

# Avances en el desarrollo de una herramienta computacional de realidad aumentada con aplicaciones en odontología

Josué González Sandoval<sup>1</sup>, H. Vélez-Pérez<sup>1</sup>, José Luis Meléndez Ruiz<sup>2</sup>, E. Gerardo Mendizabal-Ruiz<sup>1\*</sup>.

<sup>1</sup> Depto. de Ciencias Computacionales, Universidad de Guadalajara, Guadalajara, Jalisco, México

<sup>2</sup> Instituto de Investigación en Odontología, Guadalajara, Jalisco, México

\*gerardo.mendizabal@red.cucei.udg.mx

**Resumen**—Uno de los factores que determinan el éxito de una intervención quirúrgica, además de los conocimientos y experiencia del especialista, es la cantidad de información con la que cuenta al momento de la cirugía. La realidad aumentada (RA) es una tecnología novedosa que al ser aplicada en el sector salud, promete proveer a los médicos de información valiosa que les permita tomar mejores decisiones cuando lleven a cabo las intervenciones quirúrgicas. En este artículo se presentan los avances en el desarrollo de una herramienta computacional basada en RA destinada al área de la odontología, lo que permitirá al intervencionista contar con imágenes de rayos X, superpuestas en imágenes del rostro del paciente en tiempo real.

**Palabras clave**—Procesamiento Digital de Imágenes, Realidad Aumentada, Odontología, Cirugía Máxilofacial.

## I. INTRODUCCIÓN

En el área de la odontología, las intervenciones quirúrgicas tienen un papel importante. Por ejemplo, las realizadas cuando el especialista diagnostica un diente impactado (retenido) en la mandíbula o maxilar, o cuando alguna zona anatómica es víctima de traumatismos provocando su fractura. También existe la posibilidad de que estas estructuras óseas hayan sufrido crecimientos anormales, comprometiendo así la función de la cavidad oral o la estética facial, lo que podría llevar a una remodelación de las mismas. La cirugía bucal también es necesaria para colocar implantes dentales y para algunos tipos de tratamientos periodontales y ortodónticos.

Actualmente estos procedimientos quirúrgicos van siempre acompañados de diversos estudios radiológicos (ej. rayos-X, tomografías axiales computarizadas, resonancias magnéticas, etc.). Las imágenes obtenidas mediante estos estudios son cruciales para el cirujano ya que a partir de ellas es posible obtener información morfológica detallada de la zona a tratar del paciente, permitiendo de esta manera realizar una correcta planeación de la intervención.

Es común que los cirujanos tengan a la mano dichos estudios durante la intervención quirúrgica ya que son utilizados como referencia para la localización de regiones de interés en la morfología del paciente y que son sólo visibles a través de las imágenes de la modalidad del estudio radiológico. Sin embargo, para la consulta de las imágenes es necesario que el médico dirija constantemente la mirada hacia el lugar en donde tenga la impresión física de la imagen o a un monitor donde se tenga la versión digital de dichos estudios. En este contexto, resultaría útil contar con una herramienta que permita de manera sencilla tener acceso a las imágenes

correspondientes a los estudios radiológicos de un paciente durante la intervención quirúrgica. Pero resultaría más ventajoso aún, ser capaz de mirar la información radiológica de dichas imágenes sobre-puesta en la cara del paciente, ya que de esta manera sería más sencillo poner en contexto la información contenida en los estudios radiológicos y serviría de guía durante los procedimientos quirúrgicos.

### 1.A. Realidad aumentada

La realidad aumentada (RA) se refiere al uso de dispositivos electrónicos y métodos computacionales que permiten combinar en tiempo real elementos de un entorno físico en el mundo real con elementos virtuales generados por una computadora [1]. Esta combinación da como resultado una experiencia de realidad mixta o aumentada que puede ser utilizada para numerosas y diferentes aplicaciones [2], [3].

