

ANÁLISIS DE EFICACIA COSMÉTICA IN VIVO MEDIANTE BIO3D STRUCTURED-LIGHT SCANNER

La evaluación de la eficacia cosmética en voluntarios humanos es un aspecto fundamental para la demostración y validación de la funcionalidad de un ingrediente activo o un producto cosmético final. Debido a la variabilidad intrínseca propia de los estudios con voluntarios, fundamentalmente basada en la variabilidad genética, en los hábitos personales y en las características propias de cada voluntario el día de medida, es esencial que la tecnología avance hacia nuevos sistemas y técnicas de análisis que permitan realizar medidas más precisas de la superficie y el volumen facial. Para ello, hemos desarrollado el Bio3D Structured-light Scanner, un nuevo sistema óptico de alta resolución y de toma de datos a alta velocidad, adaptable a diferentes partes del cuerpo y basado en patrones de luz estructurada, el cual nos permite obtener imágenes tridimensionales sofisticadas y realizar mediciones con mayor precisión, sensibilidad y resolución. Esta nueva tecnología nos permite evaluar la eficacia antiarrugas y antiacné, así como cuantificar las bolsas de ojos, la papada, el óvalo y contorno facial, la celulitis y cualquier otra medida que pueda implicar una cuantificación topográfica de la superficie de la piel. Todo ello, de un modo novedoso y más sensible que otras tecnologías clásicas.

JOSÉ LUIS MULLOR, ADELA SERRANO, JOSÉ CABALLERO, DAVID GONZÁLEZ.

Bionos Biotech, S.L.

La determinación de la efectividad cosmética in vivo de un determinado producto o tratamiento en voluntarios humanos, es un aspecto crucial en la industria cosmética. Sin embargo, la variabilidad intrínseca de los distintos voluntarios, determinada por distintos factores (genética, edad, tipo de alimentación, ejercicio físico, tipo de trabajo, hábitos, etc.) da lugar a una variabilidad en los resultados que únicamente podemos reducir aumentando el tamaño del panel

o mejorando la sensibilidad y resolución de las técnicas de análisis. En esta dirección, los nuevos sistemas ópticos de alta resolución y de toma de datos a alta velocidad constituyen la base para el desarrollo de nuevas técnicas de análisis que permitan cuantificar volúmenes faciales y de otras partes del cuerpo, con el objetivo de realizar comparaciones antes y después de un determinado tratamiento.

En la literatura científica encontramos una gran variedad de técnicas basadas en tecnologías ópticas que permiten la reconstrucción 3D de cualquier objeto. Una de las tecnologías más sensibles y

rápidas es el método 'Gray Code + Phase Shift' (GC+PS), que aúna la proyección de códigos binarios de luz con la proyección de un conjunto de patrones sinusoidales desfasados entre ellos. La combinación de ambas técnicas nos proporciona un método muy preciso y estable gracias a la rapidez en la toma de datos y a la resolución de las cámaras. Una muestra del proceso y de los patrones utilizados en esta técnica se muestran en la figura 1A.

La configuración del sistema de reconstrucción 3D está constituida básicamente por una cámara y un proyector, en una disposición tal y como se muestra en la figura 1B.

La técnica GC+PS requiere de la proyección de numerosos patrones de luz para realizar la reconstrucción 3D. Esta necesidad, unida a que el objeto a reconstruir no es rígido ni inerte, hace necesario el uso de un sistema cámara + proyector sincronizado y con un elevado frame rate o velocidad de captura (>250 fps).

La finalidad de utilizar estos dispositivos es sincronizar cámara y proyector para poder escanear la escena en un tiempo muy reducido (< 0.2 segundos) y mantener la precisión del método (< 0.1 mm) en la reconstrucción tridimensional de objetos in vivo. Además, se realiza una verificación de diámetros y distancias con Dumbbell de acuerdo a la norma VDI/VDE 2634.

Este método de captación de imágenes y reconstrucción tridimensional in vivo, fácilmente adaptable a distintas formas y estructuras, lo hemos denominado Bio3D Structured-light Scanner. Nos permite determinar la eficacia cosmética de un determinado tratamiento y obtener imágenes novedosas para una serie de aplicaciones y marcadores que se muestran a continuación.

