

Evaluación de un método para estudios de optimización de la exposición médica en medicina nuclear

 Karla Batista García- Ramó,  Yudmila Reyes González,  Leonel A. Torres Aroche,
 Yolaine Sánchez González
Centro de Isótopos (CENTIS). Mayabeque, Cuba.
kbatista.gr@gmail.com

Resumen

La práctica de la medicina nuclear (MN) diagnóstica utiliza radiaciones ionizantes y es necesario garantizar que la cantidad de actividad administrada prescrita sea tan baja como sea razonablemente posible. La optimización de estos procedimientos, uno de los mayores retos que enfrenta la Medicina Nuclear, se basa en lograr un equilibrio entre la calidad de imagen y la dosis de radiación. El objetivo del presente artículo es establecer y validar un método para estudios de optimización de la exposición médica en MN simulando distintos niveles de actividad que pueda aplicarse en pacientes sin violar los principios éticos y de protección radiológica. El método se basa en la recombinación de datos obtenidos en adquisiciones gatilladas para simular diferentes niveles de actividad. Para ello se realizaron mediciones utilizando distintos maniquíes y un generador de señal. Se desarrolló un código en Python que permite de forma automática simular los distintos niveles de actividad a partir de una única adquisición gatillada y devuelve los estudios en igual formato dicom para ser reconstruidos con el programa de procesamiento registrado proporcionado por el fabricante. Para validar el método propuesto se demostró la dependencia lineal del número de cuentas totales con los niveles de actividad simuladas y se evaluó cualitativamente la calidad de las imágenes reconstruidas vs los niveles de actividad simulados. Este método constituye una propuesta válida y aplicable en la mayoría de los servicios de medicina nuclear del país para implementar procedimientos de optimización de estudios SPECT contribuyendo a una reducción de la exposición poblacional a las radiaciones, debida a exámenes diagnósticos de alta tecnología.

Palabras clave: medicina nuclear; pacientes; optimización; protección contra las radiaciones; dosis de radiación; tomografía de emisión computerizada de fotón único.

Evaluation of a method for medical exposure optimization studies in nuclear medicine

Abstract

Nuclear medicine (NM) diagnostic procedures use ionizing radiation and it is necessary to ensure that the amount of prescribed activity is as low as reasonably achievable. Optimizing these procedures, one of the greatest challenges facing Nuclear Medicine today, is based on achieving a balance between image quality and radiation dose. The objective of this article is to establish and validate a method for optimization studies of medical exposure in NM simulating different levels of activity that can be applied in patients without violating the ethical and radiological protection principles. The method is based on the recombination of data obtained in gated acquisitions to simulate activity levels. For this, measurements were made using different phantoms and a signal generator. A Python code was developed that allows the different activity levels to be simulated automatically from a single gated acquisition and returns the studies in the same dicom format to be reconstructed in the registered processing program provided by the manufacturer. To validate our method, the linear dependence of the number of total counts with the simulated activity levels was demonstrated and the quality of the reconstructed images vs the simulated activity levels was qualitatively evaluated. This method constitutes a valid and applicable proposal in the majority of nuclear medicine services in the country to implement optimization procedures for SPECT studies, contributing to a reduction in population exposure to radiation, due to high-tech diagnostic tests.

Key words: nuclear medicine; patients; optimization; radiation protection; radiation doses; single photon emission computed tomography.

Introducción

La medicina nuclear emplea técnicas seguras que permiten obtener información funcional o metabólica para detectar alteraciones antes de que las enfermedades presenten síntomas visibles, repercutiendo significativamente en tratamientos tempranos, más efectivos y pronósticos más favorables. Cada año en Cuba se incrementa el número de estudios de medicina nuclear, y este número seguirá aumentando a partir de la instalación de nuevos equipos híbridos en las distintas instalaciones del país. Por consiguiente, al igual que ha ocurrido a nivel global, la dosis poblacional muestra una tendencia ascendente, que requiere de acciones inmediatas encaminadas a fortalecer el principio de optimización de las exposiciones médicas en nuestro medio. Los procedimientos de diagnóstico de la medicina nuclear implican la administración de niveles de actividad de radiofármacos que consideren los niveles de referencia locales y que sean los óptimos para las condiciones específicas de cada servicio; o sea, es esencial que se aplique el procedimiento apropiado con la dosis correcta en el paciente correcto en el momento correcto [1]. Los exámenes de medicina nuclear deben realizarse de la manera más óptima para garantizar que se mantenga la dosis de radiación al paciente lo más baja posible y, al mismo tiempo, proporcione al médico la información necesaria para realizar un diagnóstico seguro [2].

Precisamente, el objetivo de la optimización en Medicina Nuclear es hallar el equilibrio entre la calidad de la imagen y la dosis de radiación.

