

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **3 009 901**

51 Int. Cl.:

G16H 30/40 (2008.01)

G16H 30/20 (2008.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **19.07.2018** **E 18184486 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **15.01.2025** **EP 3432312**

54 Título: **Método de análisis de una imagen de una arcada dental**

30 Prioridad:

21.07.2017 FR 1756944

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
31.03.2025

73 Titular/es:

**DENTAL MONITORING (100.00%)
75, rue de Tocqueville
75017 Paris, FR**

72 Inventor/es:

**SALAH, PHILIPPE;
PELLISSARD, THOMAS;
GHYSELINCK, GUILLAUME y
DEBRAUX, LAURENT**

74 Agente/Representante:

DEL VALLE VALIENTE, Sonia

ES 3 009 901 T3

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

DESCRIPCIÓN

5 Método de análisis de una imagen de una arcada dental

Campo técnico

10 La presente invención se refiere al campo del análisis de imágenes de arcadas dentales.

Estado de la técnica

15 Los tratamientos ortodóncicos más recientes utilizan imágenes para evaluar situaciones terapéuticas. Esta evaluación es realizada normalmente por un ortodoncista, lo que requiere que el paciente transmita estas imágenes al ortodoncista, o incluso que concierte una cita.

20 Existe una necesidad permanente de un método que facilite el análisis de las imágenes de las arcadas dentales de los pacientes.

Un objeto de la invención es responder a esta necesidad.

25 El documento FR 3 027 505 A1 describe un método de control del posicionamiento de los dientes de un paciente. El método incluye la adquisición de al menos una imagen actualizada de las arcadas del paciente, en condiciones de adquisición reales; y la búsqueda, para cada imagen actualizada, de un modelo de referencia final correspondiente al posicionamiento de los dientes durante la adquisición de la imagen actualizada.

Resumen de la invención

30 La invención propone un método de análisis de una imagen, denominada “imagen de análisis”, de una arcada dental de un paciente, método en donde la imagen de análisis se somete a un dispositivo de aprendizaje profundo, preferiblemente una red neuronal, con el fin de determinar al menos un valor de un atributo de diente relativo a un diente representado en la imagen de análisis, y/o al menos un valor de un atributo de imagen relativo a la imagen de análisis.

Análisis por diente

35 La invención propone, en particular, un método de análisis detallado de una imagen denominada “imagen de análisis” de una arcada dental de un paciente, incluyendo dicho método las siguientes etapas:

40 1) creación de una base de aprendizaje que incluya más de 1.000 imágenes de arcadas dentales, o “imágenes históricas”, incluyendo cada imagen histórica una o varias zonas que representan cada una un diente, o “zonas de diente históricas”, a cada una de las cuales, para al menos un atributo de diente, se asigna un valor de atributo de diente;

45 2) entrenamiento de al menos un dispositivo de aprendizaje profundo, preferiblemente una red neuronal, mediante la base de aprendizaje;

50 3) presentación de la imagen de análisis a dicho al menos un dispositivo de aprendizaje profundo para que determine al menos una probabilidad relativa a un valor de atributo de al menos un diente representado en una zona que represente, al menos parcialmente, dicho diente en la imagen de análisis, o “zona de diente de análisis”;

4) determinación, en función de dicha probabilidad, de la presencia de un diente de dicha arcada en una posición representada por dicha zona de diente de análisis, y del valor de atributo de dicho diente.

55 En particular, se puede implementar un primer dispositivo de aprendizaje profundo, preferiblemente una red neuronal, para evaluar una probabilidad relativa a la presencia, en una ubicación de dicha imagen de análisis, de una zona de diente de análisis.

60 En particular, se puede implementar un segundo dispositivo de aprendizaje profundo, preferiblemente una red neuronal, para evaluar una probabilidad relativa al tipo de diente representado en una zona de diente de análisis.

Como se verá con más detalle a continuación en la descripción, un método de análisis detallado según la invención permite, ventajosamente, reconocer de inmediato el contenido de la imagen de análisis.

65 La imagen de análisis se puede clasificar, ventajosamente, de forma automática. Además, es inmediatamente utilizable por un programa informático.

La invención se basa en el uso de un dispositivo de aprendizaje profundo, preferiblemente una red neuronal, cuyo rendimiento está directamente relacionado con la riqueza de la base de aprendizaje. Por lo tanto, también existe la necesidad de un método que permita enriquecer rápidamente la base de aprendizaje.

5 Por lo tanto, la invención se refiere también a un método de enriquecimiento de una base de aprendizaje, en particular destinada a la implementación de un método de análisis detallado según la invención, incluyendo dicho método de enriquecimiento las siguientes etapas:

10 A) en un momento “actualizado”, realización de un modelo de una arcada dental de un paciente, o “modelo de referencia actualizado”, y segmentación del modelo de referencia actualizado para realizar, para cada diente, un “modelo de diente”, y para al menos un atributo de diente, asignación de un valor de atributo de diente a cada modelo de diente;

15 B) preferiblemente menos de 6 meses, preferiblemente menos de 2 meses, preferiblemente menos de 1 mes, preferiblemente menos de 15 días, preferiblemente menos de 1 semana, preferiblemente menos de 1 día antes o después del instante actualizado, preferiblemente sustancialmente en el instante actualizado, adquisición de al menos una, preferiblemente al menos tres, preferiblemente al menos diez, preferiblemente al menos cien imágenes de dicha arcada, o “imágenes actualizadas”, en las respectivas condiciones de adquisición reales;

20 C) para cada imagen actualizada, búsqueda de condiciones de adquisición virtuales adaptadas para una adquisición de una imagen del modelo de referencia actualizado, denominada “imagen de referencia”, que presente una concordancia máxima con la imagen actualizada en dichas condiciones de adquisición virtuales, y adquisición de dicha imagen de referencia;

25 D) identificación, en la imagen de referencia, de al menos una zona que represente un modelo de diente, o “zona de diente de referencia” y, por comparación de la imagen actualizada y la imagen de referencia, determinación, en la imagen actualizada, de una zona que represente dicho modelo de diente, o “zona de diente actualizada”;

E) asignación, a dicha zona de diente actualizada, del valor o valores de atributo de diente de dicho modelo de diente;

30 F) adición de la imagen actualizada enriquecida de un descriptor de dicha zona de diente actualizada y de su o sus valores de atributo de diente, o “imagen histórica”, en la base de aprendizaje.

35 En particular, cada ejecución del método descrito en el documento WO 2016/066651 genera preferiblemente más de tres, más de diez, preferiblemente más de cien imágenes actualizadas que, mediante un tratamiento automatizado mediante el modelo de referencia actualizado, pueden producir otras tantas imágenes históricas.

En una realización particular, el método de enriquecimiento de una base de aprendizaje incluye, en lugar de las etapas A) a C), las siguientes etapas:

40 A') en un instante inicial, realización de un modelo de una arcada dental de un paciente, o “modelo de referencia inicial”, y segmentación del modelo de referencia inicial para realizar, para cada diente, un “modelo de diente”, y para al menos un atributo de diente, asignación de un valor de atributo de diente a cada modelo de diente;

45 B') en un instante actualizado, por ejemplo, con un intervalo de más de quince días, preferiblemente más de un mes, o incluso más de dos meses desde el instante inicial, adquisición de al menos una, preferiblemente al menos tres, preferiblemente al menos diez, preferiblemente al menos cien imágenes de dicha arcada, o “imágenes actualizadas”, en las respectivas condiciones de adquisición reales;

50 C') para cada imagen actualizada, búsqueda, por deformación del modelo de referencia inicial, de un modelo de referencia actualizado y de condiciones de adquisición virtuales adaptadas para una adquisición de una imagen del modelo de referencia actualizado, denominada “imagen de referencia”, que presente una concordancia máxima con la imagen actualizada en dichas condiciones de adquisición virtuales.

55 Este método permite ventajosamente, después de la generación del modelo de referencia inicial, preferiblemente por medio de un escáner, enriquecer la base de aprendizaje en diferentes instantes actualizados, sin que sea necesario realizar un nuevo escáner y, por lo tanto, sin que el paciente tenga que desplazarse al ortodoncista. De hecho, puede adquirir las imágenes actualizadas por sí mismo, como se describe en el documento WO 2016/066651.

Un solo tratamiento ortodóncico puede conducir así a la producción de cientos de imágenes históricas.

60 La invención también se refiere a un método de entrenamiento de un dispositivo de aprendizaje profundo, preferiblemente una red neuronal, que incluye un enriquecimiento de una base de aprendizaje según la invención, y luego el uso de dicha base de aprendizaje para entrenar el dispositivo de aprendizaje profundo.

65 Análisis global

El método de análisis detallado descrito anteriormente permite ventajosamente un análisis fino de la imagen de análisis, siendo evaluada preferiblemente la situación de cada una.

5 Alternativamente, el dispositivo de aprendizaje profundo se puede utilizar de forma global, conteniendo la base de aprendizaje imágenes históricas cuyo descriptor proporciona un valor de atributo global para la imagen. Dicho de otro modo, el valor del atributo de imagen es relativo a la imagen en su conjunto y no a una parte de la imagen. El atributo no es entonces un atributo “de diente”, sino un atributo “de imagen”. Por ejemplo, este atributo de imagen puede definir si, con respecto a la imagen en su conjunto o a una parte de la imagen, la situación dental “es patológica” o “no es patológica”, sin que se realice un examen de cada diente. El atributo de imagen también permite detectar, por ejemplo, si la boca está abierta o cerrada, o, más generalmente, si la imagen es adecuada para un tratamiento posterior, por ejemplo, si permite controlar la oclusión.

El atributo de imagen puede ser, en particular, relativo a

15 - una posición y/o una orientación y/o una calibración de un aparato de adquisición utilizado para adquirir dicha imagen de análisis, y/o

20 - una calidad de la imagen de análisis, y en particular relativa a la luminosidad, al contraste o a la nitidez de la imagen de análisis, y/o

- al contenido de la imagen de análisis, por ejemplo, a la representación de las arcadas, la lengua, la boca, los labios, las mandíbulas, la encía, uno o varios dientes o un aparato dental, preferiblemente ortodóncico.

25 Cuando el atributo de imagen hace referencia al contenido de la imagen, el descriptor de las imágenes históricas de la base de aprendizaje especifica una característica de este contenido. Por ejemplo, puede especificar la posición de la lengua (por ejemplo, “retraída”) o la apertura de la boca del paciente (por ejemplo, boca abierta o cerrada) o la presencia de una representación de un aparato dental, preferiblemente ortodóncico, y/o su estado (por ejemplo, aparato intacto, roto o dañado).

30 Se puede usar un valor de atributo de diente para definir un valor para un atributo de imagen. Por ejemplo, si un valor de un atributo de diente es “diente cariado”, el valor de un atributo de imagen puede ser “situación dental insatisfactoria”.

El atributo de imagen puede ser, en particular, relativo a una situación terapéutica.

35 La invención propone un método de análisis global de una imagen de análisis de una arcada dental de un paciente, incluyendo dicho método las siguientes etapas:

40 1') creación de una base de aprendizaje que incluya más de 1.000 imágenes de arcadas dentales, o “imágenes históricas”, incluyendo cada imagen histórica un valor de atributo para al menos un atributo de imagen o “valor de atributo de imagen”;

2') entrenamiento de al menos un dispositivo de aprendizaje profundo, preferiblemente una red neuronal, mediante la base de aprendizaje;

45 3') presentación de la imagen de análisis al dispositivo de aprendizaje profundo de manera que determine, para dicha imagen de análisis, al menos una probabilidad relativa a dicho valor de atributo de imagen, y determinación, en función de dicha probabilidad, de un valor para dicho atributo de imagen para la imagen de análisis.

50 El atributo de imagen puede ser, en particular, relativo a la orientación del aparato de adquisición en el momento de la adquisición de la imagen de análisis. Por ejemplo, puede tomar los valores “foto frontal”, “foto del lado izquierdo” y “foto del lado derecho”.

El atributo de imagen también puede ser relativo a la calidad de la imagen. Por ejemplo, puede tomar los valores “contraste insuficiente” y “contraste aceptable”.

55 El atributo de imagen también puede ser relativo a la situación dental del paciente, por ejemplo, ser relativo a la presencia de caries o el estado de un aparato dental, preferiblemente ortodóncico, que lleva el paciente (“degradado” o “en buen estado”, por ejemplo) o a la adecuación del aparato dental, preferiblemente ortodóncico, para el tratamiento del paciente (por ejemplo, “inadecuado” o “adecuado”).

60 El atributo de imagen también puede ser relativo a la “presencia” o “ausencia” de un aparato dental, preferiblemente ortodóncico, o al estado de apertura de la boca (“boca abierta”, “boca cerrada”, por ejemplo).

65 Como se verá con más detalle a continuación en la descripción, un método de análisis global de imágenes según la invención permite, ventajosamente, evaluar de inmediato y de forma global el contenido de la imagen de análisis.

En particular, es posible evaluar de forma global una situación dental y, por ejemplo, deducir la necesidad de consultar a un ortodoncista.

Definiciones

5 Un “paciente” es una persona para la que se implementa un método según la invención, independientemente del hecho de que esta persona siga un tratamiento ortodóncico o no.

10 Por “ortodoncista” se entiende cualquier persona cualificada para prestar atención odontológica, lo que también incluye un dentista.

Por “pieza dental”, en particular “pieza ortodóncica”, se entiende la totalidad o parte de un aparato dental, en particular ortodóncico.

15 Una pieza ortodóncica puede ser, en particular, un alineador ortodóncico. Un alineador de este tipo se extiende de manera que siga los dientes sucesivos de la arcada sobre la que es fijado. Define una canaleta de forma general en “U”, cuya forma se determina para asegurar la fijación del alineador en los dientes, pero también en función de una posicionamiento objetivo deseada para los dientes. Más precisamente, la forma se determina de manera que, cuando el alineador está en la posición de servicio, ejerza tensiones que tiendan a desplazar los dientes tratados hacia su
20 posicionamiento objetivo o a mantener los dientes en esa posicionamiento objetivo.

La “posición de servicio” es la posición en la que el paciente lleva la pieza dental u ortodóncica.

25 Por “modelo” se entiende un modelo tridimensional digital. Por lo tanto, una disposición de modelos de dientes es un modelo.

Por “imagen” se entiende una imagen en dos dimensiones, como una fotografía o una imagen extraída de una película. Una imagen está formada por píxeles.

30 Una “imagen de referencia” es una vista de un modelo “de referencia”.

Por “imagen de una arcada”, o “modelo de una arcada”, se entiende una representación de la totalidad o parte de dicha arcada. Preferiblemente, esta representación es en color.

35 Las “condiciones de adquisición” de una imagen especifican la posición y la orientación en el espacio de un aparato de adquisición de esta imagen relativas a los dientes del paciente (condiciones de adquisición reales) o a un modelo de dientes del paciente (condiciones de adquisición virtuales), y preferiblemente la calibración de este aparato de adquisición. Se dice que las condiciones de adquisición son “virtuales” cuando corresponden a una simulación en donde el aparato de adquisición estaría en dichas condiciones de adquisición (posicionamiento y preferiblemente calibración teóricos del aparato de adquisición) con respecto a un modelo.

40 En condiciones de adquisición virtuales de una imagen de referencia, el aparato de adquisición también puede calificarse como “virtual”. De hecho, la imagen de referencia es adquirida por un aparato de adquisición ficticio, que tiene las características del aparato de adquisición “real” que se utilizó para la adquisición de imágenes reales, y en particular imágenes actualizadas.

45 La “calibración” de un aparato de adquisición está constituida por el conjunto de los valores de los parámetros de calibración. Un “parámetro de calibración” es un parámetro intrínseco al aparato de adquisición (con la diferencia de su posición y de su orientación) cuyo valor influye en la imagen adquirida. Preferiblemente, los parámetros de calibración se eligen del grupo formado por la apertura de diafragma, el tiempo de exposición, la distancia focal y la sensibilidad.

50 Una “información discriminadora” es una información característica que se puede extraer de una imagen (“*image feature*”), normalmente mediante un tratamiento informático de esta imagen.

55 Una información discriminadora puede presentar un número variable de valores. Por ejemplo, una información de contorno puede ser igual a 1 o 0 según si un píxel pertenece o no a un contorno. Una información de brillo puede adoptar un gran número de valores. El tratamiento de la imagen permite extraer y cuantificar la información discriminadora.

60 La información discriminadora puede representarse en forma de “mapa”. Un mapa es, por lo tanto, el resultado de un tratamiento de una imagen con el fin de mostrar información discriminadora, por ejemplo, el contorno de los dientes y las encías.

65 Se denomina “concordancia” (“*match*” o “*fit*” en inglés) entre dos objetos a una medida de la diferencia entre estos dos objetos. Una concordancia es máxima (“*best fit*”) cuando es el resultado de una optimización que permite minimizar dicha diferencia.

Un objeto modificado para obtener una concordancia máxima puede calificarse como un objeto “óptimo”.

Dos imágenes o “vistas” que presenten una concordancia máxima representan sustancialmente al menos un mismo diente, de la misma manera. Dicho de otro modo, las representaciones del diente sobre estas dos imágenes son sustancialmente superponibles.

5 La búsqueda de una imagen de referencia que presente una concordancia máxima con una imagen actualizada se realiza buscando las condiciones de adquisición virtuales de la imagen de referencia que presente una concordancia máxima con las condiciones de adquisición reales de la imagen actualizada.

10 Por extensión, un modelo presenta una concordancia máxima con una imagen cuando este modelo ha sido elegido entre varios modelos porque permite una vista que presenta una concordancia máxima con dicha imagen y/o cuando esta imagen ha sido elegida entre varias imágenes porque presenta una concordancia máxima con una vista de dicho modelo.

15 En particular, una imagen actualizada tiene máxima concordancia con un modelo de referencia cuando una vista de este modelo de referencia proporciona una imagen de referencia en concordancia máxima con la imagen actualizada.

La comparación entre dos imágenes es el resultado, preferiblemente, de la comparación de dos mapas correspondientes. Normalmente se denomina “distancia” a una medida de la diferencia entre dos mapas o entre dos imágenes.

20 Los métodos “metaheurísticos” son métodos de optimización conocidos. Se eligen preferiblemente entre el grupo formado por

25 - los algoritmos evolutivos, preferiblemente elegidos entre: estrategias de evolución, algoritmos genéticos, algoritmos de evolución diferencial, algoritmos de estimación de distribución, sistemas inmunitarios artificiales, recomposición de ruta Shuffled Complex Evolution, recocido simulado, algoritmos de colonias de hormigas, algoritmos de optimización por enjambres de partículas, búsqueda con tabúes y el método GRASP;

- el algoritmo del canguro,

30 - el método de Fletcher y Powell,

- el método del ruido,

35 - la tunelización estocástica,

- la escalada de colinas con reinicios aleatorios,

- el método de la entropía cruzada, y

40 - los métodos híbridos entre los métodos metaheurísticos citados anteriormente.

