

EVALUACIÓN DE LA UNIFORMIDAD INTRÍNSECA EN GAMMA CÁMARAS DEL SERVICIO DE MEDICINA NUCLEAR DEL HOSPITAL SAN JUAN DE DIOS

*Erick Mora Ramírez**

Servicio de Medicina Nuclear, Hospital San Juan de Dios, San José, 10103, Costa Rica

Abstract

The quality assurance program in a Nuclear Medicine Department aims to minimize errors and artifacts that cover all aspects of clinical practice. The quality control can be seen such as one particular procedure used to meet measurements that can be followed along the time.

The intrinsic flood-field uniformity is one of the quality control procedures to evaluate the response of a gamma camera to a spatially uniform flux of an incident gamma radiation over the field of view.

The purpose of this study is to test our gamma cameras, recording the integral and differential uniformity figures of the intrinsic uniformity during the 2007 in order to establish how well the instruments were working.

At the beginning we perform an evaluation of our acquisition protocol which implies the variation of the acquired counts, the energy window width and its placement. After that we analyze the recording data creating plots which are showing the performance of the systems.

Using an energy window placed at 140 keV at 20%, with matrix size of 512 x 512, acquiring 15 million counts and the source activity close to 700 μC ; we think that we get a good enough images and both uniformities are within the manufacture's requirements, however, increasing the number of acquired counts, images are much better and an improvement in the evaluated parameters can be seen.

The performance evaluation, of the three gamma cameras, was taking into account for approximately 240 days, showing an integral uniformity range of 1.04 – 3.5 % and the range for differential uniformity vary from 0.88 up to 2.7 %.

We conclude that the gamma cameras were working quite well, we do not need to vary our acquisition protocol because it is good enough to perform this test; also factors affecting the quality of the images are radioactive waste material not very well shielded and temperature room variations, especially at the beginning of our workday.

Palabras clave: Uniformidad Intrínseca, Control de Calidad, Gamma Cámara, Uniformidad Integral, Uniformidad Diferencial

Key words: Intrinsic Uniformity, Quality Control, Gamma Camera, Integral Uniformity, Differential Uniformity.

* E-mail: emoravia@yahoo.com

I. Introducción

La medicina nuclear es una técnica diagnóstica basada en la introducción de isótopos radiactivos al cuerpo humano, estos materiales radiactivos son ligados a fármacos que tienen la función de alojarse en órganos específicos, en otras palabras, al introducir radio-fármacos al cuerpo humano podemos estudiar fisiológicamente el funcionamiento de los órganos [4]. El equipo utilizado para realizar estos estudios es conocido, en el caso de estudios planares, como la Gamma Cámara (GC) [10] y en el caso de estudios tomográficos, como equipos SPECT (siglas en inglés de Single Photon Emission Computed Tomography) [6].

El isótopo radiactivo más utilizado es el ^{99m}Tc , el cual tiene un período físico de semi-desintegración ($t_{1/2}$) de 6.02 horas, emitiendo en su mayoría fotones de energía (E) de 140 keV [2]. Otros isótopos utilizados son el ^{131}I ($t_{1/2} = 8$ días, E = 284 keV, 364 keV, 637 keV, 723 keV) [3] y ^{67}Ga ($t_{1/2} = 78.26$ horas, E = 93 keV, 185 keV, 300 keV) [2, 11].

En el Servicio de Medicina Nuclear del Hospital San Juan de Dios (SMN-HSJD) se atienden pacientes de todo el país, programándose estudios para pacientes pediátricos, adultos y de la tercera edad. Por tanto, se estableció un sistema de aseguramiento de calidad que permite dar confiabilidad de las imágenes adquiridas a los médicos nucleares que reportan los estudios y a los imagenólogos que utilizan los equipos.

Dentro del sistema de aseguramiento de la calidad implementado en el SMN-HSJD, se realizan múltiples pruebas de control de calidad. Una de las pruebas que se realiza diariamente es la evaluación de la uniformidad intrínseca [6], ya que al evaluar este parámetro se puede determinar si la GC está trabajando adecuadamente o si la misma tiene algún desperfecto eléctrico o mecánico (que imposibilite su buen funcionamiento, ocasionando degradaciones en la calidad de la imagen).

La uniformidad intrínseca se evalúa sin la presencia del colimador de la GC, la misma se lleva a cabo únicamente por profesionales con experiencia del SMN-HSJD. El sistema en este momento es más sensible, ya que el cristal del detector puede detectar material radiactivo circundante que no este bien descartado, alterando los parámetros a evaluar; puede ser golpeado ocasionando, en muchos casos, un daño irreversible en el equipo o inclusive puede ser contaminado con material radiactivo, si se presentara algún derrame directamente sobre el mismo..

Al ejecutar la prueba se evalúan dos parámetros, la uniformidad integral y la diferencial. La uniformidad integral evalúa variaciones (no-uniformidades) globales en la imagen adquirida y se expresa como un porcentaje, utilizando la siguiente ecuación [2]:

$$U.I. = \frac{Pixel_{mayor} - Pixel_{menor}}{Pixel_{mayor} + Pixel_{menor}} * 100$$

donde $Pixel_{mayor}$ se refiere al mayor número de cuentas en un píxel y $Pixel_{menor}$ se refiere al menor número de cuentas en un píxel.

Por su parte la uniformidad diferencial también se expresa como un porcentaje, utilizando la siguiente ecuación [2]:

$$U.D. = \frac{Pixel_{max} - Pixel_{min}}{Pixel_{max} + Pixel_{min}} * 100$$

donde $Píxel_{max}$ se refiere a la máxima diferencia en cuentas entre cualquiera de cinco píxeles consecutivos y $Píxel_{min}$ se refiere a la mínima diferencia en cuentas entre cualquiera de cinco píxeles consecutivos, por medio de ella se evalúan variaciones locales en la imagen adquirida.

