

## NEFROVOL - Estimación del volumen renal en base a imágenes ultrasonográficas

Sitrin Mauro, Arrúa Esteban, Simini Franco, Tobal Diego, Urruty Luciana, Grundel Lucía & Noboa Oscar

Núcleo de Ingeniería Biomédica, Universidad de la República, URUGUAY

email: simini@fing.edu.uy

**Resumen:** El tamaño renal brinda información para el diagnóstico y pronóstico de las patologías renales; su medición se basa habitualmente en los semiejes en ecografías. Patologías complejas como la poliquistosis requieren estudios imagenológicos complejos que incluyen medios de contraste y radiaciones (Rx). NEFROVOL es una propuesta no invasiva; de bajo costo y repetible que reconstruye la estructura renal y por ende estima su volumen. Para ello, NEFROVOL procesa imágenes renales ultrasonográficas en formato DICOM para generar un modelo tridimensional del riñón en estudio que a su vez permite estimar su volumen. NEFROVOL genera documentos de historia clínica electrónica, cumpliendo el estándar CDA, ya sea de un estudio puntual o del seguimiento de un paciente durante la evolución de la enfermedad. NEFROVOL es compatible con la impresión 3D al generar archivos en formato STL.

**Palabras Claves:** NEFROVOL, Poliquistosis renal, Riñón, Ultrasonografía, Volumen renal, Impresión 3D, formato STL.

### Introducción

Los riñones son órganos pares, situados en el espacio perirrenal del retroperitoneo, con un ángulo oblicuo hacia afuera en relación a la columna vertebral. En un adulto promedio, cada una de estas estructuras mide cerca de 12 cm de largo por 6 cm de ancho y 3 cm de grosor [1]. Dentro de cada riñón hay aproximadamente un millón de estructuras diminutas, llamadas nefronas, que filtran la sangre. Estos eliminan los productos de desecho y el exceso de agua que transforman en orina.

La Poliquistosis es una enfermedad renal que produce quistes, que a su vez causan el crecimiento del tamaño del riñón estimado por su volumen. Para realizar un diagnóstico y seguir la evolución de esta enfermedad en el tiempo es necesario evaluar con qué rapidez crece el volumen renal [2].

La estimación del volumen de los riñones que padecen poliquistosis es muy dificultosa debido a las irregularidades que presentan por la presencia de quistes en su superficie. Los métodos utilizados hoy en día tienen

poca precisión o son basados en imágenes de tomografías por rayos X. Estos últimos tienen un efecto nocivo sobre el paciente provocado por la radiación y más aún cuando son sometidos a esta técnica con frecuencia. Para la obtención de estas imágenes tomográficas se inyecta líquido de contraste que resulta tóxico para las nefronas ya comprometidas por el proceso patológico.

### Motivación del problema

Las dificultades de obtención de evidencia volumétrica renal en casos de poliquistosis llevaron a la definición de una herramienta inédita que no fuera ni tóxica ni costosa pero con la precisión suficiente para el seguimiento clínico.

La técnica habitual para observar los riñones es la ultrasonografía ya que no causa efectos secundarios en el paciente y tiene costos bajos. La desventaja es que no permite ver el riñón en tres dimensiones ni calcular con exactitud su volumen.

Basándonos en la facilidad de obtención de imágenes ultrasonográficas, concebimos una herramienta que las utilice para reconstruir tridimensionalmente el riñón poliquístico y estimar su volumen, brindando de esta manera mejores alternativas y resultados para el seguimiento de la enfermedad.

### Proyecto NEFROVOL

El concepto sobre el cual se basa el diseño de NEFROVOL es el de obtener cortes paralelos del riñón separados por una distancia conocida. Esta modalidad no es habitual en ecografía ya que las colecciones de imágenes no tienen ninguna relación entre sí, excepto la reconstrucción mental que hace de la estructura anatómica subyacente el profesional.

