



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIERÍA GEODÉSICA
CARTOGRÁFICA Y TOPOGRÁFICA

PROYECTO FINAL DE MÁSTER

*Tratamiento y gestión de datos
tridimensionales aplicados al proceso de
reparación de úlceras cutáneas*

Autor: David Sánchez Jiménez

Tutor: Fernando Buchón Moragues

ÍNDICE

Acrónimos	3
1. Introducción: Medición de las úlceras de la piel	5
1.1. Importancia del problema.....	5
1.2. Necesidad de la medición cuantitativa	5
1.3. Sistemas de medición utilizados actualmente	6
1.4. Estado actual de nuestro sistema	7
1.5. Desarrollo de nuestro sistema.....	7
2. Justificación.....	8
2.1. Utilidad concreta del proyecto	8
2.2. Utilidad como Proyecto Final de Máster.....	8
3. Objetivos	9
4. Material.....	10
4.1. Toma de fotografías	10
4.2. Tratamiento de los datos.....	10
5. Método	12
5.1. Variables de la úlcera.....	12
5.2. Sistema de aplicaciones.....	14
5.2.1. Programa MU (medición de úlceras)	14
5.2.2. Programa CA3D (creador de animación 3D)	15
5.2.3. Programa CPRA (creador de proyecto de realidad aumentada) .	16
5.3. Página web	17
5.4. Prueba del sistema de aplicaciones y la página web	18
6. Resultados	19
6.1. Programa MU (medición de úlceras).....	19
6.2. Programa CA3D (creador de animación 3D).....	22
6.3. Programa CPRA (creador de proyecto de realidad aumentada).....	24
6.4. Página web	30
7. Discusión.....	47
7.1. Aspectos comerciales	47
7.2. Flujo de proceso.....	48
7.3. Aspectos técnicos generales.....	51

7.4. Aspectos éticos	52
7.5. Programa MU (medición de úlceras).....	53
7.6. Programa CA3D (creador de animación 3D).....	55
7.7. Programa CPRA (creador de proyecto de realidad aumentada).....	58
7.8. Página web	59
8. Conclusiones.....	62
9. Referencias bibliográficas	63

Acrónimos

AVI	Audio Video Interleaved
BBDD	Bases de datos
BLEND	Formato propio de Blender™
CSS	Cascading Style Sheet
DNI	Documento Nacional de Identidad
ETSIGCT	Escuela Técnica Superior de Ingeniería Geodésica, Cartográfica y Topográfica
HTML	Hypertext Markup Language
ICP	Iterative Closest Point
JPG/JPEG	Join Photographic Expert Group
JS	Javascript
MDE	Modelo Digital de Elevaciones
OBJ	Archivo de objeto / Object file
PDF	Portable Document Format
PHP	Hypertext Preprocessor
PLY	Polygon File Format
PNG	Portable Network Graphic
PNOA	Plan Nacional de Ortofotografía Aérea
SIG	Sistema de Información Geográfica
SQL	Structured Query Language

TIN	Triangulated Irregular Network
TXT	Archivo de texto / Text file
UPV	Universitat Politècnica de València
WSGI	Web Server Gateway Interface
XOS	Formato propio de OpenSpace3D™

1. Introducción: Medición de las úlceras de la piel

1.1. Importancia del problema

Las úlceras de la piel tienen importantes repercusiones desde un punto de vista médico y social: económicas, sobre la salud y sobre la calidad de vida de los pacientes. Conllevan un elevado coste económico por su tratamiento, alta prevalencia, evolución crónica y repercusión en bajas laborales. Este problema sanitario afectaba en EEUU a 6'5 millones de personas (> 2% de la población), según datos de 2009, con un coste anual del tratamiento de 25 mil millones de dólares (Sen et al 2009). En España, este coste se estimó en 461 millones de euros anuales solamente para un tipo de úlceras: las úlceras por presión (Soldevilla et al 2007). Se prevé que la importancia de este problema aumente, tanto en su prevalencia (por la forma de vida actual: sedentarismo, tabaquismo, sobrepeso, diabetes) como en su repercusión económica.

1.2. Necesidad de la medición cuantitativa

La medición de úlceras de la piel comenzó a hacerse en 1 y 2 dimensiones para evaluar su evolución hace más de 20 años (Kantor y Margolis 1998), forma parte de varias escalas de valoración periódica utilizadas en clínica (Bates-Jensen 2001) y tiene importancia en el seguimiento evolutivo de los pacientes (Pavlovcic et al 2015, Gethin 2006).

Hay buena correlación entre la cicatrización de las úlceras cutáneas y la disminución de variables como superficie, perímetro y profundidad. Se han sugerido variables predictivas de curación de la úlcera: por ejemplo, Flanagan sugirió que la disminución de un 40% en la superficie de una úlcera en 4 semanas es un buen predictor de cicatrización o curación de ésta (Flanagan, 2003; Sheehan et al 2003; Gelfand et al 2002).

Una optimización de las técnicas utilizadas para la valoración objetiva de la evolución de las úlceras de la piel ayudaría también a comparar la eficacia de los distintos tratamientos (Romanelli 2007) y seleccionar los más adecuados, así como predecir el tiempo de curación (Redden et al 1998, Prompers et al 2008).

1.3. Sistemas de medición utilizados actualmente

Los instrumentos de medición de úlceras utilizados habitualmente en clínica son imprecisos y tienen varios inconvenientes, como inexactitud, dolor, irritación o reacción alérgica (Rogers et al 2010, Langemo et al 1998, Langemo et al 2008, Goldman y Salcido 2002).

Otros instrumentos comercializados para la medición de úlceras requieren un hardware específico costoso y son raramente utilizados en clínica (Polo y Felicísimo 2012, Bowling et al 2011, Plassmann y Jones 2007).

La fotogrametría es una técnica sin contacto muy precisa para medir diversas variables de la úlcera de la piel como el diámetro y profundidad máximos, perímetro, superficie, volumen, etc. (Boersma 2000, Luhmann 2010, Davis et al 2013). El riesgo de infección asociado a la utilización de la fotogrametría es mínimo, pero esta técnica hasta ahora ha sido poco aplicable a la medición de úlceras en investigación o clínica, debido al tiempo, habilidad y coste del equipamiento necesarios para la configuración y puesta a punto del sistema, así como la toma y procesamiento de datos (Shaw y Bell, 2011, Mitchell y Newton 2002, Marjanovic et al 1998, Kecelj-Leskovec 2007). Se han realizado algunos estudios con técnicas fotogramétricas para medir variables tridimensionales como el volumen (Langemo et al 2001, Stockton et al 2015), pero son necesarios nuevos estudios para comprobar su exactitud, optimizar su coste y mejorar la configuración del sistema (Jorgensen et al 2015).

1.4. Estado actual de nuestro sistema

En proyectos anteriores desarrollamos los procedimientos de toma de datos y medición de las dimensiones de las úlceras (índice de rugosidad, coeficiente de circularidad, longitud máxima, perímetro, diámetro, superficie, superficie excavada y volumen) mediante cámara fotográfica, escáner manual (Sense™ 3D) y software fotogramétrico de escaneado basado en correlación (Agisoft® Photoscan, Photomodeler™ Scanner) (Sánchez-Jiménez y Buchón 2013, Sánchez-Jiménez y Buchón 2014, Botella et al 2015, Buchón y Palomar 2015). Hemos probado nuestra técnica en un ensayo clínico randomizado realizado en pacientes con úlceras crónicas de la pierna (Martínez et al 2016).

1.5. Desarrollo de nuestro sistema

En continuidad con nuestra línea de investigación, este proyecto intenta dar un paso más, con la automatización del tratamiento de las nubes de puntos obtenidas tras la toma de imágenes de úlceras cutáneas.

Con este propósito, se crean tres programas para valorar la evolución de las úlceras cutáneas durante el seguimiento por el personal sanitario. Estos programas automatizan la obtención de variables y generan los siguientes documentos informativos con las características de la úlcera cutánea: informe en formato PDF, animación en formato AVI y escena de realidad aumentada en formato XOS. Se crea también una página web para almacenar estos resultados y documentos y permitir una interacción con el personal sanitario. Además, se prueba y depura el funcionamiento de este conjunto de programas y página web introduciendo datos reales de 50 úlceras cutáneas de la pierna.

2. Justificación

La temática de este proyecto es novedosa en el ámbito de la geomática. Las aplicaciones biomédicas tienen una gran potencialidad que justificarían la diferenciación de un área o sector del conocimiento dentro de la geomática, que condujera a nuevas salidas profesionales desde la titulación.

Este proyecto continúa nuestra línea de investigación en medición de úlceras con técnicas fotogramétricas. Por otra parte, como se refiere en la Introducción, la realización de este tipo de estudios es necesaria para poner a punto una técnica de medición de variables tridimensionales en úlceras de la piel.

2.1. Utilidad concreta del proyecto

Su principal utilidad es crear una herramienta con dos funciones:

- Automatizar el tratamiento y gestión de los datos tridimensionales obtenidos en la toma de fotografías de úlceras de la piel.
- Presentar los resultados y facilitar su interpretación por el personal sanitario, que carece de experiencia en la gestión de datos tridimensionales.

Tiene una doble orientación: profesional (busca ayudar al seguimiento asistencial de los pacientes y, eventualmente, la comercialización del producto) e investigadora (desarrollo científico).

2.2. Utilidad como Proyecto Final de Máster

En el desarrollo de las aplicaciones y página web se muestran varias competencias adquiridas durante el máster.

3. Objetivos

El presente proyecto tiene tres objetivos:

1. Crear un sistema de aplicaciones informáticas para automatizar el tratamiento de las nubes de puntos obtenidas tras la toma de imágenes, incluyendo los siguientes programas:
 - Programa MU (medición de úlceras): automatiza la medición de un conjunto de variables tridimensionales en una úlcera cutánea.
 - Programa CA3D (creador de animación 3D): produce un vídeo para visualizar el modelo tridimensional de la úlcera cutánea y muestra su evolución temporal, junto a un resumen de variables descriptivas que aparecen en el vídeo.
 - Programa CPRA (creador de proyecto de realidad aumentada): representa el modelo tridimensional de la úlcera en un entorno de realidad aumentada.
2. Crear una página web que aloje una base de datos dinámica con las variables de las úlceras cutáneas, ordenada por paciente y semana, que permita descargar los resultados obtenidos con los programas anteriores, así como visualizar y medir los modelos tridimensionales de las úlceras.
3. Probar el funcionamiento del sistema de aplicaciones en conjunto con la página web introduciendo datos reales de 50 úlceras cutáneas de pierna.

4. Material

4.1. Toma de fotografías

- Cámara fotográfica digital no métrica calibrada HD Sony[®] Handycam Super Steadyshot HDR SR12 (10.2 megapíxeles).
- Fotografías de pacientes con úlceras venosas crónicas de la pierna, obtenidas en los servicios de dermatología del *Hospital Universitari i Politècnic La Fe y Complejo Hospitalario Universitario de Albacete*.
- Papel calibrado.

4.2. Tratamiento de los datos

- Hardware:
 - Ordenador portátil con procesador Intel[®] Core[™] i7-3612 QM; Memoria RAM: 4 GB; Disco duro de 500 GB.
- Software:

Se citan nombre comercial, versión y utilidad.

- Agisoft[®] Photoscan Professional versión 1.0.3: Creación de nubes de puntos.
- CloudCompare versión 2.4: Tratamiento de nubes de puntos
- Python[™] versión 2.7: Lenguaje de programación en la página web y los programas MU, CA3D y CRPA.
- Qt[®] Designer versión 4.8.7: Creación de interfaces gráficas en los programas MU, CA3D y CRPA.
- Blender[™] versión 2.77: Programa fundamental en los programas CA3D y CRPA.
- ArcMap[™] versión 10.1: Programa fundamental en el programa MU.
- OpenSpace3D[™] versión 1.21: Programa fundamental en el programa CRPA.

- LiClipse[®] versión 1.4: Editor de código para la programación de la página web.
- Apache[®] MS4W Web Server versión 2.2.22: Servidor web.
- PgAdmin[®] III versión 1.22.1: Programa de gestión relacional de bases de datos (*BBDD*) PostgreSQL orientada a objetos, utilizado en la página web.

5. Método

5.1. Variables de la úlcera

Para calcular las variables de la úlcera cutánea es necesario determinar cuál será la superficie de referencia que delimite el “techo de la úlcera”. Definiremos esta superficie no como un plano recto que corta la úlcera desde sus extremos, sino como el plano curvo que mejor se ajusta a la forma que tendría la superficie sana de la pierna, es decir, sin úlcera.

Esto lo hacemos con una interpolación en los contornos de la úlcera, de tal forma que si llevaban una determinada curvatura (la pierna se asemeja a un cilindro) la conserve.

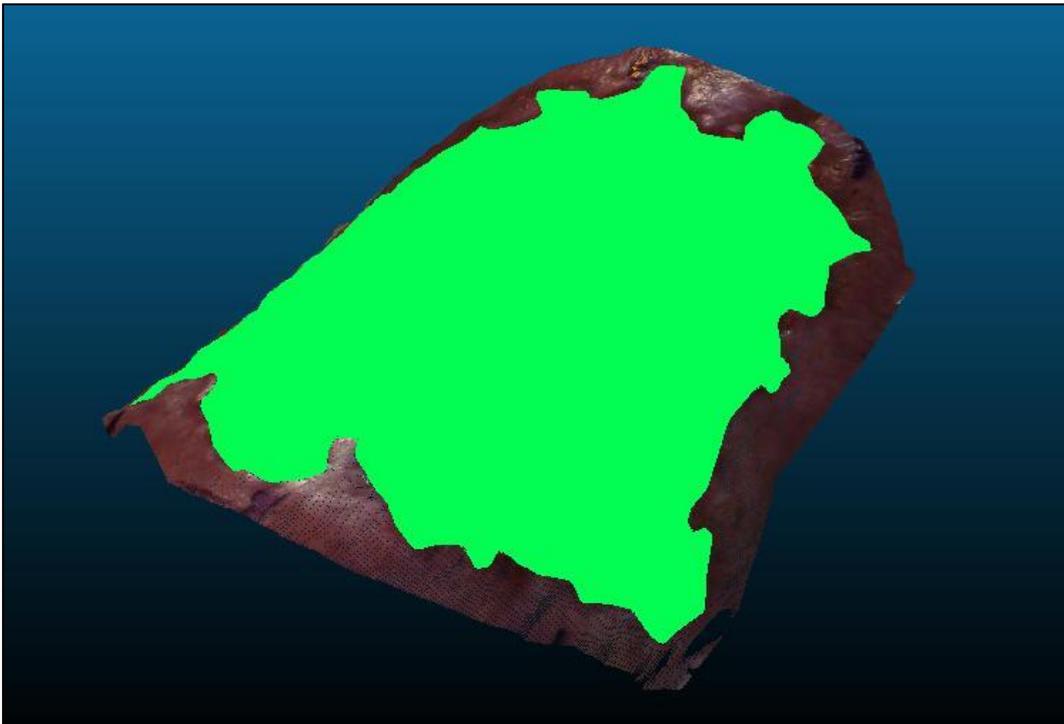


Figura 1. Superficie de referencia de la úlcera cutánea, interpolada a partir de la piel sana circundante y representada en color verde.

La superficie excavada está determinada por el nicho de la úlcera cutánea, con sus prominencias y excavaciones. Será mayor cuanto más accidentada sea la úlcera.

El índice de rugosidad se calcula como el cociente entre la superficie excavada y la superficie de referencia:

$$\text{Índice de rugosidad} = \frac{\text{Superficie excavada}}{\text{Superficie de referencia}}$$

Valores altos de este índice corresponden a úlceras muy accidentadas, con muchos recovecos e irregularidades.

El coeficiente de circularidad de Miller (Delgadillo y Moreno, año sin determinar) se calcula con la siguiente expresión:

$$C_c = \frac{4 * \pi * \text{Superficie de referencia}}{\text{Perímetro}^2}$$

El volumen es el espacio comprendido entre las superficies de referencia y excavada.