Ambos parámetros deben evaluarse para el Campo de Visión Central (en inglés CFOV) y para el Campo de Visión Usable (en inglés UFOV). El UFOV se define como el campo de visión total del detector enmascarando los bordes del mismo, por su parte el CFOV es el promedio a través del campo central de visión que tiene unas dimensiones lineales escaladas a un 75 % del UFOV [2].

El objetivo del presente trabajo es evaluar la uniformidad intrínseca de las gamma cámaras del SMN-HSJD utilizando una fuente de ^{99m}Tc a lo largo del tiempo, para lograr documentar una base de datos que pueda llegar a servir como referencia para futuras evaluaciones del desempeño de los equipos.

II. Materiales y métodos

Las gamma cámaras evaluadas fueron de la marca ADAC, modelos VERTEX, GENESYS y THYRUS. Las dos primeras con capacidad SPECT; estos equipos pueden girar alrededor del paciente realizando estudios tomográficos, el primero con dos detectores y el segundo con uno, para estos dos equipos se adquieren las imágenes (evaluación cualitativa) y a partir de ellas se obtienen los parámetros a cuantificar; el equipo THYRUS es una gamma cámara planar utilizada principalmente para obtener imágenes de órganos pequeños, por ejemplo tiroides y riñones. El software utilizado para evaluar estos parámetros es el suministrado por el fabricante, en las estaciones de trabajo con que cuenta el servicio. Este estudio se realizó durante el año 2007.

A. Evaluación de la uniformidad intrínseca variando parámetros de adquisición de una gamma cámara

Esta parte del estudio se realizó en la gamma cámara modelo GENESYS. El protocolo de adquisición normalmente utilizado consiste en ubicar una ventana de energía centrada en 140 keV, con un ancho del 20%, con una matriz de 512 x 512 x 16, adquiriendo 15 millones de cuentas, este último parámetro se varió adquiriendo

una imagen con 30 millones y otra con 10 millones. Posteriormente se varió el ancho normal de la ventana del 20% al 10% y 15% y finalmente se varió la posición de la ventana centrándola en 115 keV con un ancho del 20%, se colocó a la izquierda del foto-pico [7], con el fin de evaluar la degradación de la calidad de la imagen debido a la inclusión de fotones dispersos en la ventana de adquisición; los otros parámetros de adquisición se mantuvieron igual. No se coloca una ventana a la derecha del foto-pico ya que la recolección de fotones primarios es más difícil.

B. Evaluación de los datos de la uniformidad intrínseca en las tres gamma cámaras

Todas las mañanas antes de iniciar la jornada laboral se adquieren imágenes para evaluar la uniformidad intrínseca. En los equipos modelos VERTEX Y GENESYS el protocolo de adquisición consiste en utilizar una ventana de energía centrada en 140 keV, con un ancho del 20%, con una matriz de $512 \times 512 \times 16$, adquiriendo 15 millones de cuentas y utilizando una fuente casi puntual con una actividad de $\sim 700 \mu\text{Ci}$., ubicada a cinco campos de visión y en dirección hacia el centro del detector.

El equipo modelo THYRUS tiene un menú de mantenimiento basado pruebas recomendadas por la National Electrical Manufacturers Association (NEMA) [9]. Al ejecutar la prueba de uniformidad intrínseca, el sistema selecciona un protocolo en el que se adquieren 8 millones de cuentas, para una ventana de energía centrada en 140 keV con un ancho del 20%, en una matriz de 256×256 , con una fuente casi puntual con una actividad de $\sim 300 \mu\text{Ci}$, que brinde una tasa de conteo entre 10000 a 20000 cuentas por segundo [1], la misma se colocada a un mínimo de dos metros de distancia; de esta forma se evalúa la imagen cuantitativamente. Luego se adquiere otra imagen por aparte, utilizando el mismo protocolo pero utilizando 2 millones de cuentas en lugar de 8 millones para evaluar la imagen cualitativamente.

III. Resultados y discusión

A. Evaluación de la uniformidad intrínseca variando parámetros de adquisición de una GC

En la tabla 1 se encuentran los resultados obtenidos luego de variar algunos parámetros de adquisición de imágenes.

Tabla 1
 RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DE LA UNIFORMIDAD INTRÍNSECA
 VARIANDO LOS PARÁMETROS DE ADQUISICIÓN

Cuentas Adquiridas (millones)	Posición de la Ventana	Tiempo de Adquisición (segundos)	Tasa de cuentas (kcts)	Uniformidad			
				Integral (%)		Diferencial (%)	
				UFOV	CFOV	UFOV	CFOV
10	140 keV, 20%	280	35600	2.56	2.13	1.43	1.3
15	140 keV, 20%	428	37720	2.28	1.86	1.36	1.19
30	140 keV, 20%	816	37000	2.12	1.95	1.23	1.23
15	140 keV, 10%	539	27120	2.42	2.42	1.52	1.52
15	140 keV, 15%	447	35520	2.12	2.12	1.46	1.42
10	115 keV, 20%	962	9960	7.5	6.62	4.38	4.38

El primer caso consistió en variar el número de cuentas por adquirir para ver el resultado tanto en la uniformidad integral como en la diferencial, el software de este equipo modelo GENESYS brinda la uniformidad diferencial para las columnas y las filas que forman la imagen digital, en este caso ambos resultados fueron iguales para todos los casos mostrados. Aquí cabe resaltar que conforme se incrementa el número de cuentas por adquirir el tiempo de adquisición se incrementa, ya que la tasa de cuentas se mantiene aproximadamente constante para la posición de la ventana y por tanto el recolectar un mayor número de cuentas conlleva más tiempo. Lo anterior presenta una desventaja, dado que los controles de calidad deben realizarse en el menor tiempo posible, obteniendo una imagen de óptima calidad.