Se denomina “descriptor” de una imagen a una información relativa, en particular, a la definición de las zonas de diente de esta imagen y a los valores de atributo de diente asociados a ellas, y/o relativa a un valor de atributo de imagen de dicha imagen. El número de valores posibles para un atributo de diente o un atributo de imagen no está limitado.

45 Una imagen “histórica” es una imagen de una arcada dental enriquecida con un descriptor. Las zonas de diente de una imagen histórica se denominan “zonas de diente históricas”.

50 “Que comprende” o “que incluye” o “que presenta” se interpretan de forma no restrictiva, salvo que se indique lo contrario.

Breve descripción de las figuras

Otras características y ventajas de la invención se harán evidentes con la lectura de la descripción detallada que sigue y con el examen de los dibujos adjuntos en donde:

55 - la Figura 1 representa, de forma esquemática, las distintas etapas de un método de análisis detallado de una imagen, según la invención;

60 - la Figura 2 representa, de forma esquemática, las distintas etapas de un método de enriquecimiento de una base de aprendizaje, según la invención;

- la Figura 3 representa, de forma esquemática, las distintas etapas de una variante de un método de enriquecimiento de una base de aprendizaje, según la invención;

65 - la Figura 4 representa, de forma esquemática, las distintas etapas de un método de análisis global de una imagen, según la invención;

- la Figura 5 representa, de forma esquemática, las distintas etapas de una etapa C) de un método de enriquecimiento de una base de aprendizaje, según la invención;
- 5 - las Figuras 6 y 18 representan, de forma esquemática, las distintas etapas de un método de modelización de la arcada dental de un paciente, según la invención;
- la Figura 7 representa, de forma esquemática, las distintas etapas de un método de evaluación de una situación dental de un paciente, según la invención;
- 10 - la Figura 8 representa, de forma esquemática, las distintas etapas de un método de adquisición de una imagen de una arcada dental de un paciente, según la invención;
- la Figura 9 representa, de forma esquemática, las distintas etapas de un método de evaluación de la forma de un alineador ortodóncico de un paciente, según la invención;
- 15 - la Figura 10 representa un ejemplo de una imagen de referencia de un modelo de referencia inicial;
- la Figura 11 (11a-11d) ilustra un tratamiento para determinar los modelos de diente en un modelo de referencia inicial;
- 20 - la Figura 12 (12a-12d) ilustra la adquisición de una imagen por medio de un separador, una operación de recorte de esta imagen y el tratamiento de una imagen actualizada que permite determinar el contorno de los dientes;
- 25 - la Figura 13 ilustra, de forma esquemática, la posición relativa de marcas 12 de referencia de un separador 10 en imágenes actualizadas 14₁ y 14₂ según las direcciones de observación representadas en trazos discontinuos;
- las Figuras 14 y 15 representan un alineador ortodóncico, en perspectiva y vista desde arriba, respectivamente;
- 30 - la Figura 16 ilustra la etapa e);
- la Figura 17 ilustra un método de enriquecimiento según la invención.

Descripción detallada

35 Un método de análisis detallado según la invención requiere la creación de una base de aprendizaje. Esta creación implementa preferiblemente un método que incluye las etapas A) a F), o, en una realización, en lugar de las etapas A) a C), preferiblemente las etapas A') a C').

Primera realización principal del método de enriquecimiento

40 **La etapa A)** está destinada a la realización de un modelo de referencia actualizado que modela una arcada del paciente. Preferiblemente comprende una o varias de las características de la etapa a) del documento WO 2016 066651 para realizar un modelo de referencia inicial.

45 El modelo de referencia actualizado se crea preferiblemente con un escáner 3D. Un modelo de este tipo, denominado "3D", puede observarse desde cualquier ángulo. Una observación del modelo, desde un ángulo y a una distancia determinados, se denomina "vista" o "imagen de referencia".

50 La Figura 11a es un ejemplo de imagen de referencia.

El modelo de referencia actualizado puede prepararse a partir de medidas efectuadas en los dientes del paciente o en un molde de sus dientes, por ejemplo un molde de yeso.

55 Para cada diente se define, a partir del modelo de referencia actualizado, un modelo de dicho diente, o "modelo de diente" (Figura 11d). Esta operación, conocida en sí misma, se denomina "segmentación" del modelo de referencia actualizado.

60 En el modelo de referencia actualizado, un modelo de diente está delimitado preferiblemente por un borde gingival que puede descomponerse en un borde gingival interior (en el lado del interior de la boca con respecto al diente), un borde gingival exterior (orientado hacia el exterior de la boca con respecto al diente) y dos bordes gingivales laterales.

Uno o varios atributos dentales se asocian a los modelos de diente en función de los dientes que modelan.

65 El atributo de diente se elige preferiblemente entre un número de diente, un tipo de diente, un parámetro de forma del diente, por ejemplo, un ancho de diente, en particular un ancho mesiopalatino, un espesor, una altura de corona, un índice de deflexión mesial y distal del borde incisivo, o un nivel de abrasión, un parámetro de aspecto del diente,

en particular un índice de translucidez o un parámetro de color, un parámetro relativo al estado del diente, por ejemplo, “desgastado”, “roto”, “cariado” o “con aparato” (es decir, en contacto con un aparato dental, preferiblemente ortodóncico), una edad para el paciente, o una combinación de estos atributos. Un atributo de diente es preferiblemente un atributo que se refiere solo al diente modelizado por el modelo de diente.

Se puede asignar un valor de atributo de diente a cada atributo de diente de un modelo de diente en particular.

Por ejemplo, el atributo de diente “tipo de diente” tendrá el valor “incisivo”, “canino” o “molar” dependiendo de si el modelo de diente es el de un incisivo, un canino o un molar, respectivamente.

La asignación de los valores de atributo de diente a los modelos de diente puede ser manual o, al menos en parte, automática. Por ejemplo, si el valor de un atributo de diente es idéntico independientemente del modelo de diente, como para el atributo de diente “edad del paciente”, puede ser suficiente atribuir un valor a un modelo de diente para determinar el valor de este atributo para los otros modelos de diente.

Del mismo modo, los números de diente se atribuyen normalmente según una regla estándar. Por lo tanto, es suficiente conocer esta regla y el número de un diente modelizado por un modelo de diente para calcular los números de los otros modelos de diente.

En una realización preferida, se analiza la forma de un modelo de diente en particular para definir su valor de atributo de diente, por ejemplo, su número. Este reconocimiento de forma se realiza preferiblemente mediante un dispositivo de aprendizaje profundo, preferiblemente una red neuronal. Preferiblemente, se crea una biblioteca de modelos de diente históricos, teniendo cada modelo de diente histórico un valor para el atributo de diente, como se describe a continuación (etapa a)), se entrena el dispositivo de aprendizaje profundo con vistas de los modelos de diente históricos de esta biblioteca, y luego se analiza una o varias vistas del modelo de diente en particular con el dispositivo de aprendizaje profundo entrenado, de manera que determine el valor de atributo de diente de dicho modelo de diente en particular.

La atribución de los valores de atributo de diente se puede realizar totalmente sin intervención humana.

La etapa B) está destinada a la adquisición de una o preferiblemente varias imágenes actualizadas. La etapa B) comprende preferiblemente una o varias de las características de la etapa b) del documento WO 2016 066651.

La adquisición de imágenes actualizadas se realiza por medio de un aparato de adquisición de imágenes, preferiblemente seleccionado entre un teléfono móvil, una cámara fotográfica denominada “conectada”, un reloj denominado “inteligente” o “smartwatch”, una tableta o un ordenador personal, fijo o portátil, que incluya un sistema de adquisición de imágenes, como una cámara web o una cámara fotográfica. Preferiblemente, el aparato de adquisición de imágenes es un teléfono móvil.

Aún más preferiblemente, el aparato de adquisición de imágenes está separado de la arcada dental más de 5 cm, más de 8 cm o incluso más de 10 cm, lo que evita la condensación de vapor de agua en la óptica del aparato de adquisición de imágenes y facilita el enfoque. Además, preferiblemente, el aparato de adquisición de imágenes, en particular el teléfono móvil, no está equipado con ninguna óptica específica para la adquisición de imágenes actualizadas, lo que es posible, en particular, debido a la separación de la arcada dental durante la adquisición.

Preferiblemente, una imagen actualizada es una fotografía o es una imagen extraída de una película. Preferiblemente, está en color, preferiblemente en color real.

Preferiblemente, la adquisición de la o las imágenes actualizadas la realiza el paciente, preferiblemente sin el uso de un soporte, apoyándose en el suelo e inmovilizando el aparato de adquisición de imágenes y, en particular, sin un trípode.

En una realización, la iniciación de la adquisición es automático, es decir, sin la acción de un operador, tan pronto como las condiciones de adquisición son aprobadas por el aparato de adquisición de imágenes, en particular cuando el aparato de adquisición de imágenes ha determinado que observa una arcada dental y/o un separador y que las condiciones de observación son satisfactorias (nitidez, luminosidad, incluso dimensiones de la representación de la arcada dental y/o el separador).

El intervalo de tiempo entre las etapas A) y B) es el menor posible para que los dientes no se hayan desplazado sustancialmente entre la realización del modelo actualizado y la adquisición de las imágenes actualizadas. Las imágenes de referencia que coincidan con las imágenes actualizadas se pueden adquirir observando el modelo de referencia actualizado.

Preferiblemente, se utiliza un separador dental 10 durante la etapa B), como se representa en la Figura 12a. El separador incluye habitualmente un soporte dotado de un reborde que se extiende alrededor de una abertura y dispuesto de manera que los labios del paciente puedan descansar sobre el mismo dejando que los dientes del paciente aparezcan a través de dicha abertura.

En la etapa C), se explora el modelo de referencia actualizado para encontrar, para cada imagen actualizada, una imagen de referencia que presente la concordancia máxima con la imagen actualizada.

La etapa C) puede comprender una o varias de las características de las etapas c), d) y e) del documento WO 2016 066651, en la medida en que se refieren a esta exploración.

5 Para cada imagen actualizada, se determina preferiblemente, de manera aproximada, un conjunto de condiciones de adquisición virtuales que se aproximan a las condiciones de adquisición reales en el momento de la adquisición de dicha imagen actualizada. Dicho de otro modo, se estima la posición del aparato de adquisición de imágenes con respecto a los dientes en el momento en que tomó la imagen actualizada (posición del aparato de adquisición en el espacio y orientación de este aparato). Esta evaluación aproximada permite, ventajosamente, limitar el número de pruebas en condiciones de adquisición virtuales durante las siguientes operaciones y, por tanto, permite acelerar considerablemente estas operaciones.

10 Para realizar esta evaluación aproximada se utilizan, preferiblemente, una o varias reglas heurísticas. Por ejemplo, preferiblemente, se excluyen de las condiciones de adquisición virtuales susceptibles de someterse a prueba durante las siguientes operaciones las condiciones que corresponden a una posición del aparato de adquisición de imágenes detrás de los dientes o a una distancia de los dientes superior a 1 m.

15 En una realización preferida, como se ilustra en la Figura 13, se utilizan marcas de referencia representadas en la imagen actualizada, y en particular marcas 12 de referencia del separador, para determinar una región del espacio sustancialmente cónica que delimita condiciones de adquisición virtuales susceptibles de someterse a prueba durante las siguientes operaciones, o “cono de prueba”.

Más precisamente, se disponen preferiblemente al menos tres marcas 12 de referencia no alineadas en el separador 10 y se miden de manera precisa sus posiciones relativas en el separador.

25 A continuación se referencian las marcas de referencia en la imagen actualizada, como se describió anteriormente. Simples cálculos trigonométricos permiten determinar de manera aproximada la dirección según la cual se ha tomado la imagen actualizada.

30 A continuación, para cada imagen actualizada, se busca una imagen de referencia que presente una concordancia máxima con la imagen actualizada. Esta búsqueda se realiza preferiblemente mediante un método metaheurístico, preferiblemente evolucionista, preferiblemente por recocido simulado.

35 Preferiblemente, en cualquier instante antes de la etapa C4), la imagen actualizada se analiza de manera que se realice un mapa actualizado que represente, al menos parcialmente, una información discriminadora. El mapa actualizado representa, por lo tanto, una información discriminadora en el sistema de referencia de la imagen actualizada.

40 La información discriminadora se elige preferiblemente del grupo constituido por una información de contorno, una información de color, una información de densidad, una información de distancia, una información de brillo, una información de saturación, una información sobre los reflejos y combinaciones de estas informaciones.

El experto en la técnica sabe cómo tratar una imagen actualizada para hacer que aparezca la información discriminadora.

45 Por ejemplo, la Figura 12d es un mapa actualizado del contorno de los dientes obtenido a partir de la imagen actualizada de la Figura 12b.

Dicha búsqueda incluye las siguientes etapas:

C1) determinación de condiciones de adquisición virtuales “que probar”;

50 C2) realización de una imagen de referencia del modelo de referencia actualizado en dichas condiciones de adquisición virtuales que probar;

C3) tratamiento de la imagen de referencia para realizar al menos un mapa de referencia que represente, al menos parcialmente, la información discriminadora;

55 C4) comparación de los mapas actualizado y de referencia de manera que se determine un valor para una función de evaluación, dependiendo dicho valor para la función de evaluación de las diferencias entre dichos mapas actualizado y de referencia y correspondiendo a una decisión de continuar o detener la búsqueda de condiciones de adquisición virtuales que se aproximen a dichas condiciones de adquisición reales con más exactitud que dichas condiciones de adquisición virtuales que probar determinadas en la última ejecución de la etapa C1);

C5) si dicho valor para la función de evaluación corresponde a una decisión de continuar dicha búsqueda, modificación de las condiciones de adquisición virtuales que probar, después repetición de la etapa C2).

65 **En la etapa C1)**, se comienza por determinar condiciones de adquisición virtuales que probar, es decir, una posición y una orientación virtuales susceptibles de corresponder a la posición y la orientación reales del aparato de adquisición

durante la captura de la imagen actualizada, pero también, preferiblemente, una calibración virtual susceptible de corresponder a la calibración real del aparato de adquisición durante la captura de la imagen actualizada.

5 Las primeras condiciones de adquisición virtuales que probar son preferiblemente condiciones de adquisición virtuales evaluadas aproximadamente, como se describió anteriormente.

10 **En la etapa C2),** se configura a continuación de manera virtual el aparato de adquisición de imágenes en las condiciones de adquisición virtuales que probar con el fin de adquirir una imagen de referencia del modelo de referencia actualizado en estas condiciones de adquisición virtuales que probar. Por tanto, la imagen de referencia corresponde a la imagen que habría tomado el aparato de adquisición de imágenes si se hubiera colocado respecto al modelo de referencia actualizado y opcionalmente calibrado en las condiciones de adquisición virtuales que probar.

15 Si la imagen actualizada se tomó sustancialmente en el mismo momento en el que se creó el modelo de referencia actualizado mediante un escaneo de los dientes del paciente, la posición de los dientes en la imagen actualizada es sustancialmente idéntica a la del modelo de referencia actualizado. Si las condiciones de adquisición virtuales que probar son exactamente las condiciones de adquisición reales, entonces la imagen de referencia es exactamente superponible a la imagen actualizada. Las diferencias entre la imagen actualizada y la imagen de referencia son el resultado de errores en la evaluación de las condiciones de adquisición virtuales que probar si no corresponden exactamente a las condiciones de adquisición reales.

20 **En la etapa C3),** se trata la imagen de referencia, como la imagen actualizada, para realizar, a partir de la imagen de referencia, un mapa de referencia que represente la información discriminativa (Figuras 11a y 11b). El experto en la técnica sabe cómo tratar una imagen de referencia para hacer que aparezca la información discriminativa.

25 **En la etapa C4),** se comparan los mapas actualizado y de referencia, llevando ambos la misma información discriminativa, y se evalúa la diferencia o “distancia” entre estos dos mapas por medio de una puntuación. Por ejemplo, si la información discriminativa es el contorno de los dientes, puede compararse la distancia media entre los puntos del contorno de los dientes que aparece en la imagen de referencia y los puntos del contorno correspondiente que aparece en la imagen actualizada, siendo la puntuación más alta cuanto menor sea esta distancia.

30 La puntuación puede ser, por ejemplo, un coeficiente de correlación.

35 Preferiblemente, las condiciones de adquisición virtuales comprenden los parámetros de calibración del aparato de adquisición. La puntuación es más alta cuanto más se aproximen los valores de los parámetros de calibración probados a los valores de los parámetros de calibración del aparato de adquisición utilizado durante la adquisición de la imagen actualizada. Por ejemplo, si la apertura probada del diafragma está lejos de la del aparato de adquisición utilizado durante la adquisición de la imagen actualizada, la imagen de referencia presenta regiones desenfocadas y regiones nítidas que no corresponden a las regiones desenfocadas y a las regiones nítidas de la imagen actualizada. Si la información discriminativa es el contorno de los dientes, entonces los mapas actualizado y de referencia no representarán los mismos contornos y la puntuación será baja.

40 A continuación se evalúa la puntuación por medio de una función de evaluación. La función de evaluación permite decidir si la realización de ciclos en las etapas C1) a C5) debe continuarse o detenerse. La función de evaluación puede ser, por ejemplo, igual a 0 si debe detenerse la realización de ciclos, o ser igual a 1 si debe continuarse la realización de ciclos.

45 El valor de la función de evaluación puede depender de la puntuación alcanzada. Por ejemplo, puede decidirse continuar la realización de ciclos si la puntuación no supera un umbral. Por ejemplo, si una correspondencia exacta entre las imágenes actualizada y de referencia conduce a una puntuación del 100 %, el umbral puede ser, por ejemplo, del 95 %. Evidentemente, cuanto más alto sea el umbral, mejor será la precisión de la evaluación de las condiciones de adquisición virtuales si la puntuación logra superar este umbral.

50 El valor de la función de evaluación igualmente puede depender de puntuaciones obtenidas con condiciones de adquisición virtuales probadas anteriormente.

55 El valor de la función de evaluación igualmente puede depender de parámetros aleatorios y/o del número de ciclos ya efectuados.

60 En particular, es posible que, a pesar de la repetición de los ciclos, no se logre encontrar condiciones de adquisición virtuales que sean lo suficientemente próximas a las condiciones de adquisición reales para que la puntuación alcance dicho umbral. La función de evaluación puede conducir entonces a la decisión de abandonar el ciclo aunque la mejor puntuación obtenida no haya alcanzado dicho umbral. Esta decisión puede resultar, por ejemplo, de un número de ciclos superior a un número máximo predeterminado.

65 Un parámetro aleatorio en la función de evaluación igualmente puede permitir seguir probando nuevas condiciones de adquisición virtuales, aunque la puntuación parezca satisfactoria.

Las funciones de evaluación habitualmente utilizadas en los procedimientos de optimización metaheurísticos, preferiblemente evolutivos, en particular en los procedimientos de recocido simulado, pueden utilizarse para la función de evaluación.