5.2. Sistema de aplicaciones

El sistema de aplicaciones se compone de tres programas. Para cada uno de ellos se detallan sucesivamente los siguientes aspectos:

- Descripción técnica de su funcionamiento.
- Lenguaje de programación utilizado.
- Requisitos para su ejecución.

5.2.1. Programa MU (medición de úlceras)

Descripción técnica del funcionamiento del programa:

El programa realiza operaciones propias de un Sistema de Información Geográfica (SIG) para calcular las variables y crear las representaciones que se muestran en el PDF final. Algunas de estas operaciones son:

Partiendo de unas nubes de puntos (X, Y, Z), éstas se triangulan para obtener una malla TIN (Triangulated Irregular Network). Esta malla se transforma en raster. A partir de este raster se obtienen la superficie, superficie excavada y volumen de la úlcera cutánea. Se convierte el raster en polígono, para calcular el perímetro. La longitud máxima se obtiene localizando los vértices del polígono y calculando las distancias entre ellos. El índice de rugosidad y el coeficiente de circularidad de Miller se calculan con las expresiones citadas en el apartado 5.1: “Variables de las úlceras”.

Lenguaje de programación: Python.

Requisitos para su ejecución:

El ordenador desde el que se ejecuta el programa necesita tener instalado:

- Lenguaje de programación Python.
- Software Arcmap™ con sus licencias “Spatial Analyst” y “3D Analyst”.

Los datos iniciales utilizados para cada úlcera cutánea son:

- Fotografía (En formato JPG/PNG).
- Nube de puntos (En formato TXT, estructurado de la siguiente forma: Identificador de punto, coordenada X en mm, coordenada Y en mm, coordenada Z en mm).
- Superficie de referencia (En formato TXT, estructurado de la siguiente forma: Identificador de punto, coordenada X en mm, coordenada Y en mm, coordenada Z en mm).

5.2.2. Programa CA3D (creador de animación 3D)

Descripción técnica del funcionamiento del programa:

El programa genera un código interpretable por Blender™ en base a los parámetros introducidos en la interfaz gráfica. Guarda este código y lo ejecuta como un subprocesso de sistema. Genera resultados en formatos AVI y PNG.

Lenguaje de programación: Python.

Requisitos para su ejecución:

El ordenador desde el que se ejecuta el programa necesita tener instalado:

- Lenguaje de programación Python.
- Software Blender™.

Los datos iniciales utilizados para cada úlcera cutánea son:

- Nubes de puntos trianguladas (En formato OBJ).
- Texturas (En formato JPG/PNG); (opcional).

5.2.3. Programa CPRA (creador de proyecto de realidad aumentada)

Descripción técnica del funcionamiento del programa:

El programa genera un código interpretable por Blender™ en base a los parámetros introducidos en la interfaz gráfica. Guarda este código y lo ejecuta como un subproceso de sistema. Genera resultados en formato BLEND, listos para su exportación a OpenSpace3D™. En este programa se genera el algoritmo que asigna las instrucciones a seguir en la detección de los marcadores, cada uno correspondiente a una visita médica. Así pues, se muestra en un entorno de realidad aumentada el objeto tridimensional de la úlcera y sus variables medidas en dicha visita médica, y se ocultan los demás objetos y variables del resto de visitas médicas.

Lenguaje de programación: Python.

Requisitos para su ejecución:

El ordenador desde el que se ejecuta el programa necesita tener instalado:

- Lenguaje de programación Python.
- Software Blender™.

Los datos iniciales utilizados para cada úlcera cutánea son:

- Nubes de puntos trianguladas (En formato OBJ).
- Texturas (En formato JPG/PNG); (opcional).

5.3. Página web

La página web tiene cinco funciones:

1. Descarga de los resultados obtenidos en los programas anteriores y alojados en el servidor (Secciones “Informes PDF”, “Evolución en vídeo” y “Realidad Aumentada”).
2. Carga en el servidor (vía internet) de fotografías de pacientes con úlceras venosas de la pierna (Sección “Enviar Fotografías”).
3. Consulta de la base de datos alojada en el servidor, con las variables de úlceras de los pacientes (Secciones “Datos de las úlceras” y “Consultar datos de paciente”) y los datos de usuarios (Secciones “Iniciar Sesión” y “Mostrar Usuarios”).
4. Mapa con las entidades relacionadas (Sección “Mapa”).
5. Visualización de los modelos tridimensionales y medición de sus dimensiones desde el navegador (Sección “3D”).

Descripción técnica del funcionamiento de la página web:

La página web está dividida en secciones; cada una de ellas permite realizar distintas funciones. El acceso a estas secciones se realiza por peticiones GET y POST que se procesan por una aplicación WSGI (Web Server Gateway Interface), la cual determina la función a realizar: reemplazar código HTML (Hypertext Markup Language), ejecutar JS (JavaScript), consultar las BBDD alojadas en el servidor por medio de PostgreSQL, etc.

Lenguajes de programación: HTML, CSS (Cascading Style Sheet), JS, PHP (Hypertext Preprocessor), Python.

Requisitos para su funcionamiento:

El ordenador desde el que se ejecuta el programa necesita tener instalado cualquier navegador web.

5.4. Prueba del sistema de aplicaciones y la página web

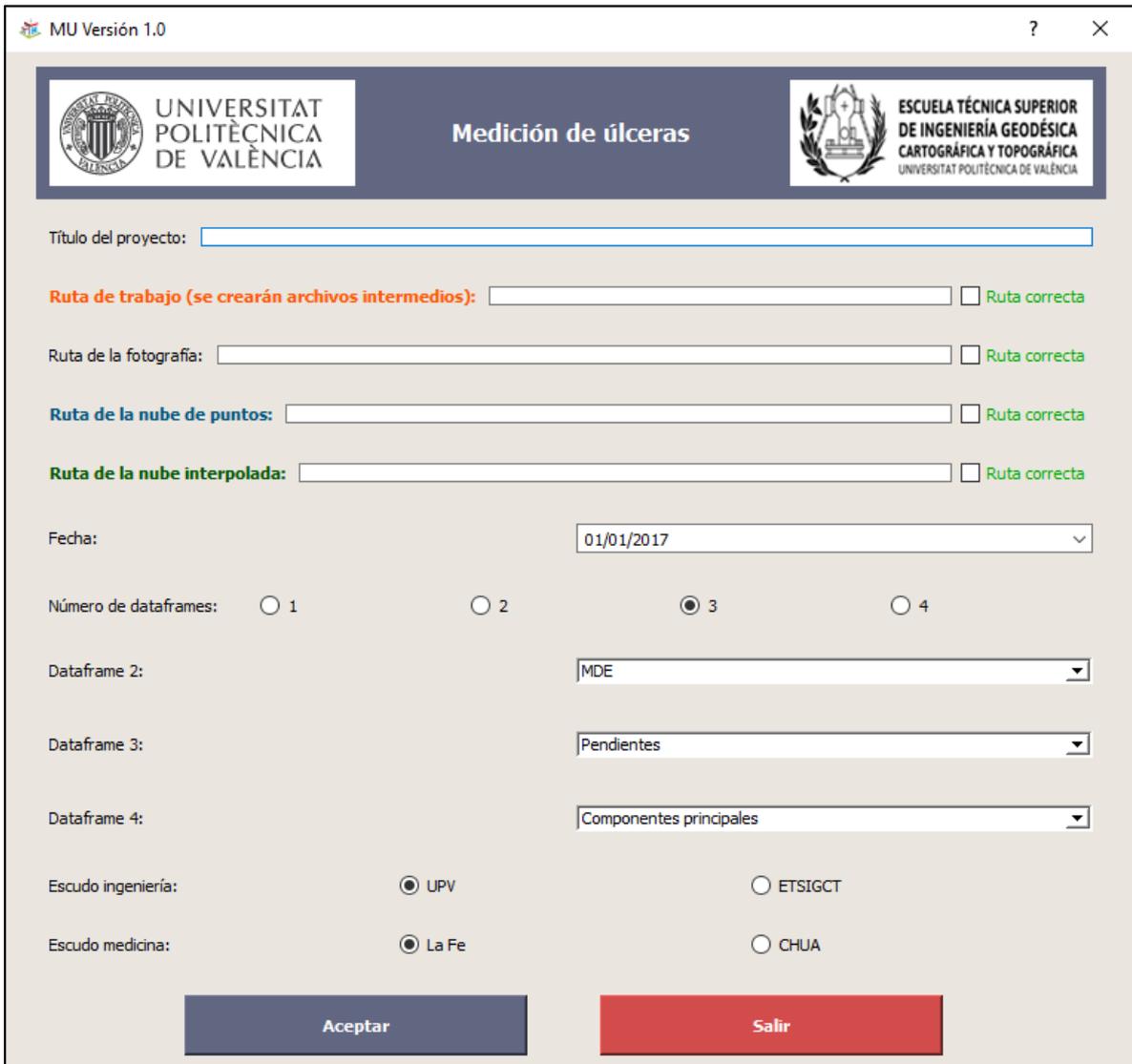
Se obtuvieron resultados de la medición de 50 úlceras cutáneas y su correspondiente documentación utilizando los programas del sistema de aplicaciones. Estos resultados se almacenaron en la página web. Con esto se consiguió:

- Depurar los programas y la página web.
- Disponer de una primera versión para evaluar su utilidad en clínica.

6. Resultados

6.1. Programa MU (medición de úlceras)

La interfaz gráfica de usuario tiene la siguiente apariencia:



MU Versión 1.0

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Medición de úlceras

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA GEODÉSICA CARTOGRÁFICA Y TOPOGRÁFICA UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Título del proyecto:

Ruta de trabajo (se crearán archivos intermedios): Ruta correcta

Ruta de la fotografía: Ruta correcta

Ruta de la nube de puntos: Ruta correcta

Ruta de la nube interpolada: Ruta correcta

Fecha:

Número de dataframes: 1 2 3 4

Dataframe 2:

Dataframe 3:

Dataframe 4:

Escudo ingeniería: UPV ETSIGCT

Escudo medicina: La Fe CHUA

Aceptar

Salir

Figura 2. Interfaz gráfica de usuario del programa MU (Medición de úlceras).

- A continuación se muestra un *fragmento de código* del programa:

```

*****
#Funciones de los botones...
*****

def aceptar(self):
    global mxd, titulo, ruta_res_intermedios, ruta_foto, ruta_nube, ruta_interpolacion, tin_nube, tin_interpolacion
    if comprobar_checkbox(self) == 0:
        return 0
    else:
        #Comprobación de la disponibilidad de las licencias de extensiones "Spatial Analysis" y "3D"
        if arcpy.CheckExtension('Spatial') == 'Available' and arcpy.CheckExtension('3D') == 'Available':
            #Petición de las licencias
            arcpy.CheckOutExtension('Spatial')
            arcpy.CheckOutExtension('3D')

```

Figura 3. Fragmento de código Python del programa MU (Medición de úlceras).

El *resultado* que se obtiene es un informe en formato PDF, en el cual se muestran:

- Título con el identificador de la úlcera cutánea (paciente y semana).
- Logotipos de las entidades relacionadas.
- Fotografía de la úlcera cutánea.
- Imágenes del modelo digital de elevaciones (MDE) y pendientes de la úlcera cutánea.
- Fecha de la visita.
- Variables medidas (superficie, volumen, longitud máxima, índice de rugosidad, perímetro, coeficiente de circularidad, superficie excavada).

Un *ejemplo de informe PDF* para la úlcera cutánea del paciente “5A” en su primera visita médica es el siguiente:

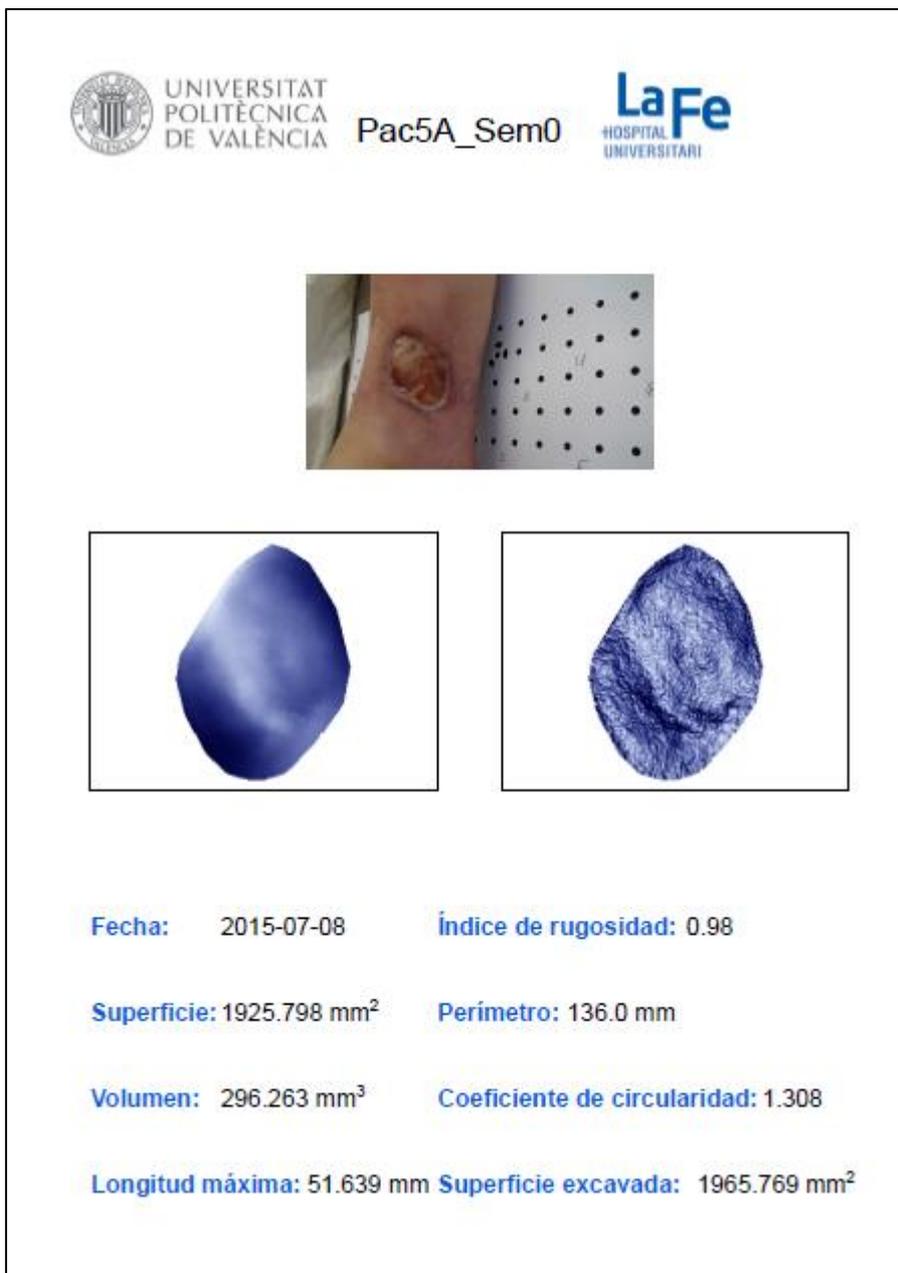


Figura 4. Informe PDF resultante del programa MU (Medición de úlceras) para la úlcera cutánea del paciente “5A” en su primera visita.