Otro punto importante es que conforme se aumenta el número de cuentas ambas uniformidades tienden a mejorar más que todo en el UFOV, en el CFOV no se mejora tanto posiblemente por errores estadísticos que podrían afectar la estadística de conteo en los tubos foto-multiplicadores, que son los que dan la ubicación de los fotones en la gamma cámara.

Al variar el ancho de la ventana de adquisición (nótese que la calibración de la gamma cámara se realizó a 140 keV con una ventana simétrica del 20%) reduciéndola al 10% [6] están entrando en ella más fotones primarios que fotones dispersos, por tanto el tiempo de adquisición es mayor, por que se reduce la cantidad total de fotones que entran en la ventana; las uniformidades no tienden a mejorar considerablemente ya que el sistema no esta calibrado bajo estas condiciones, el mismo efecto ocurre con la ventana al 15% para ambas uniformidades. Al centrar la ventana de energía a 115 keV, con un ancho de ventana del 20 %, la uniformidad se degrada demasiado, debido a la gran cantidad de fotones dispersos que se encuentran dentro de esta ventana.

De estos resultados se confirma que el protocolo de adquisición con el que contamos actualmente en el SMN-HSJD es satisfactorio para realizar esta prueba.

B. Evaluación de los datos de la uniformidad intrínseca en las tres gamma cámaras

De la tabla 2 a la 5, se presentan los resultados de la evaluación de la uniformidad intrínseca y diferencial para las tres gamma cámaras. De las tablas se puede observar que los valores para el CFOV y el UFOV de la uniformidad integral se encuentran en el rango de valores típicos de 2 - 4% [2] a pesar de que el rango de estos varíe entre 1.04 y 3.5 %, lo cual indica que nuestros equipos están trabajando bien.

Tabla 2
RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DE LA UNIFORMIDAD INTRÍNSECA
EN LA GAMMA CÁMARA MODELO *GENESYS*

	Uniformidad Integral		Uniformidad Diferencial			
			Filas		Columnas	
	CFOV	UFOV	CFOV	UFOV	CFOV	UFOV
Promedio	2.04	2.26	1.4	1.49	1.43	1.5
Desviación Estándar	0.25	0.27	0.17	0.2	0.19	0.18
Rango	1.12 / 3.17	1.67 / 3.39	1.03 / 2	1.06 / 2.27	1 / 2.05	1.13 / 2.05

Tabla 3
RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DE LA UNIFORMIDAD INTRÍNSECA
EN LA GAMMA CÁMARA MODELO *VERTEX DETECTOR 1*

	Uniformidad Integral		Uniformidad Diferencial			
			Filas		Columnas	
	CFOV	UFOV	CFOV	UFOV	CFOV	UFOV
Promedio	2.01	2.13	1.36	1.41	1.37	1.41
Desviación Estándar	0.26	0.28	0.16	0.15	0.16	0.15
Rango	1.49 / 3.14	1.55 / 3.07	1.03 / 1.87	1.12 / 1.89	1.06 / 1.86	1.12 / 1.86

Tabla 4
RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DE LA UNIFORMIDAD INTRÍNSECA
EN LA GAMMA CÁMARA MODELO *VERTEX DETECTOR 2*

	Uniformidad Integral		Uniformidad Diferencial			
			Filas		Columnas	
	CFOV	UFOV	CFOV	UFOV	CFOV	UFOV
Promedio	2.13	2.28	1.55	1.64	1.47	1.62
Desviación Estándar	0.28	0.29	0.22	0.22	0.23	0.26
Rango	1.51 / 3.43	1.57 / 3.5	0.98 / 2.25	1.13 / 2.34	1.05 / 2.47	1.12 / 2.7

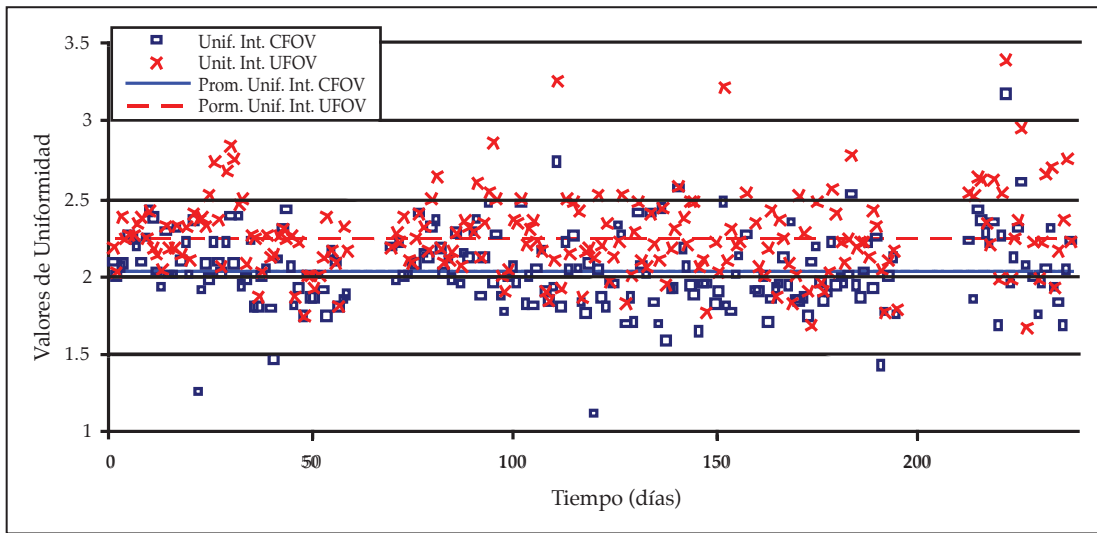
Tabla 5
 RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DE LA UNIFORMIDAD INTRÍNSECA
 EN LA GAMMA CÁMARA MODELO *THYRUS*