EFICACIA ANTIARRUGAS

La capacidad de un determinado tratamiento de reducir las arrugas (en frente,

patas de gallo, entrecejo, mejilla, cuello u otras partes del cuerpo) se puede analizar mediante un análisis de curvatura. Los datos obtenidos se procesan usando un algoritmo de análisis de la superficie que nos proporcionará parámetros numéricos (píxeles) de área, longitud y profundidad para cada una de las arrugas que el software reconoce a partir de un threshold determinado, en la región de interés seleccionada.

En el caso de las arrugas faciales, para cada panelista se realizan dos capturas, una frontal en la zona de la frente (arrugas frontales) y otra lateral en la zona de la sien (patas de gallo). Para cada una de ellas se obtiene una reconstrucción tridimensional, lo que nos permite obtener imágenes y datos cuantitativos de ambas zonas, de forma individual.

Las arrugas corresponden a las zonas de mínima curvatura, dado que la curvatura de un punto perteneciente a una superficie es una medida que está directamente relacionada con la geometría del entorno en dicho punto, siendo la inversa al radio de la esfera que mejor se ajusta al entorno del punto elevado. Para las regiones de mínima curvatura (arrugas), se obtienen parámetros como el área, la longitud y la profundidad. Así, en el mismo estudio obtenemos datos de área, longitud y profundidad de arrugas

frontales y arrugas laterales (6 resultados numéricos independientes); lo cual puede representarse gráficamente como se muestra en la figura 2. Asimismo, se obtienen imágenes para cada voluntario en distintos formatos, como las que se muestran en la figura 3. Toda esta información se puede representar de distintas maneras mediante patrones de colores, facilitando la visualización y potenciando el marketing de los resultados.

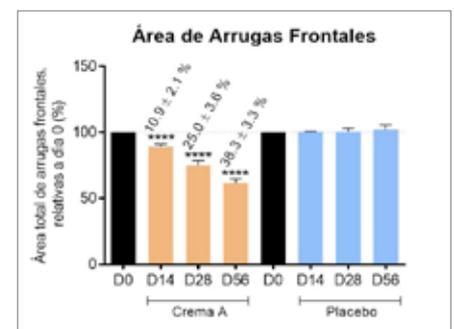


Figura 2: Representación gráfica mostrando el área total de arrugas frontales tras tratamiento tópico con Crema A durante 8 semanas en 25 voluntarios, comparado con placebo en 15 voluntarios, normalizado a día 0 (antes del tratamiento). **** Representa significancia estadística con p valor < 0.0001.

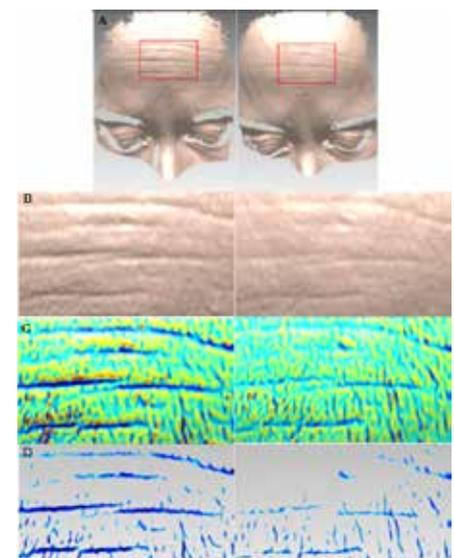


Figura 3: Imágenes mostrando la reconstrucción 3D frontal obtenida a partir de las imágenes 2D realizadas al panelista (A), la zona de las arrugas frontales de interés (B), el análisis de curvatura de la zona de interés (C) y la extracción de arrugas (D); antes (izquierda) y después (derecha) de un determinado tratamiento.

