activa.

Los métodos activos y pasivos han demostrado ser precisos para obtener reconstrucciones faciales tridimensionales para su aplicación en la odontología. Un digitalizador facial genera un formato de archivo digital específico como los archivos de lenguaje de teselado estándar (STL), teselado con caras poligonales (OBJ) o triángulo de Stanford (PLY). Un archivo STL describe sólo la geometría de la superficie, mientras que los archivos OBJ y PLY incorporan información sobre la geometría, el color y la textura de la superficie, siendo estos últimos los archivos óptimos para las reconstrucciones faciales.

La alineación de los dientes del paciente en la cara debe hacerse con un dispositivo de posicionamiento extraoral conocido como scanbody, que es un elemento diseñado para permitir la integración de la maxilar superior, maxilar inferior y sus estructuras anatómicas adyacentes en la cabeza del paciente. Sin embargo, los protocolos digitales actuales y los programas CAD disponibles sólo permiten importar imágenes 3D estáticas (STL, OBJ, PLY, etc...) del rostro del paciente.

Este enfoque tiene varias limitaciones como:

- no se tiene en cuenta la dinámica facial y labial del paciente, lo que es crucial cuando se requieren tratamientos dentales, maxilofaciales o de medicina estética facial,
- la posición de la sonrisa digitalizada en 3D que se obtiene no es real, ya que el paciente necesita mantener esa posición durante los procedimientos de escaneo facial, y
- se necesitan varios escaneos faciales en 3D (posición normal, posición de reposo, posición de la sonrisa y posición del cuerpo del escáner) para virtualizar un paciente estático en 3D. Este enfoque requiere mucho tiempo e implica una mala alineación entre las mallas.

Además, se ha propuesto utilizar un flujo de trabajo para estimar los movimientos faciales, pero se requieren varios escaneos faciales con diferentes expresiones faciales para integrar todos ellos en un software de ingeniería inversa. Este enfoque supone una novedad, pero no resuelve las limitaciones mencionadas. Estas limitaciones podrían evitarse si la dinámica facial real capturada a través de un video 2D se integra en la malla en posición de reposo 3D, lo que permite obtener una dinámica facial real.

Por otra parte, es conocido del estado de la técnica el documento US2004015327A1, que describe un procedimiento consistente en escanear la cara y/o dientes de un paciente usando una combinación de métodos (rayos X, MRI, CBCT, etc.), y combinar los datos obtenidos (automáticamente, manualmente o de manera semiautomática), para producir un modelo de la cara y/o dientes del paciente, que posteriormente pueden ser mostrados.

También es conocido el documento US2011304629A1, consistente en la animación de un modelo 3D, que puede ser un avatar o un modelo real, en base a las expresiones faciales mostradas en un video 2D del paciente. Es decir, se centra en la detección de expresiones faciales y su paso a un modelo 3D.

Los documentos WO-A-2015123759, CN-B-107657664 y CN-A-108961369 muestran la animación de modelos faciales 3D y la alineación de modelos dentales.

DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION

La invención se refiere a un método y a un sistema de procesamiento de datos para la generación de una cabeza y de una dentadura virtual de un paciente según se define en las reivindicaciones 1 y 12 respectivamente, a un programa informático y a un medio de almacenamiento legible por ordenador según se define en las reivindicaciones 13 y 14.

El objeto de la presente invención, un método para generación de una cabeza y dentadura virtuales en cuatro dimensiones de un paciente, permite resolver las limitaciones de los procedimientos empleados hasta la fecha, que denominaremos modelos estáticos, ya que se basan en realizar como mínimo tres escaneados faciales del usuario: 1) escaneado facial en sonrisa, 2) escaneado facial en reposo, 3) escaneado facial con marcadores que permitan alinear el resto de escaneados faciales entre sí y que además permitan introducir los maxilares superior e inferior en su posición correcta.

Esta superposición de diferentes mallas estáticas 3D con diferentes expresiones faciales del paciente, dan lugar a una imprecisión en la alineación resultando en un proceso defectuoso. Además, la sonrisa captada por el escáner facial es una sonrisa que el paciente ha de mantener unos 15-20 segundos, no siendo por tanto real.

Además, incluso después de que los modelos 3D de la cabeza y de la dentadura del paciente han sido creados y alineados, pudiendo animar dinámicamente la dentadura y la cabeza según las expresiones faciales del paciente a través de un software de animación específico y conocimientos de animación, lograr un modelo 3D completamente animado no es tan simple como transferir el movimiento observado en un video 2D sobre las características de la cara (labio, ojos, mentón, cejas) al modelo 3D de la cabeza y dentadura.

En la tabla de la figura 5 se detalla el movimiento de los dientes y de otros elementos faciales de un paciente hablando, sonriendo y/o girando la cabeza.

Como se muestra en dicha tabla (figura 5), no hay una regla directa entre los movimientos de los labios y/o mentón y el de los dientes superiores e inferiores. Mientras el maxilar no se mueve más que con las rotaciones de la cabeza, la mandíbula se puede mover de forma muy distinta con respecto a los labios y/o el mentón. Así cabe recordar que la detección y seguimiento de las características faciales estándar en los procedimientos conocidos en el estado de la técnica no incluye la estimación de la posición de los dientes, ya que estos en muchas ocasiones no se ven, al estar ocluidos parcialmente o totalmente por los labios.

Por lo tanto, no se puede transferir el movimiento del video 2D usando estas técnicas al modelo de los dientes en 3D. Es necesario incorporar nuevas soluciones técnicas, que usen todas las señales faciales para determinar la posición de los dientes en función de la expresión actual realizada por el individuo.

Todos estos problemas se resuelven con el método objeto de la presente invención, que permite una reconstrucción completa de la cabeza de un usuario, tanto extraoral como su dentadura y dinámica facial, generando un modelo en cuatro dimensiones completamente parametrizado, que después se podrá emplear en tratamientos dentales, maxilofaciales o de medicina estética facial. Además, permite animar dicho modelo, de manera que el paciente pueda ver su apariencia, antes y después del tratamiento médico, mientras lleva a cabo expresiones faciales naturales en frente de una cámara.