	Uniformidad Integral		Uniformidad Diferencial Filas	
	CFOV	UFOV	CFOV	UFOV
Promedio	1.84	1.91	1.32	1.35
Desviación Estándar	0.42	0.47	0.25	0.26
Rango	1.12 / 3.47	1.04 / 3.39	0.88 / 2.27	0.84 / 2.34

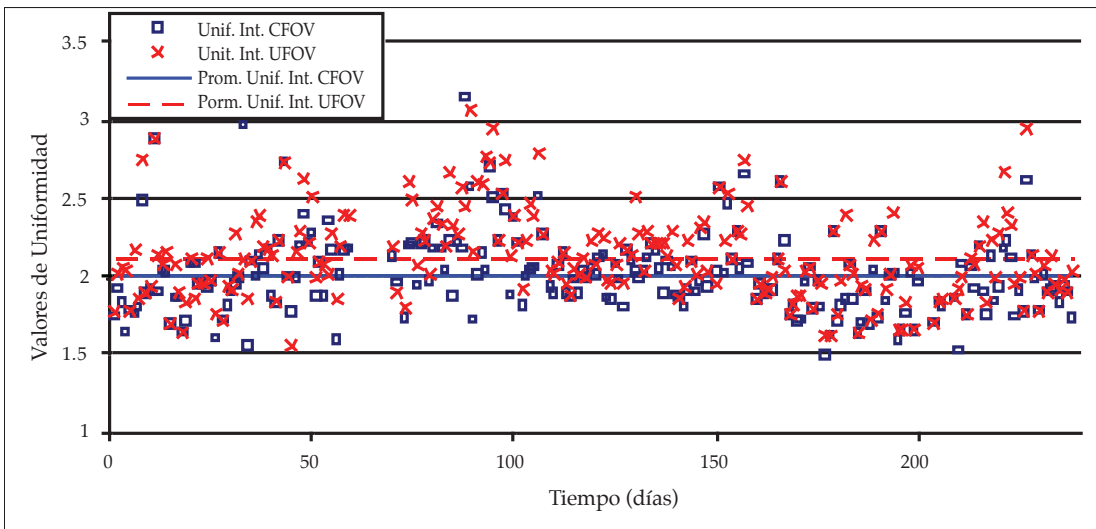
A continuación de las gráficas 1 a la 4, se puede apreciar los resultados de la uniformidad integral de los detectores de los equipos para el CFOV y el UFOV, en las mismas se aprecian los resultados diarios y el promedio de los valores. En el apéndice se pueden apreciar gráficas de las uniformidades diferenciales por columnas y filas en el CFOV y el UFOV.

En las gráficas 1, 2 y 3 no se observa una gran dispersión de los datos a lo largo de la ordenada, lo cual indica que los detectores de los equipos estuvieron trabajando óptimamente, los datos que se observan por encima de 2.5 % corresponden a días en los que el sistema de aire acondicionado estuvo fallando, por que estuvo descompuesto o tenía problemas en la programación del encendido, lo que generó que en los recintos donde se ubican las gamma cámaras que subiera la temperatura; por tanto en los equipos ADAC modelos VERTEX y GENESYS la temperatura ambiente del recinto es un parámetro importante a considerar en el momento de realizar esta prueba, ya que la uniformidad intrínseca en el CFOV y el UFOV se degrada bastante, obteniéndose valores de hasta 3.5 %. Lo anterior se debe a que al incrementarse la temperatura en el recinto, se incrementa también en la parte electrónica del detector. Se ha podido determinar realizando la prueba de linealidad, utilizando el maniquí de cuadrantes (recomendado por NEMA), que es necesario una nueva calibración, ya que la linealidad está degradada, por tanto la uniformidad estará degradada también. Por otro lado, el mismo criterio surgió al no utilizar el mapa de corrección de la uniformidad (recomendado por el fabricante).

En el caso del equipo Modelo Thyrus, al observar la gráfica 4, se aprecia un comportamiento similar al de los otros dos equipos hasta el día 192. Posteriormente se observa un incremento en los porcentajes de los valores de la uniformidad intrínseca y luego vuelven a decrecer; esto se puede deber a dos aspectos principalmente, a) el profesional encargado de realizar esta prueba no verificó que no existan fuentes de radiación en el recinto donde se ubica el equipo (lo cual incrementaría la radiación dispersa y por tanto la degradación de la imagen), b) la fuente puntual no tuviera la actividad apropiada, eso podría generar que el equipo pierda información por pérdidas en el tiempo muerto asociado a la detección de los fotones (cuando la fuente tiene una actividad superior a los 300 μCi), en este equipo no se pueden asociar problemas a fallas en sistema de aire acondicionado ya en este recinto el sistema es muy estable.

