

DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA HERRAMIENTA EN LENGUAJE MATLAB PARA CUANTIFICAR ESTUDIOS SPECT CT DE PARATIROIDES

DEVELOPMENT AND IMPLEMENTATION OF A TOOL IN MATLAB LANGUAGE TO QUANTIFY PARATHYROID SPECT CT STUDIES

N. Virzi¹, P. Sanabria^{*1,2} y S. Cusimano³

¹Departamento de Física Médica – Universidad Nacional De General San Martín – UNSAM

²Fundación Centro Diagnóstico Nuclear (FCDN)

³Comisión Nacional Energía atómica (CNEA)

Recibido: 20/12/2024 ; Aceptado: 10/03/2025

Este trabajo tuvo como objetivo el desarrollo y puesta a prueba de una interfaz gráfica de usuario en lenguaje Matlab (gui) para la cuantificación de estudios SPECT-CT de paratiroides. La gui permitió la lectura correcta de los archivos de imágenes sin pérdida de información, su transformación a valores de concentración de actividad y la obtención de índices semicuantitativos como el valor de captación estándar (SUV). Se puso a prueba con fantomas que simularon compartimentos tiroideos y paratiroides y en imágenes de una cohorte de pacientes con diagnóstico clínico de hipertiroísmo. Del análisis de las mismas se verificó el funcionamiento correcto y fluido de la aplicación y permitió diferenciar los tejidos paratiroides del tiroideo en las imágenes de los pacientes mediante el análisis cuantitativo.

Palabras clave: SPECT-CT, paratiroides, SUV, Gui

This work aimed to develop and test a graphical user interface in Matlab language (gui) for the quantification of parathyroid SPECT-CT studies. The gui allowed the correct reading of the image files without loss of information, their transformation into activity concentration values and the obtaining of semiquantitative indices such as the standard uptake value (SUV). It was tested with phantoms that simulated thyroid and parathyroid compartments and on images of a cohort of patients with a clinical diagnosis of hyperparathyroidism. Their analysis verified the correct and fluid operation of the application and allowed parathyroid and thyroid tissues to be differentiated in the patients' images through quantitative analysis.

Keywords: SPECT-CT, parathyroid, SUV, Gui

<https://doi.org/10.31527/analesafa.2025.36.2.25>



ISSN - (online)

* pablosanabria2@gmail.com

I. INTRODUCCIÓN

El centelleograma y la tomografía por emisión de fotón único (SPECT) de paratiroides son estudios que se realizan frecuentemente en los servicios de medicina nuclear de nuestro país y en el mundo. La principal indicación es la localización preoperatoria de adenomas (un tumor benigno que causa hiperfuncionamiento) de la glándula paratiroidea. Si bien el análisis de las imágenes es visual por el médico especialista, se ha reportado que la cuantificación de éstas puede ayudar a diferenciar el tejido paratiroideo hiperfuncionante del tejido tiroideo circundante [1].

En algunas publicaciones se ha destacado la utilidad de las cuentas de las imágenes (máximas, medias o totales) que son obtenidas por todos los equipos de medicina nuclear [2]. En los últimos años debido al avance tecnológico de los sistemas SPECT, los modelos más recientes pueden reconstruir las imágenes en unidades de concentración de actividad. De manera que permiten calcular índices como el valor de captación estándar (SUV) que relacionan la concentración de actividad en una región o tejido con respecto a la dosis administrada y el peso o superficie corporal del paciente. Varios trabajos brindan evidencia que el SUV puede ayudar a diferenciar los tejidos paratiroides hiperfuncionantes del tejido tiroideo [1, 3].

Para obtener esos índices se requieren sistemas SPECT-CT de última generación (los cuales no abundan en nuestro país) y softwares dedicados que suelen valer decenas de miles de dólares. Sin embargo, si se dispone de un equipo SPECT-CT con detectores convencionales, que permita realizar corrección de atenuación, los valores de cuentas pueden transformarse a valores de actividad mediante una calibración. Mientras que el análisis de las imágenes mediante índices cuantitativos se puede generar mediante un software que integre las variables biométricas del paciente, datos de adquisición y de la administración del radiofármaco.

El objetivo del trabajo fue desarrollar y poner a prueba una interfaz de usuario (gui) en lenguaje Matlab que permita cargar las imágenes, los parámetros del estudio y obtener índices de interés clínico de manera sencilla en estudios de SPECT de paratiroides. Matlab es un lenguaje de programación avanzado de bajo costo que permite realizar operaciones complejas, entre ellas análisis de imágenes médicas y condensarlas en una interfaz gráfica de usuario.