6.2. Programa CA3D (creador de animación 3D)

La *interfaz gráfica de usuario* tiene la siguiente apariencia:

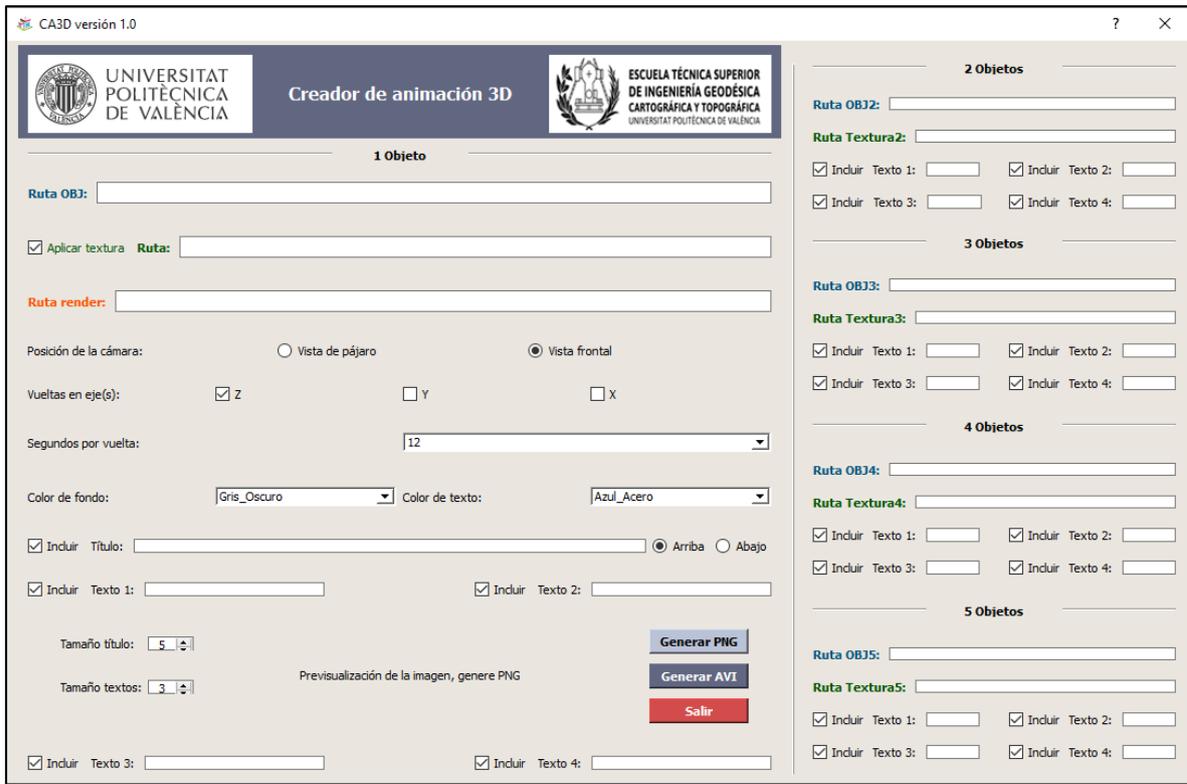


Figura 5. Interfaz gráfica de usuario del programa CA3D (Creador de animación 3D).

A continuación se muestra un *fragmento de código* del programa:

```
def crear_vuelta_z(cadena):
    #Esta función fija unos keyframes en el objeto variando su rotación en el eje Z.
    #Ejemplo: crear_vuelta_z(Cadena con el script) --> cadena del script modificada su creación de keyframes
    cadena = cadena.replace('#_VUELTA_Z_', '')
    #Vuelta en eje Z:
    context.scene.objects.active = bpy.data.objects['_NOMBRE_OBJETO_']
    bpy.data.objects['_NOMBRE_OBJETO_'].rotation_euler = (1.5708, 0.0, 3.14159) #Equivale a (90,0,180)
    context.active_object.keyframe_insert(data_path="rotation_euler", frame=contador_keyframes)
    contador_keyframes += __VUELTA_TIEMPO__
    bpy.data.objects['_NOMBRE_OBJETO_'].rotation_euler = (1.5708, 0.0, 4.71239) #Equivale a (90,0,270)
    context.active_object.keyframe_insert(data_path="rotation_euler", frame=contador_keyframes)
    contador_keyframes += __VUELTA_TIEMPO__
    bpy.data.objects['_NOMBRE_OBJETO_'].rotation_euler = (1.5708, 0.0, 6.28319) #Equivale a (90,0,360)
    context.active_object.keyframe_insert(data_path="rotation_euler", frame=contador_keyframes)
    contador_keyframes += __VUELTA_TIEMPO__
    bpy.data.objects['_NOMBRE_OBJETO_'].rotation_euler = (1.5708, 0.0, 7.85398) #Equivale a (90,0,450)
    context.active_object.keyframe_insert(data_path="rotation_euler", frame=contador_keyframes)
    contador_keyframes += __VUELTA_TIEMPO__
    bpy.data.objects['_NOMBRE_OBJETO_'].rotation_euler = (1.5708, 0.0, 9.42478) #Equivale a (90,0,540)
    context.active_object.keyframe_insert(data_path="rotation_euler", frame=contador_keyframes)
    return cadena
```

Figura 6. Fragmento de código Python del programa CA3D (Creador de animación 3D).

Se obtienen dos tipos de resultados:

- Vídeo del modelo tridimensional de la úlcera cutánea en formato AVI, con rotación de 360° en los tres ejes, con título y textos descriptivos del mismo.
- Imagen correspondiente al primer fotograma (*frame*) del vídeo, en formato PNG.

Un ejemplo de imagen correspondiente al primer fotograma de la evolución de la úlcera cutánea del paciente “12” es el siguiente:

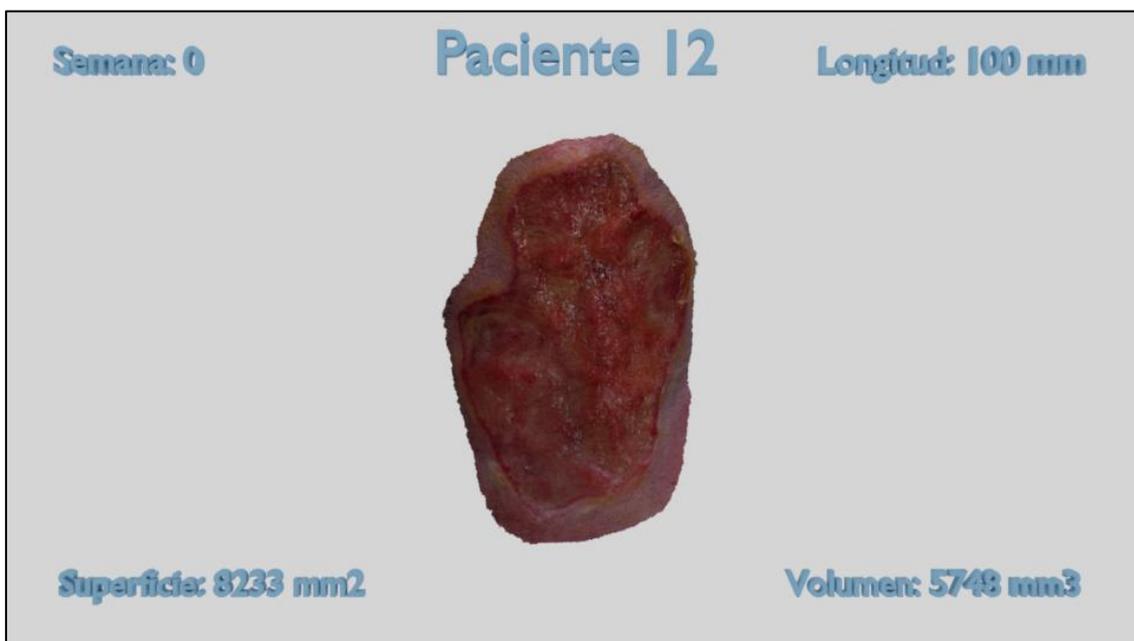


Figura 7. Imagen resultante del programa CA3D (Creador de animación 3D) para la evolución de la úlcera del paciente “12”.

6.3. Programa CPRA (creador de proyecto de realidad aumentada)

La *interfaz gráfica de usuario* tiene la siguiente apariencia:

Figura 8. Interfaz gráfica de usuario del programa CPRA (Creador de proyecto de realidad aumentada).

A continuación se muestra un *fragmento de código* del programa:

```

#*****
#Definición de funciones externas...
#*****

def seleccionar_color(color):
    #Esta función contiene un diccionario con los colores que se utilizarán en los textos.
    #Recibe: un string con el color deseado
    #Devuelve: una tripleta de colores normalizados RGB con ese color
    #Ejemplo: seleccionar_color('Azul') --> [0,0,1]
    diccionario_colores = {'Rojo': [1,0,0], 'Verde': [0,0.5,0], 'Azul': [0,0,1], 'Blanco': [1,1,1],
    'Negro': [0,0,0], 'Naranja': [1,0.549,0], 'Amarillo': [1,1,0], 'Violeta': [0.933,0.51,0.933],
    'Rosa': [1,0.714,0.757], 'Cyan_Oscuro': [0,0.545,0.545], 'Azul_Acero': [0.275,0.51,0.706],
    'Azul_Claro': [0.678,0.847,0.902], 'Plata': [0.753,0.753,0.753], 'Oro': [218,165,32],
    'Verde_Oliva': [0.42,0.557,0.137], 'Verde_Amarillo': [0.604,0.804,0.196], 'Salmon': [1,0.627,0.478],
    'Salmon_Oscuro': [0.913, 0.588, 0.478], 'Salmon_Claro': [1, 0.627, 0.478],
    'Rojo_Indio': [0.803, 0.360, 0.360], 'Rojo_Coral': [0.941, 0.501, 0.501], 'Rojo_Crimson': [0.862, 0.078, 0.235],
    'Rojo_Ladrillo': [0.698, 0.133, 0.133], 'Rojo_Oscuro': [0.545, 0, 0], 'Rosa_Intenso': [1, 0.411, 0.705],
    'Rosa_Profundo': [1, 0.078, 0.576], 'Rosa_Violaceo': [0.780, 0.082, 0.521], 'Rosa_Palo': [0.858, 0.439, 0.576],
    'Rojo_Tomate': [1, 0.388, 0.278], 'Rojo_Amarillado': [1, 0.270, 0], 'Naranja_Oscuro': [1, 0.270, 0],
    'Naranja_Claro': [1, 0.647, 0], 'Amarillo_Mocasin': [1, 0.388, 0.278], 'Kaki': [0.941, 0.901, 0.549],
    'Kaki_Oscuro': [0.741, 0.717, 0.419], 'Lavanda': [0.901, 0.901, 0.980], 'Lila': [0.847, 0.749, 0.847],
    'Magenta': [1, 0, 1], 'Lila_Azulado': [0.576, 0.439, 0.858], 'Lila_Oscuro': [0.4, 0.2, 0.6],
    'Magenta_Oscuro': [0.545, 0, 0.545], 'Azul_Pizarra': [0.282, 0.239, 0.545], 'Verde_Lima': [0.196, 0.803, 0.196],
    'Verde_Palo': [0.596, 0.984, 0.596], 'Verde_Mar': [0.180, 0.545, 0.341], 'Verde_Bosque': [0.133, 0.545, 0.133],
    'Verde_Oscuro': [0, 0.392, 0], 'Verde_Aguamarina': [0.4, 0.803, 0.666], 'Verde_Mar_Oscuro': [0.560, 0.737, 0.545],
    'Verde_Mar_Claro': [0.560, 0.737, 0.545], 'Turquesa_Palo': [0.686, 0.933, 0.933],
    'Azul_Acero_Claro': [0.690, 0.768, 0.870], 'Azul_Acero_Oscuro': [0.560, 0.737, 0.545],
    'Marron_Madera': [0.870, 0.721, 0.529], 'Marron_Oscuro': [0.545, 0.270, 0.074], 'Marron_Siena': [0.627, 0.321, 0.176],
    'Gris_Oscuro': [0.662, 0.662, 0.662], 'Gris_Claro': [0.827, 0.827, 0.827]}
    vector_color = diccionario_colores[color]
    return vector_color

```

Figura 9. Fragmento de código Python del programa CPRA (Creador de proyecto de realidad aumentada).

La plantilla de marcadores utilizada es la siguiente:

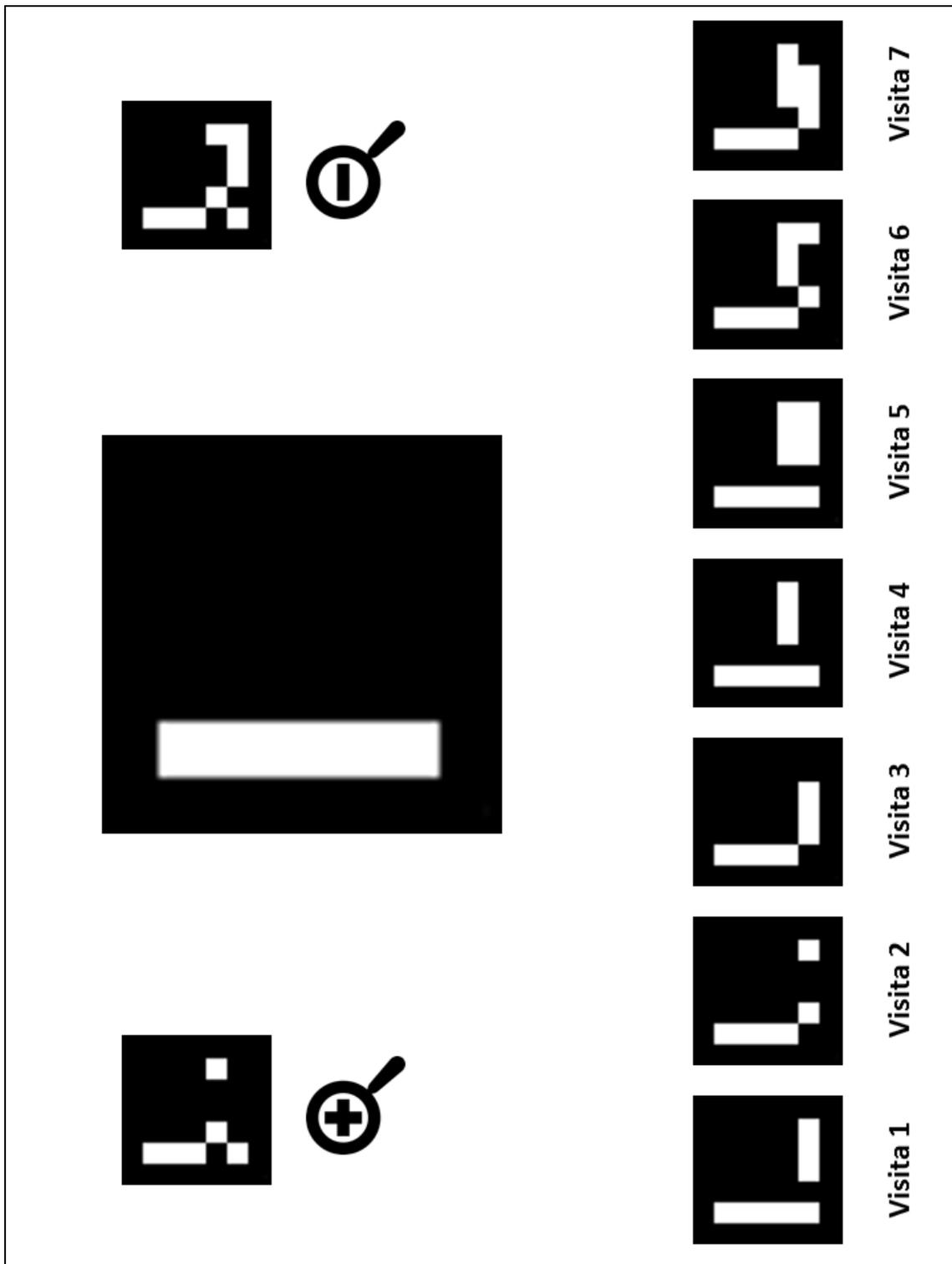


Figura 10. Plantilla de marcadores utilizada en los proyectos de realidad aumentada.

El resultado que se obtiene es una escena compuesta por los modelos tridimensionales de las úlceras cutáneas y sus textos descriptivos.