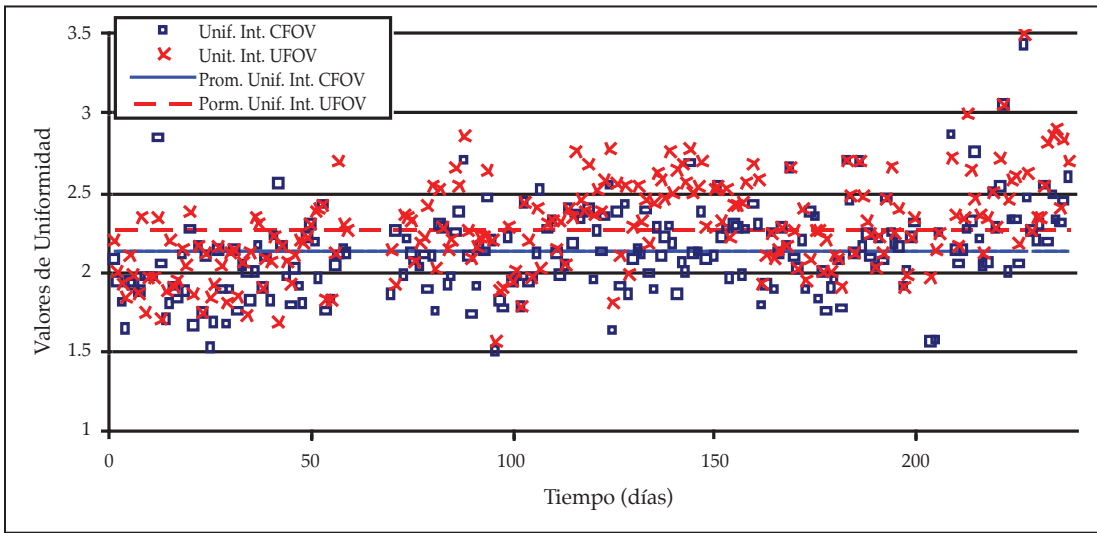


Gráfica 1. Variación de la Uniformidad Integral en el CFOV y UFOV de la Gamma Camara Modelo Genesys.

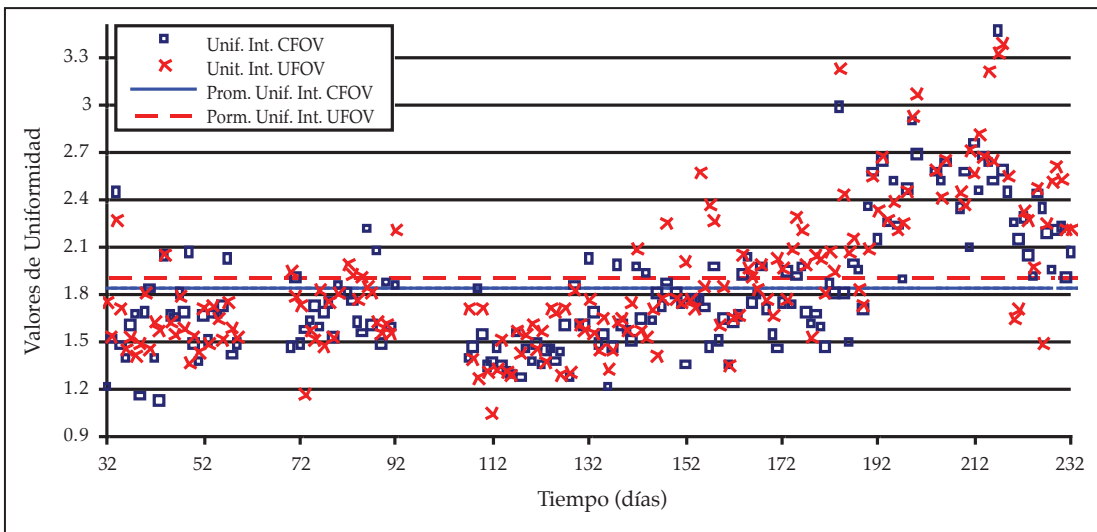


Gráfica 2. Variación de la Uniformidad Integral en el CFOV y UFOV de la Gamma Camara Modelo Vertex Detector 1.

En el caso de las uniformidades diferenciales, como se puede observar en las tablas, los valores varían desde 0.88 a 2.7 %, este parámetro evalúa variaciones locales en una imagen y es más importante que la uniformidad integral, ya que estas variaciones pueden acarrear mayores problemas en estudios tomográficos SPECT, en donde se generaran artefactos considerables como por ejemplo, el anillo concéntrico u



Gráfica 3. Variación de la Uniformidad Integral en el CFOV y UFOV de la Gamma Camara Modelo Vertex Detector 2.



Gráfica 4. Variación de la Uniformidad Integral en el CFOV y UFOV de la Gamma Camara Modelo Thyrus.

ojo de toro (bull's eye) [8, 5]. Nótese que los valores nunca llegan a sobre pasar el 3 % en todos los equipos, lo que implica que los equipos están trabajando óptimamente. Lo anterior se refleja en las gráficas que se encuentran en el apéndice, en donde no se observa amplia una dispersión de los datos a lo largo de la ordenada. En la gráfica 11 presenta un comportamiento similar al observado en la gráfica 4, esto para los

resultados de la uniformidad diferencial, ambas gráficas son referidas a la gamma cámara modelo Thyrus.

De estos tres equipos el más usado en estudios SPECT es el modelo VERTEX, este no presenta artefactos que se puedan asociar a fallas por uniformidad diferencial de la imagen.

Por tanto podemos decir que los protocolos de adquisición utilizados en el SMN-HSJD son satisfactorios para realizar las evaluaciones de la uniformidad intrínseca, ya que los valores obtenidos se encuentran dentro de lo recomendado en la literatura. Al mismo tiempo, en nuestro caso, los factores que degradan la calidad de las imágenes son las fuentes radiactivas circundantes, la alta actividad de las fuentes utilizadas para realizar las pruebas, el incremento de la temperatura en los recintos donde se encuentran los equipos y en un menor grado, el cuidado que tenga el profesional a cargo de realizar la prueba. Por otro lado hemos creado una base de datos que nos ayudará a evaluar el comportamiento de nuestros equipos a lo largo del tiempo, esto es de suma importancia, ya que podemos identificar con claridad si alguno de estos factores que degradan la calidad de nuestras imágenes puede estarse dando, en caso contrario, se debe de investigar por factores asociados a la calibración del equipo.