En el presente procedimiento solo se requiere de la realización de un escaneado facial en posición de reposo, comparado con el documento anterior WO2018154154, donde se necesitaban hasta siete escaneados faciales. El presente enfoque elimina el procedimiento de superposición de diferentes datos de escaneos faciales, reduciendo los errores de desalineación.

Luego, se graba un video del paciente manteniendo una conversación y/o actuando de forma espontánea y mostrando diferentes expresiones faciales, tales como sonrisa, sorpresa, etc. El video puede ser grabado ya sea en tiempo real o para su almacenamiento posterior. Luego, la idea es transferir los movimientos faciales del paciente en el video a la malla 3D creada tras los escaneados, permitiendo que ésta se mueva como si se tratase del paciente. Este método permite por lo tanto obtener un paciente virtual dinámico, a diferencia de las posiciones faciales estáticas y poco reales obtenidas con métodos previos.

Concretamente, el procedimiento comprende dos fases diferenciadas. La primera fase se realiza generalmente fuera de línea, y consiste en la preparación de los datos. Esta parte sólo tendría que realizarse una vez para cada paciente (por ejemplo, durante la primera visita del paciente). Estos datos se utilizan para la segunda fase, que puede realizarse en línea si se desea y puede repetirse tantas veces como se desee dados los diferentes videos de entrada (u otro tipo de imágenes en vivo) del paciente.

En la primera fase, se preparan todos los datos necesarios para crear una réplica virtual 3D de la fisonomía del paciente, incluyendo su cabeza en una primera etapa y su dentadura en una segunda etapa. El modelo de la cabeza debe ser tan parecido al de la cabeza real como sea posible. La dentadura puede ser su dentadura actual (que necesita ser restaurada por alguna razón) o una dentadura completamente nueva diseñada desde cero (por ejemplo, los pacientes que han perdido completamente su dentadura original y necesitan una reconstrucción completa).

Por lo tanto, en una primera etapa se genera un modelo virtual en 3D de la cabeza del paciente a partir de los datos obtenidos de un escaneo facial. El escaneo puede haber sido realizado con cualquier método conocido, incluyendo, pero no limitado a:

- un software de costura 3D para crear un modelo 3D a partir de varias fotos del paciente desde diferentes ángulos,
- un software de cosido en 3D que combina fotografías con información de profundidad proporcionada por una cámara de profundidad,
- un escáner 3D adecuado y su software asociado.

Por lo general, se utiliza un único modelo 3D de la cabeza, pero el método propuesto también puede aplicarse cuando se dispone de más modelos (por ejemplo, modelos 3D separados que representen las diferentes expresiones faciales).

En una segunda etapa, se obtiene un modelo 3D de los dientes, pudiendo ser estos los dientes actuales del paciente, una recreación de sus dientes después de ser sometido a un tratamiento o una dentadura completamente nueva. El modelo incluye tanto los dientes superiores como los inferiores, así como información sobre su relación oclusal. Este modelo puede representar información de color, al igual que el modelo de cabeza en 3D.

La información necesaria para construir el modelo se puede haber obtenido de varias maneras:

- usando un escáner intraoral, o
- usando materiales de impresión convencionales reversibles o irreversibles que posteriormente se digitalizan con un escáner de laboratorio o un escáner intraoral.

Una vez creados ambos modelos, en una tercera etapa, se fusionan, anclando la posición de la dentadura 3D dentro de la boca en la cabeza 3D. Esta posición inicial de los dientes digitalizados se utilizará como línea de base o posición inicial y es la obtenida durante una expresión neutra del paciente, cuando se mira directamente frente a la cámara.

La fusión de ambos modelos puede realizarse tanto de forma manual como automática:

- Manualmente: utilizando un software de manipulación de mallas 3D para integrar manualmente ambas mallas de manera que los dientes estén en su posición natural.
- Automáticamente: usando herramientas y protocolos específicos como punto más cercano iterativo (ICP) y algoritmos de alineación de mejor ajuste para integrar exitosamente los dientes escaneados del paciente en su cabeza digitalizada, a través de programas específicos de diseño clínico asistido (CAD) para alinear todas las mallas 3D obtenidas a través de puntos comunes para realizar la planificación digital sobre los dientes del paciente.

Adicionalmente, en esta primera fase, el procedimiento puede comprender una etapa de determinación del movimiento del modelo de la dentadura 3D con respecto al modelo de la cabeza 3D. Esta determinación de movimiento relativo se realiza a partir de una base de datos formada por fotos en 2D de personas realizando expresiones faciales (hablando, sonriendo, etc.) y su correspondiente modelo 3D que incluye la posición exacta de los dientes.

El objetivo es añadir movimiento al modelo 3D estándar, con la información de cómo se ha movido el modelo de los dientes 3D respecto al modelo de la cabeza 3D en cada caso. Es decir, se necesita para cada foto en 2D su correspondiente modelo 3D que incluya la dentadura completa en su posición correcta.

Dicha posición puede ser estimada por un experto que coloca los dientes manualmente mediante un software de animación 3D. Según la invención, la estimación se realiza a partir de la mencionada base de datos, mediante un método basado en *Deep Learning* (red neuronal artificial) que aprende a estimar el movimiento del modelo de los dientes 3D a partir de una imagen 2D de la cara. Una vez entrenada, la red puede ser usada en tiempo real para, a partir de una foto la cara del paciente en 2D, estimar la posición de los dientes en 3D.

A continuación, comienza la segunda fase del método, en la que se simula el aspecto de la nueva dentadura del paciente (independientemente de que la reconstrucción realizada sea completa o parcial) y al mismo tiempo se captan los movimientos faciales naturales reales como las expresiones faciales del paciente (sonreír, fruncir el ceño, hablar, movimientos la cabeza, etc.).