Debido al gran potencial que representa el uso de estas tecnologías en el área médica, desde principios de los 90's se han llevado a cabo proyectos de investigación en donde se pretende generar algoritmos y dispositivos electrónicos que permitan superponer en tiempo real imágenes de las estructuras morfológicas internas de un paciente sobre el cuerpo del paciente (ej. [4], [5], [6]). Se espera que éste tipo de herramientas permita a los médicos contar de manera rápida y fácil con la valiosa información de los estudios radiológicos permitiéndoles de esta forma tomar mejores decisiones durante las intervenciones. En la actualidad la investigación relacionada con el uso de realidad aumentada para aplicaciones médicas ha cobrado mayor relevancia debido a la comercialización de diversos dispositivos que permiten utilizar la tecnología de realidad aumentada como las muchas aplicaciones para los celulares inteligentes, tabletas electrónicas y más recientemente los visores de realidad aumentada (ej. Meta Space Glasses y Microsoft HoloLens).

En este trabajo se presentan los avances en el desarrollo de una herramienta computacional que permita utilizar realidad aumentada en el área de la odontología con aplicación en las cirugías máxilofaciales mediante la superposición de información radiológica de rayos-X sobre imágenes del rostro del paciente.

## II. METODOLOGÍA

El objetivo principal de la herramienta propuesta consiste en el alineamiento y super-posición de la información contenida en las imágenes correspondientes a los estudios radioló-

gicos de rayos-X (imagen fija), con una imagen del rostro del paciente (imagen móvil). Este problema es conocido en el área de visión computacional como “registro de imágenes” y consiste en encontrar los parámetros  $\vec{\phi}$  de una transformación  $T(\vec{\phi})$  con la cual, al ser aplicada a la imagen móvil  $M$ , se consiga una correspondencia morfológica de la información contenida en esta con la información contenida en la imagen fija  $F$  [7].

## 2.A. Registro de imágenes

Una de las maneras más comunes para encontrar los valores de  $\vec{\phi}$  es mediante el uso de puntos de control donde se conoce con exactitud sus coordenadas espaciales tanto en la imagen fija como en la móvil.

Consideremos un punto en la imagen fija  $P_i = [x_i, y_i]$  el cual indica una característica específica de la información contenida en dicha imagen y para la cual tenemos un punto en la imagen móvil  $Q_i = [u_i, v_i]$  que corresponde a la misma característica. Al aplicar la transformación  $T(\vec{\phi})$  al punto  $Q_i$  obtenemos  $\hat{Q}_i = [\hat{u}_i, \hat{v}_i]$ . Si definimos el error entre dos puntos de control  $i$  como su distancia en el espacio Euclidiano:

$$\varepsilon_i(\vec{\phi}) = \sqrt{(x_i - \hat{u}_i)^2 + (y_i - \hat{v}_i)^2}, \quad (1)$$

entonces el problema del registro de imágenes se puede plantear como un problema de optimización en donde hay que encontrar los parámetros  $\vec{\phi}$  que minimicen el error total de los  $n$  puntos de control dados:

$$\min_{\vec{\phi}} \sum_{i=1}^n \varepsilon_i(\vec{\phi}). \quad (2)$$

## 2.B. Puntos de control

En el presente trabajo elegimos llevar a cabo registro de imágenes correspondientes a estudios de radiografías laterales de cráneo con fotografías a color del perfil del sujeto. Estas imágenes (entre otras más incluidas en un estudio fotográfico), resultan de fácil acceso, además de ser un requisito estándar en las intervenciones odontológicas.

En este contexto, elegimos utilizar puntos de control que puedan ser identificados fácilmente por un cirujano, aún cuando varíe la morfología facial de un individuo a otro. Por lo tanto, se decidió utilizar un sub-conjunto de los puntos característicos empleados en los estudios de cefalometría [8]. Para el análisis cefalométrico se emplean cerca de 14 puntos anatómicos de tejido óseo y 6 puntos de tejido blando. En este trabajo utilizamos únicamente estos últimos, debido a que son los más fáciles de ubicar en ambas imágenes. Los puntos utilizados son (ver Fig. 1):

- Pronasal “Pn”. Es la parte más anterior de la nariz.
- Labial superior “LS”. Es la parte más anterior del labio superior.
- Labial inferior “LI”. Es la parte más prominente del labio inferior.
- Pogonion del tejido blando “Pg”. Es el punto más prominente del mentón blando.
- Punto subnasal “Sn”. Punto medio del borde inferior de las ventanas nasales, o base de la espina nasal.