Se muestra un ejemplo de proyecto de realidad aumentada en OpenSpace3D™ para reflejar la evolución de la úlcera cutánea del paciente “13”:

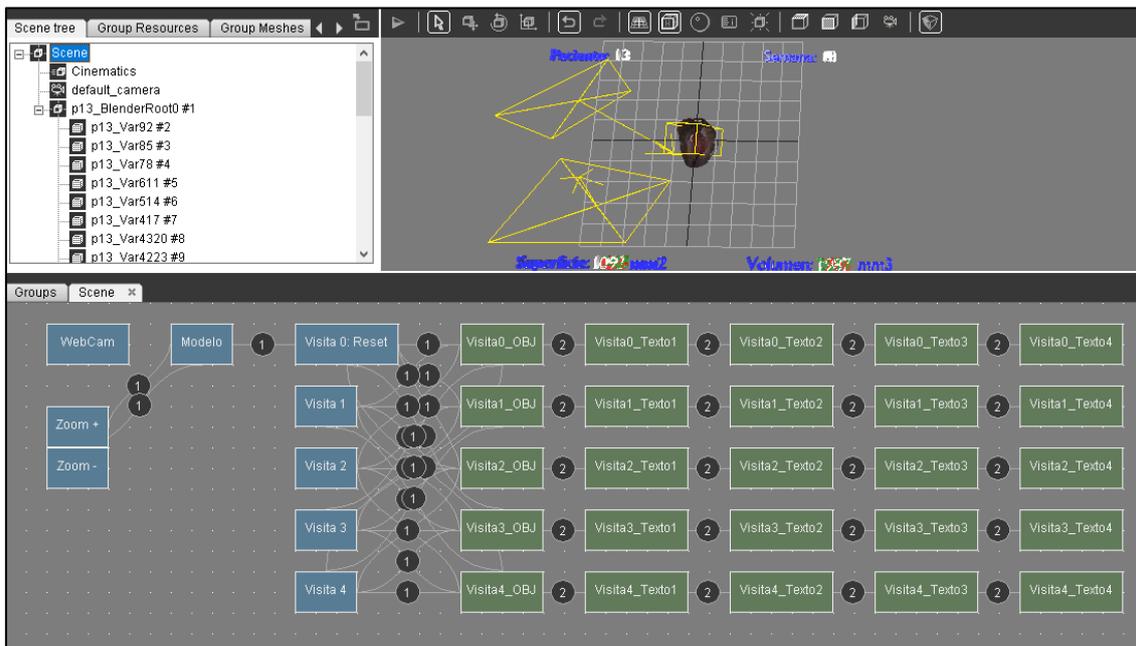


Figura 11. Proyecto de realidad aumentada en OpenSpace3D que muestra la evolución de la úlcera cutánea del paciente “13”: algoritmo que asigna las instrucciones a seguir en la detección de los marcadores.

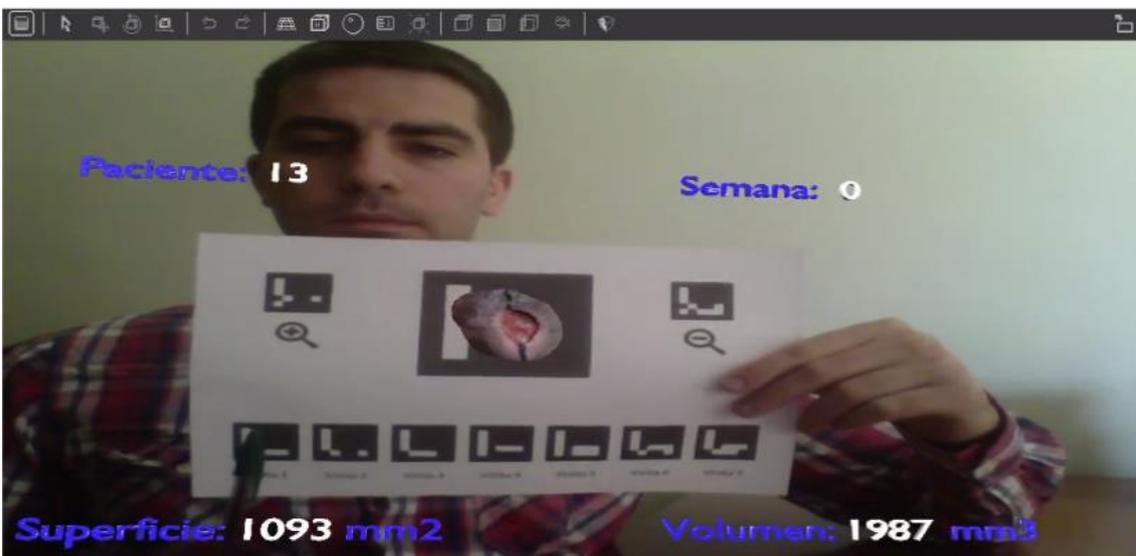


Figura 12. Proyecto de realidad aumentada en OpenSpace3D que muestra la evolución de la úlcera cutánea del paciente “13”: primera visita.

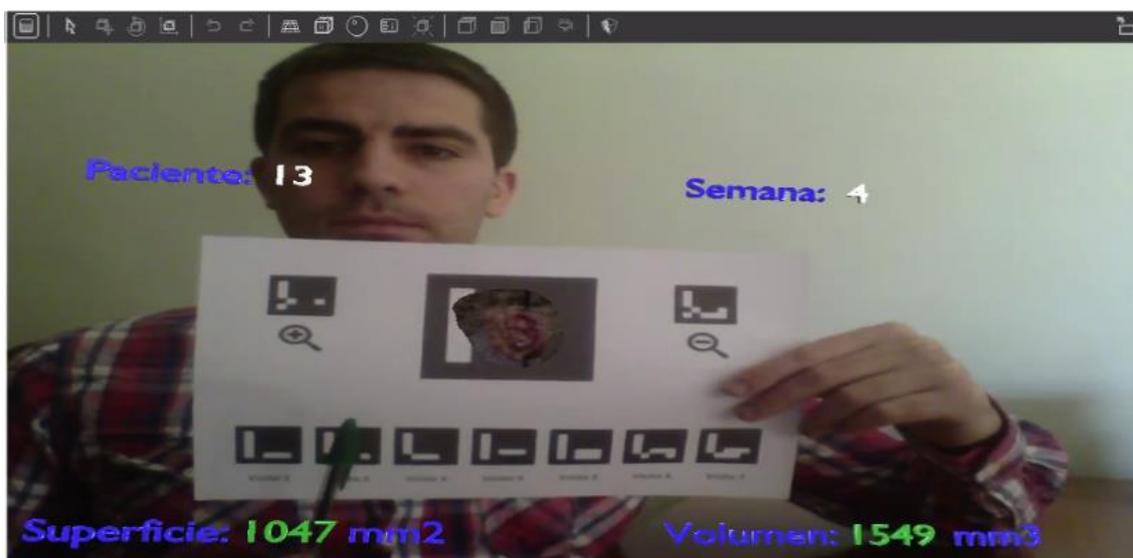


Figura 13. Proyecto de realidad aumentada en OpenSpace3D que muestra la evolución de la úlcera cutánea del paciente "13": segunda visita.

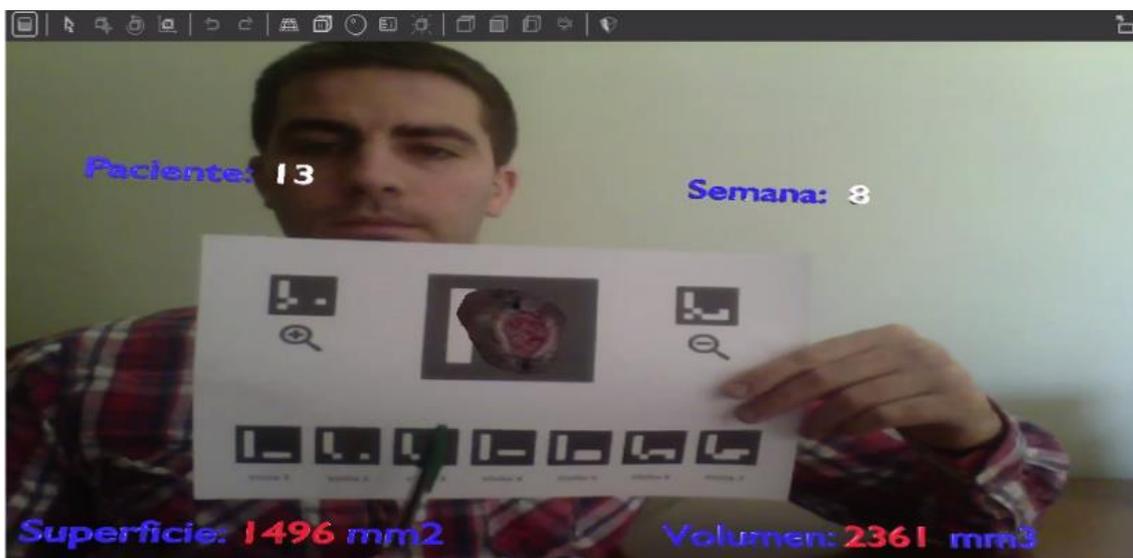


Figura 14. Proyecto de realidad aumentada en OpenSpace3D que muestra la evolución de la úlcera cutánea del paciente "13": tercera visita.

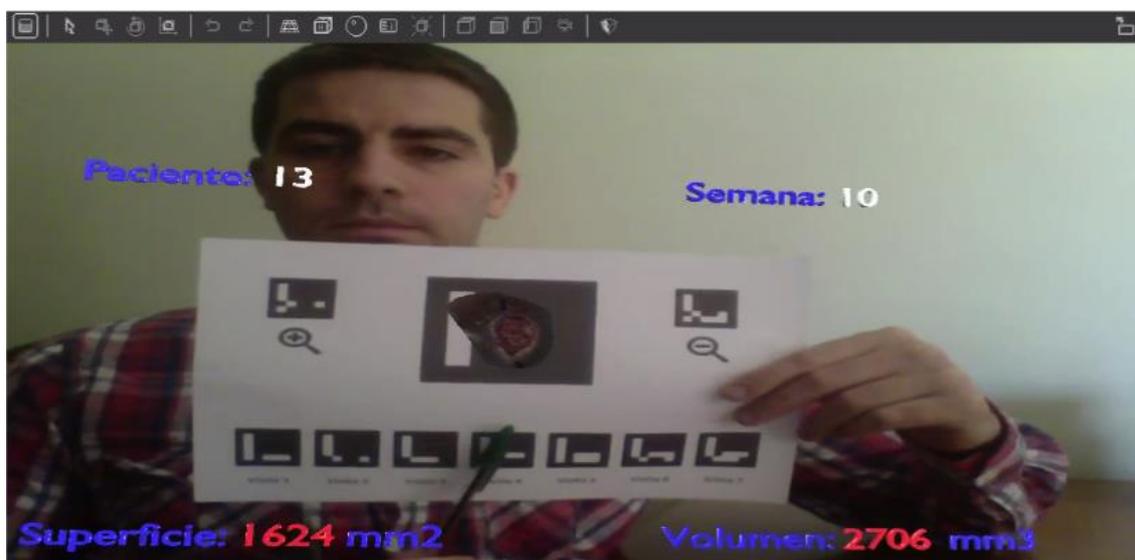


Figura 15. Proyecto de realidad aumentada en OpenSpace3D que muestra la evolución de la úlcera cutánea del paciente “13”: cuarta visita.

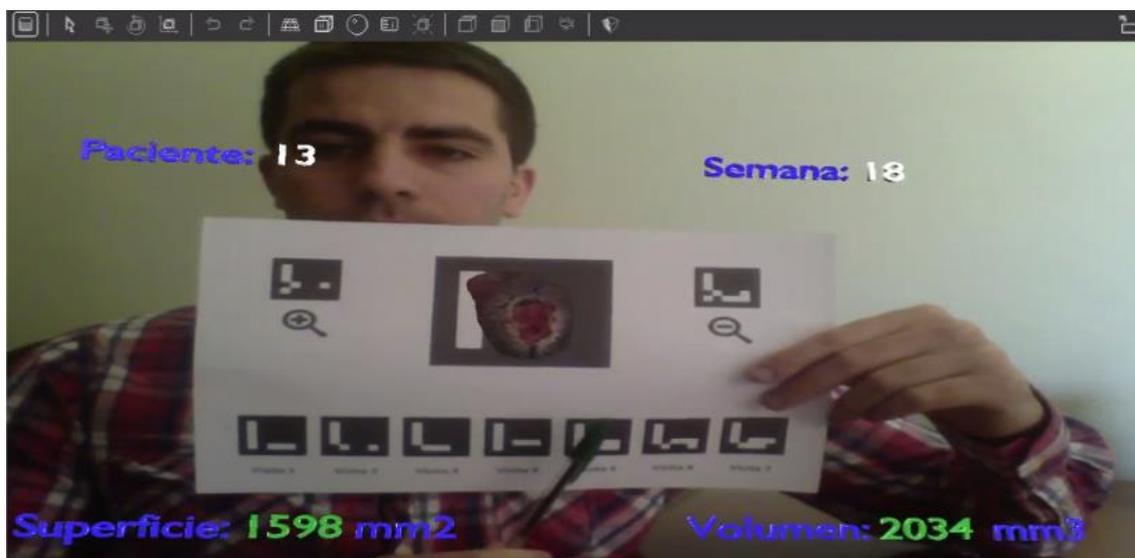


Figura 16. Proyecto de realidad aumentada en OpenSpace3D que muestra la evolución de la úlcera cutánea del paciente “13”: quinta visita.

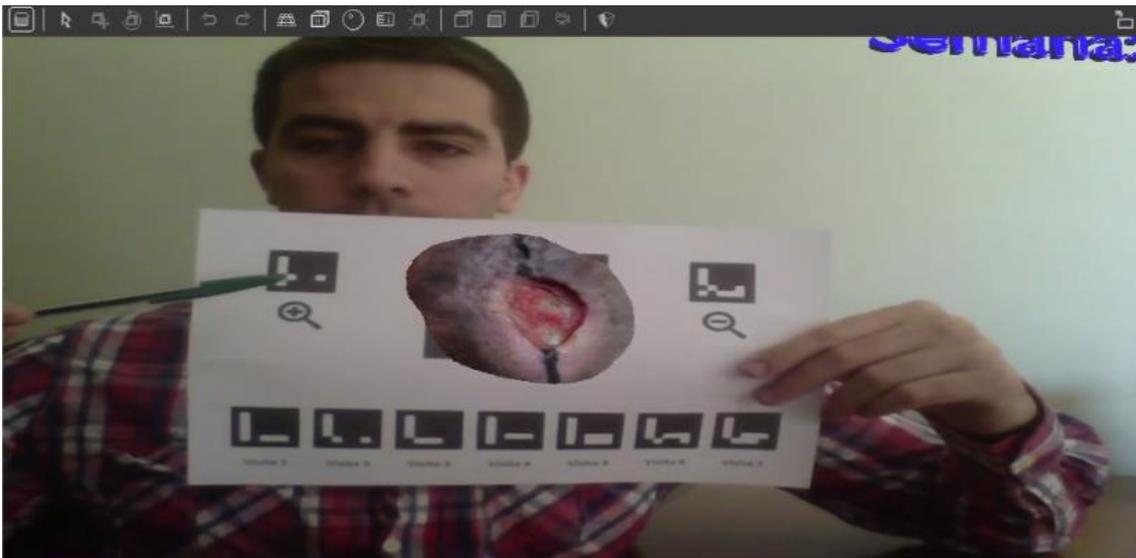


Figura 17. Proyecto de realidad aumentada en OpenSpace3D que muestra la evolución de la úlcera cutánea del paciente “13”: primera visita con zoom aumentado. Para conseguir este resultado es necesario ocultar el marcador de la primera visita y posteriormente el marcador del zoom de ampliación.