5 **En la etapa C5)**, si el valor de la función de evaluación indica que se decide continuar la realización de ciclos, se modifican las condiciones de adquisición virtuales que probar y se reinicia la realización de ciclos en las etapas C1) a C5) que consiste en realizar una imagen de referencia y un mapa de referencia, en comparar el mapa de referencia con el mapa actualizado para determinar una puntuación y, a continuación, en tomar una decisión en función de esta puntuación.

10 La modificación de las condiciones de adquisición virtuales que probar corresponde a un desplazamiento virtual en el espacio y/o a una modificación de la orientación y/o, preferiblemente, a una modificación de la calibración del aparato de adquisición. Esta modificación puede ser aleatoria, preferiblemente de manera que las nuevas condiciones de adquisición virtuales que probar pertenezcan siempre al conjunto determinado en la evaluación aproximada. La modificación se guía preferiblemente por reglas heurísticas, por ejemplo, favoreciendo las modificaciones que, según
15 un análisis de las puntuaciones anteriores obtenidas, parecen las más favorables para aumentar la puntuación.

La realización de ciclos se continúa hasta que el valor de la función de evaluación indique que se decide terminar esta realización de ciclos y continuar con la etapa D), por ejemplo si la puntuación alcanza o supera dicho umbral.

20 La optimización de las condiciones de adquisición virtuales se efectúa preferiblemente utilizando un método metaheurístico, preferiblemente evolutivo, preferiblemente un algoritmo de recocido simulado. Un algoritmo de este tipo se conoce bien para la optimización no lineal.

25 Si se ha abandonado la realización de ciclos sin que haya podido obtenerse una puntuación satisfactoria, por ejemplo sin que la puntuación haya podido alcanzar dicho umbral, el método puede detenerse (situación de fallo) o puede lanzarse una nueva etapa C) con una nueva información discriminatoria y/o con una nueva imagen actualizada. El método igualmente puede continuarse con las condiciones de adquisición virtuales correspondientes a la mejor puntuación alcanzada. Puede emitirse un aviso con el fin de informar al usuario del error en el resultado.

30 Si se ha abandonado la realización de ciclos pero se ha podido obtener una puntuación satisfactoria, por ejemplo porque la puntuación ha alcanzado, incluso superado, dicho umbral, las condiciones de adquisición virtuales corresponden sustancialmente a las condiciones de adquisición reales de la imagen actualizada.

35 Preferiblemente, las condiciones de adquisición virtuales comprenden los parámetros de calibración del aparato de adquisición. El método permite por lo tanto evaluar los valores de estos parámetros sin que sea necesario conocer la naturaleza del aparato de adquisición o su ajuste. Por tanto, la adquisición de imágenes actualizadas la puede realizar, por ejemplo, el propio paciente sin prestar especial atención por medio de su teléfono móvil.

40 Además, la búsqueda de la calibración real se efectúa comparando una imagen actualizada con vistas de un modelo de referencia en condiciones de adquisición virtuales que probar. Ventajosamente, no necesita que la imagen actualizada haga que aparezca un calibre patrón de calibración, es decir un calibre del que se conocen con precisión las características que permiten determinar la calibración del aparato de adquisición.

45 La etapa C) da lugar, por lo tanto, a la determinación de condiciones de adquisición virtuales que presentan una concordancia máxima con las condiciones de adquisición reales. Por lo tanto, la imagen de referencia está en concordancia máxima con la imagen actualizada, es decir, estas dos imágenes son sustancialmente superponibles.

50 En una realización, dicha búsqueda de las condiciones de adquisición virtuales en la etapa C) se efectúa utilizando un método metaheurístico, preferiblemente evolutivo, preferiblemente un algoritmo de recocido simulado.

En la etapa D), se identifican las zonas de diente de referencia en la imagen de referencia y se trasladan a la imagen actualizada para definir las zonas de diente actualizadas correspondientes.

55 En particular, la imagen de referencia es una vista del modelo de referencia actualizado segmentado en modelos de diente. Por lo tanto, se pueden identificar los límites de la representación de cada modelo de diente en la imagen de referencia, o “zona de diente de referencia”.

60 La superposición de las imágenes actualizada y de referencia permite a continuación trasladar los límites de las zonas de diente de referencia a la imagen actualizada, y así definir las zonas de diente actualizadas. Dado que la imagen de referencia está en concordancia máxima con la imagen actualizada, las zonas de diente actualizadas definen sustancialmente los límites de los modelos de diente representados en la imagen de referencia.

En la etapa E) se asigna, a cada zona de diente actualizada, el o los valores de atributo de diente del modelo de diente que le corresponde.

65

En particular, la imagen de referencia es una vista del modelo de referencia actualizado en donde se han asignado a los modelos de diente valores de atributo de diente respectivos para al menos un atributo de diente, por ejemplo, un número de diente. Por lo tanto, cada zona del diente de referencia puede heredar el valor de atributo de diente del modelo de diente que representa. Cada zona de diente actualizada puede heredar, a continuación, el valor de atributo de diente de la zona de diente de referencia que ha permitido definirla.

Al final de la etapa E), se obtiene, por tanto, una imagen actualizada y un descriptor de la imagen actualizada que define una o varias zonas de diente actualizadas y, para cada una de estas zonas, un valor de atributo de diente para al menos un atributo de diente, por ejemplo, un número de diente.

Se denomina “imagen histórica” a la imagen actualizada enriquecida con su descriptor.

La Figura 17a muestra un ejemplo de imagen actualizada (adquirida en la etapa B)) que se está analizando con el fin de determinar los contornos de los dientes. La Figura 17b muestra la imagen de referencia presentando una concordancia máxima con la imagen actualizada (resultante de la etapa C)). Los números de los dientes se indican en los dientes correspondientes. La Figura 17C ilustra el traslado de los números de diente a las zonas de diente actualizadas (etapas D) y E)).

En la etapa F), la imagen histórica se añade a la base de aprendizaje.

Las etapas A) a F) se realizan preferiblemente para más de 1.000, más de 5.000, o más de 10.000 pacientes diferentes, o “pacientes históricos”.

Como ya es evidente, la invención proporciona un método particularmente eficaz para crear una base de aprendizaje.

La invención también se refiere a un método de entrenamiento de un dispositivo de aprendizaje profundo, preferiblemente una red neuronal, incluyendo dicho método un enriquecimiento de una base de aprendizaje siguiendo un método que incluye las etapas A) a F) de manera que se adquiera una pluralidad de imágenes históricas, y luego el uso de dicha base de aprendizaje para entrenar dicho dispositivo de aprendizaje profundo.

Segunda realización principal del método de enriquecimiento

No obstante, la invención no se limita a los modos de realización descritos anteriormente.

En particular, el modelo de referencia actualizado no es necesariamente el resultado directo de un escaneo de la arcada del paciente. El modelo de referencia actualizado puede ser, en particular, un modelo obtenido por deformación de un modelo de referencia inicial que es el resultado directo de este escaneo.

El método incluye entonces, preferiblemente, en lugar de las etapas A) a C), las etapas A') a C').

La **etapa A')** es un caso idéntico a la etapa A). Sin embargo, en la etapa A'), el modelo de referencia generado está destinado a ser modificado. Por lo tanto, se califica como “modelo de referencia inicial” y no como “modelo de referencia actualizado” como en la etapa A).

En particular, el modelo de referencia inicial puede generarse en un instante inicial anterior a un tratamiento ortodóncico activo, por ejemplo, menos de 6 meses, menos de 3 meses o menos de 1 mes antes del inicio del tratamiento. Las etapas B') a C') se pueden implementar entonces para seguir la evolución del tratamiento entre el instante inicial y el instante actualizado de la etapa B').

El instante inicial puede ser, alternativamente, un instante al final del tratamiento ortodóncico activo, por ejemplo, menos de 6 meses, menos de 3 meses o menos de 1 mes después del final del tratamiento. Las etapas B') a C') se pueden implementar entonces para vigilar la aparición de una posible recidiva.

La **etapa B')** es idéntica a la etapa B). Sin embargo, en la etapa B'), las imágenes actualizadas también están destinadas a guiar la modificación del modelo de referencia inicial para definir el modelo de referencia actualizado, en la etapa C').

El intervalo de tiempo entre las etapas A') y B') no es limitado, ya que, como se explica a continuación, el modelo de referencia inicial se deformará para obtener un modelo de referencia actualizado en concordancia máxima con las imágenes actualizadas. El intervalo de tiempo entre las etapas A') y B') puede ser superior a 1 semana, a 2 semanas, a 1 mes, a 2 meses o a 6 meses.

La **etapa C')** es más compleja que la etapa C) ya que la búsqueda de una imagen de referencia que presente una concordancia máxima con una imagen actualizada no se limita a buscar las condiciones de adquisición virtuales óptimas. También comprende una búsqueda de un modelo de referencia actualizado, es decir, de un modelo de referencia en donde los dientes tienen sustancialmente la misma posición que en la imagen actualizada.

La etapa C') comprende, preferiblemente, una o varias de las características de las etapas c), d) y e) del documento WO 2016 066651, y en particular de la etapa e) ilustrada en la Figura 16.

5 El objetivo es modificar el modelo de referencia inicial hasta obtener un modelo de referencia actualizado que presente una concordancia máxima con la imagen actualizada. Por tanto, de manera ideal, el modelo de referencia actualizado es un modelo de la arcada a partir del cual habría podido tomarse la imagen actualizada si este modelo hubiera sido la propia arcada.

10 Por tanto, se somete a prueba una sucesión de modelos de referencia "que van a someterse a prueba", dependiendo preferiblemente la elección de un modelo de referencia que va a someterse a prueba del nivel de correspondencia de los modelos de referencia "que van a someterse a prueba" sometidos anteriormente a prueba con la imagen actualizada.

Preferiblemente, la búsqueda incluye, para una imagen actualizada,

15 - una primera operación de optimización que permita buscar, en un modelo de referencia que probar determinado a partir del modelo de referencia inicial, condiciones de adquisición virtuales que mejor se correspondan a las condiciones de adquisición reales de la imagen actualizada, y

20 - una segunda operación de optimización que permita buscar, probando una pluralidad de dichos modelos de referencia que probar, el modelo de referencia que mejor corresponda al posicionamiento de los dientes del paciente durante la adquisición de la imagen actualizada.

Preferiblemente, se efectúa una primera operación de optimización para cada prueba de un modelo de referencia que va a someterse a prueba durante la segunda operación de optimización.

25 Preferiblemente, la primera operación de optimización y/o la segunda operación de optimización, preferiblemente la primera operación de optimización y la segunda operación de optimización, implementan un método metaheurístico, preferiblemente evolutivo, preferiblemente un recocido simulado.

30 Por lo tanto, la etapa C') da lugar a la determinación

- de un modelo de referencia actualizado que presenta una concordancia máxima con la imagen actualizada, y

35 - condiciones de adquisición virtuales que presentan una concordancia máxima con las condiciones de adquisición reales.

Un método que incluya las etapas A') a C') puede implementarse ventajosamente en el marco de un tratamiento ortodóncico activo o pasivo o, de manera más general, para seguir cualquier evolución de los dientes.

40 En los diferentes procedimientos según la invención, el enriquecimiento de la base de aprendizaje no es necesariamente el resultado de un método de enriquecimiento según la invención.

45 En una realización, la base de aprendizaje es creada por un operador. Por lo tanto, este último analiza miles de imágenes de análisis. Para que la base de aprendizaje pueda servir para la implementación de un método de análisis detallado, determina las zonas de diente y luego les atribuye valores de atributo de diente. Para que la base de aprendizaje pueda servir para la implementación de un método de análisis global, atribuye valores de atributo de imagen a cada imagen. Por lo tanto, puede constituir imágenes históricas.

50 Método de análisis detallado de imágenes

El método de análisis detallado de una "imagen de análisis" de una arcada dental de un paciente según la invención incluye las etapas 1) a 4).

55 Preferiblemente, la imagen de análisis, preferiblemente una fotografía o una imagen extraída de una película, preferiblemente en color, preferiblemente en color real, se adquiere con un aparato de adquisición de imágenes, preferiblemente un teléfono móvil, separado de la arcada dental en más de 5 cm, más de 8 cm o incluso más de 10 cm y que, preferiblemente, no está provisto de ninguna óptica específica.

60 Preferiblemente, la imagen de análisis representa varios dientes, preferiblemente más de 2, más de 3, más de 4 o más de 5 dientes del paciente.

La Figura 12a o la Figura 12b podrían ser ejemplos de imágenes de análisis. La disposición de los dientes es realista, es decir, corresponde a la observada por el aparato de adquisición de imágenes cuando adquirió la imagen de análisis.

65 Preferiblemente, la adquisición de la imagen de análisis la realiza el paciente, preferiblemente sin el uso de un soporte, apoyándose en el suelo e inmovilizando el aparato de adquisición de imágenes y, en particular, sin un trípode.

En una realización, la iniciación de la adquisición de la imagen de análisis es automático, es decir, sin la acción de un operador, tan pronto como las condiciones de adquisición son aprobadas por el aparato de adquisición de imágenes, en particular cuando el aparato de adquisición de imágenes ha determinado que observa una arcada dental y/o un separador y que las condiciones de observación son satisfactorias (nitidez, luminosidad, incluso dimensiones de la representación de la arcada dental y/o el separador).

En la etapa 1), se crea una base de aprendizaje que incluya más de 1.000, preferiblemente más de 5.000, preferiblemente más de 10.000, preferiblemente más de 30.000, preferiblemente más de 50.000, preferiblemente más de 100.000 imágenes históricas. Cuanto mayor sea el número de imágenes históricas, mejor será el análisis realizado por el método.

Preferiblemente se utiliza una base de aprendizaje enriquecida siguiendo un método de enriquecimiento según la invención.

Sin embargo, la base de aprendizaje se puede constituir siguiendo otros procedimientos, por ejemplo, se puede crear manualmente. Para crear una imagen histórica de la base de aprendizaje, un operador, preferiblemente un ortodoncista, identifica una o varias zonas de diente "históricas" en una imagen prevista, y luego asigna, a cada zona histórica identificada de diente, un valor para al menos un atributo de diente

En la etapa 2), se entrena un dispositivo de aprendizaje profundo, preferiblemente una red neuronal, con la base de aprendizaje.

Una "red neuronal" o "red neuronal artificial" es un conjunto de algoritmos muy conocido por el experto en la técnica.

La red neuronal puede seleccionarse en particular de entre:

- las redes especializadas en la clasificación de imágenes, denominadas "CNN" ("Convolutional neural network"), por ejemplo

- AlexNet (2012)

- ZF Net (2013)

- VGG Net (2014)

- GoogleNet (2015)

- Microsoft ResNet (2015)

- Caffe: BAIR Reference CaffeNet, BAIR AlexNet

- Torch: VGG_CNN_S, VGG_CNN_M, VGG_CNN_M_2048, VGG_CNN_M_10_24, VGG_CNN_M_128, VGG_CNN_F, VGG_ILSVRC-2014 16 capas, VGG_ILSVRC-2014 19 capas, Network-in-Network (Imagenet & CIFAR-10)

- Google: Inception (V3, V4).

las redes especializadas en la localización y detección de objetos en una imagen, las Object Detection Network, por ejemplo:

- R-CNN (2013)

- SSD (Single Shot MultiBox Detector: Object Detection network), Faster R-CNN (Faster Region-based Convolutional Network method: Object Detection network)

- Faster R-CNN (2015)

- SSD (2015).

La lista anterior no es limitativa.

En la etapa 2), el dispositivo de aprendizaje profundo es entrenado preferiblemente por un proceso de aprendizaje denominado "deep learning". Al presentar, como entrada del dispositivo de aprendizaje profundo, imágenes históricas (imágenes + descriptores), el dispositivo de aprendizaje profundo aprende progresivamente a reconocer en una imagen motivos, en inglés "patterns", y a asociarlos a zonas de diente y a valores de atributos de diente, por ejemplo, números de diente.

En la etapa 3), se somete la imagen que se desea analizar, o "imagen de análisis", al dispositivo de aprendizaje profundo.

Gracias a su entrenamiento en la etapa 2), el dispositivo de aprendizaje profundo es capaz de analizar la imagen de análisis y reconocer en ella dichos motivos. En particular, puede determinar una probabilidad relativa a:

- 5 - la presencia, en un lugar en dicha imagen de análisis, de una zona que represente, al menos parcialmente, un diente, o “zona de diente de análisis”,
- el valor de atributo del diente representado en dicha zona de diente de análisis.

10 Por ejemplo, es capaz de determinar que hay un 95 % de posibilidades de que una forma de la imagen de análisis represente un incisivo.

Preferiblemente, el dispositivo de aprendizaje profundo analiza toda la imagen de análisis y determina las probabilidades para el conjunto de zonas de diente de análisis que ha identificado.

15 **En la etapa 4)**, se analizan los resultados de la etapa anterior para determinar los dientes representados en la imagen de análisis.

20 Cuando la base de aprendizaje incluye más de 10.000 imágenes históricas, la etapa 3) conduce a resultados particularmente satisfactorios. En particular, una base de aprendizaje de este tipo permite establecer un umbral de probabilidad tal que si una probabilidad asociada a una zona de diente de análisis y a un valor de atributo de diente para esta zona de diente de análisis excede dicho umbral, la zona de diente de análisis representa efectivamente un diente que tiene dicho valor de atributo de diente.

25 La etapa 4) conduce así a la definición de una imagen de análisis enriquecida con un descriptor que define las zonas de diente de análisis y, para cada zona de diente de análisis, los valores de los atributos de diente representados por la zona de diente de análisis.

30 Método de análisis global de imágenes

El método de análisis global de una imagen actualizada de una arcada dental de un paciente según la invención incluye las etapas 1') a 3').

35 El método es similar al método de análisis detallado descrito anteriormente, con la diferencia de que, según el análisis global, no es necesario analizar la situación individual de cada diente. El análisis es global en toda la imagen. Dicho de otro modo, el dispositivo de aprendizaje profundo determina el valor de un atributo “de imagen” sin tener que determinar previamente los valores de atributo de diente.

40 Por ejemplo, el dispositivo de aprendizaje profundo puede concluir que, “globalmente”, la situación dental es “satisfactoria” o “insatisfactoria”, sin determinar el diente que eventualmente está en el origen de la insatisfacción.

La etapa 1') es similar a la etapa 1). Sin embargo, las imágenes históricas incluyen un descriptor que especifica un valor de atributo de imagen para cada imagen.

45 **La etapa 2')** es similar a la etapa 2).

En la etapa 3'), se somete la imagen de análisis al dispositivo de aprendizaje profundo.

50 Gracias a su entrenamiento en la etapa 2'), el dispositivo de aprendizaje profundo es capaz de analizar la imagen de análisis y reconocer en ella dichos motivos. En función de estos motivos, puede determinar, en particular, una probabilidad relativa al valor del atributo de imagen considerado.

Aplicación en la modelización de una arcada dental

55 Un método de análisis detallado según la invención es en particular útil para modelar una arcada dental, especialmente para el establecimiento de un diagnóstico a distancia.