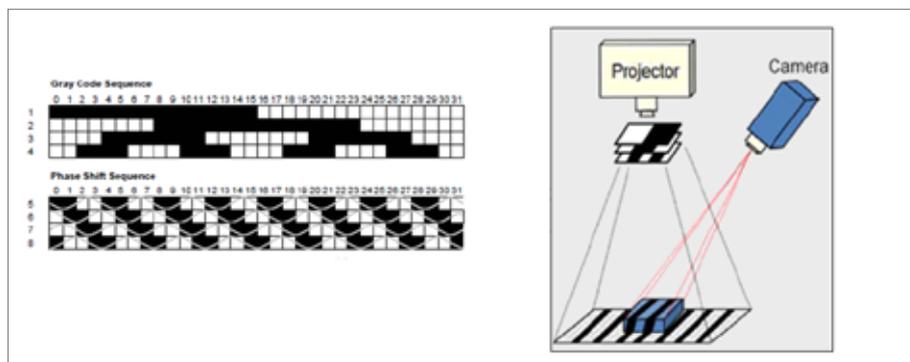


Figura 1: A) Patrón de análisis Gray code + Phase shift. B) Representación esquemática de la configuración del Sistema de reconstrucción 3D, constituido por una cámara y un proyector.

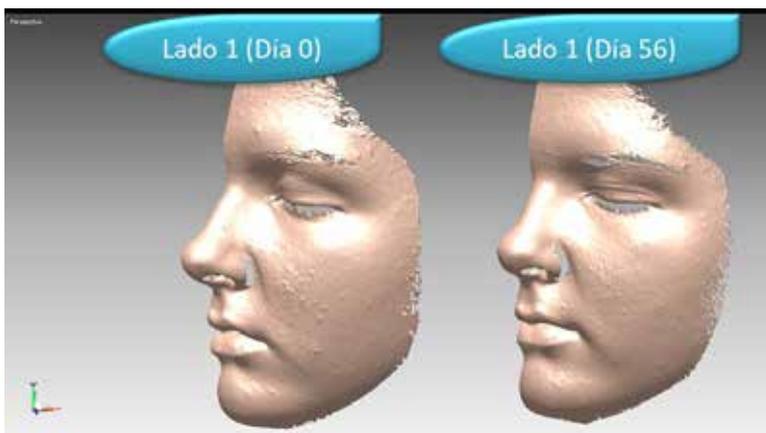


Figura 4: Imágenes mostrando la reconstrucción 3D obtenida a partir de las imágenes 2D de un determinado voluntario, antes y después de un tratamiento antiacné durante 8 semanas.

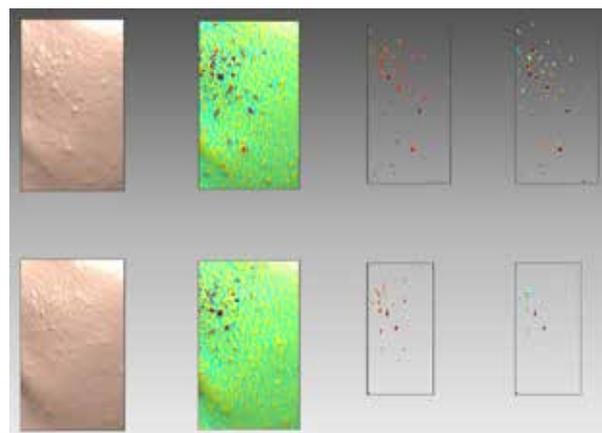


Figura 5: Imágenes mostrando la región de interés sobre la que se evalúa el área total, número total, altura y perímetro de las protuberancias, antes (arriba) y después (debajo) de un tratamiento antiacné durante 8 semanas.

EFICACIA ANTIACNÉ

Del mismo modo que evaluamos las arrugas, Bio3D Structured-light Scanner nos permite evaluar la superficie facial en busca de acné, obteniendo datos de área total, número, altura o elevación y perímetro, de las protuberancias existentes en la región de interés.

Además de las fotografías macroscópicas que podemos obtener a través de una cámara digital, esta tecnología nos permite obtener reconstrucciones tridimensionales de los voluntarios antes y después del tratamiento, así como extraer la región de interés y obtener imágenes procesadas, perfectas para la exposición comercial de los resultados, como se muestra en las figuras 4-5.

EFICACIA ANTIRRUGOSIDAD Y LUMINOSA

La textura y brillo de una superficie pueden hacer que esta parezca más brillante, apagada, luminosa u opaca. Esto se debe a que las condiciones de la superficie afectan directamente a cómo la luz se refleja en ella y cómo nuestros ojos perciben su apariencia.