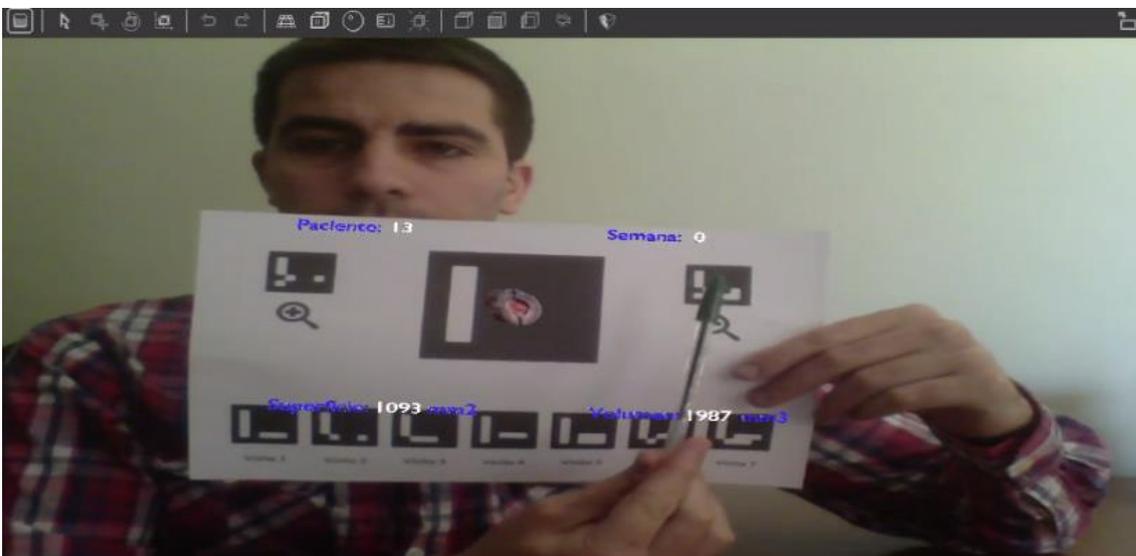


Figura 18. Proyecto de realidad aumentada en OpenSpace3D que muestra la evolución de la úlcera cutánea del paciente “13”: primera visita con zoom disminuido. Para conseguir este resultado es necesario ocultar el marcador de la primera visita y posteriormente el marcador del zoom de reducción.

6.4. Página Web

Visualización de la página web: En función del rol o tipo de usuario, se utiliza un estilo CSS diferente.

- Rol o tipo de usuario: Administrador.



Figura 19. Apariencia de la página web con el estilo CSS para el rol o tipo de usuario “Administrador”.

- Rol o tipo de usuario: Médico.

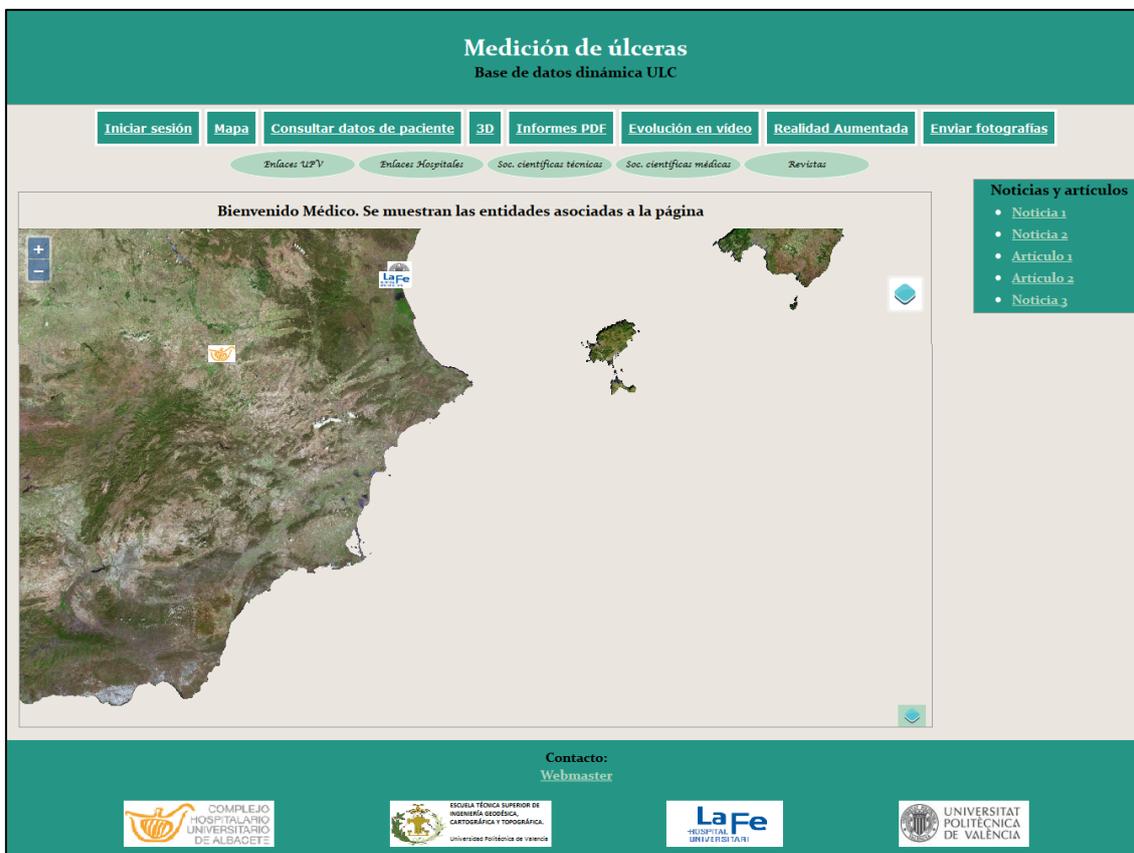


Figura 20. Apariencia de la página web con el estilo CSS para el rol o tipo de usuario “Médico”.

- Rol o tipo de usuario: Enfermero.



Figura 21. Apariencia de la página web con el estilo CSS para el rol o tipo de usuario “Enfermero”.

Los botones de interacción del usuario incluyen efectos “Hover” en todos los casos, independientemente del rol o tipo de usuario, para resaltar la sección sobre la que se sitúa el puntero del ratón: subrayándola, cambiando el color de fondo, etc.

Las secciones disponibles en la página web son:

- Inicio de sesión: Control de acceso de tres tipos de usuario con los siguientes permisos respectivamente:
 - Administrador: edición, inserción, eliminación y consulta de datos en las BBDD. Visualización del modelo tridimensional de la úlcera y descarga de documentación. Envío de fotografías.
 - Médico: Consulta de datos en las BBDD. Visualización del modelo tridimensional de la úlcera y descarga de documentación. Envío de fotografías.
 - Enfermero: Consulta de datos en las BBDD. Envío de fotografías.

Tabla 1. Secciones con acceso permitido (en color verde) o prohibido (en color rojo) para cada rol o tipo de usuario.

Rol de usuario	Secciones									
	Inicio de sesión	Mapa	Datos de las úlceras	Consultar datos de paciente	3D	Informes PDF	Realidad Aumentada	Evolución en vídeo	Enviar fotografías	Mostrar usuarios
Administrador										
Médico										
Enfermero										
Usuario sin registrar										

Introduzca sus datos para iniciar una sesión

Usuario:	<input type="text" value="usuario"/>
Contraseña:	<input type="password" value="....."/>
<input type="button" value="Enviar"/>	

Figura 22. Apariencia de la sección “Inicio de sesión”.

- Mapa: La página web muestra las entidades relacionadas (*Universitat Politècnica de València, Hospital Universitari i Politècnic La Fe y Complejo Hospitalario Universitario de Albacete*) en una capa vectorial de puntos alojada en GeoServer, junto a imágenes raster georreferenciadas del PNOA (*Plan Nacional de Ortofotografía Aérea*) y Catastro.



Figura 23. Apariencia de la sección “Mapa” para el rol o tipo de usuario “Administrador”.

- Datos de las úlceras: Permite la adición, edición o eliminación de registros de la base de datos de úlceras cutáneas mediante sentencias SQL (*Structured Query Language*) desde la página web.

gid:	<input type="text" value="1"/>	DNI:	<input type="text" value="47085001A"/>
Año:	<input type="text" value="2013"/>	Mes:	<input type="text" value="11"/>
Día:	<input type="text" value="30"/>	Superficie:	<input type="text" value="7452.123"/>
Volumen:	<input type="text" value="10095.746"/>	Longitud máxima:	<input type="text" value="98.208"/>
Índice de rugosidad:	<input type="text" value="0.948"/>	Perímetro:	<input type="text" value="275"/>
Coefficiente de circularidad:	<input type="text" value="1.238"/>	Superficie excavada:	<input type="text" value="7858.541"/>
<input type="button" value="Seleccione una acción"/>			
<input type="button" value="Seleccione una acción"/>			
gid:	<input type="text" value="2"/>	DNI:	<input type="text" value="47085002B"/>
Año:	<input type="text" value="2013"/>	Mes:	<input type="text" value="09"/>
Día:	<input type="text" value="05"/>	Superficie:	<input type="text" value="5974.477"/>
Volumen:	<input type="text" value="3912.745"/>	Longitud máxima:	<input type="text" value="107.96"/>
Índice de rugosidad:	<input type="text" value="0.992"/>	Perímetro:	<input type="text" value="273"/>
Coefficiente de circularidad:	<input type="text" value="1.007"/>	Superficie excavada:	<input type="text" value="6023.659"/>
<input type="button" value="Seleccione una acción"/>			

Figura 24. Apariencia de la sección “Datos de las úlceras” para el rol o tipo de usuario “Administrador”.

- Consultar datos de paciente: Realiza una consulta SQL a la base de datos del servidor, enviando un identificador del paciente y obteniendo todos sus datos almacenados.

Consulta de datos de las úlceras			
Introduzca un DNI:	<input type="text" value="Introduzca el DNI"/>	<input type="button" value="Enviar"/>	
↓			
Consulta de datos de las úlceras			
Introduzca un DNI:	<input type="text" value="47085011K"/>	<input type="button" value="Enviar"/>	
↓			
Datos almacenados en la base de datos para el paciente con DNI: 47085011K			
DNI:	<input type="text" value="47085011K"/>		
Año:	<input type="text" value="2013"/>	Mes:	<input type="text" value="07"/>
Día:	<input type="text" value="06"/>	Superficie:	<input type="text" value="375.566"/>
Volumen:	<input type="text" value="174.69"/>	Longitud máxima:	<input type="text" value="23.472"/>
Índice de rugosidad:	<input type="text" value="1.003"/>	Perímetro:	<input type="text" value="63"/>
Coefficiente de circularidad:	<input type="text" value="1.189"/>	Superficie excavada:	<input type="text" value="374.486"/>
DNI:	<input type="text" value="47085011K"/>		
Año:	<input type="text" value="2013"/>	Mes:	<input type="text" value="08"/>
Día:	<input type="text" value="19"/>	Superficie:	<input type="text" value="310.282"/>
Volumen:	<input type="text" value="40.882"/>	Longitud máxima:	<input type="text" value="21.485"/>
Índice de rugosidad:	<input type="text" value="0.993"/>	Perímetro:	<input type="text" value="57"/>
Coefficiente de circularidad:	<input type="text" value="1.2"/>	Superficie excavada:	<input type="text" value="312.443"/>

Figura 25. Apariencia de la sección “Consultar datos de pacientes” para el rol o tipo de usuario “Administrador”. En primer lugar se muestra la consulta vacía, posteriormente se muestra la consulta a realizar y finalmente el resultado obtenido.

- 3D: Se permite desde el navegador visualizar, obtener perfiles y medir longitud y superficie del modelo tridimensional de la úlcera cutánea. El visor empleado es “Potree”.

Modelos 3D almacenados en el servidor	
Paciente 1. Semana 0.	
<u>Paciente 2. Semana 0.</u>	
Paciente 2. Semana 2.	
Paciente 3. Semana 0.	
Paciente 4. Semana 0.	
Paciente 4. Semana 1.	
Paciente 4. Semana 2.	
Paciente 5A. Semana 0.	
Paciente 5B. Semana 0.	
Paciente 6. Semana 11.	
Paciente 7. Semana 0.	
Paciente 8. Semana 0.	
Paciente 9. Semana 2.	
Paciente 9. Semana 4.	

Figura 26. Apariencia de la sección “3D” para el rol o tipo de usuario “Administrador”.



Figura 27. Visualización del modelo tridimensional de la úlcera cutánea en el visor “Potree”.

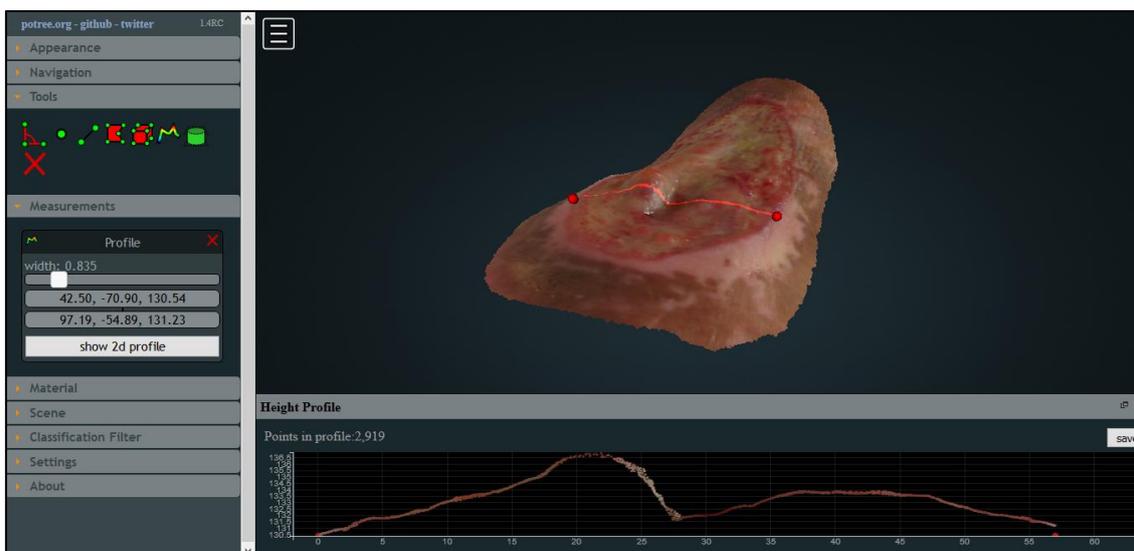


Figura 28. Perfil del modelo tridimensional de la úlcera cutánea obtenido desde el visor “Potree”.

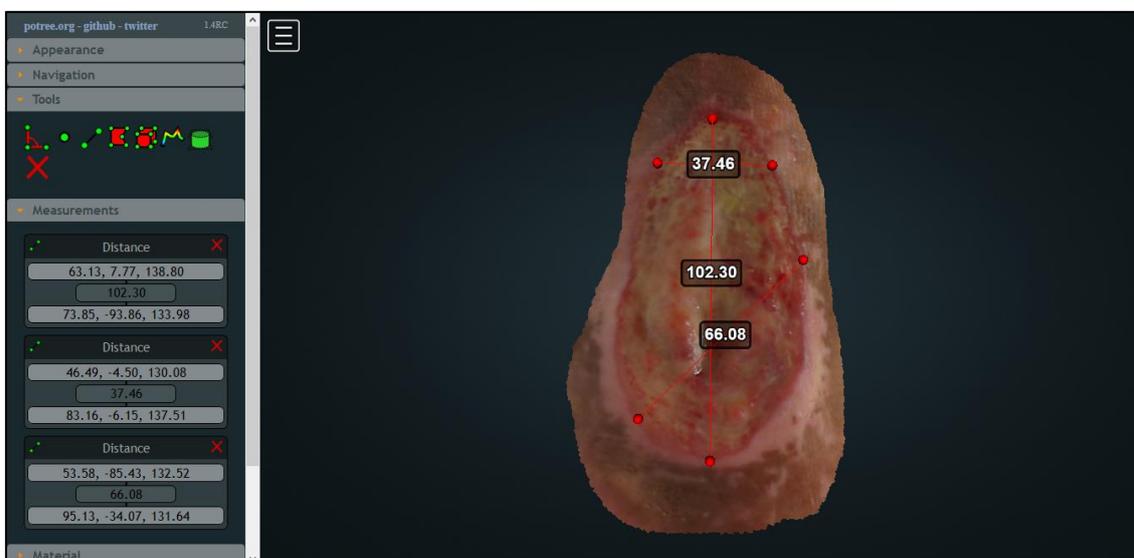


Figura 29. Mediciones de longitud del modelo tridimensional de la úlcera cutánea desde el visor “Potree”.