60 Es deseable que cada uno controle regularmente su dentición, concretamente con el fin de verificar que la posición de los dientes no evolucione de manera desfavorable. Durante un tratamiento ortodóncico, esta evolución desfavorable puede conducir concretamente a modificar el tratamiento. Tras un tratamiento ortodóncico, una evolución desfavorable, denominada “recidiva”, puede conducir a una reanudación de un tratamiento. Finalmente, de manera más general e independientemente de cualquier tratamiento, cada uno puede desear realizar un seguimiento de los eventuales desplazamientos de sus dientes.

Habitualmente, los controles los efectúa un ortodoncista que dispone de los aparatos apropiados. Por tanto, estos controles son costosos. Además, las visitas resultan restrictivas. Finalmente, algunas personas temen una visita a un ortodoncista y renunciarán a concertar una cita para un simple control o para evaluar la viabilidad de un tratamiento ortodóncico.

5 El documento US 2009/0291417 describe un método que permite crear, y después modificar, modelos tridimensionales, concretamente para la fabricación de aparatos ortodóncicos.

10 El documento WO 2016 066651 describe un método de control del posicionamiento y/o de la forma y/o del aspecto de los dientes de un paciente. Este método incluye una etapa de creación de un modelo de referencia inicial de los dientes, en un instante inicial, preferiblemente con un escáner 3D, y luego, en un instante posterior, o “instante actualizado”, por ejemplo, seis meses después del instante inicial, la creación de un modelo de referencia actualizado, por deformación del modelo de referencia inicial. Esta deformación se realiza de manera que el modelo de referencia actualizado permita observaciones sustancialmente idénticas a las imágenes de los dientes adquiridas en el instante actualizado, en particular a las fotografías o imágenes de un vídeo tomadas por el propio paciente, sin precauciones especiales, denominadas “imágenes actualizadas”.

15 Por lo tanto, las imágenes actualizadas sirven para modificar el modelo de referencia inicial, muy preciso. El modelo de referencia actualizado que es el resultado de la deformación del modelo de referencia inicial, guiado por el análisis de las imágenes actualizadas, también es muy preciso.

20 Sin embargo, el método descrito en el documento WO 2016/66651 requiere una cita con el ortodoncista para crear el modelo de referencia inicial. Esta cita constituye un freno a la prevención. De hecho, un paciente no necesariamente consultará a un ortodoncista si no siente la necesidad. Dicho de otro modo, el método a menudo se implementa solo cuando se encuentra una mala oclusión que debe corregirse.

25 Por lo tanto, existe una necesidad de un método que responda a este problema, facilitando la prevención.

Un objeto de la invención es responder a esta necesidad.

30 Para ello, la invención propone un método de modelización de una arcada dental de un paciente, incluyendo dicho método las siguientes etapas:

35 a) creación de una biblioteca histórica que incluye más de 1.000 modelos de diente, denominados “modelos de diente históricos”, y atribución a cada modelo de diente histórico de un valor para al menos un atributo de diente, o “valor de atributo de diente”;

40 b) análisis de al menos una “imagen de análisis” de la arcada dental siguiendo un método de análisis detallado según la invención, para determinar al menos una zona de diente de análisis y al menos un valor de atributo de diente asociado a dicha zona de diente de análisis;

c) para cada zona de diente de análisis determinada en la etapa anterior, buscar, en la biblioteca histórica, un modelo de diente histórico que presente una proximidad máxima con la imagen de análisis o con la zona de diente de análisis, o “modelo de diente óptimo”;

45 d) disposición del conjunto de modelos de diente óptimos de manera que se cree un modelo que presente una concordancia máxima con la imagen actualizada, o “modelo ensamblado”;

50 e) opcionalmente, sustitución de al menos un modelo de diente óptimo por otro modelo de diente histórico y repetición de la etapa d) de manera que se maximice la concordancia entre el modelo ensamblado y la imagen de análisis;

f) opcionalmente, repetición de la etapa b) con otra imagen de análisis y, en la etapa d) y/o e), búsqueda de una concordancia máxima con el conjunto de imágenes de análisis utilizadas.

55 La invención permite así, a partir de una simple imagen de análisis, por ejemplo, de una fotografía tomada mediante un teléfono móvil, reconstruir, con una buena fiabilidad, una arcada dental en forma de un modelo ensamblado.

La imagen de análisis se puede adquirir en particular como se describe en la etapa 1) anterior.

60 Evidentemente, el análisis de una sola imagen de análisis no es suficiente para generar un modelo ensamblado que se corresponda precisamente a la disposición de los dientes del paciente. Sin embargo, esta precisión generalmente no es indispensable para realizar un primer diagnóstico de la situación dental del paciente.

Además, la precisión del modelo ensamblado se puede aumentar si se tratan varias imágenes de análisis.

Las etapas b) a c) se implementan preferiblemente para varias imágenes de análisis y, en las etapas d) y e), se buscan modelos de diente óptimos y un modelo ensamblado de manera que se obtenga una concordancia máxima con respecto al conjunto de imágenes de análisis (etapa f)).

5 La invención también se refiere a un método de evaluación de una situación dental de un paciente, incluyendo las siguientes etapas:

- i) creación de un modelo ensamblado siguiendo un método de modelización según la invención;
- 10 ii) transmisión del modelo ensamblado a un destinatario, preferiblemente un ortodoncista y/o un ordenador;
- iii) análisis de la situación ortodóncica del paciente, por el destinatario, a partir del modelo ensamblado;
- 15 iv) preferiblemente, información al paciente de la situación ortodóncica, preferiblemente, a través de su teléfono móvil.

Por lo tanto, el paciente puede pedir muy fácilmente a un ortodoncista que verifique su situación dental, incluso sin tener que desplazarse, limitándose a transmitir una o, preferiblemente, varias fotos de sus dientes.

A continuación se describe en detalle un método de modelización.

20 **En la etapa a)**, se crea una biblioteca histórica 20 (Figura 18) que incluya más de 1.000, preferiblemente más de 5.000, preferiblemente más de 10.000 modelos de diente históricos 22. Cuanto mayor sea el número de modelos de diente históricos, más preciso será el modelo ensamblado.

25 En particular, se puede obtener un modelo de diente histórico a partir de un modelo de una arcada dental de un paciente "histórico" obtenido con un escáner. Este modelo de arcada se puede segmentar con el fin de aislar las representaciones de los dientes, como en la Figura 11d. Cada una de estas representaciones, que presentan un tono de gris específico en la Figura 11d, puede constituir un modelo de diente histórico.

30 Preferiblemente, se enriquece la biblioteca con los modelos de diente resultantes de la implementación de la etapa A) o A') descrita anteriormente.

Uno o varios atributos de diente, en particular elegido de la lista proporcionada anteriormente, se asocian a los modelos de diente. Se asigna un valor de atributo de diente a cada atributo de diente de un modelo de diente en particular, como se describió anteriormente (véase la descripción de la etapa A)). Por ejemplo, un modelo de diente es el de un "incisivo", "muy desgastado" y cuyos parámetros de color son, en el sistema de colores L*a*b* según la norma NF ISO 7724, "a*=2", "b*=1" y "L*=58".

40 Por lo tanto, la biblioteca histórica contiene modelos de diente históricos y valores de atributo asociados que facilitan la búsqueda en la etapa c). En la Figura 18, solo se han representado en la biblioteca histórica 20 modelos de diente históricos 22 que representan molares.

45 **En la etapa b)**, se adquiere la imagen de análisis, como se describió anteriormente para la etapa B), antes de analizarla. En particular, la imagen de análisis es preferiblemente una fotografía o una imagen de una película, preferiblemente con un teléfono móvil.

La imagen de análisis se puede adquirir en cualquier momento después de la etapa a), por ejemplo, más de 1 semana, más de 1 mes o más de 6 meses después de la etapa a).

50 La imagen de análisis se analiza siguiendo un método de análisis detallado según la invención. Las características opcionales de este método también son opcionales en la etapa b).

Al final de la etapa b), se obtiene una imagen de análisis enriquecida con un descriptor que proporciona, para cada zona de diente de análisis, un valor de atributo de diente para al menos un atributo de diente, por ejemplo, un número de diente.

55 **En la etapa c)**, se busca en la biblioteca histórica, para cada zona de diente de análisis determinada en la etapa anterior, un modelo de diente histórico que presente una proximidad máxima con la zona de diente de análisis. Este modelo de diente se califica como "modelo de diente óptimo".

60 La "proximidad" es una medida de una o varias diferencias entre el modelo de diente histórico y la zona de diente de análisis. Estas diferencias pueden incluir una diferencia de forma, pero también otras diferencias como una diferencia de translucidez o de color. Se puede buscar la proximidad máxima minimizando sucesivamente varias diferencias, o minimizando una combinación de estas diferencias, por ejemplo, una suma ponderada de estas diferencias.

65 Por lo tanto, la "proximidad" es un concepto más amplio que la "concordancia", ya que la concordancia solo mide una proximidad relativa a la forma.

La evaluación de la proximidad de un modelo de diente histórico con una zona de diente de análisis incluye preferiblemente una comparación de al menos un valor de un atributo de diente de la zona de diente de análisis con el valor de ese atributo para el modelo de diente histórico. Una evaluación de este tipo es ventajosamente muy rápida.

Por ejemplo, si el descriptor de la zona de diente de análisis proporciona un valor para el tipo o el número del diente, el espesor del diente representado y/o la altura de su corona y/o su ancho mesiopalatino y/o el índice de deflexión mesial y distal de su borde incisivo, este valor se puede comparar con el valor del atributo correspondiente de cada uno de los modelos de diente históricos.

Preferiblemente, se busca un modelo de diente histórico que tenga, para al menos un atributo de diente, el mismo valor que dicha zona de diente de análisis. El atributo de diente puede ser, en particular, relativo al tipo de diente o al número de diente. Dicho de otro modo, se filtran los modelos de diente histórico para examinar más en detalle solo aquellos que son relativos al mismo tipo de diente que el diente representado en la zona de diente de análisis.

Alternativamente, o preferiblemente, como complemento de esta comparación de valores de atributo, la forma del diente representada en la zona de diente de análisis se puede comparar con la forma de un modelo de diente histórico que evaluar, preferiblemente, mediante un método metaheurístico, preferiblemente evolutivo, preferiblemente mediante recocido simulado.

Para ello, se observa desde diferentes ángulos el modelo de diente histórico que evaluar. Cada vista así obtenida se compara con la imagen de análisis, preferiblemente con la zona de diente de análisis de manera que se establezca una “distancia” entre esta vista y dicha imagen de análisis o, preferiblemente, dicha zona de diente de análisis. La distancia mide así la diferencia entre la vista y la zona de diente de análisis.

La distancia se puede determinar después de un tratamiento de la vista y de la imagen de análisis o, preferiblemente, de la zona de diente de análisis, de manera que aparezca, en los mapas correspondientes, una misma información discriminativa, por ejemplo, una información de contorno, como se describió anteriormente en la etapa C3).

Para cada modelo de diente histórico probado, se determina así una vista que proporciona una distancia mínima con la imagen de análisis o con la zona de diente de análisis. Cada modelo de diente histórico examinado se asocia así a una distancia mínima particular, que mide su proximidad de forma con la zona de diente de análisis.

El modelo de diente histórico óptimo es el que, en relación con la o las comparaciones realizadas, se considera el más próximo de la zona de diente de análisis.

A continuación, se comparan las distancias mínimas obtenidas para los diferentes modelos de diente probados y se selecciona, para definir el modelo de diente óptimo, el que presente la distancia mínima más pequeña. Por lo tanto, el modelo de diente óptimo presenta una concordancia máxima con la imagen de análisis.

La búsqueda de la concordancia máxima se realiza preferiblemente mediante un método metaheurístico, preferiblemente evolutivo, preferiblemente por recocido simulado.

En una realización preferida, se realiza sucesivamente una primera evaluación de los modelos de diente históricos mediante la comparación de los valores de al menos un atributo de diente, por ejemplo, el número de diente, con los valores correspondientes de la zona de diente de análisis, y luego una segunda evaluación mediante la comparación de forma. La primera evaluación, rápida, permite ventajosamente filtrar los modelos de diente históricos con el fin de someter a la segunda evaluación, más lenta, solo los modelos de diente históricos seleccionados por la primera evaluación.

Por ejemplo, si una zona de diente de análisis representa un diente n.º 15, la primera evaluación permite seleccionar únicamente los modelos de diente que modelan dientes n.º 15. En la segunda evaluación, se busca, entre el conjunto de modelos de diente históricos que modelan los dientes n.º 15, el modelo de diente histórico cuya forma se aproxime más a la del diente representado.

Más preferiblemente, se realizan varias primeras evaluaciones antes de realizar la segunda evaluación. Por ejemplo, las primeras evaluaciones permiten filtrar los modelos de diente históricos para seleccionar solo los modelos de diente que modelan dientes n.º 15 y que tienen una altura de corona comprendida entre 8 y 8,5 mm.

Al final de la etapa c), se asocia así un modelo de diente óptimo a cada una de las zonas de diente de análisis.

Por ejemplo, en la Figura 18, el modelo de diente histórico 22₁ se puede observar de manera que se parezca mucho a una zona de análisis identificada en la imagen de análisis. Este se considera óptimo para esta zona de análisis.

En la etapa d), se crea un modelo ensamblado disponiendo los modelos de dientes óptimos.

Según una realización, al comienzo de la etapa d), se crea una primera disposición aproximada, es decir, se fabrica un modelo aproximado mediante el ensamblaje de los modelos de diente óptimos.

5 Para establecer la primera disposición aproximada, podemos orientar los modelos de diente óptimos de manera que sus direcciones de observación óptimas sean todas paralelas, siendo la dirección de observación óptima de un modelo de diente la dirección según la cual dicho modelo de diente presenta una concordancia máxima con la imagen de análisis.

10 La primera disposición aproximada también se puede establecer considerando los valores de atributo de diente de los modelos de diente óptimos. Por ejemplo, si los números de diente de los modelos de diente óptimos son los de los caninos y los incisivos, estos modelos de diente se pueden disponer siguiendo un arco 24 (Figura 18) que corresponde habitualmente a la región del arco que lleva este tipo de dientes.

La forma de este arco se puede refinar en función de otros valores de atributo de diente.

15 El orden de los modelos de diente óptimos es el de las zonas de diente de análisis correspondientes.

20 Además, la distancia mínima asociada a un modelo de diente óptimo es el resultado de una observación del modelo de diente siguiendo una dirección de observación "óptima". Dicho de otro modo, es probable, sustancialmente según esta dirección, que el diente que este modelo modela también se observe en la imagen de análisis. Por lo tanto, todos los modelos de diente óptimos se orientan preferiblemente de modo que sus respectivas direcciones de observación óptimas sean todas paralelas.

De este modo, es posible definir una primera disposición de los modelos de diente óptimos.

25 Preferiblemente, la primera disposición de los modelos de diente óptimos se modifica luego iterativamente, de manera que presente una concordancia máxima con la imagen de análisis.

30 Para evaluar una disposición, se observa desde diferentes ángulos. Cada vista así obtenida se compara con la imagen de análisis, de manera que se establezca una "distancia" entre esta vista y dicha imagen de análisis. La distancia mide así la diferencia entre la vista y la imagen de análisis.

35 La distancia se puede determinar después de un tratamiento de la vista y de la imagen de análisis de manera que aparezca, en uno de los mapas correspondientes, una información discriminadora, por ejemplo, una información de contorno, como se describió anteriormente en la etapa C3).

Para cada disposición examinada, se determina una vista que proporcione una distancia mínima con la imagen de análisis. De este modo, cada disposición examinada se asocia a una distancia mínima.

40 A continuación, se comparan las distancias mínimas obtenidas para las diferentes disposiciones probadas y se selecciona, para definir la disposición óptima, la que presente la distancia mínima más pequeña. Por lo tanto, la disposición óptima presenta una concordancia máxima con la imagen de análisis.

45 La búsqueda de la concordancia máxima se realiza preferiblemente mediante un método metaheurístico, preferiblemente evolutivo, preferiblemente por recocido simulado.

Al final de la etapa d), se obtiene una disposición óptima de los modelos de diente óptimos, es decir, el modelo ensamblado 26.

50 **En la etapa e)** opcional, se sustituyen uno o varios modelos de diente óptimos por otros modelos de diente, y luego se repite la etapa d) de manera que se maximice la concordancia entre el modelo ensamblado y la imagen de análisis.

55 De hecho, es posible que un modelo de diente óptimo, en la disposición "óptima", ya no presente una concordancia máxima con la imagen de análisis. En particular, el modelo de diente se podía observar en una dirección "óptima" que proporcionaba una vista que presentaba una distancia mínima con la imagen de análisis (razón por la cual se consideró óptimo). Pero, en la disposición óptima, ya no está orientado según la dirección óptima.

Por lo tanto, se puede realizar una nueva búsqueda de un modelo ensamblado modificando los modelos de diente, por ejemplo, sustituyendo los modelos de diente óptimos por modelos de diente próximos.

60 La búsqueda de los modelos de diente que probar se realiza, preferiblemente, mediante un método metaheurístico, preferiblemente evolutivo, preferiblemente por recocido simulado.

65 En la realización preferida, por lo tanto, el método implementa una doble optimización, en los modelos de diente y en la disposición de los modelos de diente, siendo el modelo ensamblado la disposición de un conjunto de modelos de diente que proporciona la distancia mínima con la imagen de análisis, considerando todos los modelos de diente posibles y todas las disposiciones posibles.

5 **En la etapa f)**, opcional y preferida, el método utiliza varias imágenes de análisis de la arcada del paciente, preferiblemente más de 3, más de 5, más de 10, más de 50, preferiblemente más de 100 imágenes de análisis. De este modo, el modelo ensamblado es más completo. Aún más preferiblemente, el método utiliza una optimización para que el modelo ensamblado obtenido sea óptimo en relación con el conjunto de imágenes de análisis. Dicho de otro modo, el modelo ensamblado es preferiblemente el que maximiza la concordancia con el conjunto de imágenes de análisis.

10 En la realización preferida, por lo tanto, el método implementa una doble, o preferiblemente una triple optimización, en los modelos de diente, por un lado, en la disposición de los modelos de diente y/o en una pluralidad de imágenes de análisis, por otro lado, siendo el modelo ensamblado la disposición de un conjunto de modelos de diente que proporciona la distancia mínima media, en el conjunto de imágenes de análisis, considerando todos los modelos de diente posibles y, preferiblemente, todas las disposiciones posibles.

15 Según una realización, en la etapa d) y/o e) y/o f), se utiliza un método metaheurístico, preferiblemente evolutivo, preferiblemente por recocido simulado.

20 Como queda claro ahora, la invención permite construir un modelo ensamblado de arcada dental a partir de simples imágenes de análisis, por ejemplo, de fotografías tomadas con un teléfono móvil. Evidentemente, la precisión del modelo ensamblado no alcanza la de un escaneo. Sin embargo, en algunas aplicaciones, por ejemplo para realizar un primer diagnóstico de la situación dental del paciente, esta precisión no es indispensable.