Hay dos modos en que la luz se refleja en un objeto:

- Especular: la luz se refleja con el mismo ángulo respecto a la luz normal incidente, haciendo que el objeto parezca más luminoso.
- Difusa: la luz es esparcida en varias direcciones haciendo que el objeto parezca más apagado.

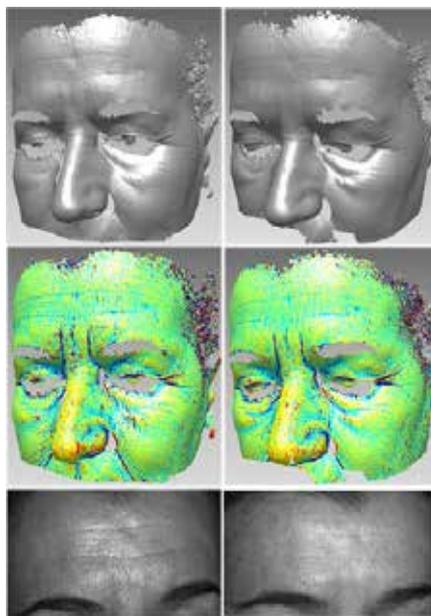


Figura 6: Imágenes mostrando la reconstrucción 3D obtenida a partir de las imágenes 2D realizadas al panelista (arriba), el análisis de curvatura (medio) y la imagen 2D mostrando una mayor luminosidad después del tratamiento (abajo). Izquierda, antes del tratamiento; derecha, después del tratamiento.

Cuanto más homogénea sea la superficie, mayor luminosidad especular se percibirá y menor difusión de la luz tendremos.

Analizando la superficie de la piel y calculando su rugosidad, podemos evaluar cambios en la superficie rugosa y en la luminosidad cutánea, como se muestra en la figura 6. De esta manera, podemos obtener un dato numérico y estadísticamente analizable del área rugosa y de la luminosidad de la superficie de la cara o del 'efecto mate' de un determinado producto.

EFICACIA ANTIBOLSAS DE OJOS

A partir de diversas imágenes frontales y laterales de cada voluntario, podemos realizar una reconstrucción 3D de la región ocular y evaluar la eficacia de productos destinados a reducir las bolsas que se forman debajo de los ojos.

Para cada voluntario generamos dos reconstrucciones 3D, antes y después del tratamiento, que podemos alinear en una misma malla a través del método 'best fit', ampliamente utilizado en metrología 3D. El alineamiento 'best fit' nos permite orientar y mover las nubes de puntos hasta conseguir una posición

u orientación donde la diferencia entre ambas es mínima. En esta posición, se dice que las reconstrucciones están alineadas y ya se pueden comparar.

Con las mallas alineadas, podemos generar un mapa de desviaciones entre vértices de la malla. Dado que los voluntarios no son objetos rígidos, utilizaremos las zonas de máxima desviación, estableciendo un umbral, y asociaremos estos cambios a los efectos del tratamiento.

Los puntos con desviaciones inferiores al umbral son descartados y se considera que el tratamiento no ha tenido efecto en ellos. Por otro lado, los puntos con desviaciones superiores al umbral serán los que sí se han visto afectados por el tratamiento y, por tanto, serán los puntos a evaluar.

Los resultados mostrados en la figura 7 nos muestran que el tratamiento ha tenido efecto sobre las bolsas de los ojos, ya que son todos esos puntos rojos los que han dado diferencias por encima del umbral definido. Teniendo en cuenta que el mapa de desviaciones se ha obtenido comparando antes y después, podemos decir que las bolsas de los ojos se han reducido ya que el umbral elegido es mayor que cero. Por tanto, obtenemos resultados de reducción de volumen de