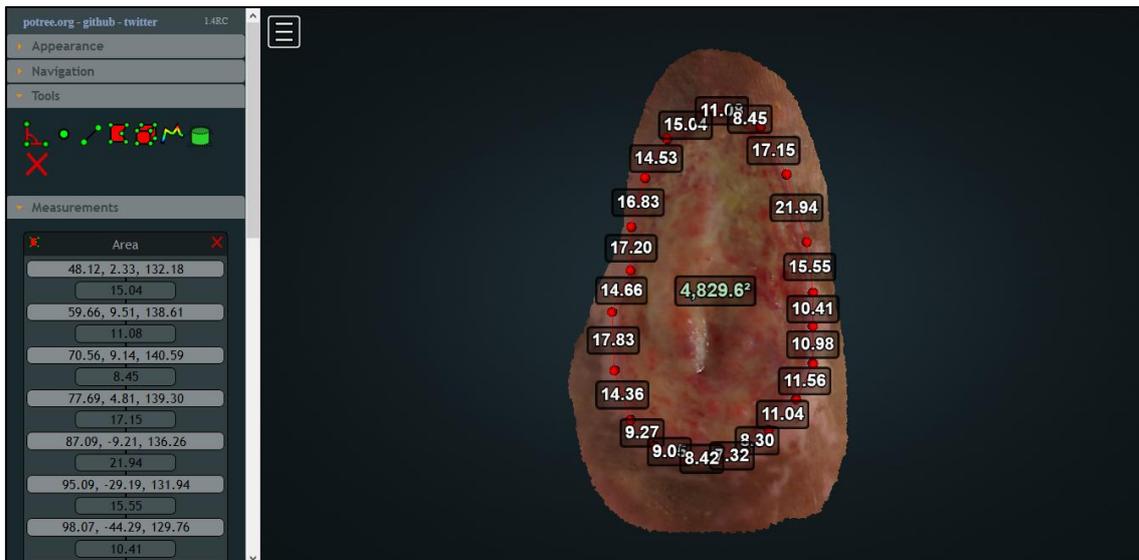


Figura 30. Medición de superficie del modelo tridimensional de la úlcera cutánea desde el visor “Potree”.

- Informes PDF: Se permite descargar los informes generados con el programa MU, que se encuentran alojados en una carpeta del servidor.

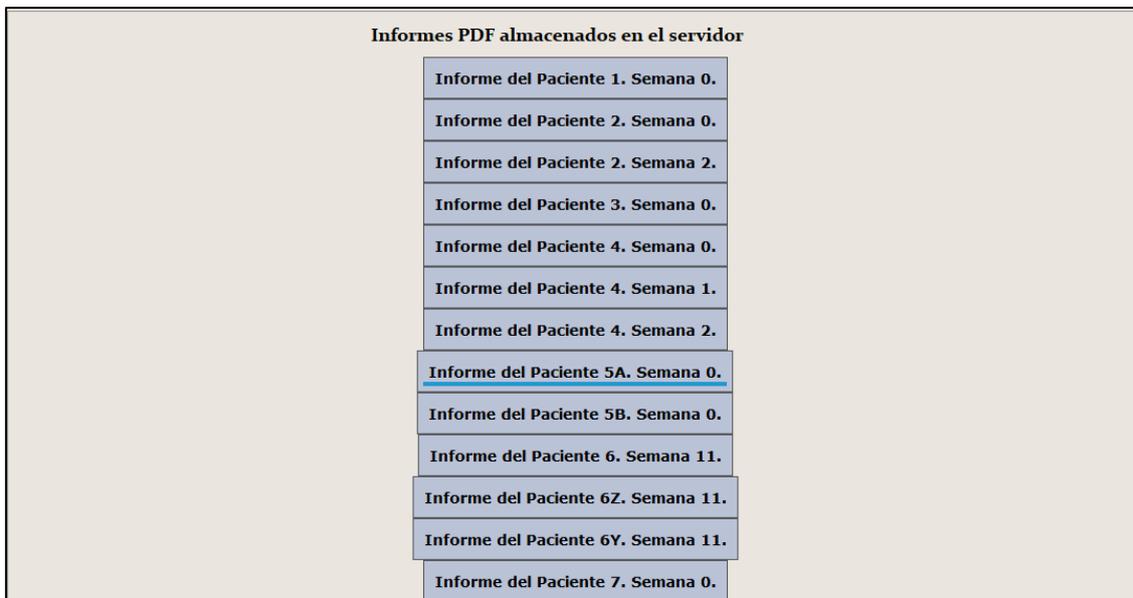


Figura 31. Apariencia de la sección "Informes PDF" para el rol o tipo de usuario "Administrador".

- Evolución en vídeo: Se permite descargar los videos, en formato AVI y generados con el programa CA3D, que se encuentran alojados en una carpeta del servidor.

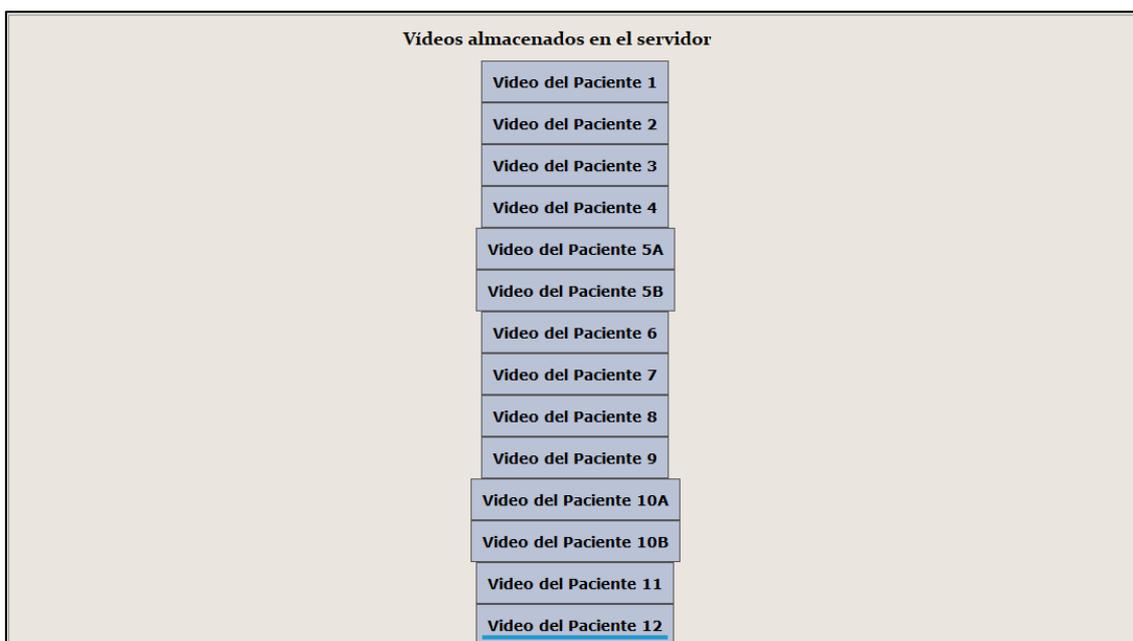


Figura 32. Apariencia de la sección “Evolución en vídeo” para el rol o tipo de usuario “Administrador”.

- Realidad aumentada: Se permite descargar los proyectos, en formato XOS para OpenSpace3D™ y generados con el programa CPRA, que se encuentran alojados en una carpeta del servidor.

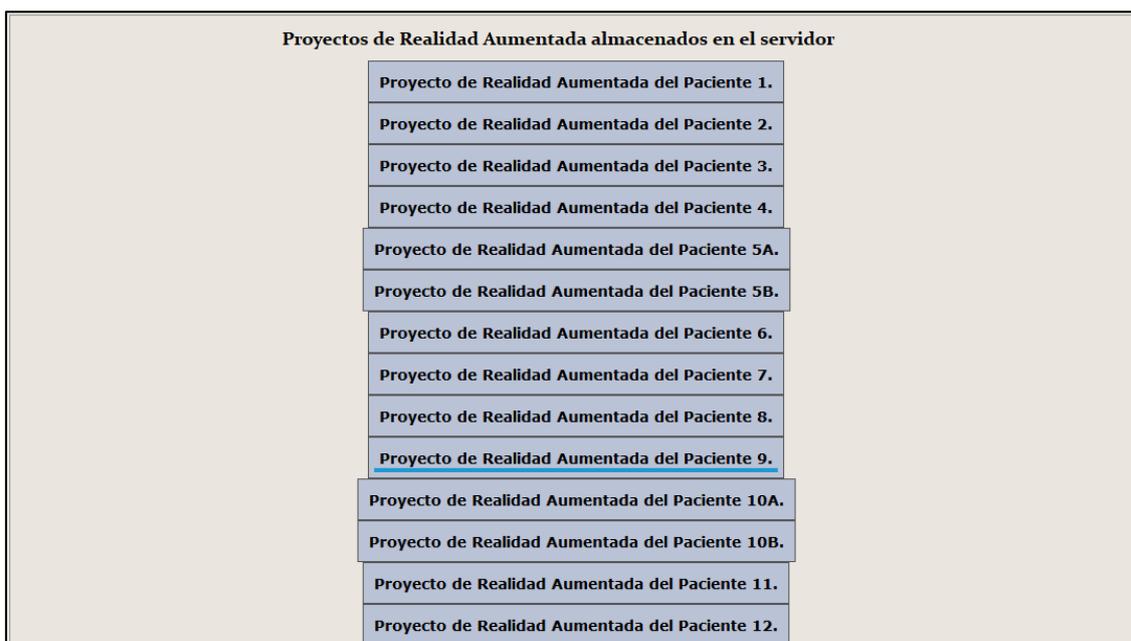


Figura 33. Apariencia de la sección “Realidad aumentada” para el rol o tipo de usuario “Administrador”.

- Enviar fotografías: Se permite subir fotografías, utilizando internet, a un repositorio alojado en el servidor, haciendo uso de un script programado en PHP.

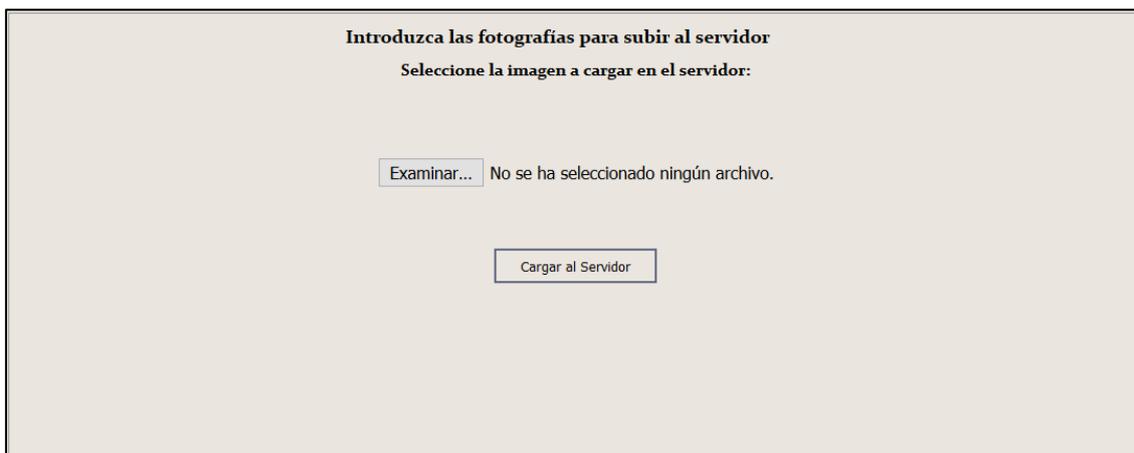


Figura 34. Apariencia de la sección “Enviar fotografías” para el rol o tipo de usuario “Administrador”.

- Mostrar usuarios: Se realiza una consulta SQL a la base de datos del servidor, y se muestran los datos de los usuarios registrados con acceso a la página web.

Se muestran los datos de los usuarios de la BBDD	
Usuario:	<input type="text" value="dsj"/>
Contraseña:	<input type="password" value="....."/>
Usuario:	<input type="text" value="lafe"/>
Contraseña:	<input type="password" value="....."/>
Usuario:	<input type="text" value="chua"/>
Contraseña:	<input type="password" value="....."/>
Usuario:	<input type="text" value="lafe_enf"/>
Contraseña:	<input type="password" value="....."/>
<	
Usuario:	<input type="text" value="chua_enf"/>
Contraseña:	<input type="password" value="....."/>

Figura 35. Apariencia de la sección “Mostrar usuarios” para el rol o tipo de usuario “Administrador”.

A continuación se muestra un fragmento de código de la aplicación WSGI que maneja la página web:

```
def crea_footer_ppal():
    '''Crea el footer, cierra el body y el documento'''
    nom_arch=dir_base + "/html_secciones/footer.html"
    footer_ppal= dweb.dweb.leer_archivo(nom_arch)
    return footer_ppal

def crea_seccion_3d():
    '''Crea la seccion de 3D'''
    nom_arch=dir_base + "/html_secciones/seccion3d.html"
    seccion3d= dweb.dweb.leer_archivo(nom_arch)
    return seccion3d

def crea_seccion_informes():
    '''Crea la seccion de informes'''
    nom_arch=dir_base + "/html_secciones/seccion_informes.html"
    seccion_informes= dweb.dweb.leer_archivo(nom_arch)
    return seccion_informes

def crea_seccion_videos():
    '''Crea la seccion de videos'''
    nom_arch=dir_base + "/html_secciones/seccion_videos.html"
    seccion_videos= dweb.dweb.leer_archivo(nom_arch)
    return seccion_videos

def crea_seccion_realidad_aumentada():
    '''Crea la seccion de realidad aumentada'''
    nom_arch=dir_base + "/html_secciones/seccion_realidad_aumentada.html"
    seccion_realidad_aumentada= dweb.dweb.leer_archivo(nom_arch)
    return seccion_realidad_aumentada
```

Figura 36. Fragmento de código Python de la aplicación WSGI que maneja la página web.

7. Discusión

La geomática utiliza técnicas como la fotogrametría, sistemas de información geográfica y teledetección, que proporcionan herramientas aplicables a diversas áreas de la biomedicina como, por ejemplo, la medición de úlceras cutáneas.

Este sistema de aplicaciones (constituido por los 3 programas) y la página web podría completar la documentación clínica de la historia médica de un paciente y contribuir a mejorar su asistencia médica. Su utilización dentro de la telemedicina en el seguimiento remoto de pacientes tendría una repercusión económica favorable con dos consecuencias previsibles:

1. Disminución del número y frecuencia de visitas físicas.
2. Indicar la necesidad de una visita física al médico especialista.

7.1. Aspectos comerciales

- Potenciales clientes del sistema de aplicaciones y la página web:

Este sistema de aplicaciones y la página web se podría implementar en centros médicos asistenciales públicos y privados, como hospitales y centros de diagnóstico por la imagen.

Algunas especialidades médicas relacionadas con el tratamiento y, por ende, la medición de úlceras cutáneas son: Dermatología, Cirugía vascular y Cirugía plástica.

- No publicación del código:

El código de los programas y la página web se ha reservado porque el desarrollo del sistema tiene un fin comercial. Está en un proceso de iteración continua para su depuración y perfeccionamiento. El objetivo es aumentar su funcionalidad para la práctica médica clínica antes de su lanzamiento al mercado.

7.2. Flujo de proceso

El flujo de proceso indica las funciones que realiza cada elemento o rol del equipo y se articula de la siguiente forma:

El **paciente** acude a la clínica para su asistencia médica. El **enfermero** toma una serie de fotografías de la úlcera cutánea siguiendo las especificaciones de toma de datos detalladas en los proyectos anteriores (Sánchez-Jiménez y Buchón 2013, Sánchez-Jiménez y Buchón 2014, Botella et al 2015, Buchón y Palomar 2015). El **médico** valora si estas fotografías deben subirse a la página web, basándose en criterios clínicos. El **administrador**, tras la recepción de estas fotografías en la página web, las procesa (ver “Tratamiento de las nubes de puntos”) para obtener el modelo tridimensional de la úlcera cutánea. Ejecuta los programas, añade los nuevos registros a la base de datos y actualiza la página web, en la que se incluye la nueva documentación. El **médico** consulta la página web y recibe información para complementar su diagnóstico, valorar la evolución e individualizar el tratamiento del paciente.