Las características del equipo y colimadores, los distintos radiofármacos, los protocolos de adquisición y procesamiento son diversos factores que influyen en la determinación de la actividad necesaria a administrar para cumplir con el principio de optimización.

El presente trabajo tiene como objetivo establecer y validar un método para estudios de optimización de la exposición médica en MN simulando distintos niveles de actividad que pueda aplicarse en pacientes sin violar las buenas prácticas clínicas, acorde a los principios de ética médica y de protección radiológica. El método propuesto está dirigido a optimizar los niveles de actividad que se administran en estudios tomográficos (SPECT) y se basa en la recombinación de adquisiciones gatilladas para simular distintos niveles de actividad, tras la administración de una dosis única del radiofármaco. Este trabajo se realizó como parte de las actividades del proyecto ramal del programa PNOULO (PS211LH02-005) cuya finalidad es crear capacidades para la optimización de las exposiciones médicas durante los procedimientos diagnósticos de la medicina nuclear.

Materiales y métodos

Método propuesto para la simulación de distintos niveles de actividad a partir de adquisiciones gatilladas

El modo de adquisición de estudios tomográficos gatillados, empleado para evaluar simultáneamente la

función y la perfusión cardiaca, permite coleccionar datos primarios alrededor del paciente en los que se adquieren set de 8 y hasta 16 imágenes por cada proyección (figura 1). La adquisición de estas imágenes está sincronizada con el electrocardiograma del paciente de manera que en cada intervalo R-R se coleccionará un número fijo de imágenes correspondientes a diferentes segmentos del proceso de contracción y dilatación del ventrículo izquierdo desde la sístole hasta la diástole final. El número total de imágenes coleccionadas es el producto del número de proyecciones por el número de segmentos empleados en que se divide el ciclo R-R (8 o 16).

Una vez concluido el estudio los datos se organizan y reconstruyen 8 o 16 tomografías (correspondientes a cada segmento del intervalo R-R) para el análisis tridimensional de la función cardiaca. Simultáneamente se suman las imágenes de todos los segmentos que pertenecen a una proyección para obtener y reconstruir la tomografía que permite realizar el análisis de la perfusión miocárdica del paciente.

En el presente trabajo se propone emplear este modo de adquisición (gatillado) para simular diferentes niveles de actividad administrada en estudio de SPECT no gatillados. Para ello se propone reconstruir o simular proyecciones tomográficas correspondientes a diferentes niveles de la actividad administrada a partir de diferentes combinaciones de los segmentos adquiridos para conformar las proyecciones del estudio tomográfico que se requiere optimizar.

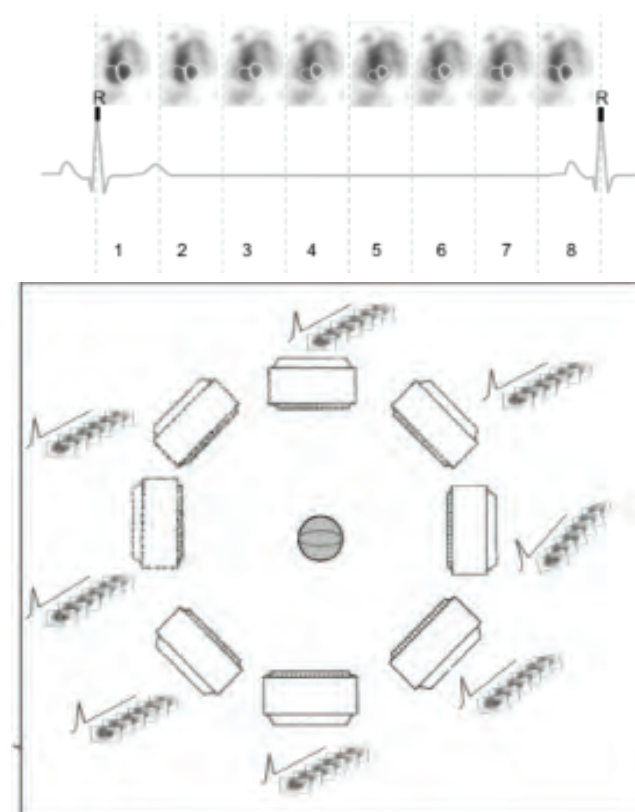


Figura 1. a) Intervalo R-R dividido en 8 frames. b) En cada proyección se coleccionan un conjunto de 8 matrices.

Para ello se propone adquirir los estudios de SPECT que se desea optimizar empleando el modo de SPECT gatillado con un generador de señal que proporcione un ciclo R-R fijo y estable para construir segmentos fijos y coleccionar 8 imágenes/ciclo que permitan recombinar las matrices acordes a niveles de actividad a simular. Este método puede aplicarse a estudios tomográficos de MDP, cerebro, cardiología, DMSA, inmunogammagrafías, etc.