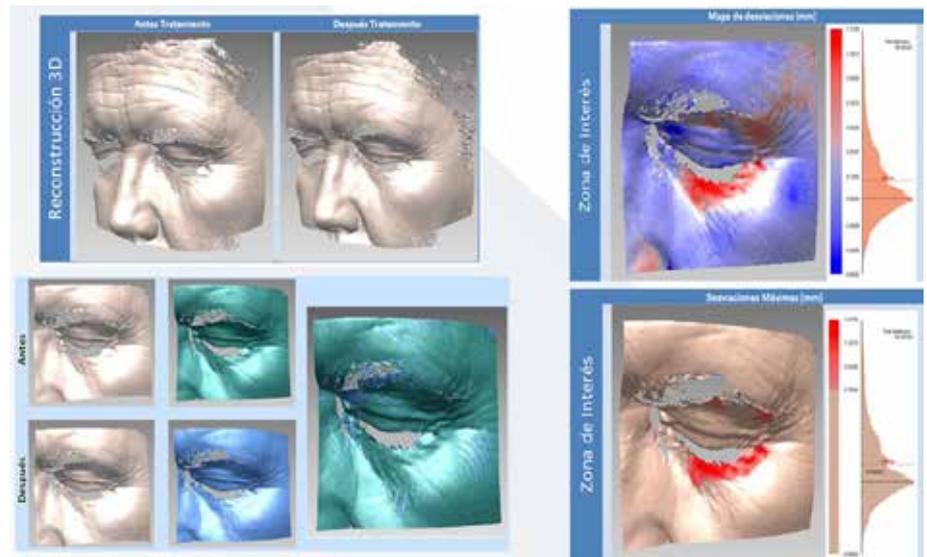


Figura 7: Proceso de análisis de la zona del contorno de ojo y la bolsa. Se muestra la extracción del área afectada y de la desviación media experimentada durante el tratamiento. A la derecha, se muestra la imagen mostrando la parte de la bolsa (en rojo) afectada por el tratamiento, tras realizar el alineamiento 'best fit' entre las mallas obtenidas antes y después del determinado tratamiento. Más a la derecha se muestra el mapa de desviaciones.

LOS NUEVOS SISTEMAS ÓPTICOS DE ALTA RESOLUCIÓN Y DE TOMA DE DATOS A ALTA VELOCIDAD NOS PERMITEN REALIZAR MEDIDAS MÁS PRECISAS DE LA SUPERFICIE Y EL VOLUMEN FACIAL

la zona seleccionada (mm^3) para cada voluntario, lo cual nos permite realizar un análisis estadístico de todos los voluntarios y determinar la reducción media

del volumen de ojeras provocado por el tratamiento sobre el conjunto global de los voluntarios incluidos en el estudio.

EFICACIA REMODELADORA DEL ÓVALO FACIAL Y CONTORNO DE CARA

De forma similar al procedimiento realizado para cuantificar las bolsas de los ojos, podemos hacer una reconstrucción tridimensional del óvalo facial y hacer comparaciones antes y después de un determinado tratamiento.