Para asegurar una ubicación controlada de los cortes, hemos diseñado una guía cutánea (Figura 1) que consiste en ranura paralelas de las dimensiones del transductor de ultrasonido, dispuestas en forma paralela en un soporte flexible e hipoalérgico.

El diagrama en bloques de NEFROVOL muestra los bloques funcionales desde la captación de imágenes hasta la generación de evidencia documental en la historia clínica electrónica y la impresión 3D opcional del riñón.

NEFROVOL es una herramienta de software interactiva que procesa imágenes ecográficas, paralelas y equidistantes entre sí, generando a partir de ellas una estructura tridimensional representativa del órgano en estudio. Esto permite estimar su volumen total y realizar una impresión 3D del mismo. Brinda información complementaria a través de documentos clínicos CDA de estudios y evolución de pacientes.



Figura 1: Guía cutánea de NEFROVOL para colocar sucesivamente el transductor en planos paralelos y obtener cortes equidistantes del riñón.

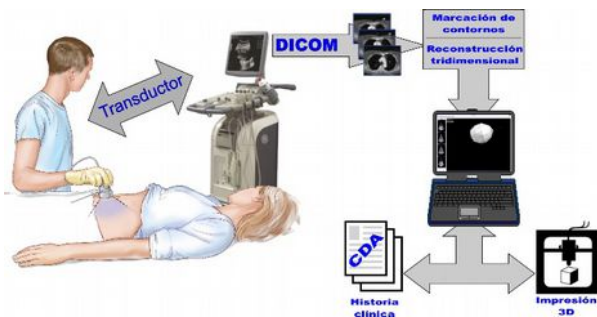


Figura 2: Diagrama en bloques de NEFROVOL.

### Ubicación de cortes

Para reconstruir la estructura tridimensional del riñón a partir de diferentes cortes es necesario conocer cuál es la relación de distancia entre ellos, es decir cuál es la ubicación de un corte en el espacio con respecto al subyacente. Debido a que las imágenes DICOM [3] ultrasonográficas no incluyen atributos de distancia entre cortes, como en cambio tienen por ejemplo las imágenes de tomografía computada, se debió obtener de alguna manera los datos necesarios.

La solución optada fue asumir que los cortes son paralelos y equidistantes, con una distancia conocida entre todo par de cortes consecutivos, usando la guía cutánea (Figura 1).

### Métodos de estimación

NEFROVOL adquiere las imágenes generadas por el ecógrafo (Figura 2) en formato DICOM de las cuales extrae imágenes crudas en formato JPG. Esta colección de cortes paralelos le permite a NEFROVOL reconstruir el volumen del órgano mediante métodos geométricos. Para ello consideramos 2 métodos que describimos a continuación.

El método *layared convex hull* (Figura 3), proporciona una buena estimación del volumen [4] al dividir el grupo de puntos en diferentes capas obteniendo para cada una de ellas un envolvente convexo generado mediante triangulaciones de Delaunay. El volumen reconstruido es la suma de todos los volúmenes por capa.

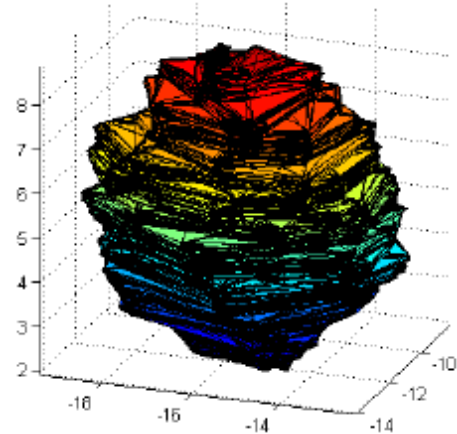


Figura 3: Ejemplo de aplicación del método *layared convex hull* para la estimación del volumen de una estructura. Figura tomada de Fernández-Sarría et al. [4].