Evaluación del método en maniquíes: simulación de la adquisición y procesamiento de datos en condiciones similares a la clínica

Para evaluar en maniquíes el método propuesto, se realizaron dos adquisiciones gatilladas que simulan distintos niveles de actividad a partir de una dosis única; en específico se simulaban las etapas y procedimientos de optimización de dos tipos de exámenes tomográficos comunes en la práctica clínica, los estudios de perfusión miocárdica y los de perfusión cerebral.

Para simular los estudios de perfusión cardíaca se empleó un maniquí de corazón (figura 2a) con actividad

incorporada, medido al aire y dentro de un medio que simula condiciones clínicas, en este caso maniquí de Carlson (figura 2b).

Teniendo en cuenta que la captación miocárdica, que es dependiente del flujo coronario, está alrededor del 3.5 % de la dosis inyectada (30 mCi) [3] se utilizó una dosis de 1.05 mCi en el inserto y una dosis de 13.0 mCi en el Carlson, con una relación de actividad de corazón/medio de 0.15. Esta última proporción es el resultado del procesamiento y análisis de las imágenes de 30 estudios realizados en el servicio.

Por su parte para evaluar la optimización de los protocolos de cerebro se empleó el maniquí de Derenzo con una actividad equivalente al porciento que se acumula en cerebro durante los estudios de perfusión cerebral. Este valor oscila alrededor de 1 mCi de ^{99m}Tc . El maniquí de Derenzo (figura 2c-d) utilizado tiene un diámetro de $D = 15$ cm, una altura de $h = 10$ cm.

Las mediciones de ambos maniquíes se adquirieron en una Cámara-Gamma/SPECT Spirit MEDISO con colimadores de baja energía y alta resolución (LEHR). Para la adquisición con el Derenzo, se utilizó el proto-

