



XXII Seminario de Ingeniería Biomédica  
Núcleo de Ingeniería Biomédica  
Facultades de Medicina e Ingeniería  
Udelar

## Simulador Software para ABDOPRE

**Fabian Dávila**

"Monografía vinculada a la conferencia

Del Ing. Franco Simini sobre "ABDOPRE" del 3 de Junio".

[davila.cuevas@gmail.com](mailto:davila.cuevas@gmail.com)

**Resumen.** La idea de esta monografía es hacer un análisis del posible desarrollo de un simulador por software para el ABDOPRE. El estudio permite incursionar en que posibles tecnologías pueden ser aplicadas para este desarrollo, además de analizar de qué manera puede llevarse a cabo la simulación de las variaciones de presión tanto interna como externa, así como también el hecho de simular la variación de volumen del abdomen. Se intentara tener en cuenta también modelar las distintas partes del abdomen donde es apoyada la campana, para poder estudiar el acoplamiento paciente-ABDOPRE. También se estudiara cuáles son los posibles usos del simulador, y cuáles son los costos en términos de dificultad su implementación, haciendo referencia a las dificultades matemáticas y de modelado gráfico.

# 1. Introducción

El estudio tiene como objetivo establecer las pautas para el desarrollo de un software que simule el funcionamiento del ABDOPRE sobre pacientes con presión intra abdominal (PIA) [1].

ABDOPRE luego de ser probado en el fantoma y en ensayos voluntarios sobre pacientes sanos, fue utilizado en distintos pacientes que sufrían de PIA, el resultado de su aplicación se muestra en la tabla 1.

| Pacientes | Sexo | Edad | Diagnóstico              | PIAi | PIAf | $\Delta$ PIA | % variación |
|-----------|------|------|--------------------------|------|------|--------------|-------------|
| 1         | F    | 44   | Injuria encefálica aguda | 14   | 9    | -5           | -35         |
| 2         | M    | 18   | Injuria encefálica aguda | 12   | 10   | -2           | -16         |
| 3         | M    | 54   | Stroke hemorrágico       | 12   | 9    | -3           | -25         |
| 4         | F    | 78   | Sepsis respiratoria      | 13   | 18   | 5            | 38          |

F – femenino; M – masculino; PIAi - presión intrabdominal inicial; PIAf - presión intraabdominal final;  
 $\Delta$ PIA - diferencia de presión intraabdominal;

Tabla 1: Resumen resultados de utilización de ABDOPRE en 4 pacientes [2]

Observando la tabla podemos apreciar que en un caso el resultado fue el inverso al buscado, la PIA aumento en vez de disminuir, según las fuentes consultadas [2] esto fue debido a la particular anatomía del paciente, la campana no se “apoyó” debidamente sobre partes solidas (huesos) y al “inyectar” la presión negativa se generó un efecto “ventosa” sobre el abdomen del paciente generando un aumento de la presión interna. Si bien esto no trajo inconveniente alguno sobre el paciente sería ideal contar con un software el cual disponga de varios modelos anatómicos (pacientes) y varios modelos de campanas el cual dada una PIA el software simule el ABDOPRE en funcionamiento, donde podamos observar, según los distintos parámetros que disponga (por ej Presión Negativa en la campana) como es el cambio del abdomen en el paciente simulado (tanto la PIA como el volumen).

A demás de evitar el tipo de inconvenientes antes mencionado, el simulador por software sería interesante también para hacer demostraciones, para clientes y en eventos de investigación, además de probar su uso en pacientes anatómicamente diferentes.

## 2. Desarrollo de la monografía

### 2.1 El Software: Tecnología y funcionamiento

La idea es realizar un software que simule “físicamente” tanto al paciente, como a la campana del ADOBPRES. Para esto será necesario utilizar software capaz de realizar gráficos y que soporte la aplicación de funciones, en este caso las ecuaciones de presión sobre estos gráficos, así como el cálculo de volumen.

Realizando un estudio sobre las distintas posibilidades el desarrollo parece ser viable utilizando las librerías de OpenGL soportado por c++ como lenguaje de programación.