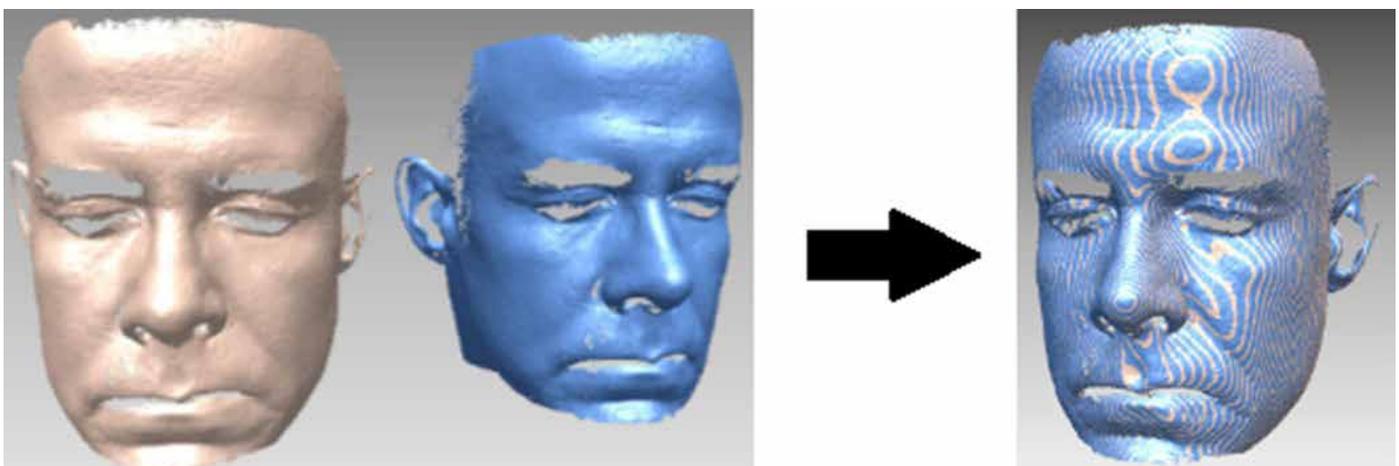


Figura 8: Imagen mostrando las reconstrucciones tridimensionales correspondientes al óvalo y contorno facial, antes (azul) y después (crema) de un determinado tratamiento. La imagen de la derecha muestra la superposición de las dos mallas (best fit).

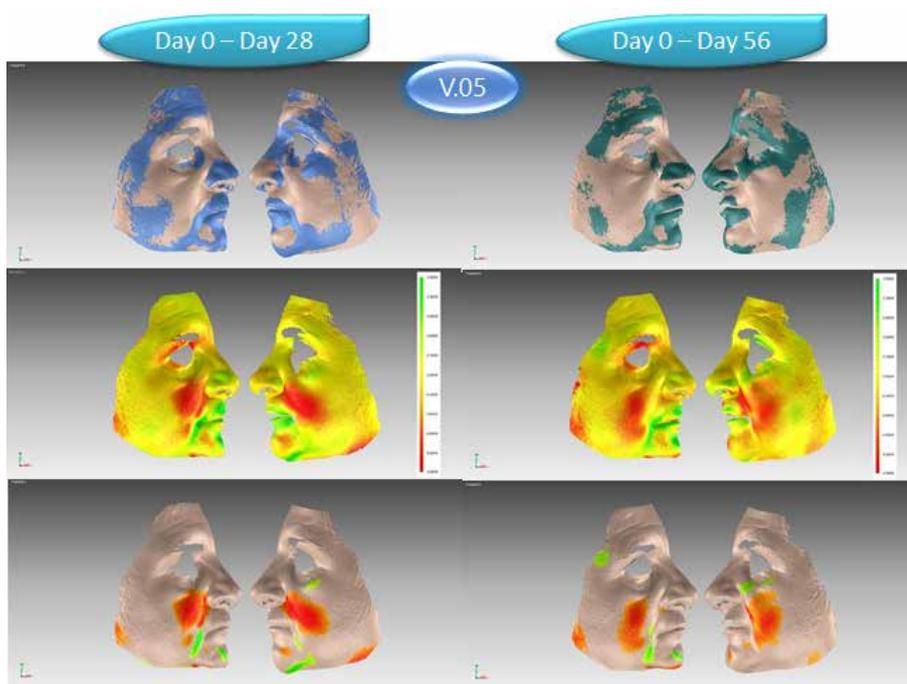


Figura 9: Imagen mostrando la superposición de las distintas mallas mediante dos comparaciones (Día 0 – Día 28, izquierda; Día 0 – Día 56, derecha), tras realizar el alineamiento. Arriba se muestra la superposición de las mallas, en el medio se muestra la superposición destacando en rojo las zonas con variación de volumen, abajo se muestra la superposición únicamente destacando en rojo las zonas con variación de volumen por encima de un determinado threshold.

A partir de diversas imágenes (al menos lateral derecho, central y lateral izquierdo), podemos obtener una reconstrucción integral de la zona deseada. En la figura 8, la malla azul representa el antes y la malla crema el después. Tras realizar el alineamiento, las mallas se superponen y podemos obtener la diferencia entre una y otra. El resultado de esta superposición entre las dos mallas nos proporciona el mapa de desviación en todos los puntos, lo

cual es directamente proporcional a la variación del volumen entre mallas.

De esta forma, podemos obtener datos de la reducción en volumen del óvalo facial y el contorno de la cara correspondiente a un determinado tratamiento cosmético, además de las imágenes que se obtienen a lo largo del proceso, como se muestra en la figura 9, con un potente contenido visual.