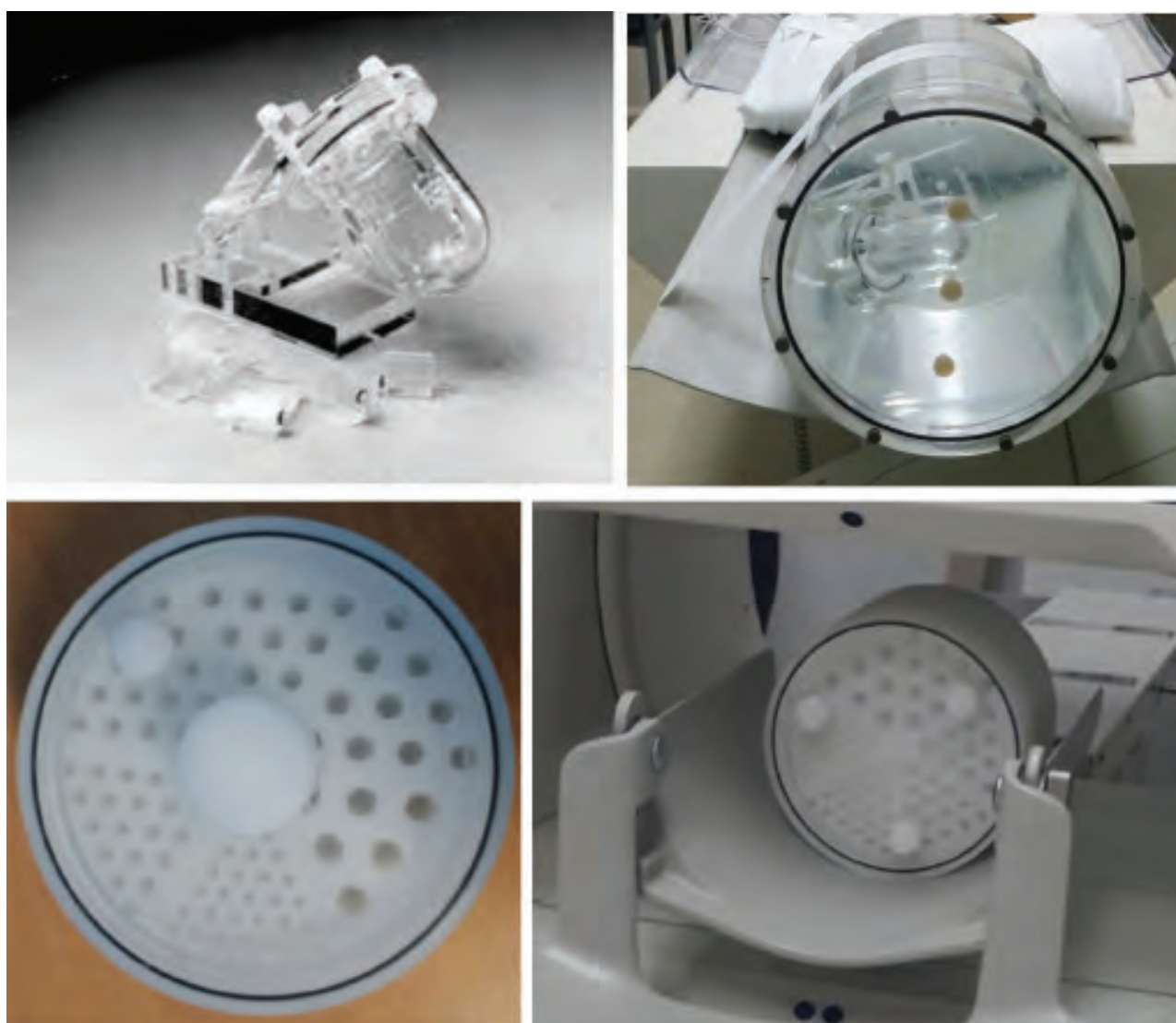


Figura 2. a) Maniquí de corazón. b) Adquisición del inserto de corazón dentro de maniquí Carlson para simular estudios de perfusión miocárdica. c) Maniquí Derenzo con diámetro de $D = 15$ cm, una altura de $h = 10$ cm. d) Adquisición del Derenzo con protocolo clínico de perfusión cerebral.

colo para perfusión cerebral pero gatillado: matriz de 128x128x16, órbita circular de 360°, tamaño de pixel de 4.12, 35 segundos por proyección, radio de rotación de 15 cm y con una ventana energética del 20 % centrada en el fotopico del ^{99m}Tc .

Para las adquisiciones con el maniquí de corazón se empleó matriz de 64x64x16, 30 segundos por proyección, órbita de 180° con tamaño de pixel de 8.25 y radio de rotación de 28 cm.

Las reconstrucciones de la adquisición con el maniquí de corazón y de los estudios simulados con distintos niveles de actividad se realizó utilizando el método de reconstrucción iterativa OSEM (del inglés Ordered subsets Expectation Maximization) con 16 iteraciones y 4 subsets. Para las reconstrucciones de las adquisiciones con el maniquí Derenzo y de las simuladas se utilizó el método OSEM con 32 iteraciones y 4 subsets.

Código en software libre para recombinar las adquisiciones de estudios gatillados

Para la recombinación de las matrices del estudio gatillado se desarrolló un código en Python (Anexo 1) que permite leer el dicom, recombinar las proyecciones para simular distintos niveles de actividad y volver a salvar cada recombinación en formato dicom para reconstruir las distintas simulaciones en el programa certificado, registrado y proporcionado por el fabricante con este fin.

Validación del método

Para la validación del método se propone evaluar la relación entre el número de cuentas totales y el nivel de actividad simulado. La hipótesis es que debe existir una relación lineal entre estas dos variables: número de cuentas y nivel de actividad. Adicionalmente, se propone verificar de forma cualitativa que las imágenes obtenidas no presenten artefactos, distorsiones u otras modificaciones que sugieran una alteración del contenido esperado; igualmente se prevé la obtención de un patrón de degradación en la calidad de las imágenes al disminuir los niveles de actividad.

Resultados

Obtención de estudios con distintos niveles de actividad a partir de adquisición gatillada

Utilizando el código desarrollado en python se simuló siete niveles distintos de actividad a partir de la adquisición gatillada de ambos maniquíes. Las proyecciones creadas se reconstruyeron con los protocolos de procesamiento descritos en la sección de materiales y métodos, para la obtención de cortes transversales, coronales y sagitales. Los distintos niveles de actividad corresponden al rango entre el valor de actividad administrado disminuyendo con un paso de un $\frac{1}{4}$ de la actividad. En la tabla 1 se muestran los valores de cuentas totales en la imagen original con el maniquí de corazón y para cada una de las simulaciones obtenidas. En dicha tabla se aprecia una disminución de las cuentas a medida que se simulan niveles inferiores de actividad.

Tabla 1. Valores totales de cuentas en la imagen original y en las simulaciones realizadas con el inserto de corazón en maniquí Carlson

Imagen	Cuentas totales
Original	2.11721e+07
Simulación del 87.5% de actividad	1.85247e+07
Simulación del 75% de actividad	1.588e+07
Simulación del 62.5% de actividad	1.32322e+07
Simulación del 50% de actividad	1.05822e+07
Simulación del 37.5% de actividad	7.93615e+06
Simulación del 25 % de actividad	5.29025e+06
Simulación del 12.5% de actividad	2.64342e+06

En la figura 3 se muestran algunos cortes de las reconstrucciones de la imagen original (fila superior) del maniquí Carlson y para dos simulaciones de niveles distintos de actividad: $\frac{1}{4}$ A (fila del medio) y $\frac{1}{8}$ A (fila inferior). En la figura se puede apreciar que no existieron artefactos en las imágenes simuladas y se observa la degradación de la calidad de las imágenes (mayor ruido) al disminuir la actividad.