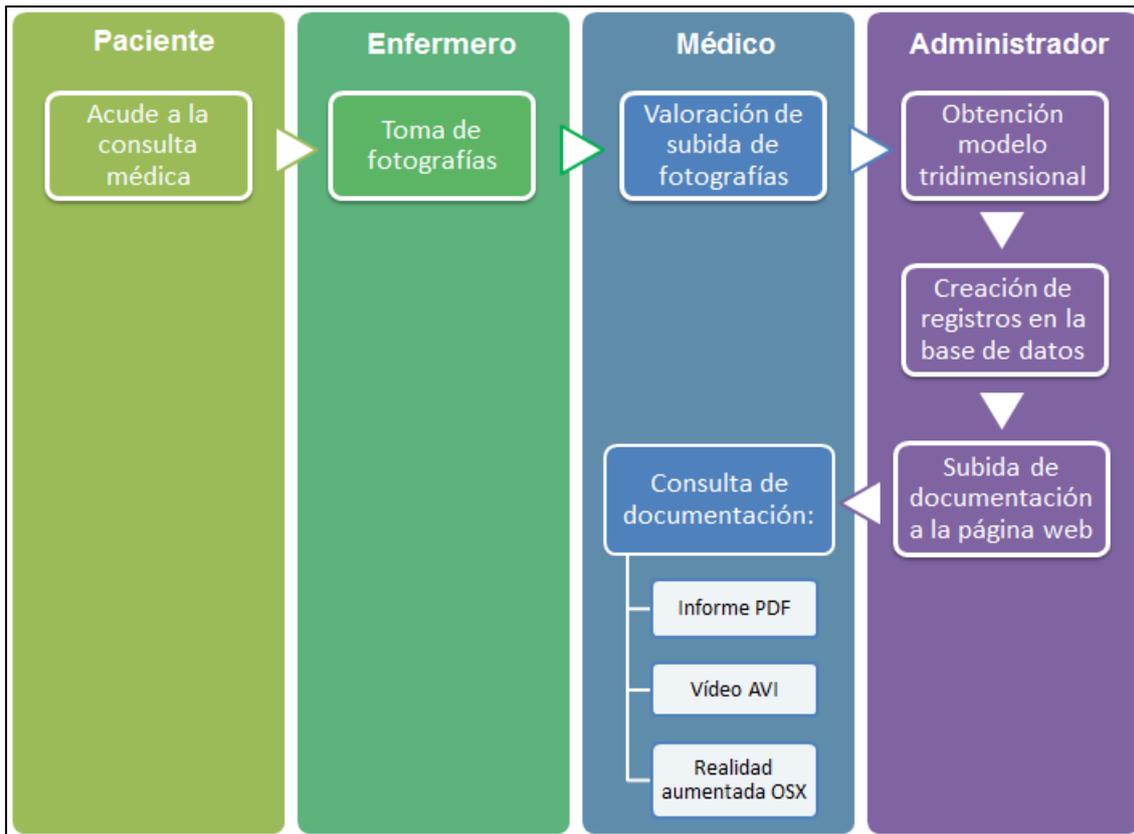


Figura 37. Diagrama de flujo de proceso actual.

Este flujo de proceso tiene algunas posibles mejoras, que implementaremos en futuras versiones, con la automatización de varias etapas, siendo el flujo de proceso final previsible de la siguiente forma:

El **paciente** toma sus propias fotografías de la úlcera cutánea, siguiendo las especificaciones de toma de datos detalladas en los proyectos anteriores (Sánchez-Jiménez y Buchón 2013, Sánchez-Jiménez y Buchón 2014, Botella et al 2015, Buchón y Palomar 2015). El **médico** autoriza la subida de estas fotografías a la página web, basándose en criterios clínicos. Se comprueban **automáticamente** las fotografías y se realiza una validación técnica de su calidad, para su inclusión en la base de datos. Se ejecutan **automáticamente** los programas que generan las medidas que son incluidas en la base de datos. Se actualiza **automáticamente** la página web incluyendo la nueva documentación generada con los programas. El **médico** consulta la página web y recibe información para complementar su diagnóstico, valorar la evolución e individualizar el tratamiento del paciente, permitiendo citar al

paciente para una consulta física.

Estas modificaciones limitarían el número de elementos o roles involucrados, ciñéndolos a paciente y médico. Esto es conveniente para aumentar la utilidad del producto, una vez comercializado. El **administrador** sería el responsable del mantenimiento, seguridad y correcto funcionamiento de la página web, pero no manejaría el conjunto de información para cada caso.

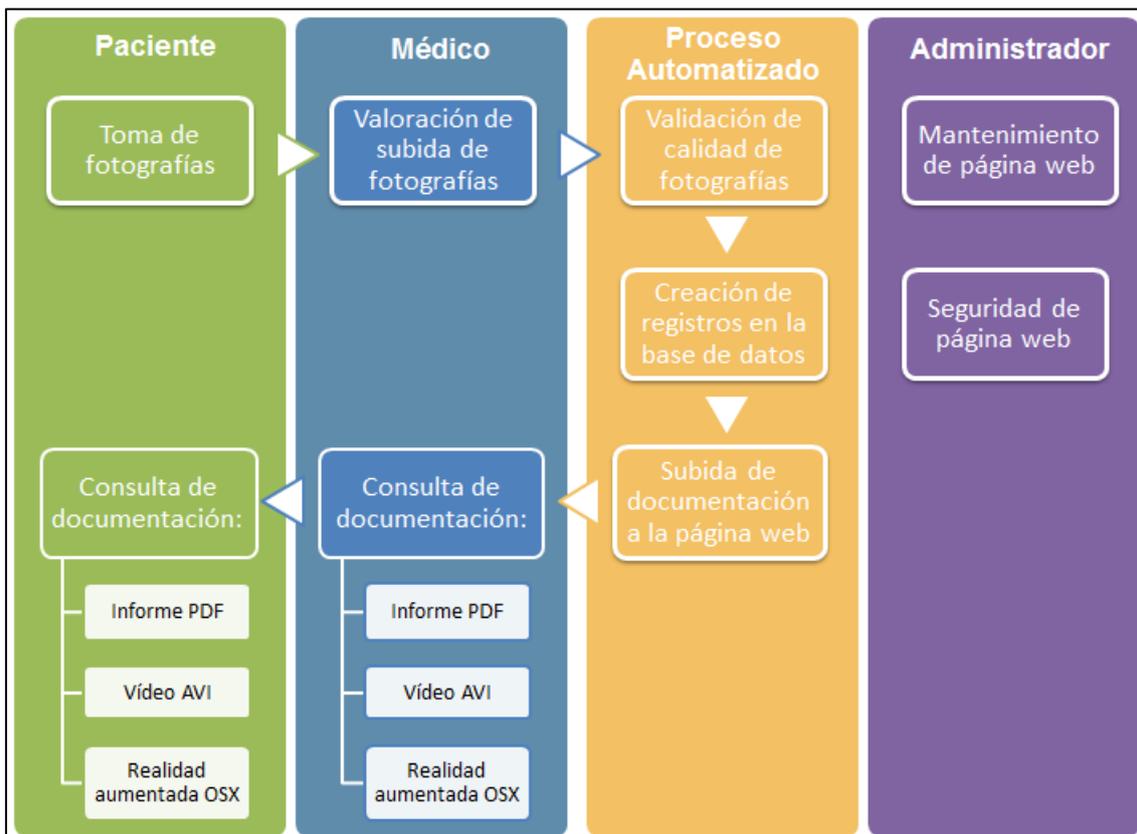


Figura 38. Diagrama de flujo de proceso previsto, después de las modificaciones en versiones futuras.

7.3. Aspectos técnicos generales

- Tratamiento de las nubes de puntos:

Las nubes de puntos en algunos casos están afectadas de mucho ruido, y tienen el siguiente tratamiento previo a su inclusión en los programas:

1. Filtrado de ruido (parte I).
2. Registro de nubes de puntos por el algoritmo ICP (Iterative Closest Point).
3. Filtrado de ruido (parte II).
4. Separación de la úlcera y su contorno de piel.
5. Creación de superficie interpolada.
6. Mallado de las nubes de puntos.

- Texturas de las úlceras cutáneas:

Los programas CA3D y CPRA permiten mostrar las texturas de los objetos tridimensionales de las úlceras cutáneas. Estas texturas habitualmente serán las radiaciones electromagnéticas reflejadas por el objeto, que corresponden a su color natural. También podría ser útil resaltar otro tipo de información como, por ejemplo, temperatura, la cual podría ayudar en la delimitación automática del contorno de la úlcera, detección de zonas inflamadas, etc.

- Interacción entre los programas y la base de datos:

La interacción entre las mediciones realizadas con el programa MU y la edición, adición y eliminación de registros en la base de datos la lleva a cabo actualmente el administrador de la página.

Sería interesante que los programas crearan automáticamente nuevos registros en la base de datos, conforme se realizan las mediciones de variables. En futuras versiones se añadirá esta función.

- Interacción entre los programas y la página web:

Actualmente los resultados obtenidos con los programas MU, CA3D y CPRA los sube a la página el administrador.

Sería interesante que los programas modificaran automáticamente la página web, introduciendo la nueva documentación creada. En futuras versiones se añadirá esta función.

7.4. Aspectos éticos

- Privacidad de la página web:

La página web contiene datos confidenciales de pacientes, que no deben ser divulgados. Es necesario que el equipo que desarrolla el software evite su vulnerabilidad y vaya aumentando progresivamente su seguridad. Por este motivo, actualmente el acceso a la página web está restringido al equipo desarrollador y no se ha subido a la red.

- Identificación del paciente:

El identificador no podría ser el DNI del paciente, ya que se trata de datos clínicos de pacientes y no se respetaría la Ley de Protección de Datos de Carácter Personal 15/1999. A efectos técnicos se podría cambiar fácilmente por otro identificador, que fuese codificado y no personal, o bien incluir este sistema de aplicaciones en la historia clínica electrónica, con garantías de seguridad.

7.5. Programa MU (medición de úlceras)

Se han tenido en cuenta las siguientes consideraciones al programar esta aplicación:

- Comprobaciones internas:

Es necesario realizar varias comprobaciones de parámetros internos para evitar errores en tiempo de ejecución:

- Introducción completa de los datos: El programa se ejecuta cuando las cuatro casillas de verificación están activadas. Se impide la modificación manual de las mismas.
- Rutas: Las casillas de verificación (*checkboxes*) de cada ruta se activan cuando se ha introducido una ruta válida. La ruta se considera válida cuando es una ruta existente y con extensión adecuada para su funcionamiento.

- Marcos de datos (dataframes):

Los marcos de datos contienen imágenes o representaciones del modelo tridimensional de la úlcera cutánea, como el MDE o las pendientes.

- Número: El programa permite incluir en su resultado de 1 a 4 marcos de datos, siendo uno de ellos la fotografía de la úlcera. Se utilizan varias plantillas en las que varía el tamaño y la posición de éstos.
- Contenido: Actualmente se permite mostrar en los marcos de datos:
 - Fotografía de la úlcera cutánea.
 - MDE del modelo tridimensional de la úlcera cutánea.
 - Pendientes del modelo tridimensional de la úlcera cutánea.

Se están explorando nuevas visualizaciones que aporten otra información al resultado final, y se ampliará la variedad de elecciones posibles en futuras versiones del programa.

- Logotipos:

El programa permite seleccionar 2 logotipos, entre 4 posibles:

- 1 logotipo de una entidad sanitaria:
 - Hospital Universitari i Politècnic La Fe.
 - Complejo Hospitalario Universitario de Albacete.
- 1 logotipo de una entidad técnica:
 - Universitat Politècnica de València (UPV).
 - Escuela Técnica Superior de Ingeniería Geodésica, Cartográfica y Topográfica (ETSIGCT).

- Uso de software comercial:

El programa MU utiliza software comercial. Sería interesante reprogramarlo, para conseguir resultados homólogos empleando software libre.

7.6. Programa CA3D (creador de animación 3D)

Se han tenido en cuenta las siguientes consideraciones al programar esta aplicación:

- Objetos a representar:
 - Formato de archivo: El formato aceptado es OBJ. En futuras versiones del programa se permitirá incluir archivos con formato PLY.
 - Escala y posición: Es necesario tener un control de la escala y posición de los objetos, ya que se incluyen en una escena con una cámara de características determinadas en cuanto a posición, rotación, distancia focal, etc.
 - Escala: El programa admite **cualquier tamaño de objeto**. Se escala automáticamente, identificando la dimensión o eje dominante y reduciendo las tres dimensiones o ejes en la misma magnitud.
 - Posición: Se admite **cualquier posición del objeto**. Se identifica automáticamente la posición del centro de masas del objeto y se traslada al origen de la escena.
 - Número: Se permite incluir hasta 5 objetos. El código del programa está diseñado para poder aumentar de forma sencilla el número de objetos en futuras versiones, si fuese necesario.
 - Textura: Es posible introducir una imagen en formato JPG y PNG que aporte la textura a cada objeto a representar. También se puede desactivar la visualización de ésta, desmarcando la casilla de verificación “Aplicar textura”.

- Textos:
 - Tipo: Se permite incluir dos tipos de texto:
 - Título de la escena.
 - Variables medidas y tiempo.
 - Número: Se permite incluir hasta 21 textos en la escena (1 título y 20 variables). El código del programa está diseñado para poder aumentar de forma sencilla el número de textos en futuras versiones, si fuese necesario.
 - Posición: Se puede elegir la posición del título central, situándolo en la parte superior o inferior. Las variables se sitúan en las cuatro esquinas de la escena.
 - Tamaño: Se regula el tamaño de cada tipo de texto por separado.
 - Color: Se permite al usuario seleccionar el color de los textos entre una gama de 58 colores definidos en un diccionario. Se puede ampliar esta gama de colores de forma sencilla, añadiéndolos a este diccionario.
- Animaciones o giros del objeto:
 - Ejes de rotación: Se han introducido 3 rotaciones completas en el programa:
 - Rotación de 360° en el eje Z.
 - Rotación de 360° en el eje Y.
 - Rotación de 360° en el eje X.

Pudiendo elegir entre uno o varios ejes de rotación, lo cual produce un resultado concatenado, en el que al terminar un giro se comienza el siguiente, en el orden expuesto anteriormente.

Se decidió este orden considerando que el giro en el eje Z es el más útil para apreciar la profundidad de un objeto, desde una perspectiva frontal.
 - Velocidad de rotación: El programa permite variar la velocidad de rotación del objeto en el vídeo, desde 4 hasta 32 segundos por vuelta, variando en intervalos de 4 segundos.

- Cámaras predefinidas:
 - Número: El programa tiene implementadas dos cámaras plenamente funcionales: “vista frontal” y “vista de pájaro”. El código del programa está diseñado para poder aumentar de forma sencilla el número de cámaras disponibles en futuras versiones, si fuese necesario.
- Fondo de la escena:
 - Color: Se permite al usuario seleccionar el color de fondo de la escena, entre una gama de 58 colores definidos en un diccionario. Se puede ampliar esta gama de colores de forma sencilla, añadiéndolos a este diccionario.
- Resultado:
 - Tipo: Se permite generar dos tipos de resultado: vídeo e imagen. La creación de vídeo es relativamente lenta, pudiendo demorarse de 1 a 8 horas, en función del ordenador, complejidad de nubes de puntos y duración total de la animación. Por esto se consideró útil programar una opción para crear una imagen de previsualización, correspondiente al primer fotograma del vídeo. Esta imagen se muestra en una ventana de la interfaz gráfica de usuario dispuesta para ello, y permite comprobar si el resultado que se generará en vídeo es el correcto o debe cambiarse algún parámetro.
 - Ruta de renderizado: Se permite elegir la ruta donde se crearán los resultados.

7.7. Programa CPRA (creador de proyecto de realidad aumentada)

Se han tenido en cuenta las siguientes consideraciones al programar esta aplicación:

- Objetos a representar:

El programa tiene las mismas consideraciones que el programa CA3D respecto a formato de archivo, textura, escala y posición.

