

## Consideraciones éticas sobre radiaciones ionizantes y protección radiológica en relación con la cardiología nuclear

### Ethical considerations on ionizing radiation and radiological protection in relation to nuclear cardiology

Denia Bonilla-Padrón<sup>1\*</sup> <https://orcid.org/0000-0003-4035-2337>

Roberto León-Castellón<sup>2</sup> <https://orcid.org/0000-0002-6085-8565>

Lisette Mejías-Pérez<sup>3</sup> <https://orcid.org/0000-0003-2126-8375>

<sup>1</sup>Máster en Investigación en Aterosclerosis. Profesor Instructor. Investigador Agregado. Especialista de Primer Grado en Cardiología. Hospital Clínico Quirúrgico “Hermanos Ameijeiras”. La Habana, Cuba.

<sup>2</sup>Doctor en Ciencias Médicas. Especialista de Segundo Grado en Neurología. Investigador Titular. Académico Titular. Profesor Asistente. Hospital Clínico Quirúrgico “Hermanos Ameijeiras”. La Habana, Cuba.

<sup>3</sup>Especialista de Primer Grado en Medicina General Integral e Imagenología. Profesor Asistente. Investigador Agregado. Hospital Clínico Quirúrgico “Hermanos Ameijeiras”. La Habana, Cuba.



\*Autor para la correspondencia. Correo electrónico: [dbonillapadron@gmail.com](mailto:dbonillapadron@gmail.com)

## RESUMEN

**Introducción:** los pacientes y el personal sanitario se exponen, diariamente, a radiaciones ionizantes, de las cuales deben protegerse. En la práctica, la protección radiológica abarca aspectos éticos insoslayables por unos y otros.

**Objetivo:** describir algunos aspectos éticos del uso de las radiaciones ionizantes y la protección radiológica en medicina nuclear, con énfasis en la especialidad de cardiología.

**Métodos:** se realizó una revisión en las bases de datos *PubMed*, *Medline*, *SciELO* y *LILACS*, mediante palabras clave y términos del *DeCS/MeSh*. Se seleccionaron 43 artículos en español e inglés (26

revisiones, nueve artículos originales, y ocho artículos con recomendaciones o guías de prácticas clínicas). Se escogieron aquellos que exponían conceptos básicos, fundamentos éticos, y análisis sobre protección radiológica, la mayoría de la especialidad de cardiología.

**Desarrollo:** la protección radiológica apareció como un campo médico, debido al uso frecuente de las radiaciones ionizantes y la constatación de sus efectos secundarios en los pacientes y el personal sanitario. Por tanto, se fundamenta en la bioética. Las indicaciones de estudios nucleares cardiológicos deben basarse en sus riesgos y beneficios, el respeto a la dignidad de las personas, y la prudencia de pensamiento y acción.

**Conclusiones:** la protección radiológica y sus aspectos éticos son consustanciales al uso de radiaciones ionizantes en estudios o tratamientos médicos. En la especialidad de cardiología, la realización frecuente de exámenes imagenológicos nucleares y procedimientos médicos, entraña riesgos radiológicos para los pacientes y el personal sanitario. Por ello, las decisiones deben partir de los principios bioéticos básicos de justificación, optimización, y limitación.

**Palabras clave:** blindaje contra radiaciones; efectos de la radiación; ética médica; imagen de perfusión miocárdica; radiación ionizante.

## ABSTRACT

**Introduction:** patients and healthcare personnel are exposed daily to ionizing radiation, from which they must be protected. In practice, radiation protection involves ethical aspects that cannot be ignored by both.

**Objective:** to describe some ethical aspects of the use of ionizing radiation and radiological protection in nuclear medicine, with emphasis on the specialty of cardiology.

**Methods:** a review in the PubMed, Medline, SciELO and LILACS databases was carried out using keywords and DeCS/MeSh terms. Forty-three articles in Spanish and English were selected (26 reviews, nine original articles, and eight articles with recommendations or clinical practice guidelines). Those that presented basic concepts, ethical foundations, and analysis on radiological protection were chosen, most of them from the cardiology specialty.

**Development:** radiation protection emerged as a medical field due to the frequent use of ionizing radiation and the recognition of its side effects on patients and healthcare personnel. It is therefore based

on bioethics. Indications for nuclear cardiology studies must be based on their risks and benefits, respect for the dignity of people, and prudence in thought and action.

**Conclusions:** radiological protection and its ethical aspects are inherent to the use of ionizing radiation in medical studies or treatments. In the specialty of cardiology, frequent nuclear imaging examinations and medical procedures entails radiological risks for patients and healthcare personnel. Therefore, decisions must be based on the basic bioethical principles of justification, optimization, and limitation.