La tabla 2 muestra los valores de cuentas totales en la imagen original con el maniquí de Derenzo y para cada una de las simulaciones obtenidas. En dicha tabla también se aprecia una disminución de las cuentas a medida que se simulan niveles inferiores de actividad.

Tabla 2. Valores totales de cuentas en la imagen original y en las simulaciones realizadas con el maniquí de Derenzo

Imagen	Cuentas totales
Original	5.7953e+06
Simulación del 87.5% de actividad	5.07091e+06
Simulación del 75% de actividad	4.34558e+06
Simulación del 62.5% de actividad	3.6228e+06
Simulación del 50% de actividad	2.89856e+06
Simulación del 37.5% de actividad	2.17489e+06
Simulación del 25 % de actividad	1.44863e+06
Simulación del 12.5% de actividad	724563

En la figura 4 se muestran algunos cortes de las reconstrucciones de la imagen original (fila superior) del maniquí de Derenzo y para dos simulaciones de niveles distintos de actividad: $\frac{1}{4}$ A (fila del medio) y $\frac{1}{8}$ A (fila inferior). También se puede apreciar que no existieron artefactos en las imágenes simuladas e igualmente se observa la degradación de la calidad de las imágenes con la disminución de la actividad.

Validación del método

Dependencia lineal del número de cuentas totales del nivel de actividad

Un resultado esperado es que exista una relación lineal entre el nivel de actividad en cada una de las simulaciones y el número de cuentas totales. Por tan-

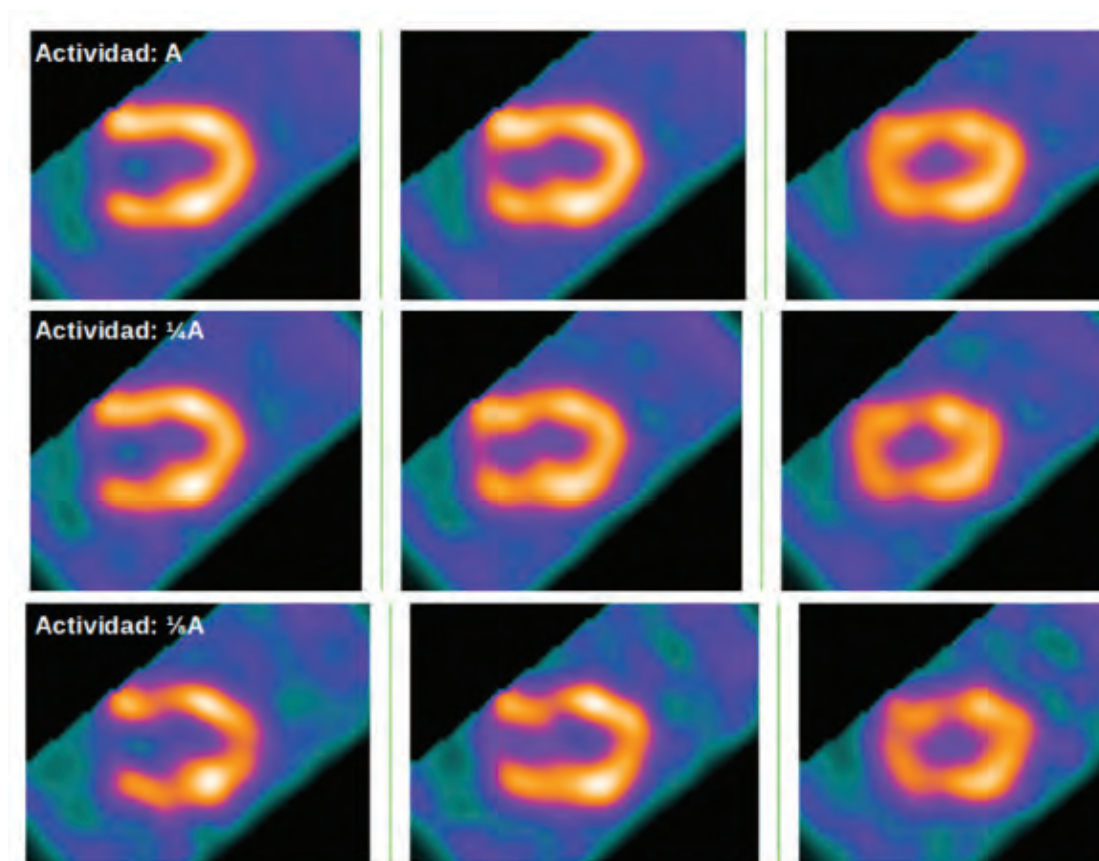


Figura 3. Cortes de las reconstrucciones del Carlson con el inserto de corazón para distintos niveles de actividad: A (fila superior), $\frac{1}{4}A$ (fila del medio) y $\frac{1}{8}A$ (fila inferior).