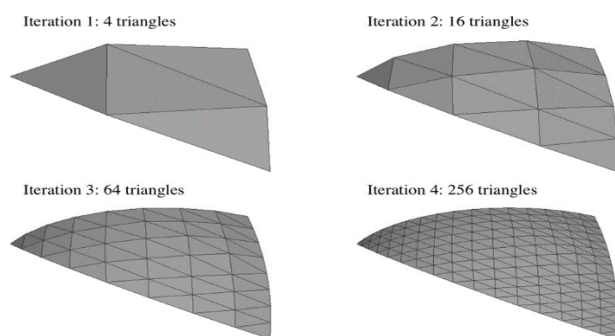
OpenGL es una especificación estándar que define una API multilenguaje y multiplataforma para escribir aplicaciones que produzcan gráficos 2D y 3D.

Su nombre viene del inglés Open Graphics Library. [3]

La representación de objetos 3D en OpenGL es realizada básicamente por conjuntos de polígonos (por ejemplo triángulos), estos polígonos agrupados dan nombre a lo que se conoce como modelo.

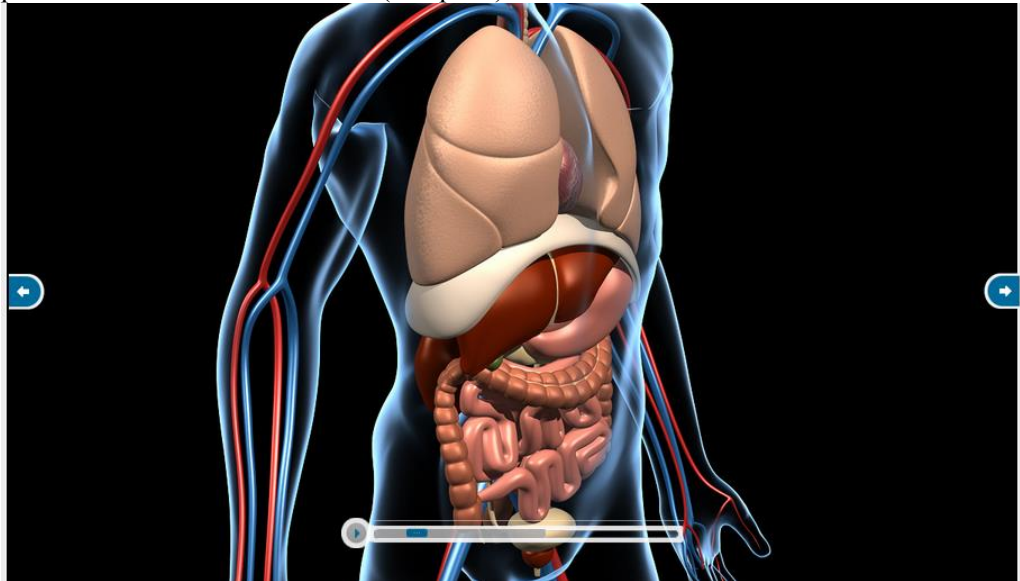
Hay diversas formas de cargar un modelo a nuestro programa, en este caso utilizaremos la carga de modelos desde objetos en formato .OBJ con la ayuda de la librería SDL para el renderizado [4].

Un archivo .OBJ contiene todos los vértices (triángulo) de nuestro objeto además de la dirección de la normal para cada uno de los triángulos, juntos todos forman nuestro objeto 3D.



*Imagen 1: Ejemplo de figura 3D formada por triángulos*

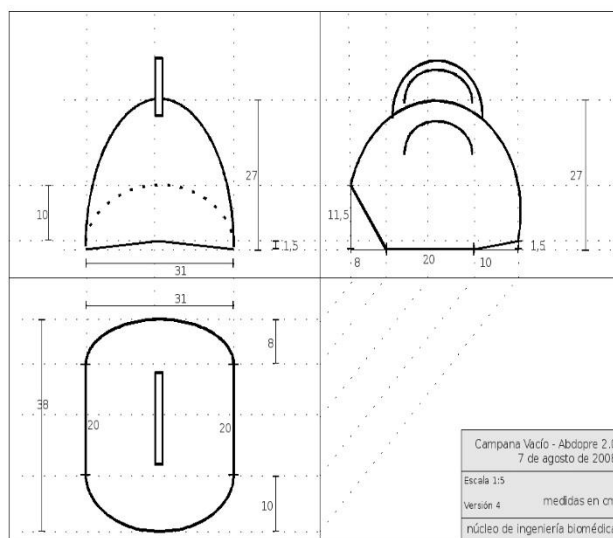
El simulador ABDOPRE por software contara con 2 modelos principales, 1 para el paciente y otro para la ABDOPRE en sí mismo (campana).