IV. Agradecimiento

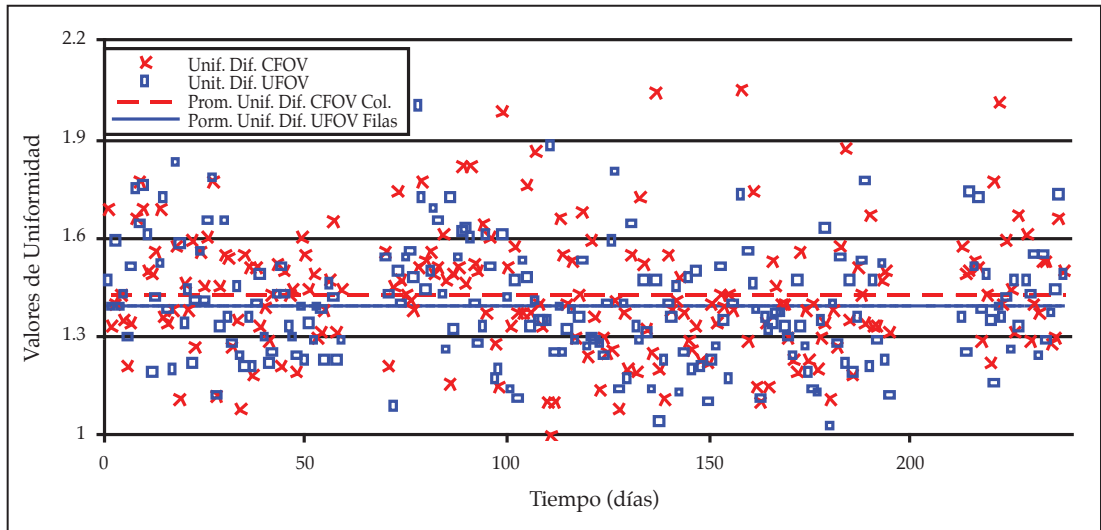
El autor quiere agradecer a sus compañeros, los profesionales del Servicio de Medicina Nuclear del Hospital San Juan de Dios, ya que ellos llevan acabo las labores de control de calidad diarios de los equipos; a las Jefaturas del Servicio por permitirme desarrollar este proyecto y al Comité Local de Bioética en Investigación (CLOBI) del Hospital por autorizarme a publicar estos resultados.

V. Referencias

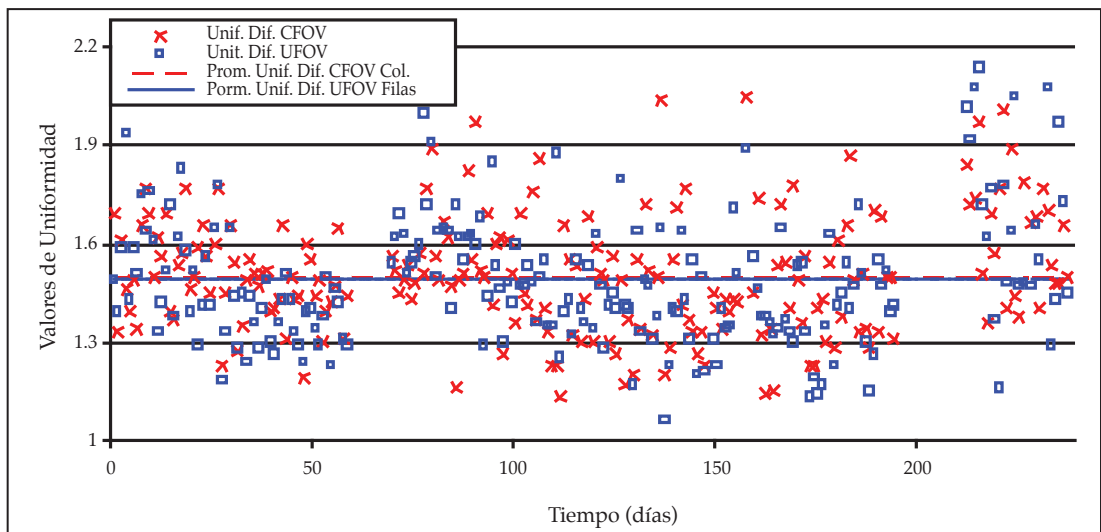
- [1] ADAC, *Thyrus Operator's Manual*, Version 3.5, 1996.
- [2] Cherry, S.M; Sorenson, J. A.; Phelps, M. E. *Physics in Nuclear Medicine*, Saunders, Philadelphia, 2003.
- [3] Dewaraja, Y.K., Ljungberg, M., Koral, K. F., *Characterization of Scatter and Penetrating Using Monte Carlo Simulation in 131I Imaging*, *Journal of Nuclear Medicine*, 2000, 41, 123-130.
- [4] Early, J.E.; Sodee, D.B.; *Principles and Practice of Nuclear Medicine*, Mosby, Missouri, 1995.

- [5] Groch, M. W., Edwin, W. D., *Single-Photon Emisión Computed Tomography in the year 2001: Instrumentation and Quality Control*, Journal of Nuclear Medicine Thecnology, **2001**, 29, 9-15
- [6] Hines, H., Kayayan, R. Colsher, J., Hashimoto, D., Schubert, R., Fernando, J., Simcic, V., Vernon, P., Sinclair, R. L., *Recommendations for implementing SPECT instrumentation and quality control*, European Journal of Nuclear Medicine, **1999**, 26, 527-532.
- [7] Ichihara, T.; Ogawa, K.; Motomura, N.; Kubo, A.; Hashimoto, S. Compton Scatter Compensation Using the Triple-Energy Window Method for Single- and Dual-Isotope SPECT, Journal of Nuclear Medicine, **1993**, 34, 2216-2221.
- [8] Levi de Cabrejas., M., *Tomografía en Medicina Nuclear*, ALASBIMN, Argentina, 1999.
- [9] National Electrical Manufacturers Association, *Performance Measurements of Scintillator Gamma Cameras*, Standards Publication No. UN-1-2001, Washington DC, 2001.
- [10] Sharp, P. F., Gemmell, H. G., Murray, A. D., *Practical Nuclear Medicine*, 3rd Edition, Springer, London, England, 2005.
- [11] Tocharoenchai, C., Tsui, B.M.W., Lewis, D.P., Frey E.C., Zhao, X., *Compensation of the Response Function of Medium Energy Collimator in ⁶⁷Ga and SPECT Imaging*, Nuclear Medicine Symposium, 1998, Conference Record, IEEE, Vol. 3, 1405-1408.