Figura 4. Cortes de las reconstrucciones del Derenzo para distintos niveles de actividad: A (fila superior), $\frac{1}{4}A$ (fila del medio) y $\frac{1}{8}A$ (fila inferior).

to, se graficaron los distintos niveles de actividad con el número de cuentas total de cada estudio, tanto para el maniquí de corazón (figura 5a) como para el Derenzo (figura 5b).

En la figura 5 se observa que se cumple la hipótesis planteada, o sea, que existe una relación lineal entre las dos variables evaluadas. Adicionalmente, el análisis visual de las imágenes reconstruidas mostró patrones esperados, como se describió anteriormente.

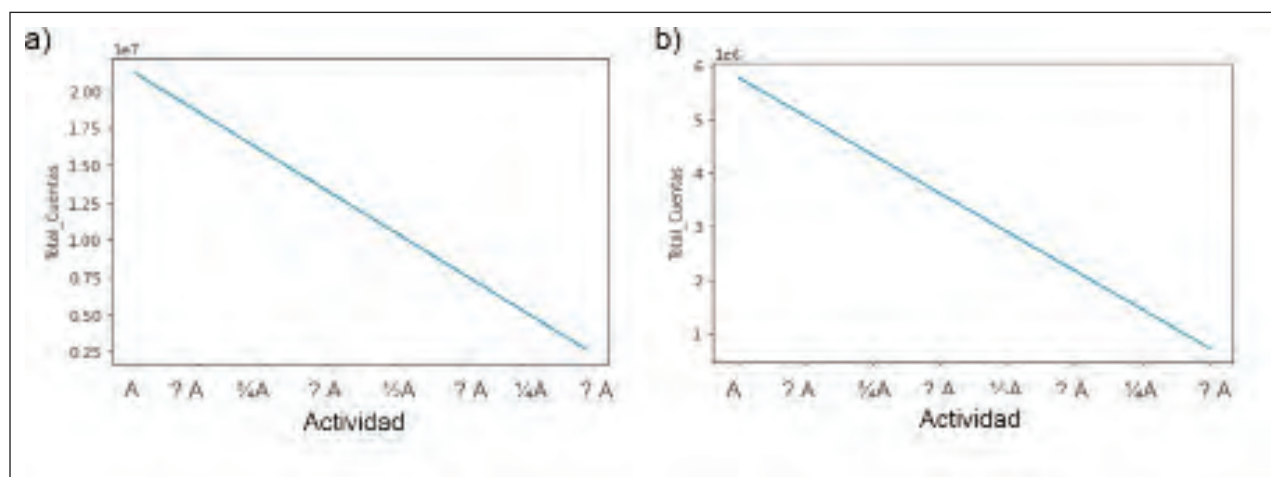


Figura 5. Dependencia lineal del número total de cuentas de los niveles de actividad a) del inserto de corazón dentro de maniquí Carlson y b) maniquí Derenzo.

Discusión

La evolución tecnológica de los equipos, tanto en hardware y software para la adquisición y reconstrucción de imágenes, ha permitido una mejora en la calidad de las imágenes en Medicina Nuclear, pero se requiere que en cada servicio se implemente el principio de optimización de las exposiciones médicas y se preste especial atención a la definición de los niveles mínimos de actividad que garanticen una adecuada eficacia diagnóstica [2, 4].

Es necesario revisar y evaluar periódicamente todos los procedimientos de medicina nuclear para asegurarse de que la cantidad de actividad administrada prescrita sea tan baja como sea razonablemente posible (ALARA del inglés as *low as reasonably achievable*). De ahí la necesidad de metodologías que permitan optimizar la dosis teniendo en cuenta la instrumentación y las técnicas de procesamiento disponibles, la población de pacientes y los requisitos clínicos del estudio. Por lo que la optimización de las exposiciones médicas, enfatizando en los niveles de actividad a administrar a los pacientes, constituye un continuo desafío para la práctica de la medicina nuclear [5, 6] y en particular para el empleo seguro y eficaz de los equipos híbridos [4, 7].