Fig. 1. Ejemplo de los puntos de control elegidos.

## 2.C. Transformación propuesta

Entre los diferentes métodos de registro de imágenes, existen diferentes tipos de transformaciones  $T(\vec{\phi})$  que pueden ser aplicadas a las imágenes móviles. La elección de dicha transformación depende del tipo y número de deformaciones geométricas que se quieran tomar en cuenta. En nuestro caso y debido a la etapa temprana del proyecto, consideramos únicamente las imágenes laterales del rostro de los pacientes así como los posibles movimientos de la cámara desde una perspectiva generalmente paralela al rostro del paciente. En este contexto, se eligió utilizar una transformación lineal la cual incluye 4 tipos de deformaciones o grados de libertad: (i) factor de escala  $S$ , (ii) factor de rotación  $\theta$ , (iii) factor de traslación horizontal  $t_x$  y (iv) factor de traslación vertical  $t_y$ . Así, podemos definir la matriz aumentada de transformación como:

$$T = \begin{bmatrix} S \cos(\theta) & -S \sin(\theta) & 0 \\ S \sin(\theta) & S \cos(\theta) & 0 \\ t_x & t_y & 1 \end{bmatrix}, \quad (3)$$

la cual nos permite obtener los valores de  $\hat{Q}_i$  mediante el producto:

$$\begin{bmatrix} \hat{u} \\ \hat{v} \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u_i & v_i & 1 \end{bmatrix} \cdot T \quad (4)$$

## III. RESULTADOS

El método propuesto se implementó utilizando Matlab<sup>®</sup>. Para la solución de (2) se utilizó el método de descenso de gradiente con diferencias finitas hacia adelante para aproximar el gradiente de la función objetivo en cada iteración de la búsqueda. El punto inicial fue establecido arbitrariamente como  $[S = 10 \ \theta = 0 \ t_x = 0 \ t_y = 0]$ .

Para realizar una evaluación preliminar cualitativa del método propuesto se utilizaron imágenes de 9 pacientes (la imagen de perfil y la radiografía lateral). La Figura 2 muestra ejemplos de los resultados del alineamiento obtenido con el método propuesto en imágenes de un paciente con diferentes poses. La Figura 3 muestra ejemplos de resultados del método propuesto en un grupo de pacientes de diferente sexo, edades y complejión física. En ambos casos se puede observar que existe una coincidencia adecuada entre la información de la imagen de rayos-X con la fotografía de perfil del paciente.



Fig. 2. Ejemplos del resultado de aplicar el método propuesto a imágenes de un paciente con diferentes poses.



Fig. 3. Ejemplos del resultado de aplicar el método propuesto a imágenes de pacientes de diferentes sexos y edades.

#### IV. DISCUSIÓN

A partir de el análisis cualitativo de los resultados preliminares presentados en este trabajo, podemos concluir que es posible desarrollar una herramienta computacional de RA con aplicación en odontología. Sin embargo sabemos que es necesario llevar a cabo una validación cuantitativa de los resultados con el fin de demostrar la utilidad de esta herramienta en el mundo real. Para realizar esta validación, pretendemos comparar los resultados del alineamiento de las imágenes de nuestro método con alineamientos llevados a cabo por expertos odontólogos en una base de datos de mayor tamaño. Aún existen muchos retos por resolver antes de que la herramienta propuesta llegue a impactar realmente en un entorno clínico. Por ejemplo, el método propuesto

solamente funciona con una sola imagen fija del paciente y no con secuencias imágenes en tiempo real como se espera en una herramienta de realidad aumentada. Esto es debido a que se requiere de la interacción por parte del usuario para definir los puntos de control en las dos imágenes. Para que el método pueda funcionar con secuencias de imágenes en tiempo real, existen diferentes soluciones propuestas entre las cuales se incluye el uso de marcadores en el rostro del paciente, la detección automática de los puntos de control por medio de algoritmos de visión computacional, y el rastreo automático de estos puntos a través del tiempo. Para solucionar este, entre otros problemas, se pretende incorporar métodos computacionales de inteligencia artificial para lograr reducir el margen de error en la obtención de los datos. Esto

representa el siguiente reto a resolver en el desarrollo de esta herramienta.