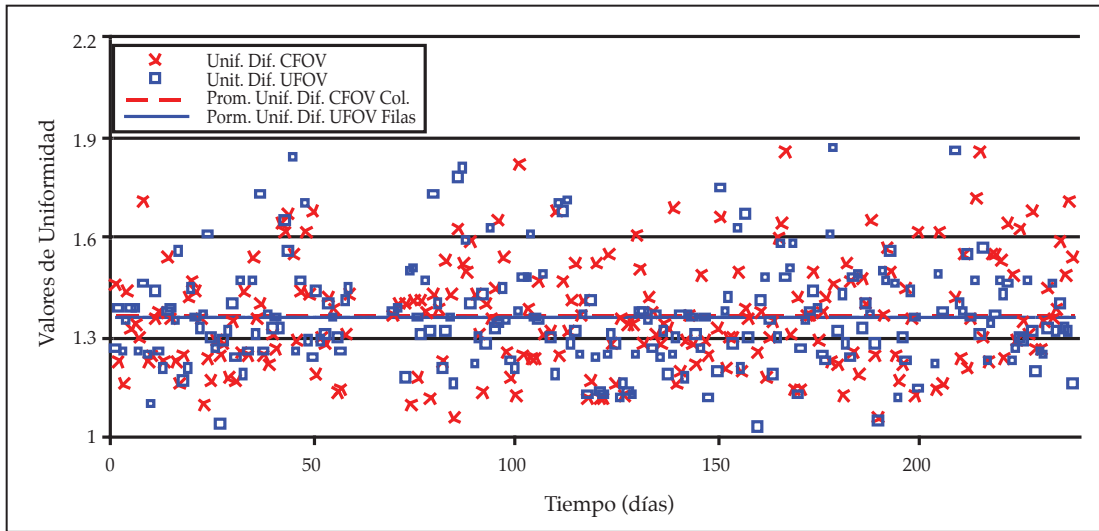
Apéndice



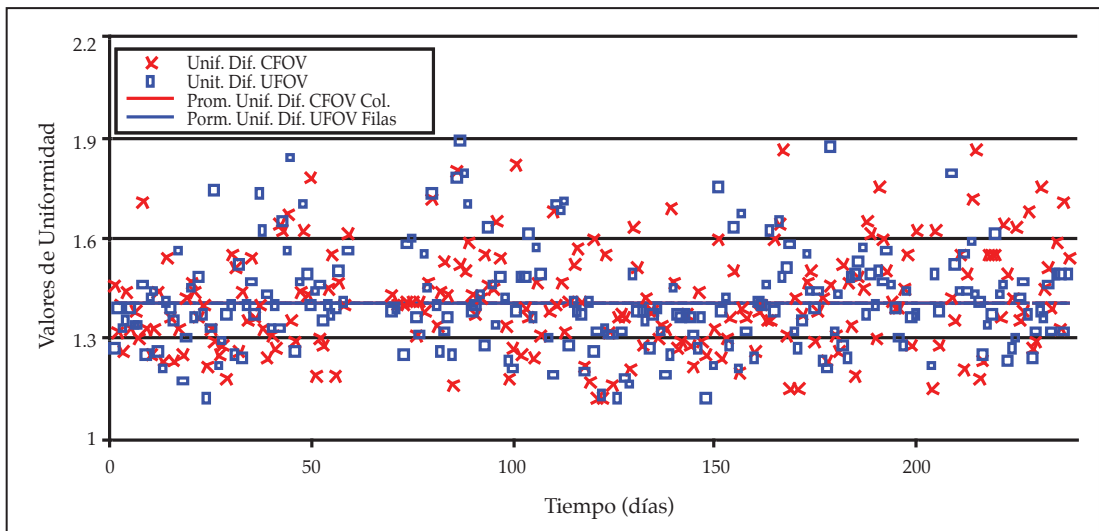
Gráfica 5. Variación de la Uniformidad Diferencial en el CFOV de la Gamma Camara Modelo *Genesys*.



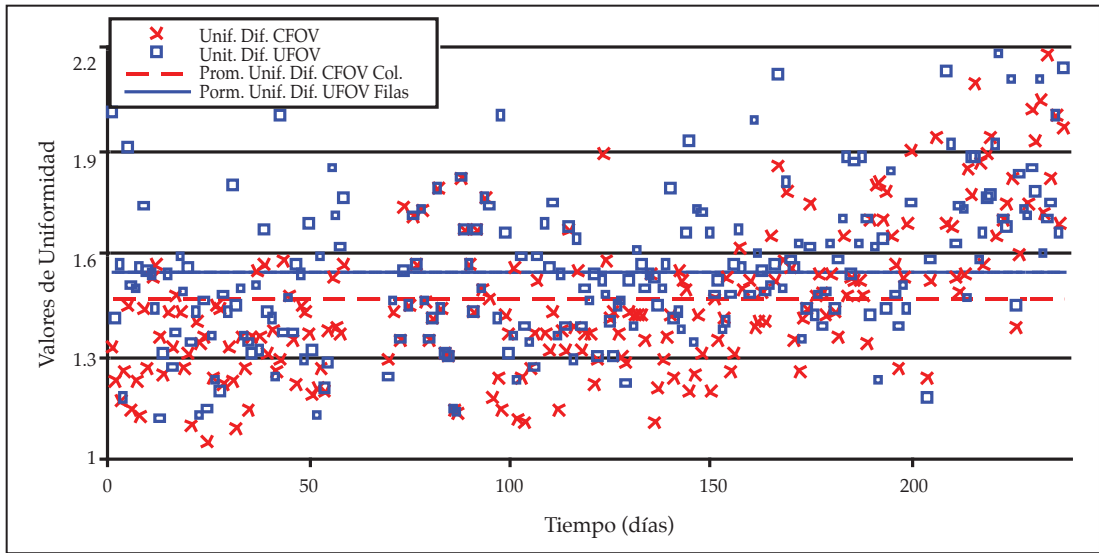
Gráfica 6. Variación de la Uniformidad Diferencial en el UFOV de la Gamma Camara Modelo *Genesys*.