En el presente artículo se propone y valida un método para simular distintos niveles de actividad a partir de adquisiciones gatilladas. En la bibliografía consultada no se encuentra reportes de métodos similares. El código desarrollado en Python permite de forma automática simular los distintos niveles de actividad a partir de una única adquisición gatillada y devuelve los estudios en igual formato dicom para ser reconstruidos en el programa de procesamiento registrado proporcionado por el fabricante. Esta herramienta es útil en los casos en que el equipo no tenga la opción de modo lista. Para el diagnóstico clínico se utilizará solamente el SPECT no gatillado que genera el sistema de adquisición. Estos aspectos garantizan el cumplimiento de los principios de buenas prácticas clínicas, teniendo en cuenta elementos fundamentales de ética médica y de protección radiológica de los pacientes.

Los resultados obtenidos en ambos maniqués y las simulaciones a partir del código python demuestran su fácil implementación en cualquier servicio de Medicina Nuclear. Para la puesta en práctica sólo se requiere de un generador de señal y de una computadora con Python (software libre) instalado. La aplicación del método permitirá simular distintos niveles de actividad en un mismo paciente sin aumento de la dosis ni aumento del tiempo de adquisición. A partir de las simulaciones en pacientes se podrán evaluar diversos parámetros de calidad de imagen para alcanzar una reducción de la dosis garantizando la calidad de imagen y su valor diagnóstico.

Se han publicado distintos estudios que optimizan la dosis para determinados procedimientos de cardiología [8-10], neurología [11], hueso [12], y otros [13]. Algunos de estos estudios se basan únicamente en adquisiciones en maniqués, o en variación de parámetros y métodos de procesamiento en estudios retrospectivos. Precisamente la novedad del presente artículo radica en la propuesta de utilizar estudios de SPECT gatillados para simular distintos niveles de actividad a partir de estudios en pacientes. En la revisión realizada no se encontró método similar.

Conclusiones

El presente artículo propone un método para estudios de optimización de la exposición médica en Medicina Nuclear a partir de la simulación de distintos niveles de actividad que pueda replicarse en pacientes sin violar los principios éticos y de protección radiológica. La implementación del método a partir de dos adquisiciones gatilladas en maniqués con protocolos clínicos para estudios cardíacos y de perfusión cerebral y el código desarrollado en Python permitió demostrar su factibilidad y viabilidad para aplicar en cualquier servicio de Medicina Nuclear. Este método contribuirá a la optimización de las dosis en los distintos servicios de Medicina Nuclear del país. Su implementación forma parte de una estrategia que permitirá evaluar los niveles de exposición a las radiaciones en

Cuba, producto de los procedimientos diagnósticos de medicina nuclear, así como al control y reducción de las exposiciones médicas, garantizando a los pacientes exámenes de alta tecnología con riesgos controlados.

Anexo I

```

1  #!/usr/bin/env python3
2  # -*- coding: utf-8 -*-
3  """
4  Created on Sat Jun 12 14:22:01 2021
5  @author: karla
6  """
7  import pydicom
8  import numpy as np
9  import os
10
11  def reorder_gated(dicompath_gated, dicompath_nongated, folder_save):
12      """
13      Funcion para leer, reordenar y salvar dicom de adquisición gatillada
14      simulando distintos niveles de actividad
15      dicompath_gated: dicom gatillada
16      dicompath_nongated: dicom no gatillada
17      folder_save: carpeta donde salvar las simulaciones
18      """
19      ##### leyendo el dicom #####
20      ds_gated = pydicom.filereader.dcmread(dicompath_gated)
21      ds_nongated = pydicom.filereader.dcmread(dicompath_nongated)
22      pixel_array_gated = ds_gated.pixel_array
23      frames = ds_gated[0x54, 0x52][0][0x54, 0x53].value
24      rows = ds_gated[0x28, 0x10].value
25      columns = ds_gated[0x28, 0x11].value
26      sets = ds_gated[0x54, 0x71].value
27      ##### definiendo matrices #####
28      pixel_array_reorder = np.empty((frames, rows, columns), np.uint16)
29      array2sum = np.empty((sets, rows, columns), np.uint16)
30      ##### ciclo para reordenar #####
31      end = np.arange(len(pixel_array_gated), 0, -frames)
32      frames_step = np.arange(sets, 0, -1)
33      for k in np.arange(0, len(frames_step)):
34          pixel_array_reorder = np.empty((frames, rows, columns), np.uint16)
35          array2sum = np.empty((sets, rows, columns), np.uint16)
36          for i in np.arange(0, frames):
37              for z, j in zip(np.arange(i, end[k], frames), np.arange(0, frames_step[k])):
38                  array2sum[j, :, :] = pixel_array_gated[z, :, :]
39                  pixel_array_reorder[i, :, :] = np.sum(array2sum, axis=0)
40                  ds_nongated.PixelData=pixel_array_reorder.tostring()
41                  dirName = 'Set{0:02d}'.format(frames_step[k])
42                  if (os.path.isdir(os.path.join(folder_save, dirName)) == 0):
43                      os.mkdir(os.path.join(folder_save, dirName))
44                      ds_nongated.save_as(os.path.join(folder_save, dirName, str(frames_step[k])))
45                  else:
46                      ds_nongated.save_as(os.path.join(folder_save, dirName, str(frames_step[k])))
47      return