**Keywords:** ionizing radiation; medical ethics; myocardial perfusion imaging; radiation effects; shielding against radiation.

Recibido: 16/02/2024

Aprobado: 30/04/2024

Publicado: 12/07/2024

## INTRODUCCIÓN

Desde su aparición en la Tierra, el ser humano recibe radiaciones; primero de fuentes naturales, y después –con el desarrollo tecnológico– también de artificiales. En el campo de la salud los pacientes y el personal sanitario se exponen a radiaciones ionizantes, provenientes de dispositivos y equipos médicos utilizados en el diagnóstico y tratamiento de múltiples enfermedades. De modo que estos últimos son, en la actualidad, los mayores emisores, y durante su empleo el ser humano debe protegerse.<sup>(1)</sup>

En los últimos años, el empleo de medios diagnósticos por imagen es esencial en la práctica médica de los cardiólogos.<sup>(2,3)</sup> La ecocardiografía, la tomografía computarizada, la gammagrafía por perfusión miocárdica por tomografía por emisión de fotón único (SPECT, por sus siglas en inglés), la tomografía por emisión de positrones, y la resonancia magnética cardíaca, son las técnicas de imagen más utilizadas en la especialidad.<sup>(1,2)</sup>

Algunos de los medios diagnósticos de cardiología nuclear –como la SPECT y la tomografía por emisión de positrones– emiten radiaciones ionizantes. Con frecuencia, la consecución del diagnóstico entraña el

uso de varios de estos equipos. Por tanto, cada procedimiento implica exponer al paciente a cuotas de radiación adicionales, cercanas a una dosis de referencia media de 2-15 mSv (*milisievert*) o más.<sup>(1,4)</sup>

Los estudios de perfusión miocárdica son pruebas que, por su naturaleza, no invaden el organismo del paciente; se realizan con frecuencia para diagnosticar y evaluar la enfermedad arterial coronaria. Como reflejo de los beneficios evidenciados en la práctica clínica, su uso se ha expandido rápidamente; en el mundo, anualmente se realizan alrededor de 15 millones de estos procedimientos.<sup>(5,6)</sup> En el 2014, por ejemplo, en Estados Unidos de Norteamérica, se hicieron aproximadamente dos millones de gammagrafías de perfusión miocárdicas y más de 60000 tomografías a pacientes beneficiarios del *Medicare*.<sup>(7)</sup>

En América latina, según un informe del *IAEA Nuclear Cardiology Protocols Cross-Sectional Study (INCAPS)*<sup>(8)</sup>—que recopiló datos sobre procedimientos de SPECT y de tomografía por emisión de positrones—en 36 laboratorios de 10 países las dosis de radiaciones efectivas medias fueron mayores que en el resto del mundo (11,8mSv frente a 9,1 mSv,  $p < 0,001$ ), y los intervalos de confianza oscilaron entre dos en un laboratorio de México y siete en uno de Cuba.

En este sentido, la aparición de efectos secundarios debidos a la exposición a radiaciones a lo largo de los años, y su uso médico cada vez más frecuente, forjaron los cimientos de la protección radiológica. La cual surgió con los objetivos de reducir la exposición innecesaria y minimizar los efectos nocivos de las radiaciones ionizantes.<sup>(9,10)</sup>

El siglo XIX estuvo marcado por varios descubrimientos relacionados con las radiaciones ionizantes. En 1895 el físico alemán Wilhelm Conrad Röntgen descubrió los rayos X; en 1896 el científico francés Antoine Henri Becquerel identificó la radiactividad natural, y en 1898 los esposos Marie y Pierre Curie anunciaron el descubrimiento del radio. Este último, posibilitó tiempo después el uso de las radiaciones en la medicina, no exento de polémica.<sup>(3)</sup> La comunidad científica se preocupó, de forma creciente durante años, por los efectos de las radiaciones ionizantes en la salud humana. Por ello, transcurridos 30 años del sensacional descubrimiento, en 1928 se fundó la Comisión Internacional de Protección Radiológica (más conocida por sus siglas en inglés ICRP), la cual emitió sus primeras recomendaciones ese mismo año.<sup>(11,12)</sup>

En un principio, estas recomendaciones se elaboraron para evitar la sobre exposición de los seres humanos a las radiaciones.<sup>(12,13)</sup> En 1956 por primera vez se incluyeron en el texto los principios éticos

que debían regir el uso de este avance científico; Lauriston Taylor, presidente de la ICRP en ese entonces, puntualizó que la protección radiológica va más allá de su base científica y requiere de sentido común, buen juicio, y perspicacia. Así se forjaron sus tres pilares fundamentales, que se han mantenido en el tiempo: ciencia, ética, y experiencia.<sup>(12,14)</sup>