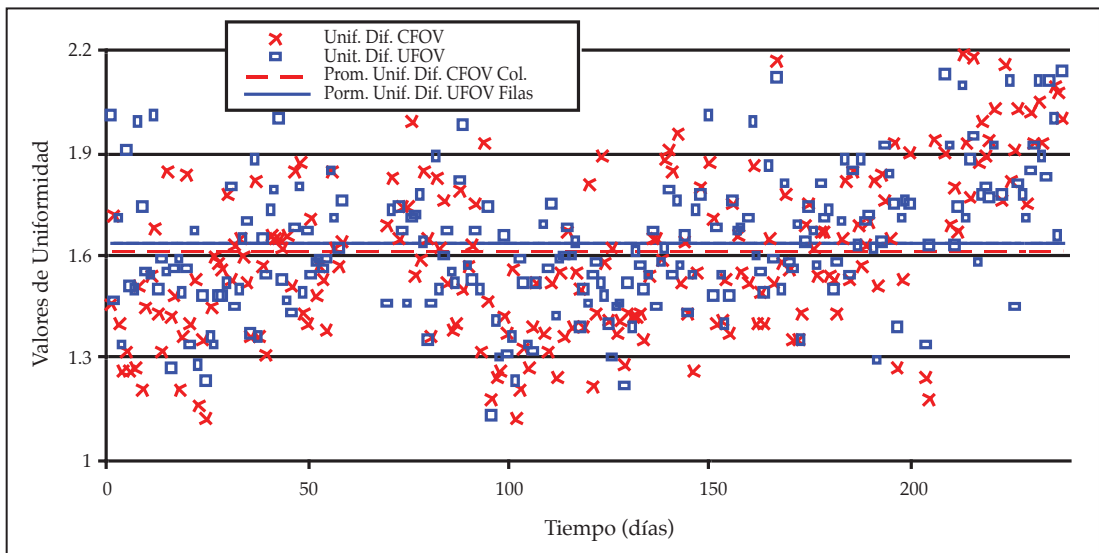
Gráfica 7. Variación de la Uniformidad Diferencial en el CFOV de la Gamma Camara Modelo *Vertex Detector 1*.



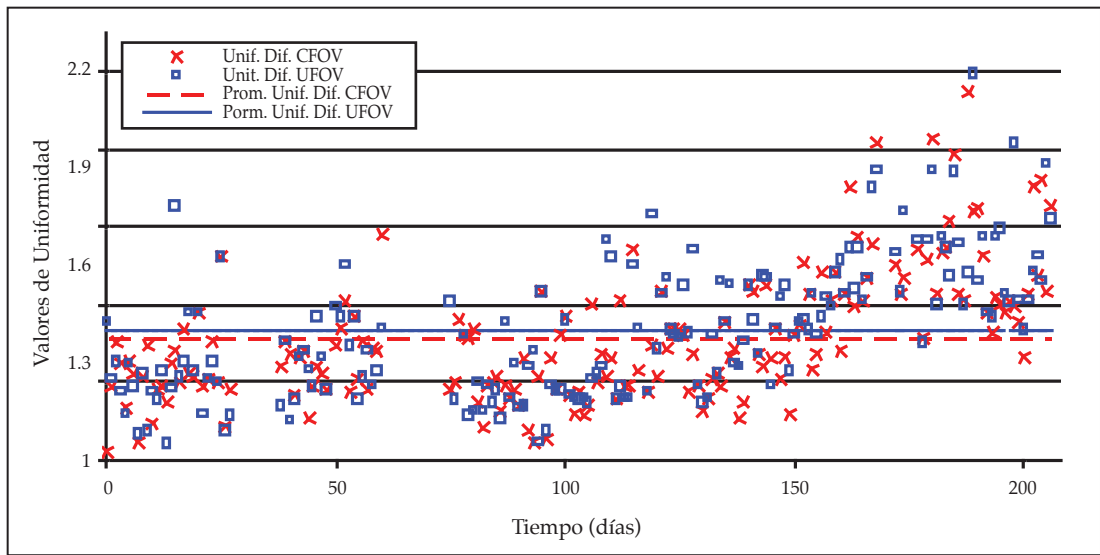
Gráfica 8. Variación de la Uniformidad Diferencial en el UFOV de la Gamma Camara Modelo *Vertex Detector 1*.



Gráfica 9. Variación de la Uniformidad Diferencial en el CFOV de la Gamma Camara Modelo *Vertex Detector 2*.



Gráfica 10. Variación de la Uniformidad Diferencial en el UFOV de la Gamma Camara Modelo *Vertex Detector 2*.



Gráfica 11. Variación de la Uniformidad Diferencial en el CFOV y UFOV de la Gamma Camara Modelo *Thyrus*.