25 Por lo tanto, el modelo ensamblado se puede utilizar para analizar la situación ortodóncica del paciente, siguiendo las etapas ii) a iv).

En la etapa ii), el modelo ensamblado se envía a un ortodoncista y/o a un ordenador equipado con un software de diagnóstico.

30 En una realización, el modelo ensamblado se envía acompañado de un cuestionario completado por el paciente con el fin de mejorar la calidad del análisis en la etapa iv).

En la etapa iii), el ortodoncista y/o el ordenador examinan el modelo ensamblado. A diferencia de una imagen actualizada, el modelo ensamblado permite una observación desde cualquier ángulo. El análisis es ventajosamente más preciso.

35 **En la etapa iv)**, el ortodoncista y/o el ordenador informa al paciente, por ejemplo, transmitiéndole un mensaje en su teléfono. Este mensaje puede informar al paciente de una situación desfavorable e invitarlo a concertar una cita con el ortodoncista.

40 El ortodoncista también puede comparar el modelo ensamblado con modelos ensamblados recibidos previamente para el mismo paciente. Su análisis permite evaluar ventajosamente la evolución de la situación. De este modo, el mensaje puede informar al paciente de una evolución desfavorable de su situación, lo que mejora la prevención.

45 El modelo ensamblado también se puede comparar con uno o varios modelos obtenidos por escaneo de los dientes o de un moldeo de los dientes del paciente, o con un modelo de referencia actualizado resultante de la implementación de un método descrito en el documento WO 2016 066651.

45 Aplicación al control integrado

Un análisis de imagen según la invención también es útil para guiar la adquisición de una imagen de una arcada dental, especialmente para el establecimiento de un diagnóstico a distancia.

50 En particular, el documento WO2016/066651 describe un método en donde un modelo de referencia inicial se deforma para obtener un modelo de referencia actualizado que permite la adquisición de imágenes de referencia que presenten una concordancia máxima con las imágenes “actualizadas” de la arcada adquiridas en el instante actualizado.

55 Las imágenes de referencia son, por lo tanto, vistas del modelo de referencia actualizado, observado en condiciones de adquisición virtuales que son lo más concordantes posible con las condiciones de adquisición reales implementadas para adquirir las imágenes actualizadas de la arcada del paciente.

La búsqueda de estas condiciones de adquisición virtuales se realiza preferiblemente mediante métodos metaheurísticos.

60 Para acelerar esta búsqueda, el documento WO2016/066651 recomienda realizar una primera evaluación aproximada de las condiciones de adquisición reales. Por ejemplo, se excluyen de la búsqueda condiciones que corresponderían a una posición del aparato de adquisición a una distancia de los dientes superior a 1 metro.

65 Sin embargo, sigue existiendo una necesidad de acelerar la ejecución del método descrito en el documento WO2016/066651, y en particular de buscar, de manera más rápida, condiciones de adquisición virtuales

que presenten una concordancia máxima con las condiciones de adquisición reales implementadas para adquirir una imagen actualizada de la arcada del paciente.

Un objetivo de la invención es responder, al menos parcialmente, a este problema.

La invención propone un método de adquisición de una imagen de una arcada dental de un paciente, incluyendo dicho método las siguientes etapas:

a') activación de un aparato de adquisición de imágenes para adquirir una imagen, denominada "imagen de análisis", de dicha arcada;

b') análisis de la imagen de análisis por medio de un dispositivo de aprendizaje profundo, preferiblemente una red neuronal, entrenada por medio de una base de aprendizaje,

preferiblemente siguiendo un método de análisis detallado según la invención, de manera que se identifique al menos una zona de diente de análisis que represente un diente en dicha imagen de análisis, y que se determine al menos un valor de atributo de diente para dicha zona de diente de análisis, o

siguiendo un método de análisis global según la invención;

c') determinación, para la imagen de análisis, de un valor para un atributo de imagen, estando dicho valor en función de dicho o dichos valores de atributo de diente si se ha implementado un método de análisis detallado según la invención en la etapa anterior;

d) opcionalmente, comparación de dicho valor de atributo de imagen con una consigna;

e') emisión de un mensaje informativo en función de dicha comparación.

En una realización, en la etapa b'), se identifican todas dichas zonas de diente de análisis, y se determina al menos un valor de atributo de diente para cada zona de diente de análisis y, en la etapa c'), se determina el valor para el atributo de imagen en función de dichos valores de atributo de diente.

En una realización, la etapa b') incluye las siguientes etapas:

1) preferiblemente antes de la etapa a'), creación de una base de aprendizaje que incluya más de 1.000 imágenes de arcadas dentales, o "imágenes históricas", incluyendo cada imagen histórica una o varias zonas que representan cada una un diente, o "zonas de diente históricas", a cada una de las cuales, para dicho atributo de diente, se asigna un valor de atributo de diente;

2) entrenamiento de al menos un dispositivo de aprendizaje profundo, preferiblemente una red neuronal, mediante la base de aprendizaje;

3) presentación de la imagen de análisis al dispositivo de aprendizaje profundo de manera que determine al menos una probabilidad relativa a:

- la presencia, en un lugar en dicha imagen de análisis, de una zona que represente, al menos parcialmente, un diente, o "zona de diente de análisis",

- el valor de atributo del diente representado en dicha zona de diente de análisis,

4) determinación, en función de dicha probabilidad, de la presencia de un diente en una posición representada por dicha zona de diente de análisis, y del valor de atributo de dicho diente.

En una realización, la etapa b') incluye las siguientes etapas:

1) creación de una base de aprendizaje que incluya más de 1000 imágenes de arcadas dentales, o "imágenes históricas", incluyendo cada imagen histórica un valor de atributo para al menos un atributo de imagen, o "valor de atributo de imagen";

2) entrenamiento de al menos un dispositivo de aprendizaje profundo, preferiblemente una red neuronal, mediante la base de aprendizaje;

3) presentación de la imagen de análisis al dispositivo de aprendizaje profundo de manera que determine, para dicha imagen de análisis, al menos una probabilidad relativa a dicho valor de atributo de imagen.

En una realización, para crear una imagen histórica de la base de aprendizaje, un operador, preferiblemente un ortodoncista,

- 5 - identifica una o varias zonas de diente “históricas” en una imagen, y luego asigna a cada zona de diente histórica identificada un valor para al menos un atributo de diente, y/o
- asigna a una imagen un valor para al menos un atributo de diente.

10 En una realización, el aparato de adquisición emite el mensaje de información.

Como se verá con más detalle a continuación en la descripción, un método de adquisición según la invención permite, por lo tanto, verificar si una imagen de análisis respeta una consigna y, si no respeta la consigna, guiar al operador para que adquiera una nueva imagen de análisis. Por lo tanto, el método permite un “control integrado”, preferiblemente en el aparato de adquisición de imágenes.

15 En particular, para implementar el método del documento WO2016/066651, se puede desear adquirir imágenes actualizadas según diferentes direcciones de adquisición, por ejemplo, una imagen frontal, una imagen del lado derecho y una imagen del lado izquierdo. Estas imágenes actualizadas, adquiridas sucesivamente, pueden clasificarse en consecuencia. Esto acelera la búsqueda de las condiciones de adquisición virtuales que presenten una concordancia máxima con las condiciones de adquisición reales.

20 De hecho, la búsqueda puede comenzar a partir de condiciones de adquisición virtuales en las que el aparato de adquisición, virtual, se encuentra enfrente, a la izquierda o a la derecha del modelo de referencia actualizado, dependiendo de si la imagen actualizada considerada se clasifica como una imagen de frente, de lado izquierdo o de lado derecho, respectivamente.

25 Sin embargo, el operador, generalmente el paciente, puede equivocarse al adquirir las imágenes actualizadas. En particular, puede olvidarse de tomar una imagen actualizada, por ejemplo, la vista frontal, o invertir dos imágenes actualizadas. Normalmente, el operador puede tomar una imagen del lado derecho, mientras que se espera de él una imagen del lado izquierdo.

30 Esta inversión de las imágenes actualizadas puede ralentizar considerablemente su tratamiento. Por ejemplo, si la imagen actualizada se supone que es una imagen tomada del lado izquierdo pero fue tomada por error del lado derecho, dicha búsqueda de condiciones de adquisición virtuales óptimas, es decir, que presenten la máxima concordancia con las condiciones de adquisición reales, comenzará desde un punto de partida que ofrezca una vista del lado izquierdo del modelo de referencia, mientras que las condiciones de adquisición virtuales óptimas corresponden a una vista del lado derecho. Por lo tanto, la búsqueda se ralentizará considerablemente.

35 Gracias a la invención, cada imagen actualizada es una imagen de análisis que se puede analizar y controlar, preferiblemente en tiempo real.

40 Por ejemplo, el proceso de adquisición permite determinar que la imagen actualizada ha sido “tomada del lado derecho” y comparar este valor de atributo de imagen con la consigna que se le había dado al operador de tomar la imagen actualizada del lado izquierdo. Dado que el valor de atributo de la imagen actualizada (imagen tomada del lado derecho) no corresponde a la consigna (adquirir una imagen actualizada del lado izquierdo), el aparato de adquisición puede avisar inmediatamente al operador para que modifique la dirección de adquisición.

45 A continuación se describe en detalle un método de adquisición.

50 **En la etapa a’),** el operador activa el aparato de adquisición de imágenes de manera que adquiera una imagen de análisis.

55 En una realización, el operador activa el aparato de adquisición de manera que almacene la imagen de análisis, preferiblemente toma una fotografía o un vídeo de sus dientes, preferiblemente por medio de un teléfono móvil equipado con una cámara de fotos.

La etapa a’) se puede realizar como la adquisición de las imágenes actualizadas en la etapa B) descrita anteriormente.

60 En otra realización, la imagen de análisis no se almacena. En particular, la imagen de análisis puede ser la imagen que, en tiempo real, aparece en la pantalla del teléfono móvil del operador, generalmente el paciente.

65 En una primera realización, **en la etapa b’),** se analiza la imagen de análisis siguiendo un método de análisis detallado según la invención. Este análisis conduce preferiblemente a la asignación de un valor de atributo de diente a cada zona de diente de análisis identificada, por ejemplo, a asignar un número de diente a cada una de las zonas de diente de análisis.

En la etapa c'), se determina un valor de atributo de la imagen de análisis en función de los valores de atributo de diente. El valor de atributo de la imagen de análisis puede ser relativo a su orientación general y puede, por ejemplo, tomar uno de los tres valores siguientes: “foto del lado derecho”, “foto del lado izquierdo” y “foto de frente”. El valor de atributo de la imagen de análisis también puede ser la lista de los números de los dientes representados, por ejemplo, “16, 17 y 18”.
 5 El valor de atributo de la imagen de análisis también puede ser, por ejemplo, la “presencia” o “ausencia” de un aparato dental, preferiblemente ortodóncico, o el estado de apertura de la boca (“boca abierta”, “boca cerrada”).

En otra realización, se implementa un método de análisis global según la invención en la etapa b'). Ventajosamente, un método de este tipo permite obtener directamente un valor para un atributo de imagen, sin tener que determinar valores para un atributo de diente. Por lo tanto, es ventajosamente más rápido. Sin embargo, la información resultante de un análisis global puede ser menos precisa que la resultante de un análisis detallado.
 10

Las etapas a') a c') permiten así caracterizar la imagen de análisis.

15 La caracterización de la imagen de análisis permite guiar al operador si la imagen de análisis no se corresponde con la imagen esperada, por ejemplo, porque su calidad es insuficiente o porque no representa los dientes deseados.

En la etapa d'), se compara el valor de atributo de imagen de la imagen de análisis con una consigna.

20 Por ejemplo, si la consigna era adquirir una imagen del lado derecho y el valor de atributo de imagen es “tomada del lado izquierdo”, la comparación conduce a la conclusión de que la imagen adquirida es “insatisfactoria”.

En la etapa e'), se envía un mensaje al operador, preferiblemente por el aparato de adquisición.

25 Preferiblemente, el mensaje informativo es relativo a la calidad de la imagen adquirida y/o la posición del aparato de adquisición en relación con dicha arcada y/o el ajuste del aparato de adquisición y/o la apertura de la boca y/o el uso de un aparato dental, preferiblemente ortodóncico.

30 Por ejemplo, si la imagen adquirida es “insatisfactoria”, el aparato de adquisición puede emitir una luz, por ejemplo, roja, y/o sonar, y/o generar un mensaje de voz, y/o vibrar, y/o mostrar un mensaje en su pantalla.

Por ejemplo, si la imagen debe ser adquirida mientras el paciente lleva su aparato dental y no es así, el aparato de adquisición puede emitir el mensaje “lleve puesto su aparato para esta imagen”.

35 Por ejemplo, si la imagen se adquirió cuando el paciente no abre suficientemente la boca o tiene la boca cerrada, el aparato de adquisición puede emitir el mensaje “abra más la boca para esta imagen”.

En una realización, las etapas b') a c') solo se implementan si el operador registra la imagen de análisis, es decir, presiona el iniciador. El mensaje pide al operador que adquiera una nueva imagen de análisis. Opcionalmente, el aparato de adquisición borra la imagen de análisis insatisfactoria.
 40

En una realización, las etapas b') a c') se implementan continuamente cuando el aparato de adquisición está en funcionamiento y la imagen de análisis es una imagen que aparece en una pantalla del aparato de adquisición. El aparato de adquisición puede, por ejemplo, emitir una luz roja mientras la imagen de análisis sea insatisfactoria, y emitir una luz verde cuando la imagen de análisis sea satisfactoria. Ventajosamente, el aparato de adquisición solo almacena imágenes de análisis que son satisfactorias.
 45

Como queda claro ahora, la invención permite, por lo tanto, un control integrado durante la adquisición de imágenes de análisis. Aplicadas a imágenes actualizadas del método del documento WO2016/066651, las etapas a') a e') permiten garantizar que estas imágenes se ajusten a lo necesario y, por lo tanto, acelerar considerablemente la ejecución de este método.
 50

Las etapas d') y e') son opcionales. En una realización, la imagen de análisis solo se asocia a su descriptor, que especifica su valor de atributo de imagen. Este descriptor también permite acelerar considerablemente la ejecución del método del documento WO2016/066651 ya que, cuando la imagen de análisis se utiliza como imagen actualizada de este método, permite determinar aproximadamente las condiciones de adquisición real de esta imagen, eliminando el riesgo de un error grave, por ejemplo, debido a una inversión entre dos imágenes.
 55

60 Sin embargo, se prefieren las etapas d') y e'). Estas permiten, por ejemplo, evitar que el operador olvide una imagen del lado izquierdo o tome dos imágenes redundantes del lado derecho.

Aplicación al control de un alineador ortodóncico

Habitualmente, al comienzo de un tratamiento ortodóncico, el ortodoncista determina el posicionamiento de los dientes que desea obtener en un instante del tratamiento, denominado “configuración”. La configuración puede definirse por
 65

medio de una impronta o a partir de un escaneo tridimensional de los dientes del paciente. El ortodoncista manda fabricar o fabrica entonces, por consiguiente, un aparato ortodónico adaptado para ese tratamiento.

5 El aparato ortodónico puede ser un alineador ortodónico (“*aligner*” en inglés). Un alineador se presenta habitualmente en forma de un aparato monobloque amovible, habitualmente de un material de polímero transparente, que incluye un canal conformado para que puedan alojarse en el mismo varios dientes de una arcada, generalmente todos los dientes de una arcada.

10 La forma del canal está adaptada para mantener en su posición el alineador sobre los dientes, al tiempo que se ejerce una acción de corrección del posicionamiento de determinados dientes (Figuras 14 y 15).

15 Habitualmente se determinan, al comienzo del tratamiento, las formas que deben adoptar los diferentes alineadores en diferentes momentos del tratamiento, después se manda fabricar el conjunto de alineadores correspondientes. En instantes predeterminados, el paciente cambia de alineador.

El tratamiento por medio de alineadores es ventajosamente poco restrictivo para el paciente. En particular, se limita el número de citas en la consulta del ortodoncista. Además, el dolor es menor que con un arco ortodónico metálico unido a los dientes.

20 Por tanto, el mercado de los alineadores ortodónicos está en aumento.

A intervalos regulares, el paciente se desplaza al ortodoncista para un control visual, en particular para comprobar si el desplazamiento de los dientes se ajusta a las expectativas y si el alineador que lleva el paciente sigue siendo adecuado para el tratamiento.

25 Si el ortodoncista diagnostica una inadaptación al tratamiento, efectúa una nueva impronta de los dientes o, de manera equivalente, un nuevo escaneo tridimensional de los dientes, después encarga una nueva serie de alineadores configurados en consecuencia. Se considera que, de media, el número de férulas finalmente fabricadas es de aproximadamente 45, en lugar de las 20 férulas habitualmente previstas al comienzo del tratamiento.

30 La necesidad de tener que desplazarse a la consulta del ortodoncista es una restricción para el paciente. La confianza del paciente en su ortodoncista igualmente puede verse perjudicada. La inadaptación puede ser antiestética. Finalmente, se produce como resultado un coste adicional.

35 Por tanto, debe limitarse el número de visitas de control en el ortodoncista.

Existe una necesidad de soluciones que respondan a estos problemas.

Un objetivo de la invención es satisfacer, al menos parcialmente, esta necesidad.

40 La invención proporciona un método de evaluación de la forma de un alineador ortodónico, incluyendo dicho método las siguientes etapas:

45 a") adquisición de al menos una imagen que represente al menos parcialmente el alineador en una posición de servicio en la que lo lleva un paciente, denominada “imagen de análisis”;

b") análisis de la imagen de análisis por medio de un dispositivo de aprendizaje profundo, preferiblemente una red neuronal, entrenada por medio de una base de aprendizaje, de manera que se determine un valor

50 para al menos un atributo de diente de una “zona de diente de análisis” de la imagen de análisis, siendo el atributo de diente relativo a una separación entre el diente representado por la zona de diente de análisis y el alineador representado en la imagen de análisis, y/o

55 para un atributo de imagen de la imagen de análisis, siendo el atributo de imagen relativo a una separación entre al menos un diente representado en la imagen de análisis y el alineador representado en dicha imagen de análisis;

c") preferiblemente, evaluación de la adecuación del alineador en función del valor de dicho atributo de diente o imagen;

60 d") preferiblemente, emisión de un mensaje de información en función de dicha evaluación.

Como se verá con más detalle a continuación en la descripción, un método de evaluación según la invención facilita considerablemente la evaluación de la correcta adecuación del alineador al tratamiento, al tiempo que hace que esta evaluación sea particularmente fiable. En particular, el método se puede implementar a partir de simples fotografías o películas, tomadas sin especial atención, por ejemplo, por el paciente. Por tanto, puede limitarse el número de citas en la consulta del ortodoncista.

Preferiblemente, en la etapa b"), se identifican todas dichas zonas de diente de análisis, y se determina el valor de dicho atributo de diente para cada zona de diente de análisis, y, en la etapa c"), se determina la adecuación del alineador en función de dichos valores de atributo de diente.