Desde 1928, la ICRP ha cumplido sus propósitos fundacionales mediante la emisión de recomendaciones y orientaciones para proteger a los pacientes y el personal sanitario de riesgo. Su objetivo primordial es establecer algunos requisitos generales para la implementación de sus recomendaciones, y permitir que otras entidades internacionales como la Organización Internacional de la Energía Atómica (OIEA) los desarrolle.<sup>(12,13)</sup>

Los accidentes de Chernóbil en 1986, y de Fukushima en 2011, promovieron con fuerza las conciencias de todos, y llevaron al primer plano los aspectos éticos tanto de las situaciones de exposición a la radiación como de la toma de decisiones al respecto.<sup>(11)</sup> Por tanto, en 2013 la ICRP creó un grupo de trabajo sobre ética de la protección radiológica; el cual, en 2018, estableció los fundamentos éticos del sistema de protección radiológica.<sup>(14)</sup>

En la actualidad, el uso extendido –e intensivo en ocasiones– de medios diagnósticos y terapéuticos emisores de radiaciones ionizantes, requiere que los pacientes y trabajadores sanitarios expuestos conozcan los principios de la protección radiológica y los apliquen en la práctica diaria. El sistema de protección radiológica integra conocimientos científicos de diferentes áreas sobre la radiación y sus consecuencias, a la par que promueve la investigación, y combina la experiencia acumulada de los profesionales con los valores éticos.

Por la importancia de este tema, el objetivo del presente artículo es describir algunos aspectos éticos del uso de las radiaciones ionizantes y la protección radiológica en medicina nuclear, con énfasis en la especialidad de cardiología.

## MÉTODOS

Se realizó una revisión de los artículos publicados en las bases de datos *PubMed*, *Medline*, *SciELO* y *LILACS*, mediante palabras clave y términos del *DeCS/MeSh*. Se utilizaron las palabras clave: radiación ionizante, protección radiológica, bioética, ética médica, e imagen de perfusión miocárdica.

De 56 artículos localizados, se seleccionaron 43 artículos en español e inglés (26 revisiones, nueve artículos originales, y ocho artículos con recomendaciones o guías de prácticas clínicas). Se escogieron aquellos que exponían conceptos básicos, fundamentos éticos, y análisis sobre protección radiológica, la mayoría de la especialidad de cardiología; además de los publicados en revistas de alto impacto científico como los *Annals of the ICRP*, y la *Journal of Nuclear Cardiology* de la Sociedad Americana de Cardiología Nuclear (ASNC, por sus siglas en inglés), entre otras. Se excluyeron los artículos ajenos a la práctica médica, y los publicados en otros idiomas.

## DESARROLLO

### Generalidades sobre las radiaciones ionizantes

Los átomos son radiactivos si en su núcleo existen pocos o demasiados neutrones; ambas situaciones los hacen inestables, de ahí que emitan radiaciones ionizantes.<sup>(15)</sup> Este tipo de energía libera los átomos en forma de ondas electromagnéticas (rayos gamma, o X), o partículas (partículas alfa y beta, o neutrones).<sup>(16)</sup> El término radiación ionizante se estableció a partir sus efectos físicos; si penetra en la materia –sobre todo las partículas cargadas–, suele arrancar electrones de los átomos circundantes mediante un proceso de ionización.<sup>(16,17)</sup>

Los pacientes se exponen a las fuentes de radiación médica de dos maneras: externamente, a un haz de radiación proveniente del exterior (fluoroscopia de rayos X, tomografía computarizada); o internamente, por la ingestión o inyección de fármacos radiactivos.<sup>(7,18)</sup> Los medios diagnósticos basados en el uso de los rayos X, y los propios de la medicina nuclear, son las fuentes artificiales de radiación a las que con más frecuencia e intensidad se exponen los pacientes y el personal sanitario en los países occidentales. Las dosis efectivas medias oscilan de 3-5 mSv (quizás, un poco más) por persona al año, equivalentes al riesgo radiológico inherente a 150 radiografías de tórax.<sup>(6)</sup>

La radiación de fondo natural (proveniente del cosmos y de la corteza terrestre) es, en promedio, de 3mSv. Si se compara esta dosis con las que en la actualidad los pacientes reciben debido a la realización de procedimientos médicos, la exposición a la radiactividad artificial es mayor en comparación con la proveniente de fuentes naturales.<sup>(6,19)</sup>