Los datos de entrada son los modelos 3D de la cabeza y la dentadura creados en la primera fase, junto con imágenes 2D del paciente. Las imágenes 2D del paciente pueden grabarse con una cámara de vídeo estándar o un teléfono móvil, por ejemplo, y puede ser tanto grabado previamente como en tiempo real.

El paciente se pondrá de cara a la cámara y representará libremente cualquier acción que desee (expresiones faciales, habla, movimientos de la cabeza, etc.). Estos movimientos se reflejarán entonces en un nuevo vídeo simulado (o en tiempo real) para que el paciente pueda ver cómo cada uno de sus movimientos se traduce de nuevo al modelo de cabeza y dentadura, viendo cómo será la reconstrucción de los dientes. Para ello, la segunda fase comprende una serie de etapas.

En una primera etapa, se obtiene una animación del modelo 3D de la cabeza, basado en las imágenes 2D de entrada. Dado un video de entrada (o material en tiempo real), compuesto de cuadros individuales (imágenes en color 2D de la cara del paciente), la malla de la cabeza 3D es animada en consecuencia. El resultado es un modelo 3D animado que imita el movimiento visto en la imagen 2D, tanto en la posición general de la cabeza como en la fisonomía facial.

A continuación, en una segunda etapa, se realiza el posicionamiento del modelo 3D de los dientes en el modelo animado. Para ello, una vez que el modelo 3D de la cabeza ha sido animado para reflejar la acción representada en la imagen 2D del paciente, el modelo de dientes 3D debe moverse en consecuencia, teniendo en cuenta el movimiento observado en la cara del paciente.

La cantidad de movimiento a aplicar al modelo 3D de los dientes con respecto al de la cabeza se calcula preferentemente usando la red neuronal artificial obtenida en la primera fase, resultando en una estimación de la posición de los dientes en 3D.

Finalmente, el método puede comprender una etapa de pintura 2D, donde se añade textura, creando un resultado final realista. Para ello, una vez que los modelos 3D de la cabeza y los dientes están en su lugar, se realiza una representación final de la escena 3D y se proyecta de nuevo en 2D. La proyección se realiza de tal manera que el modelo final tiene un tamaño y una posición similares a los que se ven en el video 2D de entrada, para hacer la simulación más realista y estéticamente plausible en comparación con la entrada real.

El método de la presente invención podría ser utilizado por cualquier odontólogo, o profesionales médicos para virtualizar dinámicamente a sus pacientes y utilizarlo como herramienta de diagnóstico y planificación de tratamiento y/o marketing. No obstante, los profesionales que más se beneficiarían serían los protésicos dentales, ya que podrían tener en el ordenador y programa CAD una copia completamente virtual del paciente, y con la dinámica facial integrada permitiendo individualizar las rehabilitaciones orales a cada paciente teniendo en cuenta su mímica facial, dinámica mandibular y oclusión. Actualmente, no existe ningún software CAD dental disponible en el mercado que pueda importar un modelo de 4 dimensiones integrado con la dinámica facial del paciente y su correspondientes maxilares superior e inferior escaneados en 3D, actuando como un todo integrado. También puede ser útil en otros ámbitos médicos como operaciones estéticas, y por otro tipo de reconstrucciones faciales no directamente relacionadas con la odontología.

En resumen, el método objeto de la invención presenta las siguientes ventajas:

- Ahorra tiempo comparado con métodos actuales.
- Usa tecnología que es fácil de utilizar e implementar ("*user-friendly*").
- Transfiere el movimiento facial real del paciente a mallas 3D estáticas, y lo hace mientras reduce errores de alineación entre mallas.
- Permite integrar dinámica facial y mandibular de pacientes en el programa CAD.

DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

La presente descripción se comprende mejor a partir de la siguiente información detallada cuando se lee junto con los dibujos adjuntos, que tienen carácter ilustrativo y no limitativo. Los dibujos incluyen las siguientes figuras brevemente descritas a continuación:

Figura 1.- Muestra un diagrama de flujo de la primera fase del método propuesto: la preparación de datos.

Figura 2.- Muestra un diagrama de flujo de la segunda fase del método propuesto: la animación de los modelos 3D de cabeza y dentadura.

Figura 3.- Muestra un diagrama de flujo de las etapas requeridas para la animación del modelo 3D a partir de las imágenes 2D del paciente.

Figura 4.- Muestra un diagrama de flujo con el esquema completo del método propuesto.

Figura 5.- Muestra una tabla con el movimiento de las distintas facciones del paciente según sus gestos.

REALIZACIÓN PREFERENTE DE LA INVENCION

La presente descripción, soportada por las figuras 1 a 5, ilustra los principios de la presente divulgación y la realización preferente del método propuesto para generación de una cabeza y una dentadura virtuales en cuatro dimensiones.

El método tiene dos fases diferenciadas. La primera, se muestra en la figura 1, y la segunda en la figura 2. La primera fase se realiza fuera de línea, una única vez por cada paciente, y consiste en la preparación de los datos. El resultado de la primera fase es un modelo 3D de la cabeza (2) del paciente, así como un modelo 3D de su dentadura (4). Estos modelos (2, 4) se utilizan para la segunda fase del procedimiento, que se realiza en línea y puede repetirse tantas veces como se desee.

Dentro de la primera fase, el método comprende una primera etapa, en la que se genera el modelo virtual 3D de la cabeza (2) del paciente, a partir de una serie de fotografías del paciente o un escáner 3D de la cabeza del paciente, tal y como se muestra en la figura 1.

El modelo 3D de la cabeza (2) es una malla triangular estándar 3D (vértices 3D, caras y normales). El modelo de la cabeza (2) también comprende información de color (textura). Para obtener este modelo, se utilizan unos datos obtenidos a partir de un escaneo facial del paciente.

Por lo general, se utiliza un único modelo 3D de la cabeza (2), pero el procedimiento también puede aplicarse cuando se dispone de más modelos (por ejemplo, tener modelos 3D separados que representen las diferentes expresiones faciales del paciente como sonrisas, etc.).