En ensayos y pruebas posteriores, se pretende utilizar algún dispositivo tecnológico con la capacidad de utilizar herramientas basadas en RA, como por ejemplo aplicaciones para tabletas y teléfonos inteligentes. También se tiene planeado implementar el método propuesto utilizando los lentes de realidad aumentada Meta 1 Developer Kit, así como utilizar un pico-proyector que permita proyectar las imágenes de rayos-X directamente en el rostro del paciente. Esto incorporará nuevos retos al proyecto ya que en este trabajo, la transformación utilizada está limitada a solamente 4 grados de libertad. Por lo tanto, el alineamiento de las imágenes no funcionará cuando se mire al paciente desde una posición frontal. En un trabajo futuro pretendemos incorporar una visión panorámica empleando la información de ortopantomografías. Estas últimas son igualmente comunes en los procedimientos quirúrgicos y contienen información correspondiente al paciente visto desde otros ángulos (Fig. 4). Finalmente, creemos que el uso de información 3D obtenida por cámaras de rango permitirán utilizar transformaciones geométricas tridimensionales, mejorando a su vez los resultados y permitiéndole al médico tener más libertad de movimiento.



Fig. 4. Ejemplo de radiografía panorámica de cráneo.

## V. CONCLUSIÓN

La RA es una técnica que combina en tiempo real elementos de un medio físico del mundo real con elementos virtuales generados por una computadora. La aplicación de dicha técnica en el campo de la medicina promete generar grandes impactos tanto en la forma de diagnosticar y tratar a un paciente como también en la manera de estudiar la medicina y todas sus ramas de estudio.

En este trabajo se han presentado los primeros resultados de un proyecto en el que se pretende desarrollar una herramienta computacional de RA con aplicaciones en odontología. Los primeros resultados cualitativos obtenidos son prometedores e indican la posibilidad de desarrollar la herramienta propuesta.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] W. E. Mackay. "Augmented reality: linking real and virtual worlds: a new paradigm for interacting with computers". *Proceedings of the working conference on Advanced visual interfaces*. 1998.
- [2] R. T. Azuma "A survey of augmented reality". *Presence*. Vol 6, no. 4, pp. 355–385, 1997.

- [3] D.W.F. van Krevelen and R. Poelman. "A survey of augmented reality technologies, applications and limitations". *The International Journal of Virtual Reality*. Vol. 9, no. 2, pp. 1–20, 2010.
- [4] H. Fuchs, M. A. Livingston, R. Raskar, K. Keller, J. R. Crawford, P. Rademacher, S. H. Drake and A. Meyer. "Augmented reality visualization for laparoscopic surgery". Ed. Springer Berlin Heidelberg, 1998.
- [5] S. L. Tang, K. Chee-Keong, T. Ming-Yeong, W. Sing and L. Keck-Voon. "Augmented reality systems for medical applications". *Engineering in Medicine and Biology Magazine*. Vol. 17, no. 3, pp. 49–58, 1998.
- [6] S. Yoshinobu, M. Nakamoto, Y. Tamaki, T. Sasama, I. Sakita, Y. Nakajima, M. Monden, and S. Tamura. "Image guidance of breast cancer surgery using 3-D ultrasound images and augmented reality visualization". *IEEE Transactions on Medical Imaging*. Vol. 17, no. 5, pp. 681–693, 1998.
- [7] S. Aristeidis, C. Davatzikos, and N. Paragios. "Deformable medical image registration: A survey". *IEEE Transactions on Medical Imaging*. Vol. 32, no. 7, pp. 1153–1190, 2013.
- [8] F. J. Arreola García, and M. G. Arreola Trujillo. *Manual de Ortodoncia, Teórico-Práctico*. Ed. Cuéllar, 2008.