- Número: Se permite incluir en la escena hasta 6 objetos. Se permiten más objetos que en el programa CA3D, por dos motivos:
 - Su interfaz gráfica de usuario tiene un menor número de elementos y por lo tanto mayor espacio.
 - El tiempo de ejecución del programa es mucho menor, lo que permite crear proyectos más complejos para OpenSpace3D™ con menor exigencia de computación.
- Textos:
 - Número: Se permite incluir hasta 24 textos.
 - Color: Se permite al usuario **seleccionar el color de cada uno de los textos**, entre una gama de 58 colores definidos en un diccionario. Se implementó esta mejora frente al programa CA3D por dos motivos:
 - El color de fondo de la escena es incontrolable: la imagen que toma la cámara depende del lugar en el que se sitúe el usuario de realidad aumentada. Una mayor flexibilidad de colores en cada uno de los textos facilita resaltarlos en un entorno variable.
 - Permite crear un código de colores que destaque la evolución del paciente. Por ejemplo: se resalta la mejoría de las variables respecto a una visita anterior con el color verde, mientras que un empeoramiento se muestra con el color rojo.

7.8. Página web

La utilidad de la página web es fundamentalmente práctica: la medición de úlceras cutáneas asiste al diagnóstico, seguimiento evolutivo y tratamiento de éstas.

Se han tenido en cuenta las siguientes consideraciones al programar esta página web:

- Número de tipos de usuario:

Se han creado 3 roles o tipos de usuario, correspondientes a administrador, médico y enfermero. En futuras versiones se podría implementar el rol de paciente, permitiéndole comprobar su propia evolución y subir sus propias fotografías de úlceras cutáneas.

- Duración de la sesión:

La sesión iniciada permanece activa hasta que se cierra el navegador.

- Comprobaciones de los formularios:

Se comprueba que los formularios sean del tipo adecuado antes de enviarse al servidor, por motivos de seguridad.

- Archivos de subida al servidor:

- Tipo: Se ha restringido el tipo de archivo a subir al servidor a imágenes en formato JPG y PNG. El motivo de esta restricción es evitar subidas de archivos no deseados que pudieran perjudicar al servidor.
- Tamaño: Se ha limitado el tamaño de archivo a subir a 20 MB, para no saturar la capacidad de almacenamiento del servidor.

El diseño y mantenimiento de la página web debería realizarse en forma asociada por profesionales técnicos y de la salud especializados en esta área. También debería considerar las sugerencias e intereses de asociaciones de pacientes.

La calidad de una página web influye en la selección de la misma por el usuario (Llinas et al 2005).

Las páginas web sanitarias están sometidas a procesos de certificación, para garantizar que cumplen unos criterios de calidad (Agencia de calidad sanitaria de Andalucía 2014). Algunos de esos criterios deben tenerse en cuenta al desarrollar y depurar la página web y se refieren a los siguientes aspectos:

- *Derechos de los usuarios:*
 - Audiencia prevista: debe identificarse la audiencia a la que se dirige, para adaptar a ella sus contenidos, servicios, lenguaje empleado y aspecto visual. En particular, debe diferenciarse la información destinada a profesionales sanitarios y la destinada a usuarios no expertos.
 - Usabilidad: el objetivo buscado es usar el sitio web de forma eficiente, eficaz y satisfactoria. La usabilidad comprende varios aspectos: navegación (con fácil localización de contenidos); legibilidad y diseño visual para asegurar su correcta visibilidad; redacción con lenguaje sencillo y comprensible; rotulado y organización de contenidos, que deben estar clasificados de forma lógica y comprensible. El sitio web debe tener una estructura consistente, uniforme e intuitiva para que el usuario la identifique claramente. Deben utilizarse encabezados de sección y enfatizarse los elementos más significativos y relevantes para el usuario.
 - Accesibilidad: Se debe garantizar el acceso al sitio web de cualquier usuario, independientemente de las capacidades del usuario, localización geográfica, idioma, etc. Si se incluyen medios dependientes del tiempo (como audio o video), deben proporcionarse alternativas equivalentes (subtitulado, lengua de signos o audiodescripción ampliada). El acceso al contenido puede hacerse también mediante el teclado. La entrada de datos asistida incluye información necesaria, identificación del elemento erróneo y sugerencias para corregir los errores.

- Confidencialidad y privacidad: los pacientes deben ser informados sobre el uso de sus datos personales (recolección, archivo, uso o cesión a terceros, en su caso), que tienen un carácter especialmente sensible y existe obligación de proteger su privacidad y respetar la confidencialidad.
- Contenidos sanitarios y prestación de servicios:
 - Atribución de contenidos: deben incluirse las fuentes de información utilizadas, si fuese posible con enlaces web a su texto completo.
 - Actualización de la información sanitaria incluida: debe incluirse la fecha de la última revisión de cada sección.

8. Conclusiones

1. El sistema de aplicaciones creado automatiza el tratamiento de los modelos tridimensionales de las úlceras cutáneas, realizando mediciones de variables en 1, 2 y 3 dimensiones: índice de rugosidad, coeficiente de circularidad, longitud máxima, perímetro, superficie, superficie excavada y volumen.
2. La base de datos alojada en el servidor almacena los resultados de las variables de las úlceras cutáneas de los pacientes.
3. El sistema de aplicaciones creado genera una documentación que facilita la interpretación de la evolución de la úlcera cutánea por personal médico, no especializado en gestión de datos tridimensionales. Esta documentación incluye informe PDF, animación AVI y proyecto de realidad aumentada XOS.
4. La página web almacena la documentación, permitiendo subir fotografías al servidor, así como la consulta y modificación de la base de datos, utilizando internet.
5. La prueba realizada, en la que se incluyeron datos de 50 úlceras cutáneas de pierna, ha servido para depurar y mejorar el sistema de aplicaciones y la página web.
6. Se han detectado algunas limitaciones y posibles mejoras: respecto a la seguridad de la página web, automatización de tareas en el flujo de proceso y privacidad de datos personales, que han de implementarse antes del lanzamiento al mercado de las aplicaciones y la página web.

9. Referencias bibliográficas

Las referencias siguen el estilo de la norma ISO 690: 2013.

AGENCIA DE CALIDAD SANITARIA DE ANDALUCÍA (2014). *Manual de estándares de páginas web sanitarias*.

BATES-JENSEN, B. (2001). “Tools for wound healing”.
<<https://www.medlineuniversity.com/DesktopModules/Documents/ViewDocument.aspx?AddToLog=1&DocumentID=866>> [Consulta: 12 de abril de 2017].

BLENDER FOUNDATION. *Blender Python API 2.77 Documentation*.
<https://docs.blender.org/api/blender_python_api_2_77_0/info_overview.html>
[Consulta: 12 de abril de 2017].

BOERSMA, SM; VAN DEN HEUVEL, FA; COHEN, AF; SCHOLTENS, RE. (2000). “Photogrammetric wound measurement with a three camera vision system” en *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, vol. 33, part B5, p. 84–91.

BOTELLA, R; PALOMAR, JM; ESCUTIA, MB; BUCHÓN, FF; SÁNCHEZ-JIMÉNEZ, D; GARCÍA, A; ESCARIO, E; MARTÍNEZ, ML. (2015). “Modelado y medición de úlceras de la piel por técnicas fotogramétricas de objeto cercano (MEDULC)”. *Proyecto coordinado UPV – La Fe*.

BOWLING, FL; KING, L; PATERSON, JA; HU, J; LIPSKY, BA; MATTHEWS, DB; et al. (2011). “Remote assessment of diabetic foot ulcers using a novel wound imaging system” en *Wound Repair and Regeneration*, vol. 19, p. 25-30.

BUCHÓN, FF. (2015). *Sistemas fotogramétricos submilimétricos de adquisición de datos tridimensionales aplicados a la dermatología*. Director: PALOMAR, JM. Tesis. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.

DAVIS, AJ; NISHIMURA, J; SETON, J; GOODMAN, BL; HO, CH; BOGIE, KM. (2013). "Repeatability and clinical utility in stereophotogrammetric measurements of wounds" en *Journal of Wound Care*, vol. 22, p. 90–2, 4–7.

DELGADILLO, A; MORENO, A. (Año sin determinar). *Morfometría de cuencas*. <<http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/adamoren/HIDRO/MORFOMETR%20DA%20DE%20CUENCAS.pdf>> [Consulta: 12 de abril de 2017]

ESRI. *Ayuda de ArcGIS 10.1*.

<<http://resources.arcgis.com/es/help/main/10.1/index.html#/na/018v00000066000000/>> [Consulta: 12 de abril de 2017].

FLANAGAN M. (2003). "Wound measurement: can it help us to monitor progression to healing?" en *Journal of Wound Care*, vol. 12, issue 5, p. 189-94.

GELFAND, JM; HOFFSTAD, O; MARGOLIS, DJ. (2002). "Surrogate endpoints for the treatment of venous leg ulcers" en *Journal of Investigative Dermatology*, vol. 119, issue 6, p. 1420–5.

GETHIN, G. (2006). "The importance of continuous wound measuring" en *Wounds*, vol. 2, issue 2, p. 60-9.

GOLDMAN, RJ; SALCIDO, R. More than one way to measure a wound: An overview of tools and techniques. *Advances in Skin & Wound Care* 2002, vol. 15, no. 5, pp. 236-42.

JORGENSEN, LB; SORENSEN, JA; JEMEC, GBE; YDERSTRAEDE, KB. (2016). "Methods to assess area and volumen of rounds – a systematic review" en *International Wound Journal*, vol. 13, issue 4, p. 540-53.

KANTOR, J; MARGOLIS, DJ. (1998). "Efficacy and prognostic value of simple wound measurements" en *Archives of Dermatology*, vol. 134, p. 1571-4.

- KECELJ-LESKOVEC, N; JEZERSEK, M; MOZINA, J; PAVLOVIC, MD; LUNDER, T. (2007). "Measurements of venous leg ulcers with a laser-based three-dimensional method: comparison to computer planimetry with photography" en *Wound Repair and Regeneration*, vol. 15, p. 767-71.
- LANGEMO, D; ANDERSON, J; HANSON, D; HUNTER, S; THOMPSON, P. (2008). "Measuring wound length, width, and area: which technique?" en *Advances in Skin & Wound Care*, vol. 21, p. 42-5.
- LANGEMO, DK; MELLAND, H; HANSON, D; OLSON, B; HUNTER, S; HENLY, SJ. (1998). "Two-dimensional wound measurement: comparison of 4 techniques" en *Advances in Skin & Wound Care*, vol.11, p. 337–43.
- LANGEMO, DK; MELLAND, H; OLSON, B; HANSON, D; HUNTER, S; HENLY, SJ; THOMPSON, P. (2001). "Comparison of 2 wound volume measurement methods" en *Advances in Skin & Wound Care*, vol. 14, p. 190–6.
- LLINÁS, G; MIRA, JJ; PEREZ-JOVER, V; TOMAS, O. (2005). "En qué se fijan los internautas para seleccionar páginas web sanitarias" en *Revista de Calidad Asistencial*, vol. 20, issue 7, p. 385-90.
- LUHMANN, T. (2010). "Close range photogrammetry for industrial applications" en *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, vol. 65, p. 558-69.
- MARJANOVIC, D; DUGDALE, RE; VOWDEN, P. (1998). "Measurement of the volume of a leg ulcer using a laser scanner" en *Physiological Measurement*, vol. 19, p. 535-43.
- MARKUS SCHÜTZ. *Potree 1.3*. <<http://potree.org/>> [Consulta: 12 de abril de 2017].

MARTÍNEZ, ML; ESCARIO, E; POBLET, E; SÁNCHEZ-JIMÉNEZ, D; BUCHÓN, FF; IZETA, A; JIMÉNEZ, F. (2016). "Hair follicle-containing punch grafts accelerate chronic ulcer healing: A randomized controlled trial" en *Journal of the American Academy of Dermatology*, vol. 75, issue 5, p. 1007-14.

MITCHELL, HL; NEWTON, I. (2002). "Medical photogrammetric measurement: overview and prospects" en *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, vol. 56, p. 286-94.

PAVLOVCIC, U; JANEZ, D; JANEZ, M; JEZERSEK, M. (2015). "Wound perimeter, area and volume measurement based on laser 3D and color acquisition" en *BioMedical Engineering OnLine*.

PLASSMANN, P; JONES, CD. (2007). "Accuracy and precision of the hand-held MAVIS Wound Measurement Device" en *The International Journal of Lower Extremity Wounds*, vol. 6, issue 3, p. 176-90.

POLO, ME; FELICISIMO AM. (2012). "Analysis of uncertainty and repeatability of a lowcost 3D laser scanner" en *Sensors*, vol. 12, issue 7, p. 9046-54.

PROMPERS, L; SCHAPER, N; APELGVIST, J; EDMONDS, M; JUDE, E; MAURICIO, D; UCCIOLI, L; URBANCIC, V; BAKKER, K; HOLSTEIN, P; JIRKOVSKA, A; PIAGGESI, A; RAGNARSON-TENNVALL, G; REIKE, H; SPRAUL, M; VAN ACKER, K; VAN BAAL, J; VAN MERODE, F; FERREIRA, I; HUIJBERTS, M. (2008). "Prediction of outcome in individuals with diabetic foot ulcers: focus on the differences between individuals with and without peripheral arterial disease. The EURODIALE Study" en *Diabetologia*, vol. 51, p. 747-55.

REDDEN, RA; BLUM, B; KILPADI, D; FELDMAN, D. (1998). "Quantitative assessment of wound healing rate, wound repair and regeneration" en *Wound Repair and Regeneration*, vol. 6, issue 3, p. 246.

REFSNES DATA. *W3Schools Online Web Tutorials*.

<<https://www.w3schools.com/>> [Consulta: 12 de abril de 2017]

ROGERS, LC; BEVILACQUA, NJ; ARMSTRONG, DG; ANDROS, G. (2010). "Digital planimetry results in more accurate wound measurements: a comparison to standard ruler measurements" en *Journal of Diabetes Science and Technology*, vol. 4, issue 4, p. 799-802.

ROMANELLI, M; DINI, V; BIANCHI, T; ROMANELLI, P. (2007). "Wound assessment by 3-dimensional laser scanning" en *Archives of Dermatology*, vol. 143, issue 10, p. 1333-4.

SÁNCHEZ-JIMÉNEZ, D. (2013). *Aplicaciones médicas de la fotogrametría a la medición de úlceras de la piel*. Tutor: BUCHÓN, FF. Proyecto Final de Carrera. Valencia: *Universidad Politécnica de Valencia*.

SÁNCHEZ-JIMÉNEZ, D. (2014). *Modelado de úlceras de la piel mediante fotogrametría: Escaneado basado en imágenes*. Tutor: BUCHÓN, FF. Proyecto Final de Grado. Valencia: *Universidad Politécnica de Valencia*.

SEN, CK; GORDILLO, GM; ROY, S; KIRSNER, R; LAMBERT, L; HUNT, TK; GOTTRUP, F; GURTNER, GC; LONGAKER, MT. (2009). "Human Skin Wounds: A Major and Snowballing Threat to Public Health and the Economy" en *Wound Repair and Regeneration*, vol. 17, issue 6, p. 763-71.

SHAW, J; BELL, PM. (2011). *Wound Measurement in Diabetic Foot Ulceration*. <<https://www.intechopen.com/books/global-perspective-on-diabetic-foot-ulcerations/wound-measurement-in-diabetic-foot-ulceration>> [Consulta: 12 de abril de 2017].

SHEEHAN, P; JONES, P; CASELLI, A; GIURINI, JM; VEVES, A. (2003). “Percent change in wound area of diabetic foot ulcers over a 4-week period is a robust predictor of complete healing in a 12 week prospective trial” en *Diabetes Care*, vol. 26, issue 6, p. 1879–82.

SOLDEVILLA, JJ; TORRA I BOU, J; POSNETT, J; VERDÚ, J; SAN MIGUEL, L; MAYAN, JM. (2007). “Una aproximación al impacto del coste económico del tratamiento de las úlceras por presión en España” en *Gerokomos*, vol. 18, issue 4, p. 43-52.

STOCKTON, KA; MCMILLAN, CM; STOREY, KJ; DAVID, MC; KIMBLE, RM. (2015). “3D photography is as accurate as digital planimetry tracing in determining burn wound area” en *Burns*, vol. 41, p. 80–4.