En una segunda etapa de la primera fase, se obtiene un modelo 3D de la dentadura (4) del paciente que se usarán para la reconstrucción. De nuevo, este modelo (4) es una malla triangular regular compuesta de posiciones de vértices 3D, caras y normales. El modelo 3D de la dentadura (4) incluye los dientes superiores e inferiores como dos mallas separadas y su información de relación oclusal. Este modelo puede representar información de color (textura), al igual que el modelo de cabeza en 3D.

El modelo 3D de la dentadura (4) se obtiene a partir de unos datos de la disposición de los dientes (3), que se pueden obtener utilizando un escáner intraoral o a través de materiales de impresión convencionales reversibles o irreversibles, que posteriormente se digitalizan con un escáner de laboratorio o un escáner intraoral.

Posteriormente, se utilizan programas específicos de CAD para realizar procedimientos de encerado digital, movimientos ortodónticos, planificación de implantes o cualquier otro tipo de procedimiento partiendo del modelo 3D de la dentadura (4). Este flujo de trabajo se realiza en todos los casos en que el paciente necesita algún tratamiento dental en el área estética o cuando hay que realizar una rehabilitación oral.

Una vez creados ambos modelos (2, 4), en una tercera etapa se fusionan juntos, anclando la posición de la malla del modelo 3D de la dentadura (4) dentro de la boca del modelo 3D de la cabeza (2). Esta posición inicial se utilizará como línea de base o posición de descanso durante una expresión neutra, cuando el usuario mira directamente frente a la cámara.

Adicionalmente, en una cuarta etapa de la primera fase, que se muestra en detalle en la figura 4, el método comprende una etapa de determinación de la posición del modelo 3D de la dentadura (4) con respecto al modelo 3D de la cabeza (2). Esta determinación de movimiento relativo se realiza a partir de una base de datos formada por fotos en 2D de personas realizando movimientos con la boca (hablando, sonriendo, etc.) y su correspondiente modelo 3D que incluye los dientes. En esta etapa se puede utilizar un modelo genérico de cara y dientes, no es necesario que sea un modelo específico de cada paciente.

Por lo tanto, el objetivo es ampliar el movimiento de un modelo 3D completo estándar con la información de cómo se ha movido el modelo 3D de la dentadura (4) respecto al modelo 3D de la cabeza (2) en cada caso. Es decir, para cada foto en 2D se necesita su correspondiente modelo 3D que incluya la dentadura completa en su posición correcta.

Esta posición puede ser estimada por un experto que coloca los dientes manualmente mediante un software de animación 3D. Según la invención, la estimación se realiza a partir de la mencionada base de datos, mediante un método basado en Deep Learning (red neuronal artificial) que aprende a estimar el movimiento del modelo de los dientes 3D a partir de una imagen 2D de la cara. Una vez entrenada, la red puede ser usada en tiempo real para, a partir de una foto de la cara del paciente en 2D, estimar la posición de los dientes en 3D.

Preferentemente, la red neuronal artificial utiliza una red convolucional de regresión, cuya entrada es una tupla formada por la imagen 2D de la cara de entrada y la imagen 2D de la cara en reposo, y cuya salida es un vector de números reales de doce dimensiones. Dicho vector codifica el movimiento realizado por cada parte de la dentadura (6D para el maxilar superior y 6D para la mandíbula inferior), del siguiente modo: la translación X, Y, Z más los tres ángulos de rotación X, Y, Z.

En la segunda fase del procedimiento, que se muestra en la figura 2, se simula el aspecto de la nueva dentadura del paciente (independientemente de que la reconstrucción realizada sea completa o parcial) y al mismo tiempo se captan los movimientos faciales naturales reales como las expresiones faciales del paciente (sonreír, fruncir el ceño, hablar, movimientos de la cabeza, etc.).

Los datos de entrada son los modelos 3D de la cabeza y la dentadura (2, 4) creados en la primera fase, y unas imágenes 2D (5) del paciente. Las imágenes 2D (5) pueden haberse obtenido con una cámara de vídeo estándar o un teléfono móvil por ejemplo, y puede ser tanto grabado previamente como en tiempo real. Pueden recoger cualquier acción que el paciente desee (expresiones faciales, habla, movimientos de la cabeza, etc.).

En esta segunda fase, los movimientos que realiza el paciente en las imágenes 2D (5) se reflejan en un nuevo vídeo de simulación (8) (o en tiempo real) para que el paciente pueda ver cómo cada uno de sus movimientos se traduce de nuevo a un modelo 3D completo (7), viendo cómo será la reconstrucción de los dientes. Para lograr esto, la segunda fase comprende una serie de etapas.

La primera etapa, consiste en la animación del modelo 3D de la cabeza (2) utilizando las imágenes 2D (5). Dado un video de entrada 2D (5) (o material en tiempo real), compuesto de cuadros individuales (imágenes en color 2D de la cara del paciente), la malla del modelo de la cabeza 3D (2) es animada en consecuencia. La figura 3 muestra un esquema del método propuesto.

Las entradas son el video 2D (5) y el modelo 3D de la cabeza (2). La salida es un modelo 3D animado (6) que imita el movimiento visto en las imágenes 2D (5), tanto en la posición general de la cabeza como en la fisonomía facial. Esto se realiza a través de dos pasos separados, que se detallan en la figura 3. Primero, usando técnicas de reconocimiento facial, se estima la posición y el movimiento del paciente en el video 2D (5). Luego, se transfieren esos movimientos a un modelo genérico (9) de cabeza 3D. Se pueden utilizar varios enfoques para lograr esto.

Por ejemplo, un método de estimación de puntos de referencia faciales en 2D o 3D puede estimar movimientos faciales a partir del video 2D y éstos pueden utilizarse para animar el modelo 3D, o un enfoque más directo puede utilizarse para aprender directamente las relaciones entre las imágenes 2D y los modelos 3D, a través de enfoques de aprendizaje en profundidad.