El método *volumetric pixel* consiste en componer una matriz tridimensional de partida utilizando las coordenadas  $[X, Y, Z]$  de la nube de puntos. Se define los voxels como las unidades mínimas de volumen. Luego se determina dentro de cuáles voxels existe parte de la nube de puntos. Para esto se debe verificar si las coordenadas correspondientes al voxel se intersectan o envuelven a las coordenadas de algún punto de la estructura. Finalmente la estimación del volumen queda determinada por la suma ponderada de los voxels que contienen puntos y escala utilizada [4].

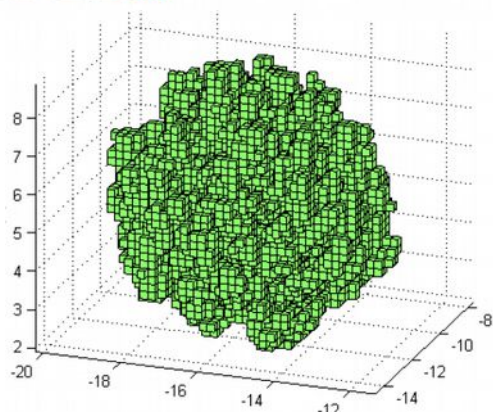


Figura 4: Ejemplo de aplicación del método *volumetric pixel* para la estimación del volumen de una estructura. Figura tomada de Fernández-Sarría et al. [4]

### Reconstrucción

A continuación se describe la implementación de algunas de sus funcionalidades.

*Generación de la estructura tridimensional:* La generación de la estructura tridimensional del riñón se basa en los puntos de contorno indicados por el usuario sobre las imágenes cargadas. Con cada uno de estos contornos se genera una malla poligonal de triángulos compuestos por la unión de dos puntos de un corte con un punto del corte siguiente [5]. Por cada par de cortes contiguos se dibuja una malla poligonal y la unión de todas las mallas genera finalmente la estructura completa. En los cortes extremos, decidimos extrapolar una malla hacia un punto imaginario ubicado a una distancia igual a la mitad de la separación entre cortes y la proyección ortogonal del baricentro.

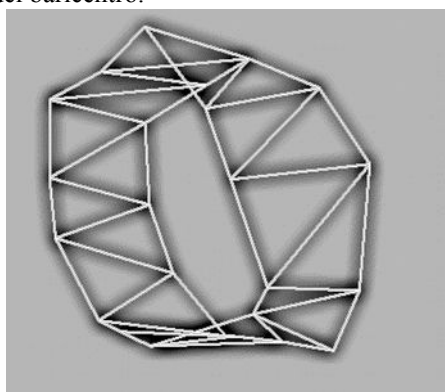


Figura 5: Construcción de estructura tridimensional mediante combinaciones de triángulos.

*Cálculo del volumen:* Para el cálculo del volumen se optó por utilizar el método *volumetric pixel* en combinación con el método *layared convex hull*. De esta manera se utilizan las ventajas de ambos métodos.

La combinación se realiza con el objetivo de simplificar el cálculo evitando recorrer voxeles que de antemano es posible descartar por su ubicación. Para esto, en lugar de cubrir toda la estructura con un único prisma se cubren los contornos realizados de a pares de cortes (por capas). Se utiliza como unidad mínima (voxel) un cubo de 1mm.

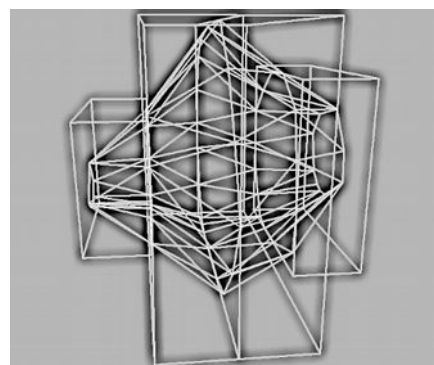


Figura 6: Aplicación de los métodos *layared convex hull* y *volumetric pixel* combinados para estimar el volumen de una estructura de manera más eficiente.