5 Preferiblemente, dicho atributo de diente se elige del grupo formado por una separación máxima a lo largo del borde libre del diente, una separación media a lo largo del borde libre del diente, y dicho atributo de imagen se elige del grupo formado por una separación máxima a lo largo del conjunto de los dientes representados, una separación media a lo largo de los bordes libres del conjunto de los dientes representados, una aceptabilidad global de la separación de los dientes representados.

10 El atributo de diente relativo a una separación puede ser, en particular, la existencia de una separación, pudiendo tomar este atributo los valores de atributo de diente "sí" o "no"; o un valor que mida la amplitud de la separación, por ejemplo, una separación máxima constatada o una evaluación relativa a una escala.

15 En la etapa b"), se implementa preferiblemente un método de análisis detallado según la invención, siendo un atributo de diente de cada zona de diente histórica de cada imagen histórica de la base de aprendizaje relativo a una separación entre el diente representado por la zona de diente histórica y un alineador que lleva dicho diente y está representado en dicha imagen histórica.

20 Preferiblemente, la etapa b") incluye las siguientes etapas:

b"1) preferiblemente antes de la etapa a"), creación de una base de aprendizaje que incluya más de 1.000, preferiblemente más de 5.000, preferiblemente más de 10.000 imágenes de arcadas dentales, o "imágenes históricas", representando cada imagen histórica un alineador llevado por un paciente "histórico" y que incluye una o varias zonas que representan cada una un diente, o "zonas de diente históricas", a cada una de las cuales, para al menos un atributo de diente relativo a una separación entre el diente representado por la zona de diente histórica considerada y el alineador representado, se asigna un valor de atributo de diente;

30 b"2) aprendizaje de un dispositivo de aprendizaje profundo, preferiblemente una red neuronal, mediante la base de aprendizaje;

b"3) presentación de la imagen de análisis al dispositivo de aprendizaje profundo de manera que el dispositivo de aprendizaje profundo determine al menos una probabilidad relativa a

- 35 - la presencia, en un lugar de dicha imagen de análisis, de una zona de diente de análisis, y
- el valor de atributo de diente del diente representado en dicha zona de diente de análisis;

40 b"4) determinación, en función de dicha probabilidad, de la presencia de una separación entre el alineador y el diente representado por dicha zona de diente de análisis, y/o de una amplitud de dicha separación.

Las etapas b"1) a b"4) pueden incluir una o varias de las características, incluso opcionales, de las etapas 1) a 4) descritas arriba, respectivamente.

45 En una realización, en la etapa b"), se implementa un método de análisis global según la invención, siendo un atributo de imagen de cada imagen histórica de la base de aprendizaje relativo a una separación entre al menos un diente representado en la imagen histórica y un alineador llevado por dicho diente y representado en dicha imagen histórica.

50 Preferiblemente, la etapa b") incluye las siguientes etapas:

b"1') creación de una base de aprendizaje que incluya más de 1.000 imágenes de arcadas dentales, o "imágenes históricas", incluyendo cada imagen histórica un valor de atributo para al menos un atributo de imagen o "valor de atributo de imagen" relativo a una separación entre al menos un diente representado en la imagen de análisis y el alineador representado en dicha imagen de análisis;

55 b"2') entrenamiento de al menos un dispositivo de aprendizaje profundo, preferiblemente una red neuronal, mediante la base de aprendizaje;

60 b"3') presentación de la imagen de análisis al dispositivo de aprendizaje profundo de manera que determine, para dicha imagen de análisis, al menos una probabilidad relativa a dicho valor de atributo de imagen, y determinación, en función de dicha probabilidad, de la presencia de una separación entre el alineador y el o los dientes representados en la imagen de análisis, y/o de una amplitud de dicha separación.

65 Las etapas b"1') a b"3') pueden incluir una o varias de las características, incluso opcionales, de las etapas 1') a 3') descritas arriba, respectivamente.

El método se describe ahora cuando se implementa un análisis detallado en la etapa b").

5 **Antes de la etapa a")**, la base de aprendizaje debe enriquecerse, preferiblemente siguiendo un método de enriquecimiento según la invención, para que contenga imágenes históricas cuyo descriptor especifique, para cada una de las zonas de diente históricas, un valor para el atributo de diente relativo a la separación.

10 Esta información se puede introducir manualmente. Por ejemplo, se puede presentar a un operador, preferiblemente a un ortodoncista, una imagen que represente una o varias zonas de diente denominadas "históricas", y pedirle que identifique estas zonas de diente históricas e indique, para cada zona de diente histórica, si hay o no una separación y/o que evalúe la amplitud de esta separación.

15 Una imagen histórica puede ser una fotografía que represente un alineador llevado por un paciente histórico. Alternativamente, una imagen histórica puede ser el resultado de un tratamiento de una imagen que represente una arcada dental desnuda (es decir, sin alineador) y una imagen que represente la misma arcada llevando el alineador. La imagen que representa la arcada desnuda puede ser, en particular, una vista de un modelo de la arcada deformado para obtener una concordancia máxima con la imagen que representa la arcada que lleva el alineador. Un tratamiento de este tipo puede ser particularmente útil para hacer que el contorno de los dientes y el alineador se vean mejor cuando los dientes son poco visibles a través del alineador.

20 **En la etapa a")**, la adquisición de la imagen de análisis se puede realizar como la adquisición de las imágenes actualizadas en la etapa B) descrita anteriormente.

25 Preferiblemente, se dirige al paciente al menos un recordatorio informando al paciente de la necesidad de crear una imagen de análisis. Este recordatorio puede ser en forma de papel o, preferiblemente, en forma electrónica, por ejemplo en forma de un correo electrónico, de una alerta automática de una aplicación especializada para móvil o de un SMS. Un recordatorio de este tipo puede enviarse por la consulta o el laboratorio de ortodoncia o por el dentista o por la aplicación especializada móvil del paciente, por ejemplo.

30 La etapa a") se realiza en el momento en que se desea la evaluación de la forma de un alineador, por ejemplo, más de 1 semana después del inicio del tratamiento con el alineador.

La imagen de análisis es una imagen que representa el alineador que llevan los dientes del paciente.

35 **En la etapa b")**, se analiza la imagen de análisis siguiendo un método de análisis detallado según la invención.

40 El dispositivo de aprendizaje profundo ha sido entrenado por medio de una base de aprendizaje que contiene imágenes históricas cuyo descriptor especifica, para al menos una, preferiblemente cada zona de diente histórica, un valor para un atributo de diente relativo a una separación entre el diente representado por la zona de diente histórica y el alineador llevado por dicho diente y representado en dicha imagen histórica.

45 Por lo tanto, el valor para este atributo de diente proporciona información relativa a la forma del alineador en relación con la forma de los dientes del paciente.

El valor para este atributo de diente puede ser una medida de la separación, por ejemplo, una medida de la separación máxima, o de la separación media para el diente representado por la zona de diente histórica.

50 Por lo tanto, el dispositivo de aprendizaje profundo es capaz de analizar la imagen de análisis para determinar, preferiblemente para cada una de las "zonas de diente de análisis", la existencia o incluso la importancia de una separación del alineador del diente representado en la zona de diente de análisis.

55 **En la etapa c")**, se evalúa, en función de los resultados de la etapa anterior, la adecuación del alineador. Por ejemplo, se busca si la separación del alineador con al menos un diente supera un umbral de aceptabilidad y, en ese caso, se decide sustituir el alineador por uno mejor adaptado.

60 La adecuación del alineador se puede evaluar en el marco de un tratamiento ortodóncico (separación compatible o no con el tratamiento ortodóncico), pero también en el marco de un tratamiento no terapéutico, especialmente estético. De hecho, los alineadores se pueden utilizar para desplazar los dientes con fines puramente estéticos, sin que este desplazamiento modifique el estado de salud del paciente. La adecuación del alineador también puede evaluarse en el marco de un programa de investigación sobre la eficacia del alineador, por ejemplo, para evaluar un nuevo material para el alineador, en un ser humano o en otro animal.

En la etapa d"), se emite una información relativa a la evaluación realizada en la etapa anterior, en particular destinada al paciente y/o al ortodoncista.

El ortodoncista puede entonces utilizar esta información, posiblemente en combinación con informaciones complementarias, por ejemplo, la edad del paciente o el tiempo durante el cual se ha llevado el alineador, para establecer un diagnóstico y, si es necesario, decidir un tratamiento adaptado.

5 En una realización, el método incluye, en la etapa b"), un análisis global según la invención. Las demás etapas no se modifican.

El análisis de la imagen de análisis y de las imágenes históricas se efectúa entonces globalmente, sin identificar la situación individual de cada uno de los dientes representados y el atributo de imagen es relativo a la imagen en su globalidad.

10 Por ejemplo, el atributo de imagen relativo a la separación puede ser relativo a la aceptabilidad de una situación dental, debido a una o varias separaciones, o relativo a la amplitud global de la separación o las separaciones de los dientes. Por ejemplo, el valor del atributo de imagen puede ser "globalmente aceptable" o "globalmente inaceptable". El valor del atributo de imagen también puede ser, por ejemplo, una medida de la separación, por ejemplo, una medida de la separación máxima, o de la separación media entre los dientes representados en la imagen de análisis y el alineador.

15 Como queda claro ahora, un método según la invención permite, a partir de simples fotografías o de una simple película, determinar si el alineador está anómalamente desprendido o, incluso, si se ha realizado un análisis detallado en la etapa b"), determinar las regiones en las que el alineador se ha separado de los dientes y evaluar la amplitud de esta separación.

20 La invención también se refiere a un método de adaptación de un tratamiento ortodóncico, método en donde se implementa un método de evaluación de la forma de un alineador ortodóncico según la invención, y luego, en función del resultado de dicha evaluación, se fabrica un nuevo alineador y/o se aconseja al paciente, por ejemplo, para que mejore las condiciones de uso de su alineador ortodóncico, en particular el posicionamiento y/o los intervalos horarios de uso y/o el mantenimiento de su alineador ortodóncico, con el fin de optimizar el tratamiento.

25 El uso de alineadores no se limita a tratamientos terapéuticos. En particular, se puede implementar un método de evaluación para evaluar un alineador utilizado exclusivamente con fines estéticos.

30 El método también se puede utilizar para evaluar otras piezas o aparatos dentales, especialmente ortodóncicos.

Programa de ordenador

35 La invención también se refiere a:

- un programa informático, y en particular una aplicación especializada para teléfono móvil, que comprende instrucciones de código de programa para la ejecución de una o varias etapas de un método cualquiera según la invención, cuando un ordenador ejecuta dicho programa,

40 - un soporte informático en donde se registra este programa, por ejemplo una memoria o un CD-ROM.

Evidentemente, la invención no se limita a las realizaciones descritas y representadas anteriormente.

45 En particular, el paciente no se limita a un ser humano. Puede utilizarse un método según la invención para otro animal.

El paciente puede estar vivo o muerto. Preferiblemente está vivo.

50 Los procedimientos según la invención se pueden implementar en el marco de un tratamiento ortodóncico, pero también al margen de cualquier tratamiento ortodóncico, e incluso al margen de cualquier tratamiento terapéutico.

REIVINDICACIONES

1. Método de modelización de una arcada dental de un paciente, incluyendo dicho método las siguientes etapas:
 - 5 a) creación de una biblioteca histórica que incluya más de 1.000 modelos de dientes, denominados “modelos de dientes históricos” y atribución, a cada modelo de diente histórico, de un valor para al menos un atributo de diente, o “valor de atributo de diente”;
 - 10 b) análisis de al menos una “imagen de análisis” de la arcada dental mediante un dispositivo de aprendizaje profundo de manera que se determine al menos una zona de diente de análisis y al menos un valor de atributo de diente asociado a dicha zona de diente de análisis;
 - 15 c) para cada zona de diente de análisis determinada en la etapa anterior, búsqueda, en la biblioteca histórica, de un modelo de diente histórico que presente una proximidad máxima con la imagen de análisis o con la zona de diente de análisis, o “modelo de diente óptimo”, y que tenga, para al menos un atributo de diente, un mismo valor que dicha zona de diente de análisis;
 - 20 d) disposición del conjunto de modelos de dientes óptimos de manera que se cree un modelo que presente una proximidad máxima con la imagen de análisis o “modelo ensamblado”;
 - e) opcionalmente, sustitución de al menos un modelo de diente óptimo por otro modelo de diente determinado por medio de un método metaheurístico y repetición de la etapa d) de manera que se maximice la concordancia entre el modelo ensamblado y la imagen de análisis;
 - f) opcionalmente, repetición de la etapa b) con otra imagen de análisis y, en la etapa d) y/o e), búsqueda de una concordancia máxima con el conjunto de imágenes de análisis utilizadas.

2. Método según la reivindicación inmediatamente anterior, en donde dicho atributo de diente se elige entre un número de diente, un tipo de diente, un parámetro de forma del diente, un parámetro de aspecto del diente, un parámetro relativo al estado del diente, una edad del paciente o una combinación de estos atributos.

3. Método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde la etapa c) incluye, para evaluar la proximidad de un modelo de diente histórico con la zona de diente de análisis, una comparación de al menos un valor de un atributo de diente de la zona de diente de análisis con el valor de este atributo para el modelo de diente histórico.

4. Método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde la etapa c) incluye, para evaluar la proximidad de un modelo de diente histórico con la zona de diente de análisis, una comparación de la forma del diente representado en la zona de diente de análisis con la del modelo de diente histórico.

5. Método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde en la etapa c) se efectúa sucesivamente una primera evaluación de los modelos de diente históricos por comparación de los valores de al menos un atributo de diente con los valores correspondientes de la zona de diente de análisis y luego una segunda evaluación por comparación de la forma.

6. Método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde en la etapa c) la búsqueda incluye, especialmente para realizar una comparación de forma, la implementación de un método metaheurístico.

7. Método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde se busca el modelo de diente óptimo con respecto a una pluralidad de imágenes de análisis.

8. Método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde, en la etapa a), se crea una biblioteca histórica que incluya más de 10.000 modelos de diente históricos.

9. Método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde, en la etapa b), se adquiere la imagen de análisis con un teléfono móvil antes de analizarla.

10. Método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde, al inicio de la etapa d), se crea una primera disposición aproximada orientando los modelos de diente óptimos de manera que sus direcciones de observación óptima sean todas paralelas, siendo la dirección de observación óptima de un modelo de diente la dirección según la cual dicho modelo de diente presenta una concordancia máxima con la imagen de análisis.

11. Método según la reivindicación inmediatamente anterior, en donde dicha primera disposición de los modelos de diente óptimos se modifica iterativamente, de manera que presente una concordancia máxima con la imagen de análisis.

12. Método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde en la etapa d) y/o f) se utiliza un método metaheurístico.

13. Método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde las etapas b) a c) se implementan para varias imágenes de análisis y en las etapas d) y e) se buscan modelos de dientes óptimos y un modelo

ensamblado de manera que se obtenga una concordancia máxima con respecto al conjunto de imágenes de análisis.

- 5 14. Método de evaluación de una situación dental de un paciente, incluyendo dicho método las siguientes etapas:
- 10 i) creación de un modelo ensamblado siguiendo un método de modelización según cualquiera de las reivindicaciones anteriores;
 - ii) transmisión del modelo ensamblado a un destinatario;
 - 10 iii) análisis de la situación ortodóncica del paciente, por parte del destinatario, a partir del modelo ensamblado;
 - iv) información del paciente de la situación ortodóncica por medio de su teléfono móvil.
- 15 15. Método según la reivindicación inmediatamente anterior, en donde, en la etapa ii), el modelo ensamblado es enviado acompañado de un cuestionario rellenado por el paciente para mejorar la calidad del análisis en la etapa iv).