II. MÉTODOS

Diseño de la interfaz

Se realizó el diseño de la interfaz a partir de Matlab 2015a. La misma consta de dos axes de manera que constituyen dos visores que permite el análisis de imágenes tempranas y tardías Fig. 1. Además de los axes cuenta con slider para recorrer corte a corte los SPECT y seleccionar los intervalos de interés. En el medio posee un panel en el cual es posible cargar manualmente los datos biométricos como el peso, dosis administrada, los horarios de inyección y administración. Así como el valor de calibración del SPECT.

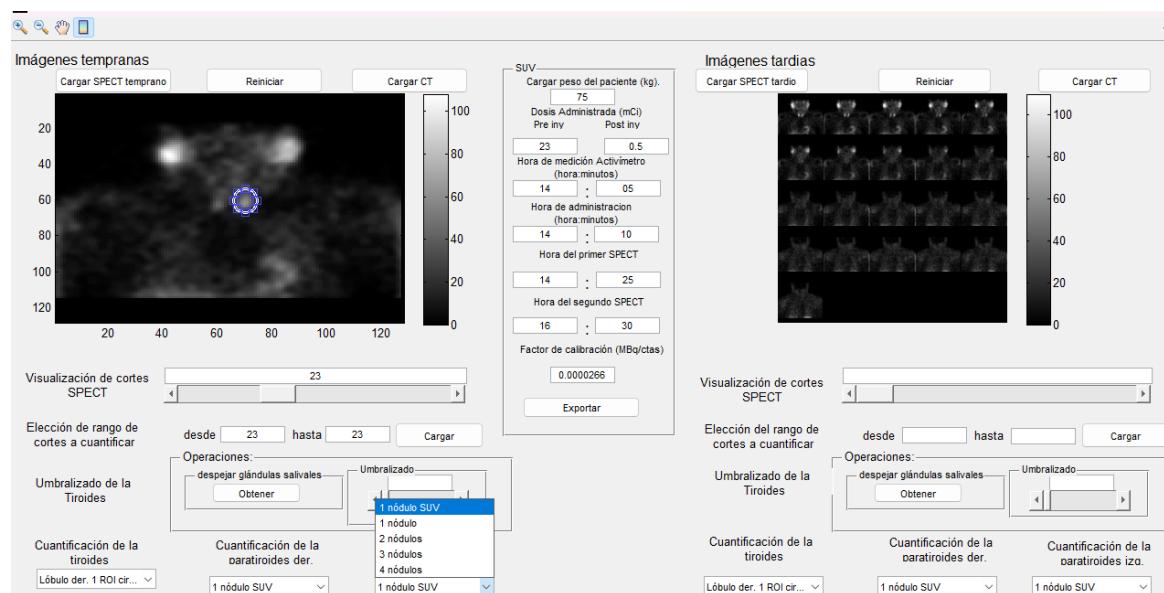


FIG. 1: Interfaz gráfica donde se observa el trazado de la región de interés sobre el tejido paratiroideo hiperfuncionante (izquierda).

Equipo: adquisición y procesamiento

El equipo utilizado fue un SPECT-CT General Electric Millenium Hawkeye montado con colimador de baja energía, fotópico centrado en 140 keV, ventana de scattering en 120 keV \pm 7,5 %. Todas las imágenes fueron adquiridas con matriz de 128 \times 128, zoom de 1.25, 60 vistas y 15 segundos cada una. La reconstrucción fue hecha mediante algoritmo

iterativo (OSEM) en terminal *Xeleris* mediante 4 subsets, 20 iteraciones y filtro Butterworth de 0,45 ciclos-cm y orden 10. Corrección de *scattering* doble ventana con factor 0,5 sobre las proyecciones reconstruidas. Se efectuó la corrección de atenuación mediante tomografía computada de rayos X (CT) con técnica de 2.5 mA y 140 keV.