La manera de determinar si un voxel pertenece o no a la estructura es trazar un vector entre el origen (externo al volumen) y el centro del voxel. Luego calculamos la intersección del vector con cada uno de los triángulos que componen el contorno. En tercer lugar, se cuentan cuántos triángulos atraviesa el vector y si la cantidad es impar, entonces el voxel pertenece a la estructura, en caso contrario no le pertenece. En cuarto lugar se calcula el volumen de ambos extremos, como suma de pirámides de base triangular. Finalmente, luego de obtener el volumen correspondiente a cada uno de los contornos de a pares de cortes y el volumen de los extremos, para obtener el volumen total se suman todos los valores parciales y se multiplican por la escala.

*Generación de la estructura para impresión 3D:* La impresora 3D recibe archivos en formato STL (Stereo Lithography) [6] que NEFROVOL genera en base a los puntos que posee la estructura tridimensional reconstruida a partir de las imágenes ecográficas. Es posible imprimir la estructura en diferentes tamaños de escala. Fueron impresas diversas estructuras generadas por NEFROVOL usando una impresora 3D desarrollada por SAWERS [7].

### Informes para la Historia Clínica Electrónica (CDA)

NEFROVOL genera la documentación clínica en formato normalizado CDA [8] que le da la versatilidad de uso en diferentes hospitales y sistema de salud. La información del paciente es extraída en parte del archivo DICOM proveniente del ecógrafo completada por ingreso de datos en la aplicación NEFROVOL.

El template CDA desarrollado para NEFROVOL sigue las recomendaciones de implementación del HL7. Adicionalmente al archivo CDA almacena, NEFROVOL genera copias en formato HTML y PDF.

## Resultados

Las pruebas realizadas con NEFROVOL tomaron imágenes del equipo de ultrasonido GE LOGIQ C5 Premium con el transductor C2-5 [9] en tres etapas diferentes: (1) figuras geométricas regulares (fantoma), (2) objetos irregulares como frutas y verduras; (3) pacientes. Para estas últimas se presentó una solicitud al comité de ética del Hospital de Clínicas.

Tabla 1: Pruebas figuras geométricas.

Cant. cortes	Dimensiones (Bxbxh cm)	Vol. Real (cm <sup>3</sup> )	Vol. NEFR OVOL (cm <sup>3</sup> )	r
2	6.00x4.00x5.00	33.33	36,73	0.10
2	4.00x2.00x5.00	20.00	22,68	0.13
2	6.00x2.00x10.00	53.33	61,03	0.14

En todos los casos se utilizaron trapecios, para obtener su volumen real se utilizó fórmula matemática.

B = base mayor, b = base menor, h = altura, r = error relativo.

Tabla 2: Pruebas frutas y verduras.

Cant. cortes	Tipo	Vol. Real (cm <sup>3</sup> )	Vol. NEFROVOL (cm <sup>3</sup> )	r
8	Boniato	400.00	338.39	0.15
4	Morrón	205.00	239.26	0.17
4	Naranja	300.00	306.50	0.02
5	Papa	275.00	315.14	0.15
4	Zapallito	230.00	190.76	0.17

Fueron utilizadas debido a que presentan internamente similitudes con riñones. El volumen real de cada elemento fue obtenido mediante el Principio de Arquímedes. r = error relativo.

Tabla 3: Pruebas riñones.

Cant. cortes	Dimensiones (lxwxh cm)	Vol. Real (cm <sup>3</sup> )	Vol. NEFR OVOL (cm <sup>3</sup> )	Diff
3	10.74x4.99x6.56	184.08	138.05	36.80
3	9.30x4.56x6.41	129.85	164.01	34.16
3	9.77x4.15x6.13	130.14	213,67	83.53
4	11.84x5.04x5.49	171.39	172.76	1.37
3	10.35x3.73x5.50	111.18	109.0	2.18

Riñones de pacientes trasplantados y normales. Volumen matemático mediante fórmula de la esfera modificada, manera utilizada actualmente para estimar el volumen. l = largo, w = ancho y h = espesor.