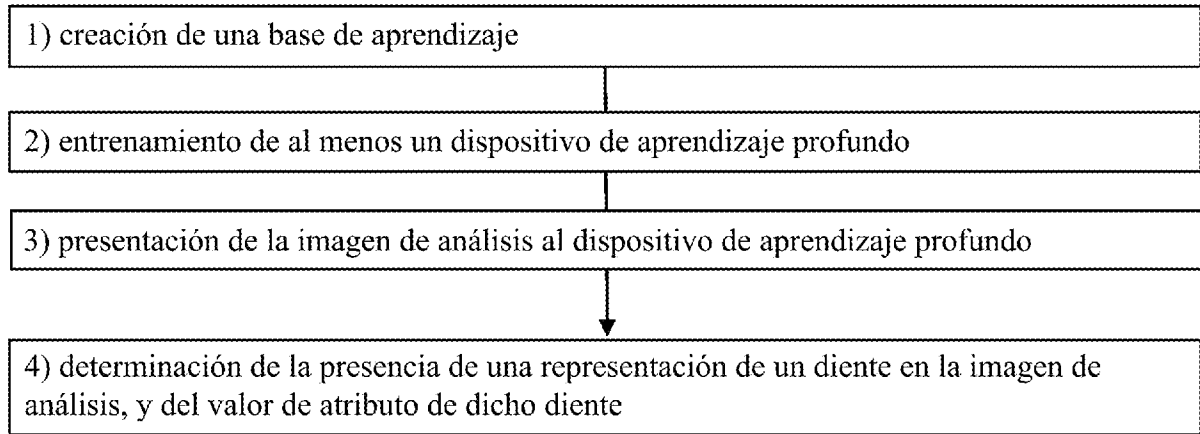


Figura 1

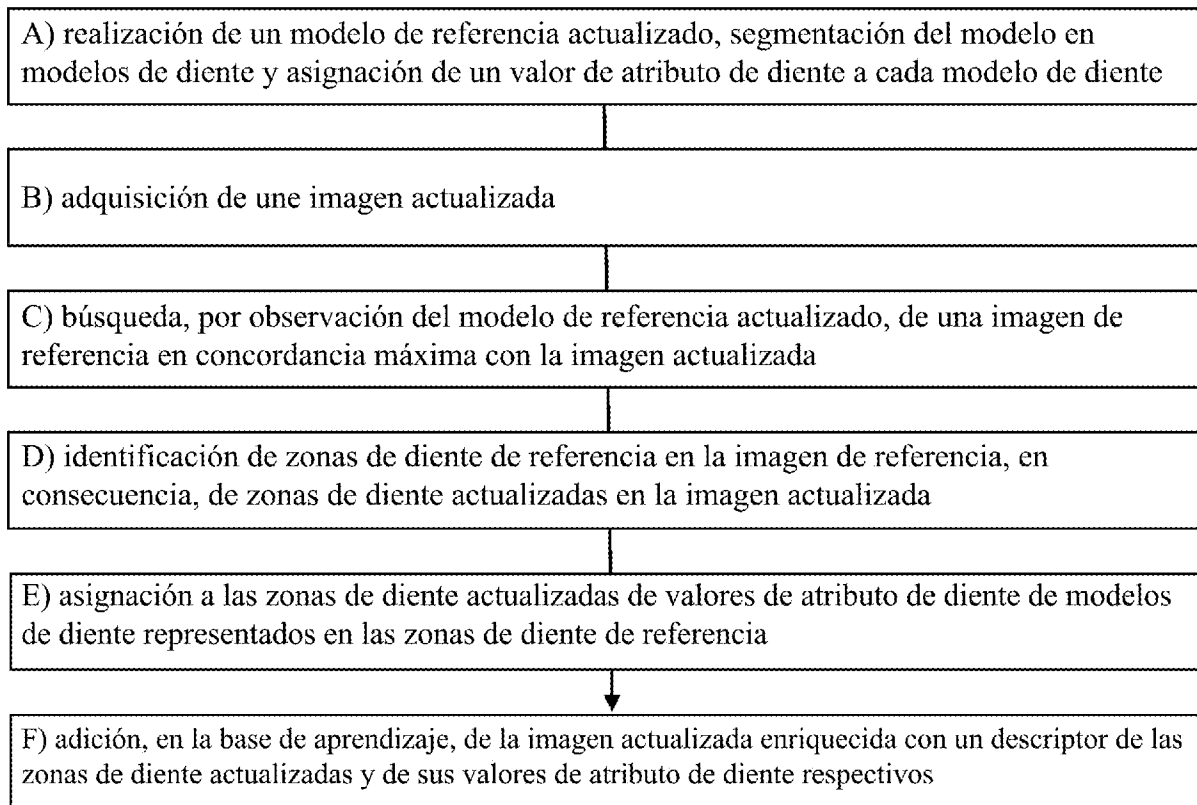


Figura 2

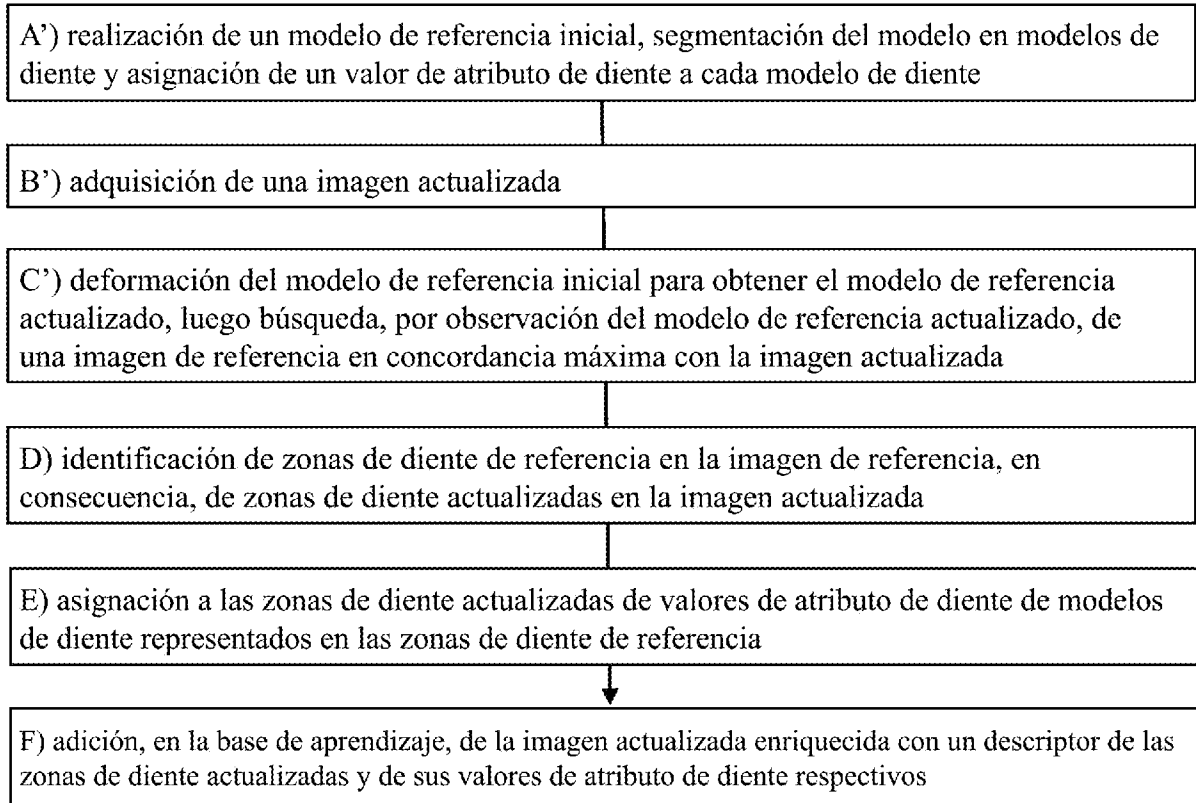


Figura 3

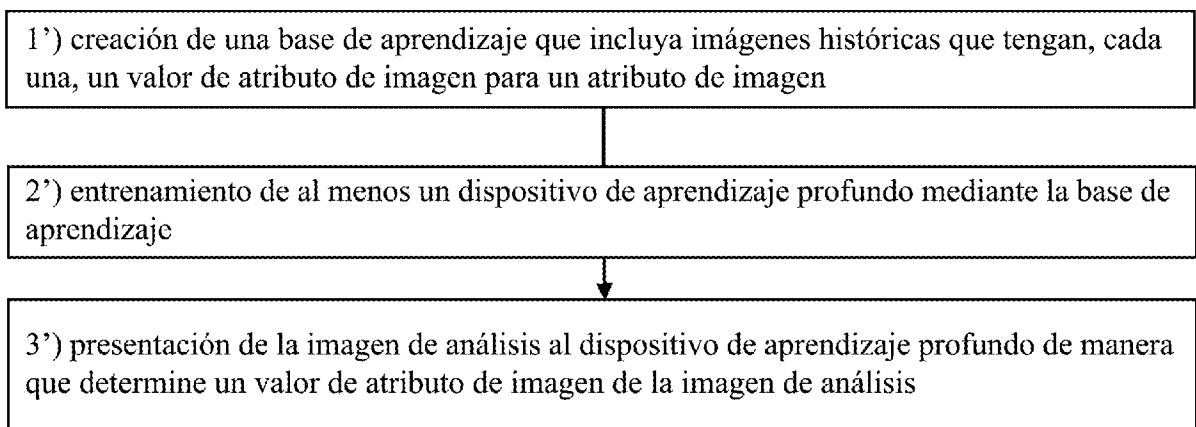


Figura 4

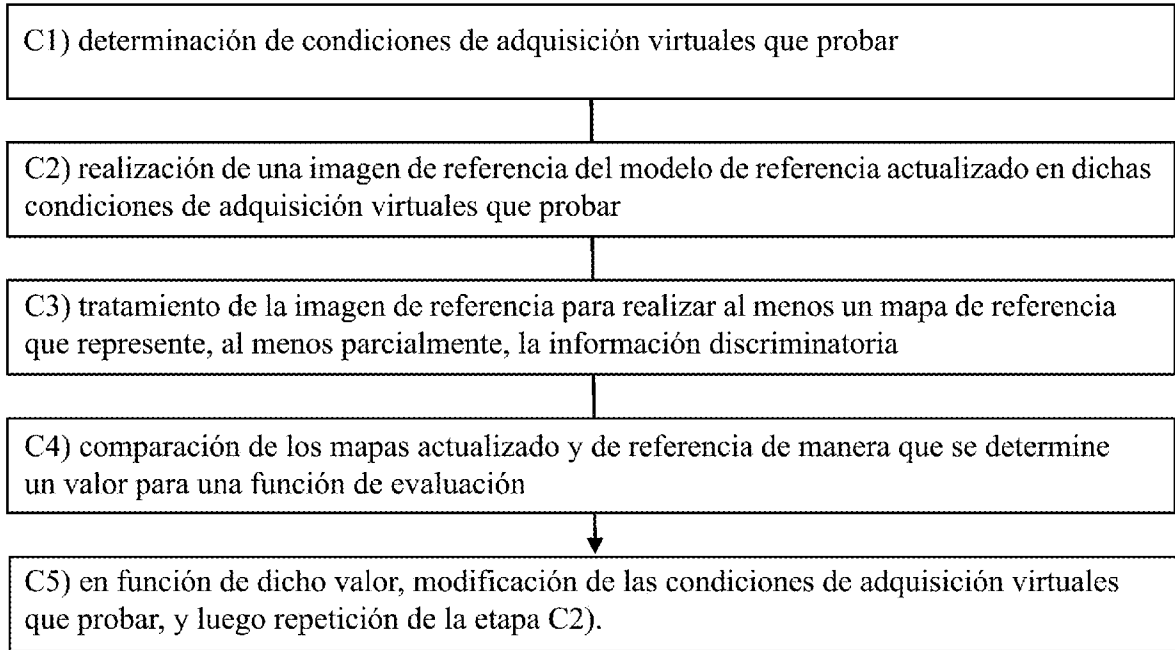


Figura 5

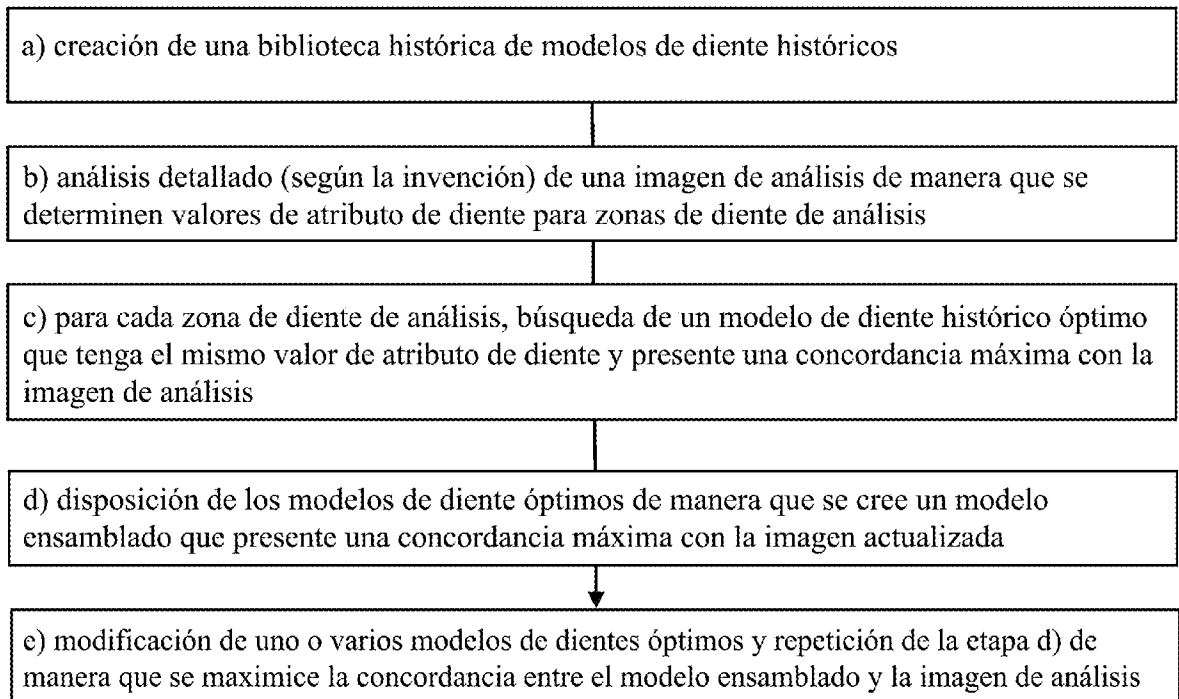


Figura 6

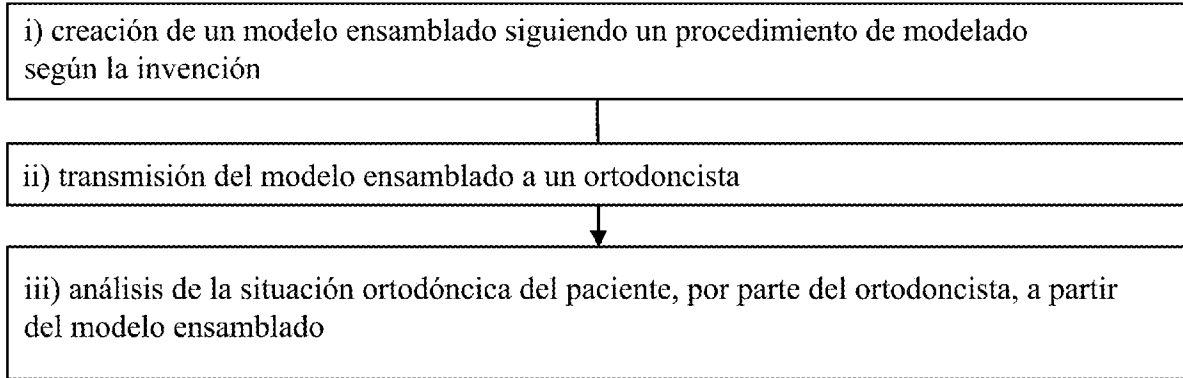


Figura 7

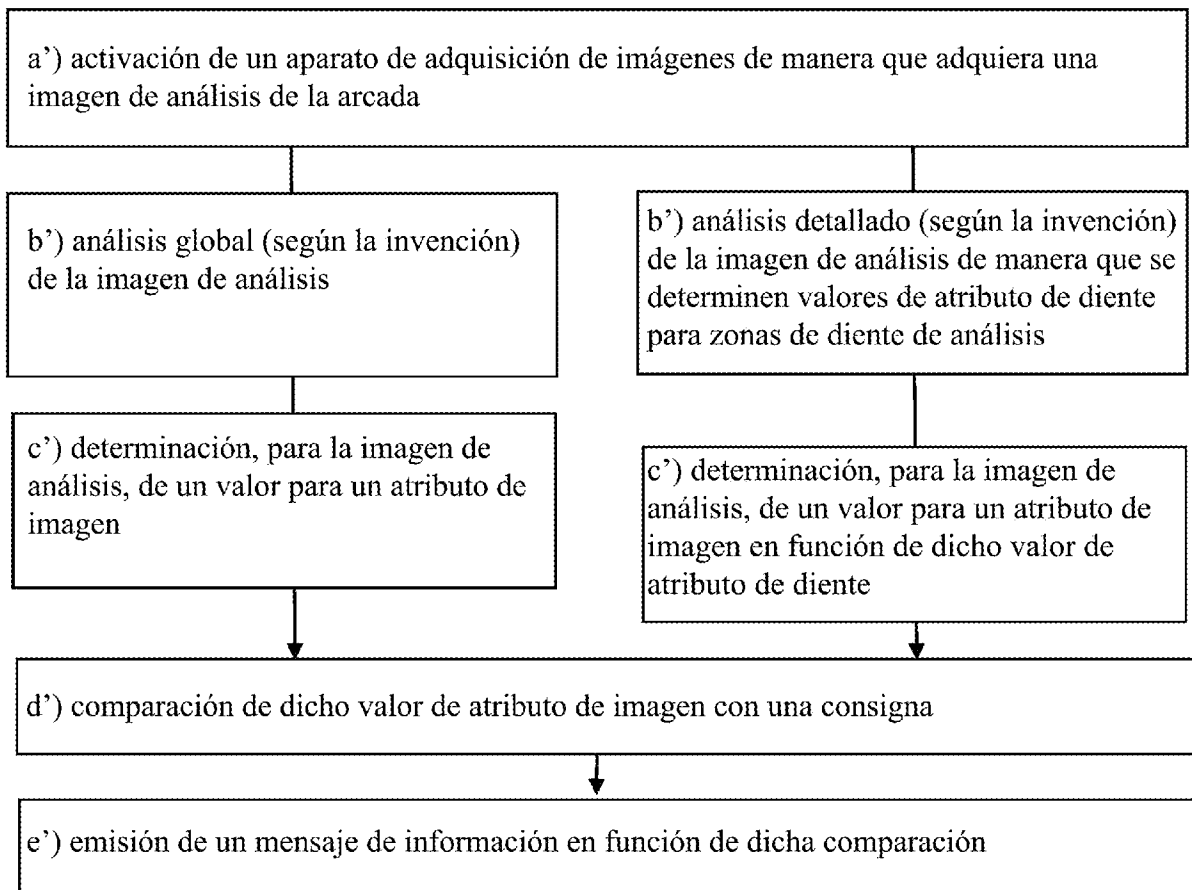


Figura 8

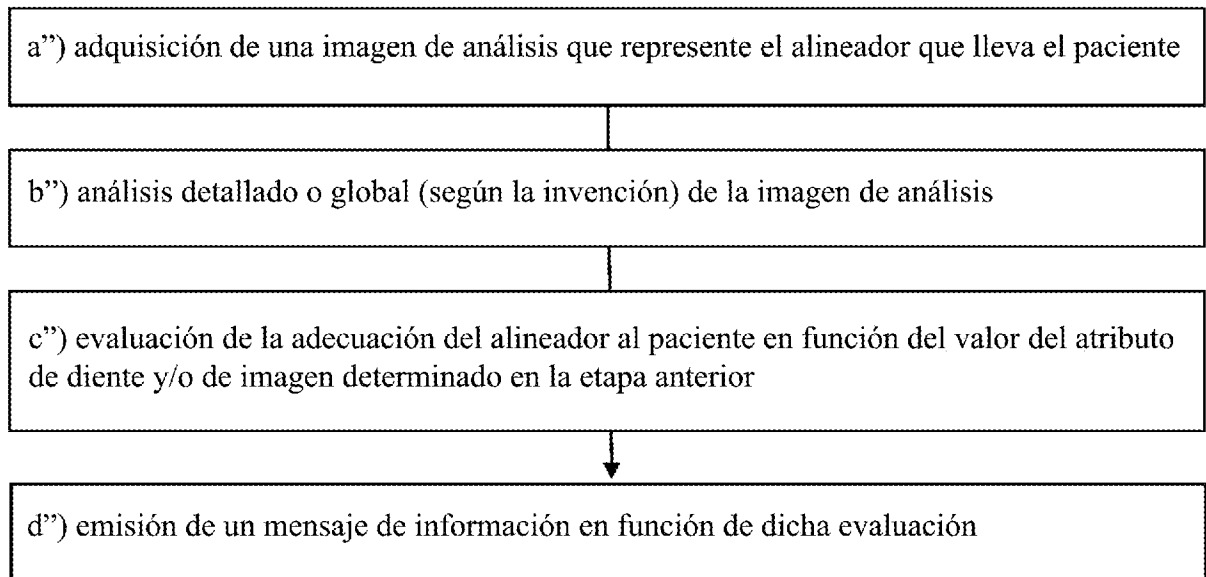


Figura 9

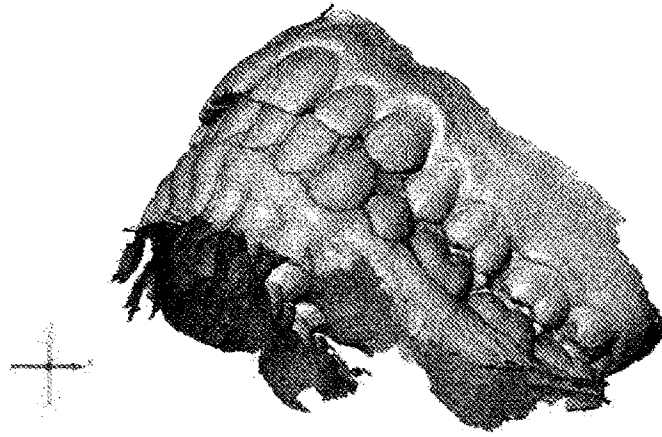


Figura 10

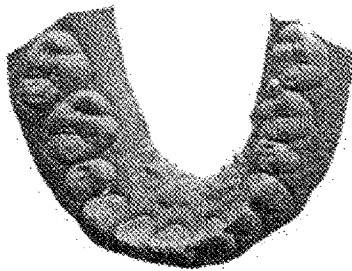


Figura 11a

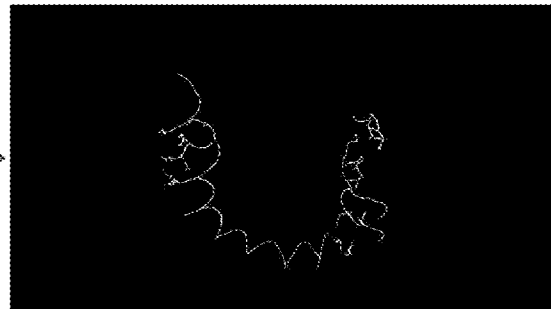
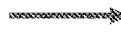