Factor de calibración

La sensibilidad tomográfica se obtuvo mediante el llenado de un fantoma de 10 litros de volumen y una solución de $^{99m}\text{TcO}_4^-$. Se adquirió y procesó con los parámetros anteriormente descriptos. Posteriormente, usando la terminal *Xeleris* se obtuvieron las cuentas del volumen reconstruido y el factor de calibración se definió como: la actividad actual (que llamamos *Actividad real* sobre las cuentas totales del volumen delimitado por la tomografía computada del SPECT-CT.

$$Fc = \frac{\text{Actividad real (MBq)}}{\text{Cuentas totales del fantoma}} \quad (1)$$

Verificación del factor de calibración

Para verificar la exactitud de la cuantificación de la actividad utilizando el Fc se llenaron los insertos de un fantoma de cuello [4]. Dos de los mismos fueron llenados con 16 ml de solución de $^{99m}\text{TcO}_4^-$ y simularon la tiroideas derecha e izquierda, mientras que dos insertos de 0,3 ml representaron las paratiroides derecha e izquierda. Se adquirieron y procesaron las imágenes del fantoma mediante la terminal *Xeleris*, se cuantificaron las cuentas del volumen neto Fig. 2 y utilizando el Fc se obtuvo la actividad calculada (Ac) la cual fue comparada con la actividad real (Ar) para verificar la exactitud de la cuantificación Tabla 1.

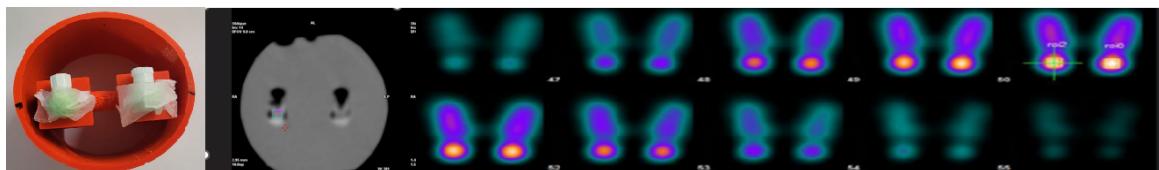


FIG. 2: A la izquierda fantoma de cuello e insertos paratiroides. Centro: roi sobre el ct y volumen neto del inserto paratiroides. Derecha: roi trasladado a la imagen de SPECT-CT

$$Ac = \text{cuentas} \times Fc. \quad (2)$$

Análisis de las imágenes de los pacientes

Se analizaron retrospectivamente 27 estudios SPECT (9 M.; edades: 46-79 años y 18 F.; edades: 33-76) de pacientes con diagnóstico clínico de hiperparatiroidismo que fueron referidos al centro de diagnóstico entre 2022 y 2024. A cada paciente se le administraron 740-925 MBq de ^{99m}Tc -Sestamibi y se les realizó dos SPECT, el primero a los 15 minutos post inyección y el segundo a las 2-3hs post administración, solo al segundo SPECT se le realizó CT para corregir la atenuación.

Las imágenes se exportaron en formato DICOM y se analizaron en la gui, localizando el tejido paratiroides hiperfuncionante y obteniendo el índice SUV máximo ($SUV_{máx}$) tardío para el tejido paratiroides y la tiroideas contralateral mediante el trazado de regiones de interés circulares Fig 1. También se computaron cuentas máximas para ambos tejidos tanto para el SPECT temprano como para el tardío sin corrección de atenuación y scattering. De estos valores se derivó un índice de lavado o washout.

$$SUV_{máx} = \frac{\text{Máx. actividad en 1 voxel (MBq/ml)}}{\text{Actividad inyectada (MBq)}} \times \text{peso del paciente (gr)} \quad (3)$$

$$Washout = \frac{\text{ctas máximas tempranas} - \text{ctas máximas tardías}}{\text{ctas máximas tempranas}} \quad (4)$$

Finalmente realizamos una comparación estadística entre el washout de la fase temprana y tardía para cada tejido. Asimismo, comparamos para la fase tardía el $SUV_{máx}$ para el tejido paratiroides y tiroideo respectivamente. El análisis se llevó a cabo utilizando el software Infostat [5].

III. RESULTADOS

Dependencia de la exactitud de la cuantificación con el tamaño de los insertos

Se obtuvo el factor de calibración que se utilizó para cuantificar las actividades de los insertos del fantoma de cuello y compararlos con las actividades reales Tabla 1. El mismo resultó: $2,6 \times 10^{-5}$ MBq/cuentas.

Insertos	Actividad real (MBq)	Actividad calculada (MBq)	Ac/Ar
Tiroides derecha	4,72	3,85	0,81
Tiroides izquierda	4,79	3,83	0,8
Paratiroides derecha	2,15	0,19	0,09
Paratiroides izquierda	2,12	0,17	0,08

TABLA 1: Resultados sobre insertos del fantoma.

Cuantificación de las imágenes de los pacientes $SUV_{máx}$ en fase tardía.