## Discusión y Conclusiones

Se obtuvieron buenos resultados y a su vez algunos aspectos a mejorar. Se logró desarrollar un software que permite estimar el volumen renal a partir de imágenes ecográficas.

Analizando las pruebas se ve que en condiciones de paralelismo y equidistancia de los cortes se tiene error máximo de 17% que pone un límite a la exactitud del método. Aún con esta limitación NEFROVOL permite avanzar de forma significativa hacia una solución para brindar alternativas en el seguimiento de la enfermedad poliquistosis renal. La ventaja de repetibilidad en el tiempo compensa esta limitación teniendo en cuenta que los métodos actuales asumen la forma elíptica para el riñón, hecho que no se verifica nunca en la poliquistosis renal.

Con el desarrollo de NEFROVOL se creó una base sobre la cual continuar trabajando para mejorar la estimación del volumen renal. Una posible mejora es la de llevar a cabo una forma más eficaz de ubicar los cortes de las imágenes ultrasonográficas. De esta manera se podría lograr suprimir la condición de que todos los cortes sean paralelos y equidistantes. Esto conllevaría a la eliminación del uso del soporte externo durante la ecografía permitiéndole al médico una mayor libertad.

## Referencias

- [1] Jaimes Galvis, Héctor Arturo; Martínez Flechas, Alfonso; Rengifo Tello, Carlos Felipe, "Determinación del volumen renal y medición de la corteza renal por ecografía convencional en los pacientes con enfermedad renal crónica.", Universidad Militar Nueva Granada, Facultad de Medicina. Bogotá, Colombia. 2011.
- [2] Torres, Vicente E, "Clinical Trial Endpoints and Therapies in Polycystic Kidney Disease", Rochester, Minnesota, United States, May-2007.
- [3] Pianykh, Oleg S., "A Practical Introduction and Survival Guide", 2nd ed., Springe Ed, Boston Massachusetts, United States, 2012.
- [4] A. Fernández-Sarría, L. Martínez, B. Velázquez-Martí, M. Sajdak, J. Estornell, J.A. Recio y T. Hermosilla. Diferentes metodologías de cálculo de volumen de copa de *Platanus hispanica* empleando láser escáner terrestre. Un. Politécnica de Valencia, España. Available: [http://cgat.webs.upv.es/bigfiles/Fernandez-Sarría\\_et\\_al\\_2011\\_AET.pdf](http://cgat.webs.upv.es/bigfiles/Fernandez-Sarría_et_al_2011_AET.pdf)
- [5] Forero, Manuel Guillermo; Aramazazu Buitrago, Nelson Fernando; Flórez Larrahondo, Germán, "Reconstrucción 3D usando superficies trianguladas dados contornos paralelos". Dec-2001.
- [6] Rypl, Daniel; Bittnar, Zdenek. (2006). Triangulation of 3D Surfaces Recovered from STL Grids. Praga, República Checa.. Available: <http://ctn.cvut.cz/ap/download.php?id=415>
- [7] SAWERS, Chocabamba, Bolivia. [www.sawers.com.bo](http://www.sawers.com.bo)
- [8] González López, Dahilys; Alvarez Barreras, Liset M.; Fernández Orozco, Adrián. (2013). SLD082 Implementación de estándares DICOM SR y HL7 CDA para la creación y edición de informes de estudios imagenológicos. Universidad de las Ciencias Informáticas. La Habana, Cuba. Available: [www.informaticahabana.cu/es/inicio](http://www.informaticahabana.cu/es/inicio)
- [9] LOGIQ C5 TruScan Imaging Technology. Available: <http://www.uk-ireland.bcftechnology.com/~media/PRODUCTS/Vet%20Imaging/Ultrasound/Logiq%20C5/Support/Support%20files/Logiq%20C5%20Long%20Datasheet.pdf>