EFICACIA ANTIPAPADA

Mediante Bio3D Structured-light Scanner, también podemos determinar la eficacia de un tratamiento cosmético en la reducción de la papada. Para ello, capturamos diversas imágenes del cuello del voluntario y realizamos una reconstrucción tridimensional, de igual forma que hacemos para otras aplicaciones, como se muestra en la figura 10.

Tomando como referencia la barbilla y/o mandíbula, se superponen las imágenes y se consigue una única malla (3D), que será la que se compare en el tiempo. Se realiza este procedimiento para las imágenes obtenidas antes y después del tratamiento. Posteriormente, se elige una sección vertical que pase por la zona de la papada y se realiza la comparación, por resta entre la malla a tiempo 0 y la malla a tiempo X, a lo largo de la sección elegida; como se muestra en la figura 11.

Los resultados que se proporcionan (ver figura 12) son la desviación máxima (máxima reducción de la papada, en mm), la desviación mínima (máximo aumento de la papada, en mm) y la desviación media de la papada a lo largo de toda la sección (mm).

Por último, es importante destacar que la tecnología Bio3D Structured-light Scanner nos permite evaluar al mismo



Figura 10: Imágenes 2D de la zona de la papada (izquierda), a partir de las cuales se realiza la reconstrucción 3D (derecha) antes y después del tratamiento, para cada voluntario.

tiempo distintos marcadores (arrugas, rugosidad, acné, papada, etc.) a partir de las mismas imágenes obtenidas de cada voluntario. Por tanto, se pueden combinar las distintas aplicaciones para obtener una gran cantidad de información en el mismo estudio.

CONCLUSIÓN

Los nuevos sistemas ópticos de alta resolución y de toma de datos a alta velocidad nos permiten realizar medidas más precisas de la superficie y el volumen facial, con el objetivo de medir con mayor precisión la eficacia de un determinado tratamiento cosmético. Gracias al Bio3D Structured-light Scanner, podemos evaluar la eficacia antiarrugas de un modo novedoso y más sensible, así como aplicar esta nueva tecnología a la cuantificación de acné, bolsas de ojos, papada, óvalo y contorno facial, celulitis y cualquier otra medida que pueda implicar una cuantificación topográfica de la superficie de la piel. Todo ello nos permite detectar la eficacia y funcionalidad de un tratamiento cosmético con mayor precisión y sofisticación que otros métodos de análisis ◀◀

Referencias

Calyecac Marrero, Francisco (2001). «Escáner 3D mediante Triangulación y Luz Estructurada para Reconstrucción de Piezas Arqueológicas». Tesis Facultad de Ciencias de la Computación (Universidad Autónoma de Puebla).

Berryman, F; Pynsent, P; Cubillo, J; A theoretical Comparison of three fringe analysis methods for determining the three-dimensional shape of an object in the presence of noise, Optics and Lasers in Engineering, Vol. 39, pp. 35-50, 2003, ISSN 0143-8166 4.

Takeda, M; Ina, H. Kobayashi, S; Fourier-Transform method of fringe pattern analysis for computed-based topography and interferometry. J.Opt. Soc.Am. Vol. 72, No.1, pp.156-160, January 1982, ISSN 1084-7529.

David, HA; Gunnink, JL. The Paired t Test Under Artificial Pairing. 1997. The American Statistician 51(1):9-12.