```

Referencias bibliográficas

- [1]. Society of Nuclear Medicine and Molecular Imaging (SNMMI). Position statement on dose optimization for nuclear medicine and molecular imaging procedures. SNMMI, 2012.
- [2]. International Atomic Energy Agency (IAEA). Protection and Safety in Medical Uses of Ionizing Radiation. Vienna: IAEA, 2018.
- [3]. SAVI A, GERUNDINI P, ZOLI P, et. al. Biodistribution of Tc-99m methoxy-isobutyl-isonitrile (MIBI) in humans. Eur J Nucl Med. 1989; 15(9): 597-600.
- [4]. VAÑÓ E, MILLER DL, MARTIN CJ, et. al. ICRP publication 135: diagnostic reference levels in medical imaging. Ann ICRP. 2017; 46(1): 1-144.
- [5]. LE GULUDEC D, AIGUEPERSE J. Dose optimization: a major challenge for acceptability of nuclear medicine. Clin Transl Imaging. 2016;4 (1): 73-4.

- [6]. LASSMANN M, PEDROLI G. Dose optimization in nuclear medicine. Clin Transl Imaging. 2016; 4(3-4). doi.org/10.1007/s40336-015-0154-7.
- [7]. FAHEY FH. Dose optimization of hybrid imaging. Health Phys. 2019; 116(2): 179-183.
- [8]. GIMELLI A, ACHENBACH S, BUECHEL RR, et. al. Strategies for radiation dose reduction in nuclear cardiology and cardiac computed tomography imaging: a report from the European Association of Cardiovascular Imaging (EACVI), the Cardiovascular Committee of European Association of Nuclear Medicine (EANM), and the European Society of Cardiovascular Radiology (ESCR). Eur Heart J. 2018; 39(4): 286-296.
- [9]. RAMON AJ, YANG Y, PRETORIUS PH, et. al. Investigation of dose reduction in cardiac perfusion SPECT via optimization and choice of the image reconstruction strategy. J Nucl Cardiol. 2018; 25(6): 2117-2128.
- [10]. VAN DIJK JD, BORREN NM, MOUDEN M, et. al. Effect of a patient-specific minimum activity in stress myocardial perfusion imaging using CZT-SPECT: Prognostic value, radiation dose, and scan outcome. J Nucl Cardiol. 2018; 25(1): 26-35.
- [11]. STEFANOYIANNIS AP, GEROGIANNIS I, GERONIKOLA-TRAPALI X, et. al. Justification of administered dose level in brain perfusion imaging with ^{99m}Tc-HMPAO. J Phys Conf Ser. 2011; 317:012003. https://doi.org/10.1088/1742-6596/317/1/012003.
- [12]. TULIK M, TULIK P, KOWALSKA T. On the optimization of bone SPECT/CT in terms of image quality and radiation dose. J Appl Clin Med Phys. 2020; 21(11): 237-46.
- [13]. TSAPAKI V. Radiation dose optimization in diagnostic and interventional radiology: current issues and future perspectives. Physica Medica. 2020; 79: 16-21. https://doi.org/10.1016/j.ejmp.2020.09.015.

Recibido: 06 de octubre de 2022

Aceptado: 18 de octubre de 2022

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses en la realización, ni la comunicación del presente trabajo.

Credit / Conceptualización: Karla Batista García-Ramó. **Fuentes:** Karla Batista García-Ramó y Yudmila Reyes González. **Curación de datos:** Karla Batista García-Ramó, Yudmila Reyes González y Yolaine Sánchez González. **Software:** Karla Batista García-Ramó. **Análisis formal:** Karla Batista García-Ramó y Leonel A. Torres Aroche. **Supervisión:** Leonel A. Torres Aroche. **Adquisición de fondos:** Leonel A. Torres Aroche y Yolaine Sánchez González. **Validación:** Karla Batista García-Ramó y Yudmila Reyes González. **Investigación:** Karla Batista García-Ramó y Yudmila Reyes González. **Visualización:** Karla Batista García-Ramó. **Metodología:** Karla Batista García-Ramó. **Administración de proyecto:** Leonel A. Torres Aroche. **Escritura – borrador original:** Karla Batista García-Ramó. **Redacción – revisión y edición:** Karla Batista García-Ramó.