*Imagen 2: Imagen tomada del modelo .obj de la figura del cuerpo humano*

En este modelo (Imagen 2) tenemos la representación mediante un modelo del cuerpo humano, de este nos interesan en particular los órganos (tomados como un conjunto) y la pared abdominal. La idea es tener varios modelos, representando la anatomía de distintos pacientes. Es importante marcar los polígonos donde se encuentran los huesos o músculos más fuertes, pues es allí donde se deberá apoyar el ABDOPRE.

El modelo 3D para la campana es más sencillo. [2]



*Imagen 3: Modelo de campana*

Una vez que tengamos los distintos modelos ya cargados en el programa, se deberá “acoplar” la campana en el abdomen 3D, esto se hace intersectando los polígonos inferiores de esta con sus respectivos en paciente 3D, en definitiva consiste en intersección de planos.

Estudiaremos el desarrollo del software para un tipo de modelo de paciente 3D determinado, luego para generalizar simplemente se cambiarán algunos parámetros incluyendo el propio modelo.

Supongamos entonces que para nuestro modelo tenemos una PIA de 5-6 mmHg. Según fuente consultada [1] esta es la presión intra abdominal normal.

La relación del volumen con la presión está dada por las ecuaciones de pascal [5]

1.  $K \cdot DV_a = -DP$  abdominal  $V_a$  Cuando se reduce la presión en la campana DP aumenta el volumen
2.  $dIAP = C \cdot dP$  abdominal IAP Cuando se reduca la presión en la campana P, se reduce la presión intra

Opengl implementado desde c++ permite todo tipo de ecuaciones y funciones matemáticas, realizando efectos sobre los distintos polígonos de nuestras imágenes en 3D, en efecto simulando efectos físicos. [6] [7]

En nuestro software vamos a simular el aumento de presión en el abdomen a una presión determinada, en este caso alguna considerada como no normal. [1]

**Cuadro I. Grados de hipertensión intraabdominal.**

| Grado | Valor en mmHg. |
|-------|----------------|
| I     | 12 – 15 mmHg   |
| II    | 16 - 20 mmHg   |
| III   | 21 – 25 mmHg   |
| IV    | > 25 mmHg      |

mmHg: Milímetros de mercurio

Tabla de PIA

A demás del aumento de presión debemos considerar también la variación del volumen abdominal. El volumen se calculara haciendo funciones matemáticas con todos nuestros polígonos, tomándolos como una composición de prisma con base triangular y un tetraedro (imagen de arriba).

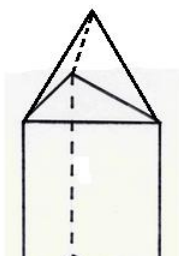


Imagen 4: Modelo prisma de objetos 3d

Consideramos entonces un caso base con PIA normal y calculamos el volumen de nuestros prismas, este será el  $V_0$  (volumen inicial o volumen normal).

En la Imagen 3 se muestra un ejemplo del prisma tipo por el cual esta compuesto nuestro objeto y al cual le vamos a calcular el volumen.

A partir del volumen y la presión inicial se podrá inyectar una presión negativa desde la campana con el fin de “testear” como varia la presión y por ende el volumen intraabdominal, este será el principal propósito del software.

Siguiendo el mismo razonamiento que es expresado anteriormente, podemos “redibujar” el nuevo abdomen (conjunto de polígonos) en base a las ecuaciones de pascal según la presión negativa aplicada en la campana [5]. Con la nueva presión calculamos el nuevo volumen, y teniendo en cuenta el principio de pascal [8] expandimos los polígonos de manera homogénea, haciendo un nuevo renderizado de las imágenes cada 1 segundo obtendremos una descripción grafica de como es el paulatino aumento del abdomen.

Es importante destacar que el modelo 3D del cuerpo humano debe incluir los puntos donde hay músculos fuertes o huesos, y donde no (piel solo por ejemplo). De esta manera el software debe controlar que al aplicar la presión negativa, si la campana no está sobre puntos fuertes, estará entonces haciendo que la PIA aumente imprevistamente, por esto que el software debe de ser importante a la hora del macheo de pacientes con los distintos tamaños de campanas.

## **2.2 Desafíos a tener en cuenta**

A continuación se enunciaran algunos desafíos que son importantes, y que se deben tener en cuenta a la hora de construir el software.