Segundo, se transfiere el movimiento del modelo genérico (9) al modelo 3D de cabeza (2) específico del paciente. Esto se logra a través de álgebra 3D y técnicas de triangulación.

Una vez que el modelo 3D de la cabeza (2) ha sido animado para reflejar la acción representada en las imágenes 2D (5) en cuestión, el modelo de dentadura 3D (4) debe moverse en consecuencia, teniendo en cuenta el movimiento de la mandíbula, labios y maxilar.

La cantidad de movimiento a aplicar al modelo 3D de la dentadura (4) con respecto al modelo 3D de la cabeza (2) se calcula preferentemente utilizando la red neuronal artificial obtenida en la primera fase, resultando en una estimación de la posición de los dientes en 3D.

Por último, tal y como se muestra en la figura 2, una vez que los modelos 3D de la cabeza y la dentadura (2, 4) están en su lugar, se realiza la representación final del modelo 3D completo (7) y se proyecta de nuevo en 2D, obteniéndose un video de simulación (8). La proyección se realiza de tal manera que el modelo final en el video de simulación (8) tenga un tamaño y una posición similares a los que se ven en el vídeo 2D (5) de entrada, para hacer la simulación más realista y estéticamente plausible en comparación con la entrada real.

REIVINDICACIONES

1.- Método para la generación de una cabeza y dentadura virtuales de un paciente, dicho método comprende:

- preparación de datos, que a su vez comprende:

- o generación de un modelo virtual 3D de la cabeza (2), obtenido a partir de imágenes (1) de un paciente bajo estudio,
- o generación de un modelo virtual 3D de la dentadura (4) del paciente, obtenido a partir de datos de la morfología de los dientes (3) del paciente,
- o determinación de la posición del modelo virtual 3D de la dentadura (4) con respecto al modelo virtual de la cabeza (2),
- o fusión y anclaje del modelo virtual 3D de la dentadura (4) dentro del modelo virtual de la cabeza (2) en un estado neutro,
- o entrenamiento de una red neuronal artificial con una base de datos de imágenes 2D de personas realizando diferentes gestos faciales y su correspondiente modelo 3D con dentadura incluida en su posición correspondiente, aprendiendo la red artificial a estimar un movimiento del modelo virtual 3D de la dentadura (4) con respecto al modelo virtual de la cabeza (2),

- integración del movimiento de los modelos virtuales (2, 4), que a su vez comprende:

- o animación del modelo virtual de la cabeza (2) a partir de unas imágenes 2D (5) del paciente, obteniéndose un modelo 3D animado (6) de la cabeza del paciente,
- o posicionamiento independiente del modelo virtual 3D de la dentadura (4) dentro del modelo 3D animado (6), aplicando una cantidad de movimiento al modelo virtual 3D de la dentadura (4) estimado a partir de las imágenes 2D (5) del paciente usando la red neuronal artificial entrenada durante la preparación de datos, y
- o fusión del modelo virtual 3D de la dentadura (4) con el modelo 3D animado (6), obteniéndose un modelo 3D animado completo (7) que comprende la cabeza y la dentadura del paciente.

2.- El método de la reivindicación 1, en el que las imágenes del paciente usadas para construir el modelo virtual de la cabeza (2) son imágenes seleccionadas entre fotografías, video y/o un escaneo 3D de la cabeza del paciente.

3.- El método de la reivindicación 1, en el que el modelo virtual 3D de la dentadura (4) comprende un modelo de la dentadura superior, un modelo de la dentadura inferior e información de su posición relativa y oclusión.

4.- El método de la reivindicación 1, en el que los datos de la morfología de los dientes (3) del paciente son obtenidos a través de un escáner intraoral y/o a través de impresiones convencionales digitalizadas.

5.- El método de la reivindicación 1, en el que la etapa de preparación de datos comprende adicionalmente una etapa en la que métodos de encerado digital, movimientos ortodónticos y/o planificación de cirugías son aplicados al modelo virtual 3D de la dentadura (4).

6.- El método de la reivindicación 1, en el que las imágenes 2D (5) son tomadas de un video pregrabado del paciente.

7.- El método de la reivindicación 1, en el que las imágenes 2D (5) son tomadas en tiempo real usando una cámara.

8.- El método de la reivindicación 1, en el que la animación del modelo virtual de la cabeza (2) a partir de imágenes 2D (5) del paciente además comprende:

- estimación, con técnicas de reconocimiento facial, de información sobre posición y movimiento del paciente en las imágenes 2D (5),
- transferencia de dicha información a un modelo genérico (9) de cabeza 3D, y
- transferencia de dicho movimiento del modelo genérico (9) de cabeza 3D al modelo virtual de la cabeza (2).

9.- El método de la reivindicación 1, en el que en el posicionamiento del modelo 3D de la dentadura (4) a partir de las imágenes 2D (5) del paciente, se considera el estado neutro del modelo virtual 3D de la dentadura (4) para calcular cuánto movimiento debe aplicarse al modelo virtual 3D de la dentadura (4) en función de cuánto movimiento es observado en las imágenes 2D (5).

10.- El método de la reivindicación 1, que comprende adicionalmente una etapa de pintura y adición de texturas sobre el modelo 3D animado completo (7).

11.- El método de la reivindicación 1, que comprende adicionalmente una etapa final de proyección del modelo 3D animado completo (7) en 2D, obteniéndose un video de simulación (8).