Figura 11b



Figura 11c

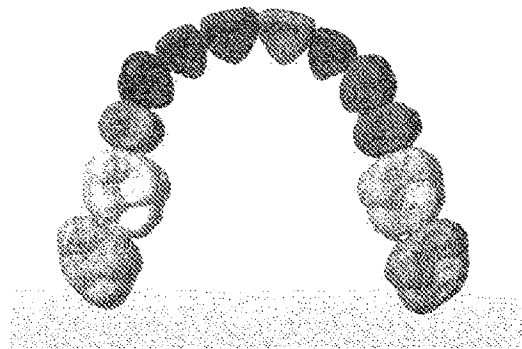


Figura 11d

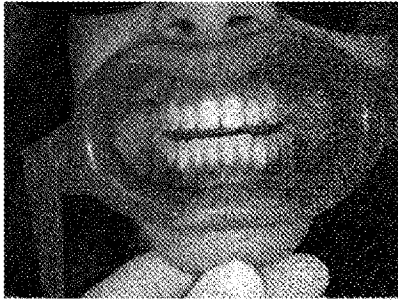


Figura 12a

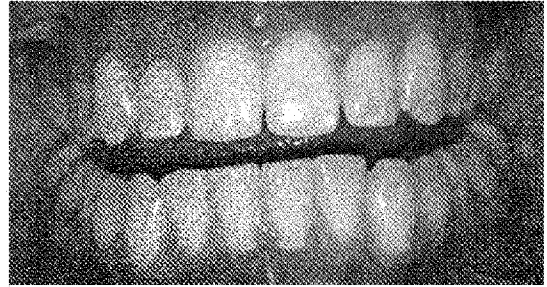
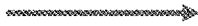


Figura 12b

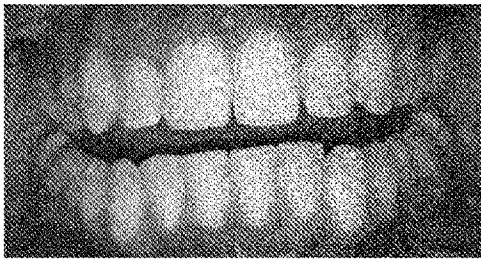


Figura 12c

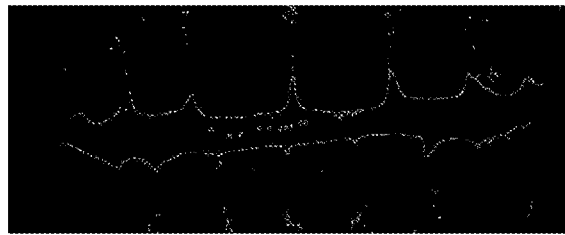


Figura 12d

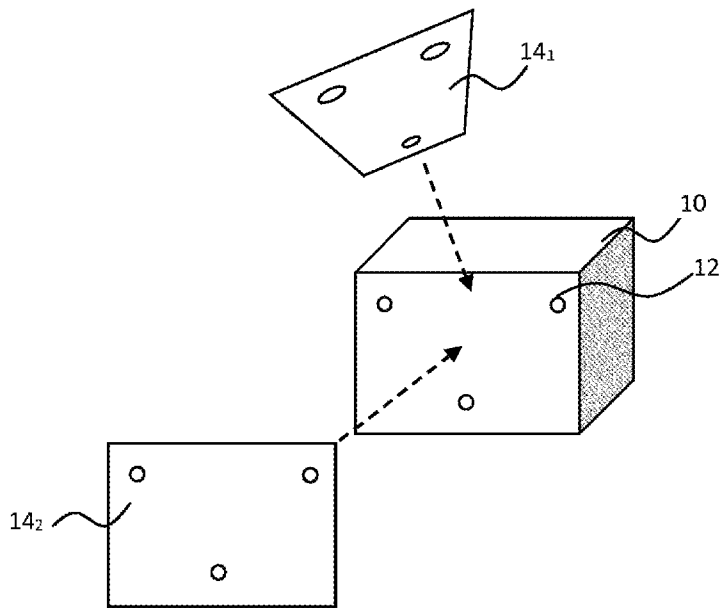


Figura 13

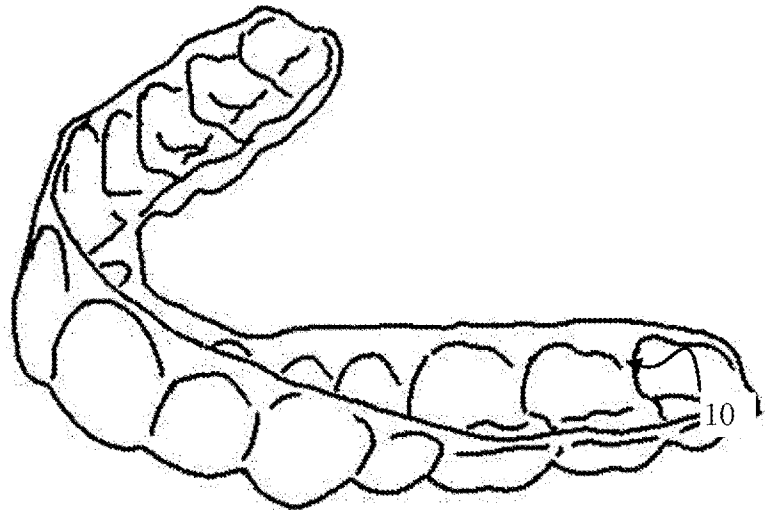


Figura 14

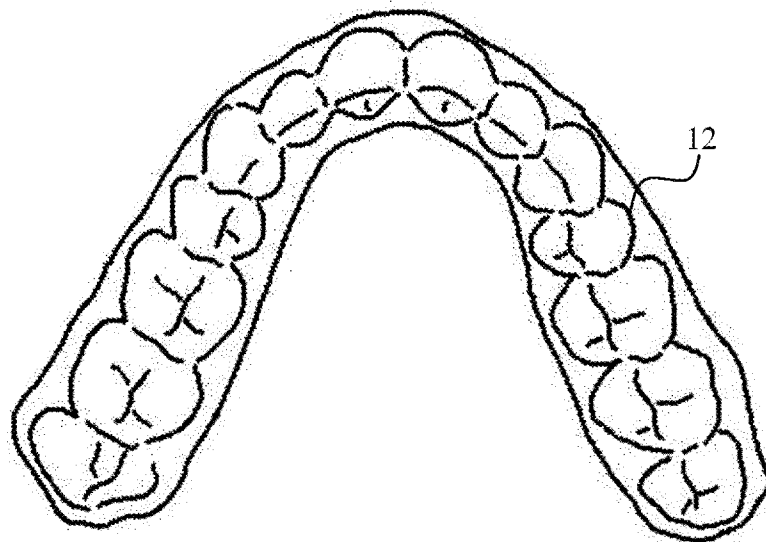


Figura 15

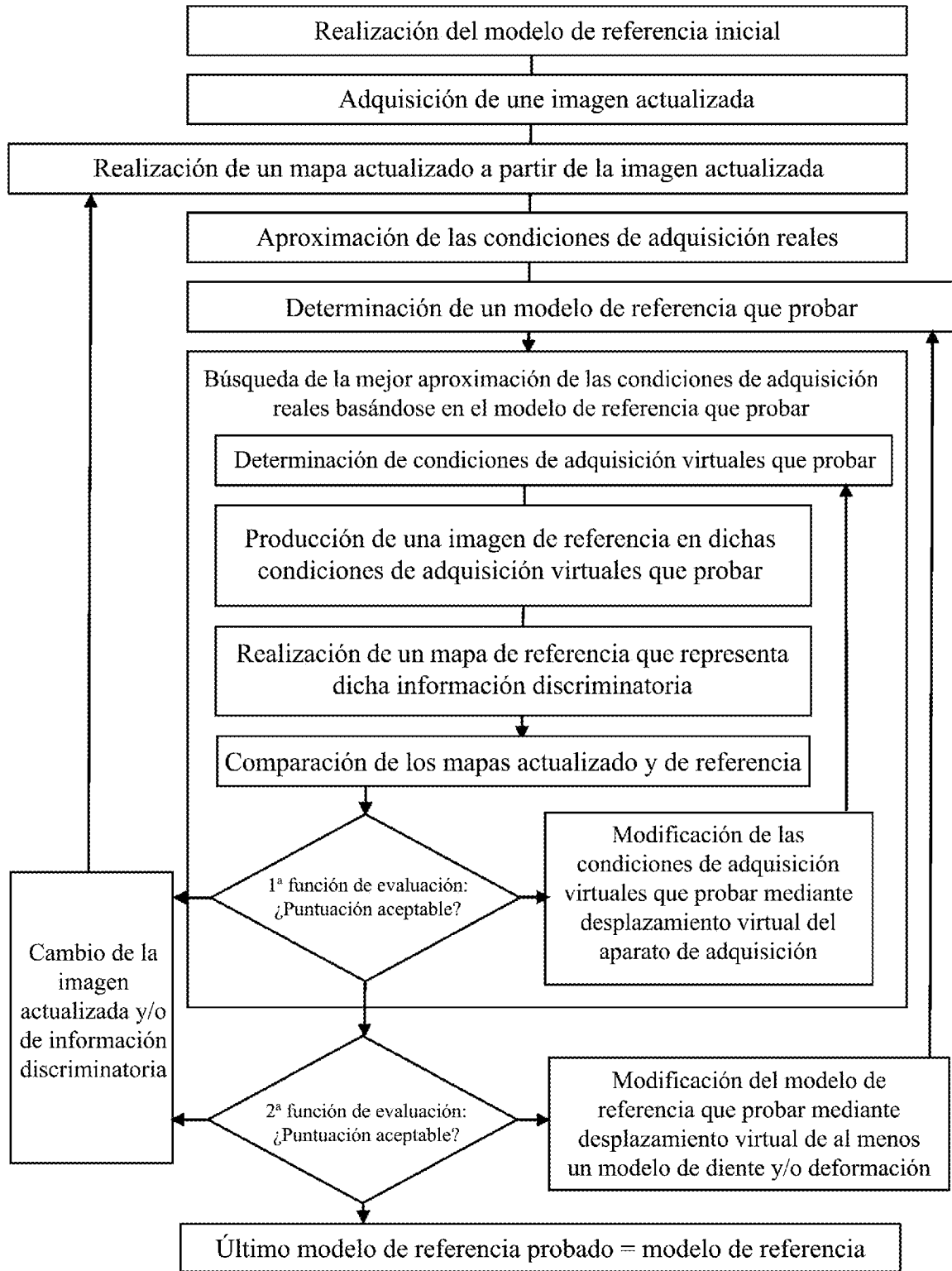


Figura 16

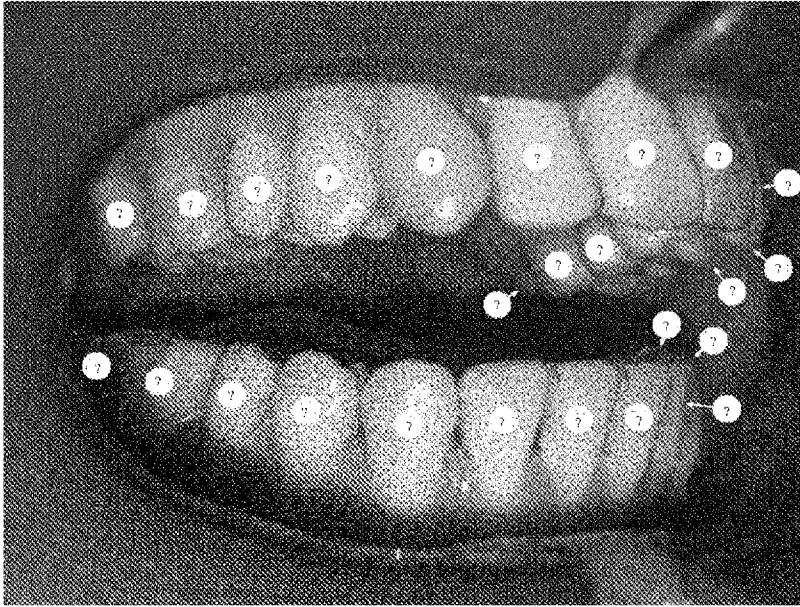


Figura 17a

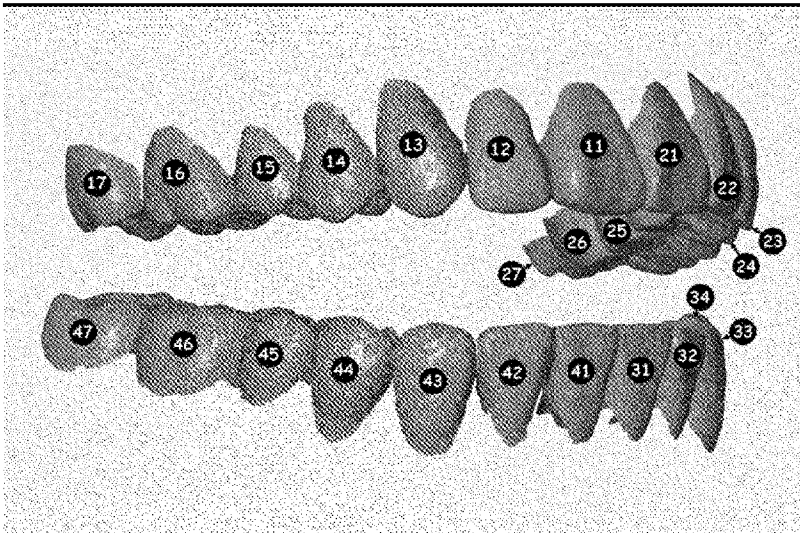


Figura 17b

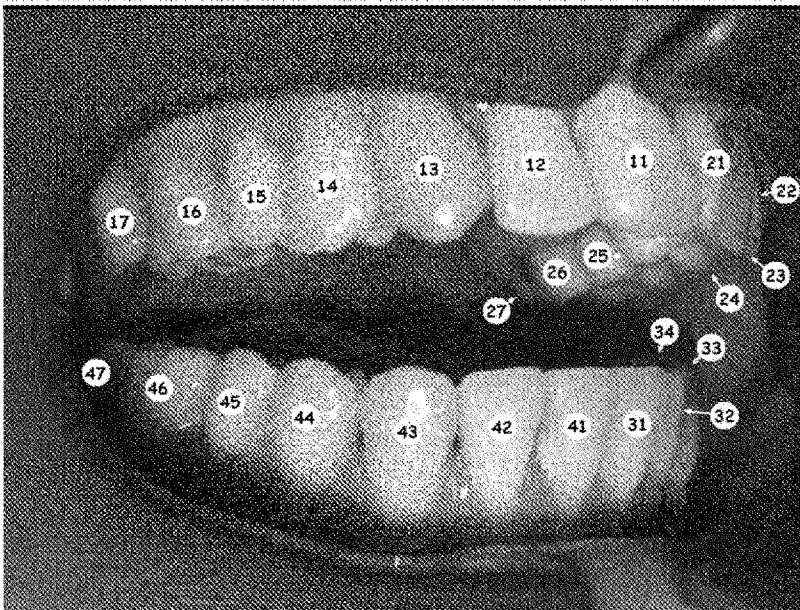


Figura 17c

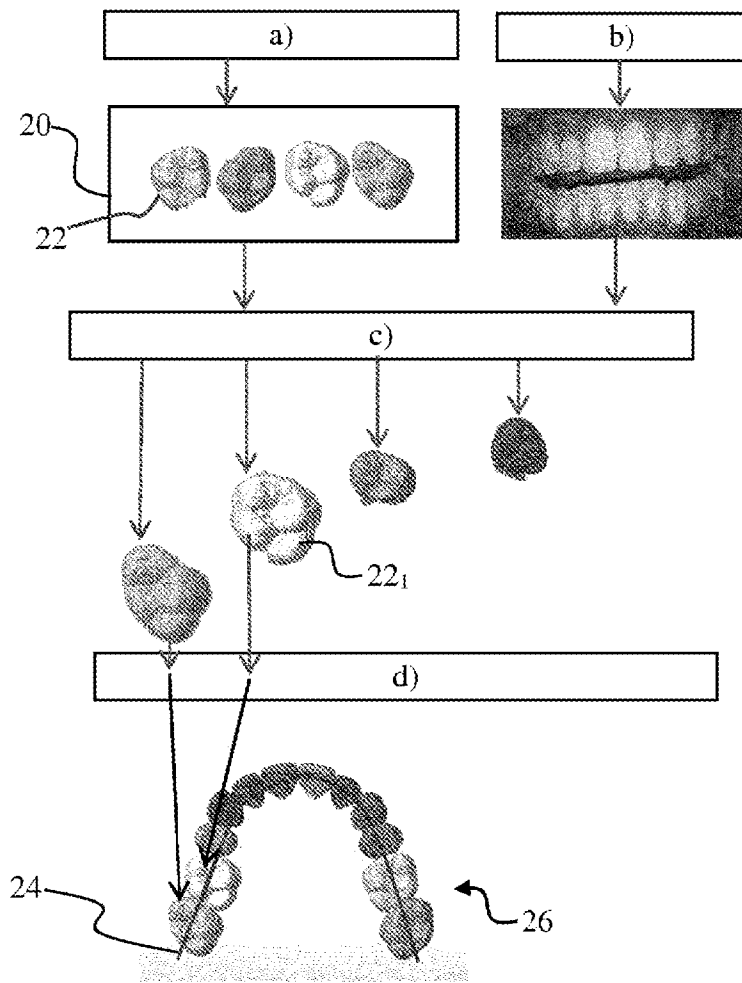


Figura 18