Del análisis estadístico de las cuantificaciones de las imágenes en fase tardía utilizando $SUV_{máx}$, se observaron diferencias estadísticamente significativas entre los tejidos paratiroides hiperfuncionante ($3,12 \pm 1,13$) y el tejido tiroideo ($2,26 \pm 0,64$). Siendo significativamente mayor el primero con respecto al segundo. Test de Wilcoxon; $Z=3,97$; $p<0,0001$ Fig. 3.

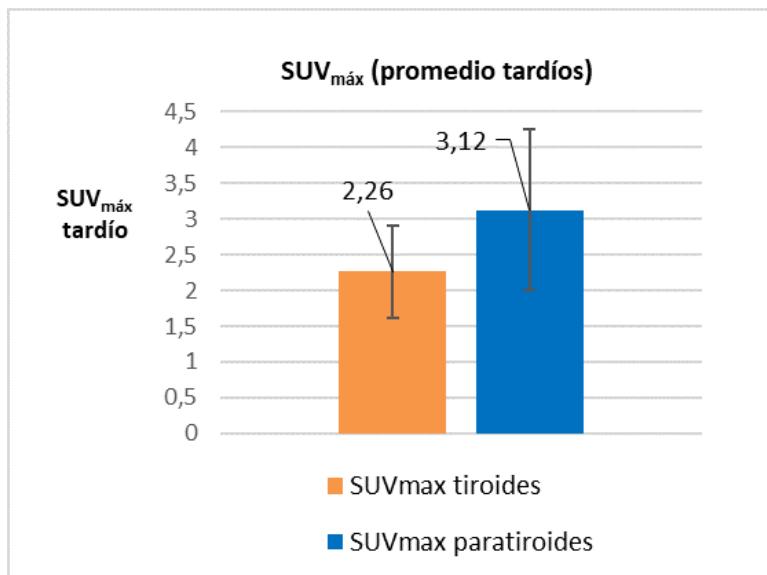


FIG. 3: Análisis $SUV_{máx}$. en fase tardía.

Cuentas máximas y washout.

Cuando analizamos las cuentas máximas promedio para ambas fases y en ambos tejidos, el análisis de la varianza mediante Kruskal Wallis no arrojó diferencias estadísticamente significativas para ambas regiones en cada fase Fig. 4. Registrándose así mismo diferencias significativas de la captación tiroidea temprana versus la tardía ($H=53,3$; $p<0,0001$).

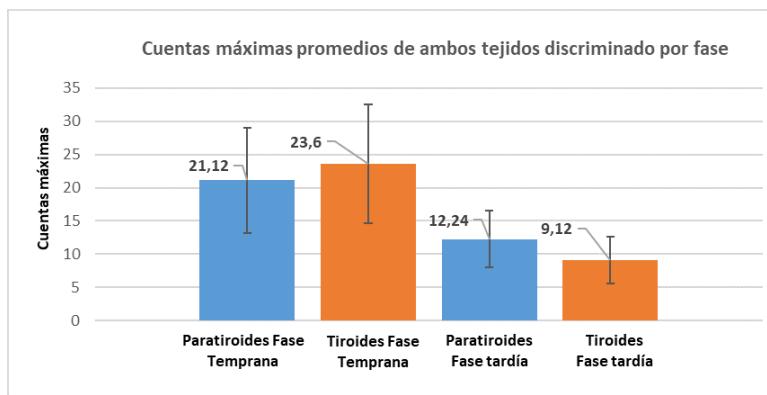


FIG. 4: Cuentas máximas discriminada por fase y tejido

Finalmente, el washout obtenido a partir de las cuentas máximas arrojó diferencias significativas entre ambos tejidos

(Fig. 5). Siendo significativamente mayor el washout tiroideo ($0,61 \pm 0,07$) versus el paratiroideo ($0,41 \pm 0,05$). Test de Wilcoxon $z=4,37$; $p<0,0001$.