12.- Un sistema de procesamiento de datos para la generación de una cabeza y dentadura virtuales de un paciente, dicho sistema comprende:

- medios de preparación de datos configurados para:

- generar un modelo virtual 3D de la cabeza (2), obtenido a partir de imágenes (1) de un paciente bajo estudio,
 - generar un modelo virtual 3D de la dentadura (4) del paciente, obtenido a partir de datos de la morfología de los dientes (3) del paciente,
 - determinar la posición del modelo virtual 3D de la dentadura (4) con respecto al modelo virtual de la cabeza (2),
 - fusionar y anclar el modelo virtual 3D de la dentadura (4) dentro del modelo virtual de la cabeza (2) en un estado neutro,
 - entrenar una red neuronal artificial con una base de datos de imágenes 2D de personas realizando diferentes gestos faciales y su correspondiente modelo 3D con dentadura incluida en su posición correspondiente, aprendiendo la red artificial a estimar un movimiento del modelo virtual 3D de la dentadura (4) con respecto al modelo virtual de la cabeza (2),
 - medios de integración del movimiento de los modelos virtuales (2, 4), donde los medios de integración están configurados para:
 - animar el modelo virtual de la cabeza (2) a partir de unas imágenes 2D (5) del paciente, obteniéndose un modelo 3D animado (6) de la cabeza del paciente,
 - independientemente posicionar el modelo virtual 3D de la dentadura (4) dentro del modelo 3D animado (6), aplicando una cantidad de movimiento al modelo virtual 3D de la dentadura (4) estimado a partir de las imágenes 2D (5) del paciente usando la red neuronal artificial entrenada por los medios de preparación de datos, y
 - fusionar el modelo virtual 3D de la dentadura (4) con el modelo 3D animado (6), obteniéndose un modelo 3D animado completo (7) que comprende la cabeza y la dentadura del paciente
- 13.- Un programa informático para la generación de una cabeza y dentadura virtual de un paciente, dicho programa informático configurado para ser ejecutado por el sistema de procesamiento de datos de la reivindicación 12 y para realizar las etapas del método de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11.
- 14.- Un medio de almacenamiento legible por computadora que tiene almacenado el programa informático de la reivindicación 13.