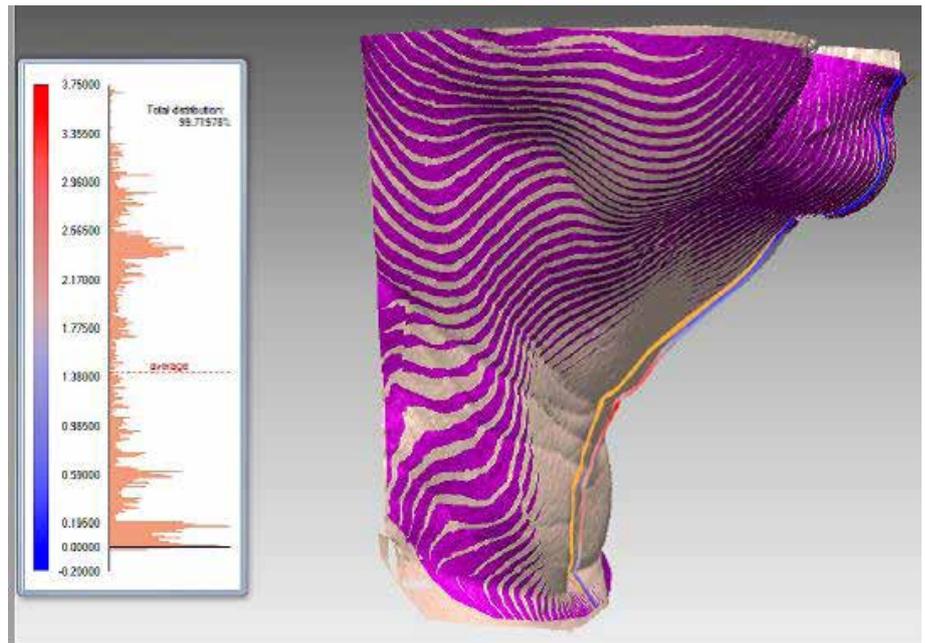


Figura 11: Imagen mostrando la superposición de las mallas 3D generadas antes y después del tratamiento. La gráfica obtenida muestra las diferencias en forma de histograma (puntos con la misma desviación). La zona roja muestra zonas donde la malla a tiempo 0 está por delante de la malla a tiempo X (zona donde se reduce la papada, desviación > 0). La zona azul muestra las zonas donde la malla a tiempo 0 está por detrás de la malla a tiempo X (zona donde aumenta la papada, desviación < 0).

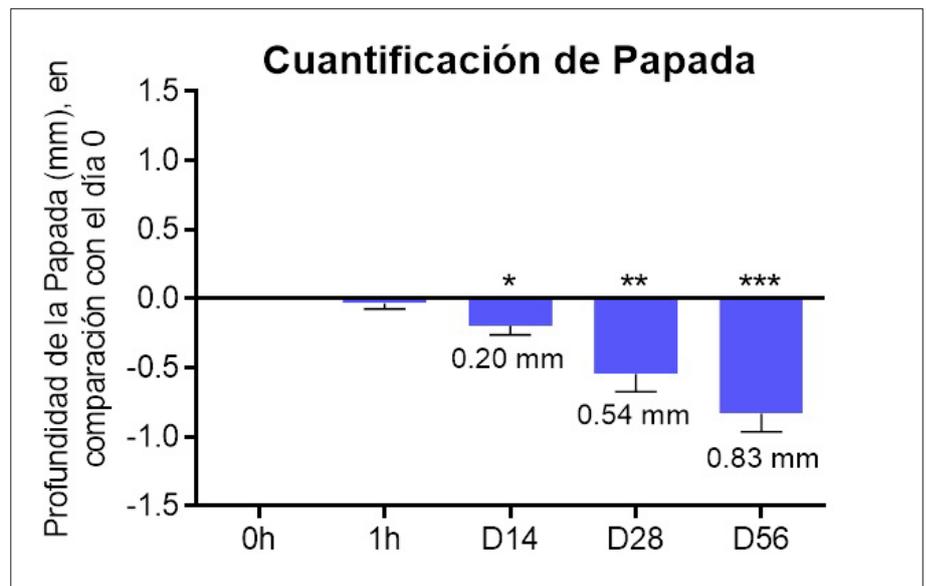


Figura 12: Representación gráfica mostrando la disminución de la profundidad de la papada (mm) tras tratamiento tópico durante 8 semanas en 20 voluntarias, normalizado a día 0 (antes del tratamiento). * Representa significancia estadística con p valor < 0.05. ** Representa significancia estadística con p valor < 0.01. *** Representa significancia estadística con p valor < 0.001.

Gross Portney, L.; Watkins, M.P. (1999). "Foundations of Clinical Research: Applications to Practice". Hardcover.

Roger Groves, José Caballero, Ianisse Quinzán Suárez y Emilio Ribes Gómez. Damage and deterioration monitoring of artwork by data fusion of 3D surface and

hyperspectral measurements. Proc. SPIE 9141, Optical Sensing and Detection III, 91411E (May 15, 2014); abril de 2014.

Walpole, Roland; Myers, Raymond y Ye, Keying (2002). "Probability and Statistics for Engineers and Scientists". Pearson Education.