En primer lugar se debe tener en cuenta la dificultad que implica crear distintos tipos de modelos de “persona” 3D a base de polígonos, en este caso triángulos. Esta construcción debe tener en cuenta músculos y huesos además de la piel y tejidos blandos.

Una posible forma de hacerlo es cargando distintas texturas según el tejido. [8]

En segundo lugar hay que considerar el algoritmo que calcule el volumen de todos los prismas, que en un modelo complejo serán miles, y fundamentalmente cómo será la nueva distribución de puntos una vez que el cambio de presión, y por ende el volumen.

El último punto a tener en cuenta refiere a la disminución del volumen cuando la campana ejerce presión sobre un punto “blando” (como se menciona en el primer punto, será detectado analizando la textura del prisma en cuestión), esto generara entonces un aumento de la PIA.

Este último caso dará una funcionalidad importante al simulador, ya que con un uso correcto podemos evitar usar el ABDOPRE en pacientes anatómicamente incompatibles, como fue el 4 caso de estudio [5]

### 3. Conclusiones

Se ha hecho una especie de modelo para un simulador de software de ABDOPRE utilizando OpenGL y c++.

Hay que destacar lo que consideramos la principal utilidad, que refiere a la “simulación” propiamente dicha, teniendo en cuenta el macheo cuerpo3d-campana3d. Este simulador nos puede advertir en función de las distintas campanas que tengamos, según el paciente si estamos en la medida correcta o de lo contrario si podríamos generar un inesperado aumento de la PIA en el paciente.

Habría que agregar también otras variables que pueden complejizar el modelo, pero así también aumentar el tipo de pacientes comprendidos, cuando nos referimos a las variables hablamos de por ejemplo tejido graso en el paciente, el cual puede ser agregado como un modelo 3D dentro del abdomen, pudiéndosele calcular su propio volumen y haciéndolo influir directamente en la presión intra abdominal y en los cambios de esta.

No hay que olvidar remarcar la dificultad que puede conllevar este simulador, ya que la creación de los distintos tipos anatómicos 3d es bastante difícil, más aun cuando agregamos las texturas para marcar huesos y partes sólidas. El otro tema no menor en dificultad es el cálculo de presiones, las variaciones de volumen y el renderizado en función de los nuevos tamaños, esta parte algorítmica requiere mucho trabajo y análisis matemático.

Un simulador con varios modelos de pacientes y varios modelos de campana ABDOPRE puede ser muy útil para demostrar el funcionamiento a hospitales u otras universidades, puede servir como forma de propaganda para el producto.

En resumen, por más que puede ser útil un simulador de software hay que hacer un cuidadoso análisis del costo y la dificultad que puede conllevar el desarrollo de este.

### 4. Bibliografía

- [1] D. R. Carrillo-Esper y D. M. A. Garnica-Escamilla, «medigraphic,» [En línea]. Available: <http://www.medigraphic.com/pdfs/rma/cma-2010/cmas101aq.pdf>.
- [2] F. P. M. D. D. G. C. Z. F. S. G. S. M. C. S. Calvo, «iie.fing.edu.uy,» [En línea]. Available: <http://iie.fing.edu.uy/publicaciones/2008/CPDGZSSC08/Paper-ABDOPRE-2008.pdf>.
- [3] OpenGL, «OpenGL,» [En línea]. Available: <http://www.opengl.org/>.
- [4] SDL, «SDL,» [En línea]. Available: <http://www.libsdl.org/release/SDL-1.2.15/docs/html/guidevideoopengl.html>.
- [5] D. L. U. M. P. F. P. F. S. Ing. Marcelo David, «Non-invasive Negative Pressure System to treat Abdominal Hypertension- Budapest 2011».

- [6] E. Gritsaenko, «youtube,» [En línea]. Available: <https://www.youtube.com/v/HbCL5olpsZs> .
- [7] nehe, «nehe,» [En línea]. Available: [http://nehe.gamedev.net/tutorial/introduction\\_to\\_physical\\_simulations/18005/](http://nehe.gamedev.net/tutorial/introduction_to_physical_simulations/18005/).
- [8] H. P, «Conceptos de Física. Parte II Propiedades de la materia,» Limusa, 2002.
- [9] D. J. M. B. Rubio, «dmi,» [En línea]. Available: <http://dmi.uib.es/~josemaria/OpenGL/Texturas.html>.
- [10] turbosquid, «3d-models,» [En línea]. Available: <http://www.turbosquid.com/3d-models/max-human-anatomy-pumping-heart/666033>.