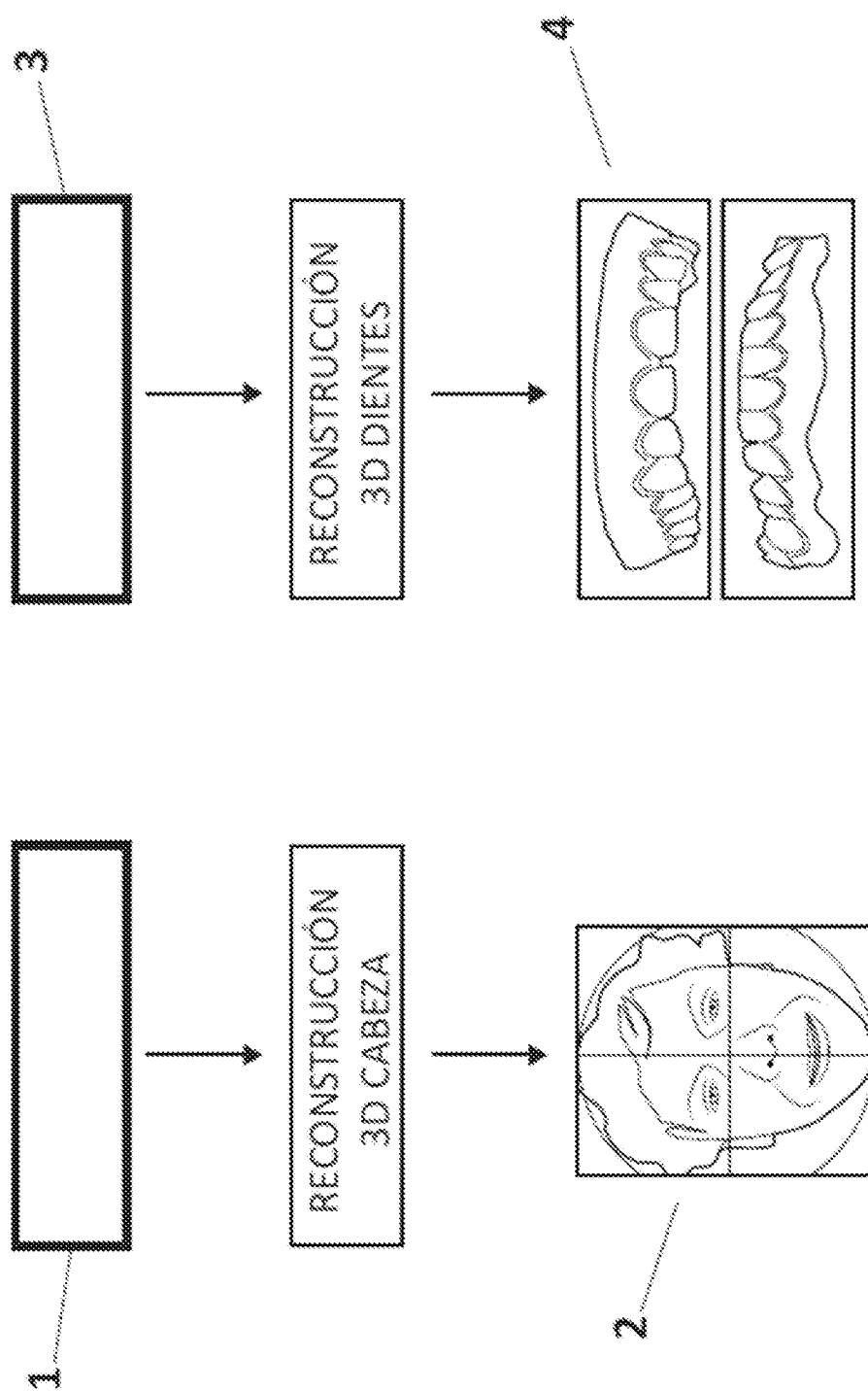


FIG. 1

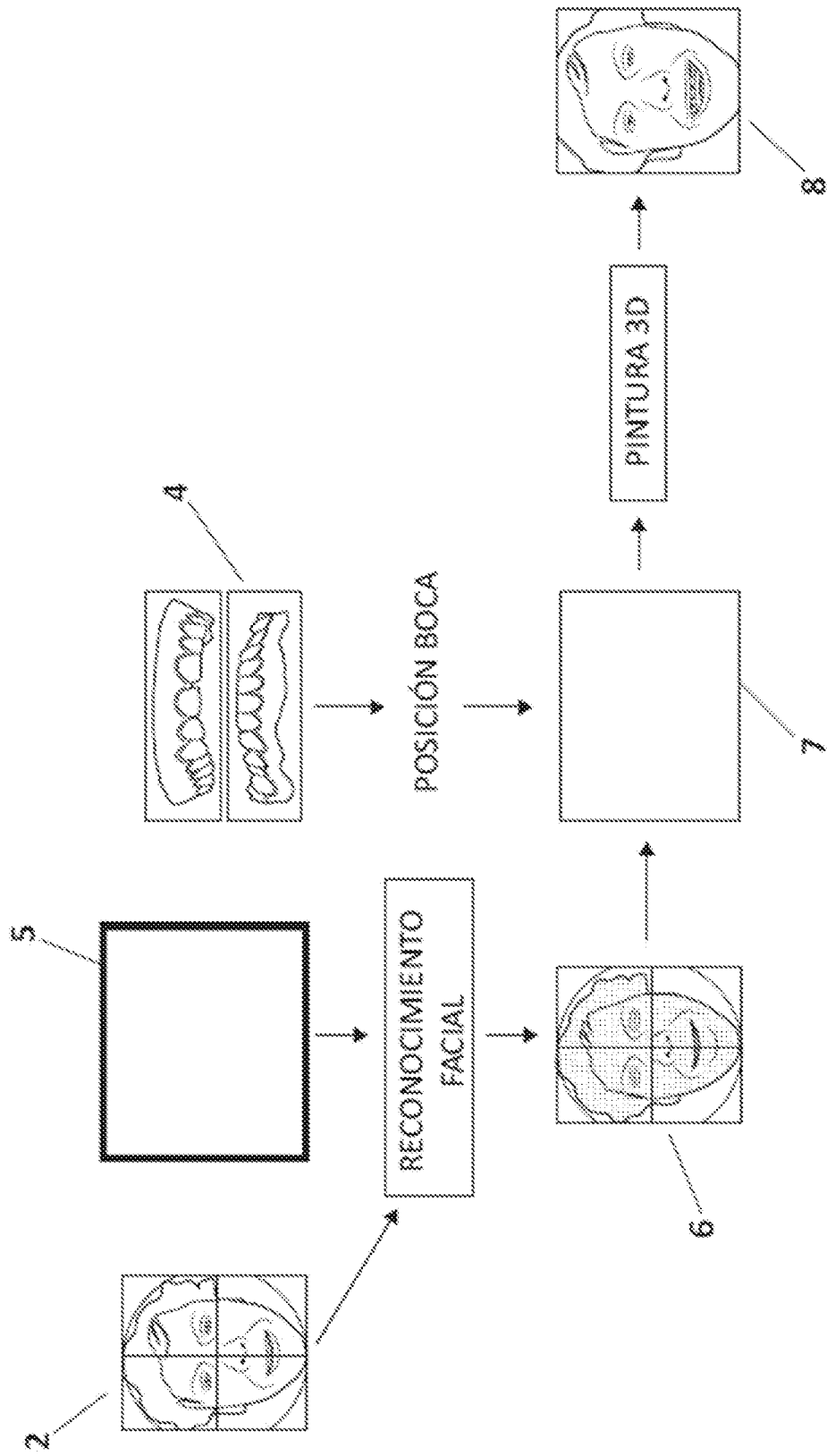


FIG. 2

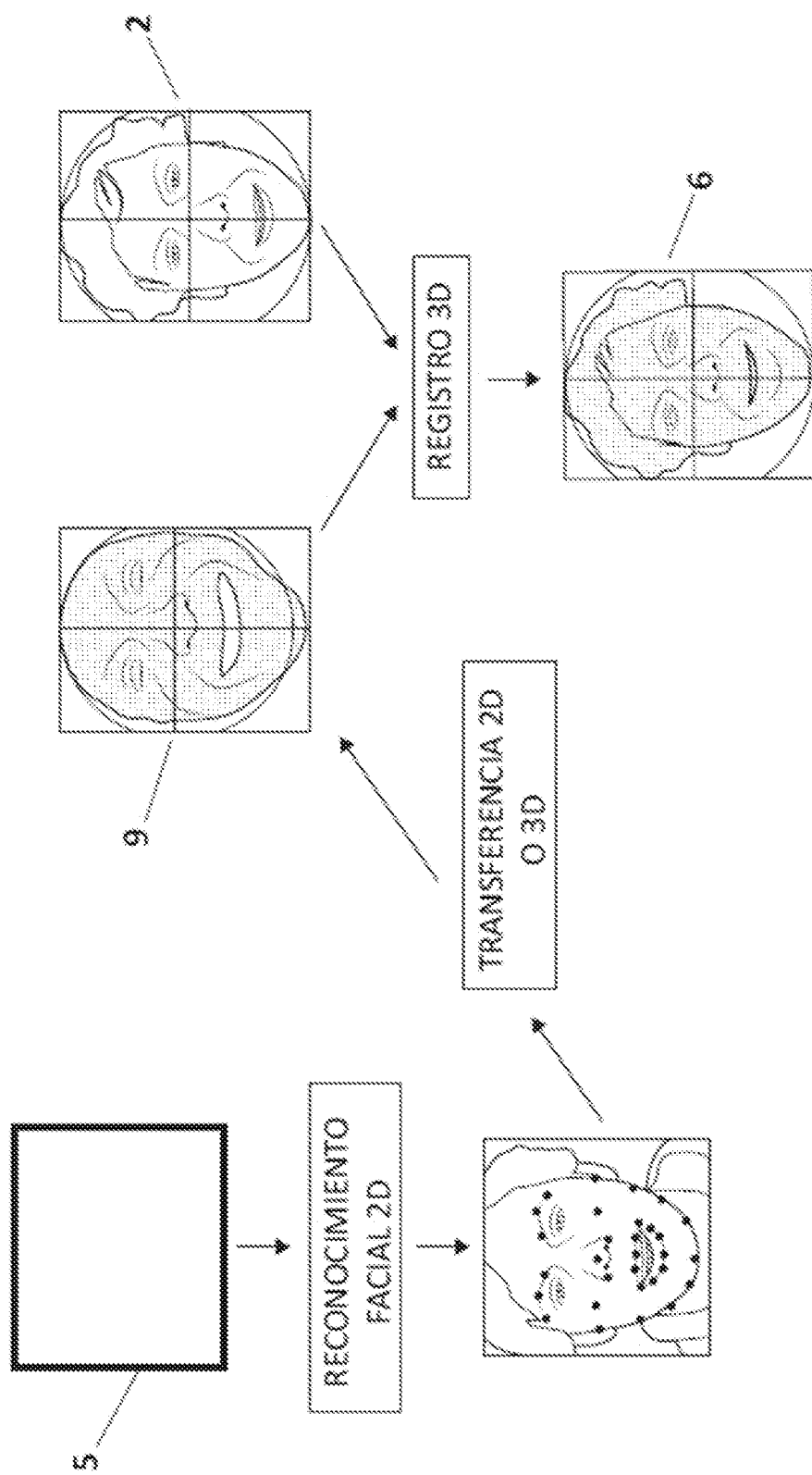


FIG. 3

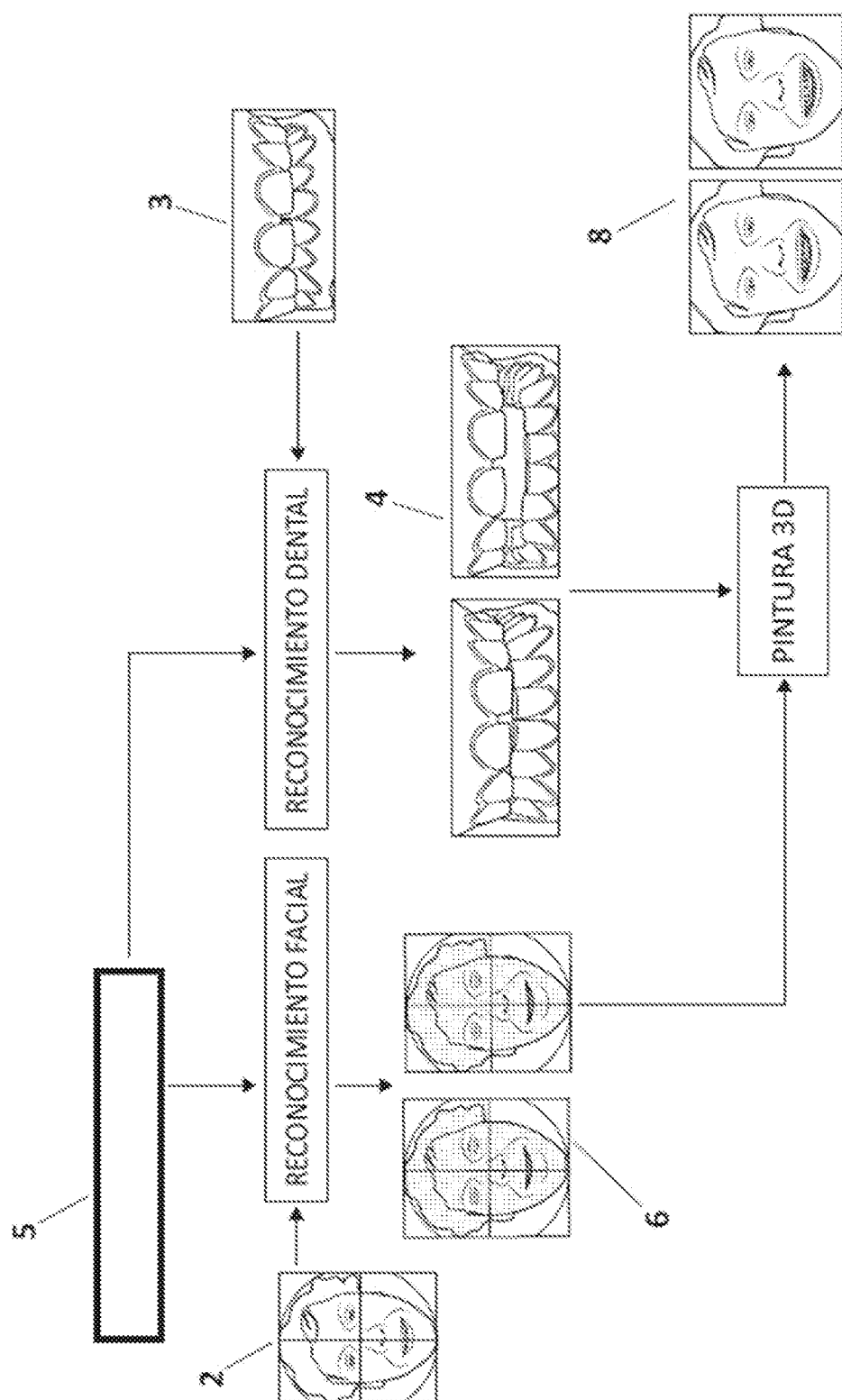


FIG. 4

Transición	Movimiento labio superior	Movimiento labio inferior	Movimiento mentón	Movimiento dientes superiores (maxilar)	Movimiento dientes inferiores (mandibula)
Neutro -> Sonrisa	Sube	Baja	Ninguno	Ninguno	Sube ligeramente
Neutro -> "U"	Sube	Ninguno	Baja	Ninguno	Baja
Neutro -> "S"	Ninguno	Baja	Ninguno	Ninguno	Baja
Rotaciones de la cabeza	Rotación + movimiento (según expresión)	Rotación + movimiento (según expresión)	Rotación + movimiento (según expresión)	Rotación	Rotación + movimiento (según expresión)

FIG. 5