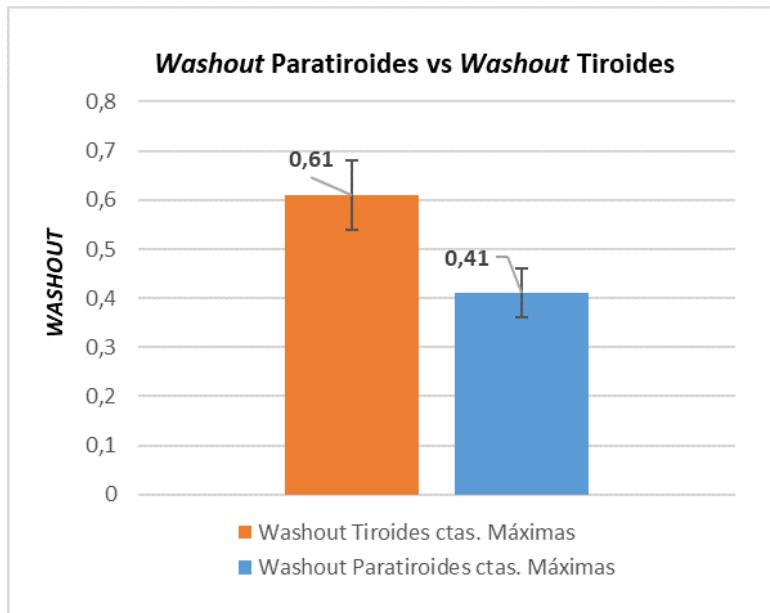


FIG. 5: Washout para ambos tejidos.

IV. CONCLUSIONES

Desarrollamos una interfaz de usuario en lenguaje Matlab que pusimos a prueba en imágenes de fantomas y de pacientes. Con respecto a la simulación con el fantoma de cuello obtuvimos que la subestimación del cálculo de la actividad en los insertos paratiroideos fue muy grande (alrededor del 90%). Esto se debe al efecto de volumen parcial en donde aquellas estructuras cuyo tamaño son muy pequeñas con respecto a la resolución espacial del equipo, al ser reconstruidas sufren una expansión a la resolución del SPECT, pero con la misma cantidad de cuentas. Por lo tanto, la concentración de actividad medida resulta menor que la real. Mientras que para insertos del tamaño del compartimento tiroideo la subestimación fue cerca del 20%. Pese a la subestimación de la actividad en los insertos paratiroideos, lo que se pudo observar en los estudios con pacientes fue que el sistema SPECT tuvo la suficiente sensibilidad para cuantificar pequeñas concentraciones del radiofármaco en el tejido paratiroideo de interés. Que resultó siendo, en la mayoría de los casos, significativamente superior con respecto al tejido tiroideo circundante. Por lo que el SUV en los estudios clínicos debe tomarse como un índice de captación relativa (en este caso $SUV_{máx}$ paratiroideo versus $SUV_{máx}$ tiroideo). En particular los valores de $SUV_{máx}$ obtenidos en este trabajo van en línea a los obtenidos por otros autores que utilizaron equipos superiores y softwares comerciales dedicados [1, 3].

El washout calculado a partir de las cuentas máximas es un resultado muy relevante porque indica la importancia de analizar la variación temporal de la captación de ambos tejidos. Además, puede implementarse en equipos SPECT no híbridos, es decir, sin CT.

REFERENCIAS

- [1] S. Razavi, B. Ziebarth, R. Klein y W. Zeng. Dual time-point quantitative SPECT-CT parathyroid imaging using a single computed tomography: feasibility and operator variability. *Nuclear Medicine Communications* **39**, 3-9 (ene. de 2018). ISSN: 0143-3636. <http://dx.doi.org/10.1097/MNM.0000000000000761>.
- [2] M. Lorberboym, I. Minski, S. Macadziob, G. Nikolov y P. Schachter. Incremental Diagnostic Value of Preoperative 99mTc-MIBI SPECT in Patients with a Parathyroid Adenoma. *Journal of Nuclear Medicine* **44**, 904-908 (2003). ISSN: 0161-5505. eprint: [https://jnm.snmjournals.org/content/44/6/904](https://jnm.snmjournals.org/content/44/6/904.full.pdf).
- [3] Y. Wang, Y. Liu, N. Li, K. Xu y W. Zhang. Quantitative application of dual-phase 99mTc-sestamibi SPECT/CT imaging of parathyroid lesions: identification of optimal timing in secondary hyperparathyroidism. *EJNMMI Physics* **10** (abr. de 2023). ISSN: 2197-7364. <http://dx.doi.org/10.1186/s40658-023-00548-5>.
- [4] E. Rodríguez. *Sustracción digital en SPECT de paratiroides: simulación con un fantoma en XXXIV Jornadas Multidisciplinarias de Oncología del Instituto Roffo* Conferencia (Buenos Aires, 2019). <https://institutoroffo.uba.ar/jornadas-2022/>.
- [5] J. Di Rienzo, F. Casanoves, M. Balzarini, L. Gonzalez, M. Tablada y C. Robledo. *Grupo InfoStat* https://www.researchgate.net/publication/283491093_Grupo_InfoStat (ene. de 2009).