La cuantificación (dosimetría) de la exposición a cualquier tipo de radiación ionizante, es compleja; depende de diferentes conceptos sobre las dosis de radiación y su estimación. Por ejemplo, la dosis absorbida es la radiación depositada en un objeto; es una medida de la intensidad del depósito de energía acumulada y se expresa en Gy (*gray*) por Kg de tejido.<sup>(7,20)</sup> La dosis equivalente es una estimación de las diferencias entre las lesiones hísticas causadas por diferentes radiaciones.<sup>(20)</sup> Para cada tipo de radiación se asigna un factor de ponderación, por el cual la dosis absorbida (medida en Gy) se multiplica para estimar la lesión hística esperada para la dosis específica. La dosis equivalente se expresa en *sievert* (Sv), que es la dosis absorbida en Gy multiplicada por el factor de ponderación de la radiación.<sup>(19,21)</sup>

El riesgo de sufrir efectos biológicos por las radiaciones ionizantes se estima a partir de las cantidades recibidas, y se expresa en dosis efectiva. Esta es la suma en todo el cuerpo de las dosis equivalentes en órganos individuales, multiplicada por el coeficiente de sensibilidad de cada órgano a los efectos estocásticos.<sup>(7,16,19)</sup> La unidad de dosis efectiva también se expresa en Sv, por tanto, para un procedimiento concreto, la dosis efectiva es la suma de los productos resultantes de la multiplicación de las dosis de los órganos, con factores de ponderación específicos de radiación y tejido.<sup>(20,21)</sup>

Las dosis efectivas de 20 mSv por año se asocian con riesgos de por vida de 1/1000 casos de cáncer; y equivalen aproximadamente a dos o tres tomografías computarizadas abdominales y pélvicas, o a entre siete y nueve años de exposición a la radiación de fondo natural.<sup>(10,21)</sup> De modo que el personal médico a cargo de los estudios radiológicos se expone a cuotas de radiaciones equivalentes, aproximadamente, a las recibidas durante la realización de 500 procedimientos anuales. A las cuales se suman 10 mSv anuales, pues por las mediciones actuales se ha determinado un rango de exposición de 0,2-100  $\mu$ Sv (microsieverts) por procedimiento, para un promedio por procedimiento de 8-10  $\mu$ Sv.<sup>(7,8)</sup>

En el 2011 la ICRP redujo los límites anuales de exposición a radiaciones anuales de 150 mSv a 20 mSv, promediados durante un período definido de cinco años, sin superar nunca 50 mSv en un año.<sup>(10)</sup>

### Exposición a radiaciones en medicina nuclear. Consideraciones éticas

Las radiaciones utilizadas en medicina nuclear, difieren de los rayos X; en este caso se trata de radionúclidos generadores de radiaciones ionizantes, inyectados a los pacientes.<sup>(9)</sup> Cada radionúclido se caracteriza por el tipo de energía que emite: alfa ( $\alpha$ ), obeta ( $\beta$ ); los más utilizados en los procedimientos imagenológicos emiten radiación gamma ( $\gamma$ ).<sup>(16)</sup>



Otras características de interés de los radionúclidos son su actividad y semivida. La actividad es la medida de su cantidad; refleja la velocidad de transformación o desintegración de los átomos por la unidad de tiempo; tiene como unidad natural el becquerel (Bq), equivalente a una desintegración nuclear por segundo.<sup>(14,16,17)</sup> La semivida es el tiempo en que la actividad de los radionúclidos disminuye a la mitad de su valor inicial, debido a su desintegración. Puede variar desde segundos a millones de años; por ejemplo, la semivida del tecnecio metaestable ( $^{99m}\text{Tc}$ ) es de seis horas, la del yodo-131 ( $\text{I-131}$ ) de ocho días, y la del uranio-238 ( $\text{U-238}$ ) de 4470 millones de años.<sup>(15,16)</sup>

Los radionúclidos utilizados para generar imágenes deben tener determinadas características físicas, para que la exposición de los pacientes a las radiaciones sea mínima. El isótopo más utilizado es el  $^{99m}\text{Tc}$ ; aunque también se utilizan el  $\text{I-131}$ , el galio-67 ( $\text{Ga-67}$ ), y el talio-201 ( $\text{Tl-201}$ ), entre otros.<sup>(15)</sup>

La preparación o marcaje de los radionúclidos se hace con diferentes moléculas, que interactúan con órganos y tejidos específicos según el objetivo deseado. Estos compuestos marcados son los radiofármacos. Algunas moléculas marcadas con  $^{99m}\text{Tc}$  por ejemplo, son el tecnecio-99 metaestable 2-metoxi-isobutil-isonitrilo ( $^{99m}\text{Tc-MIBI}$ ), el  $^{99m}\text{Tc}$ -tetrofosmina ( $\text{Tc-Tf}$ ), y el tecnecio-99 pirofosfato ( $\text{Tc-99-PPi}$ ). Todas se utilizan frecuentemente por los cardiólogos, para el diagnóstico imagenológico por SPECT.<sup>(15,18,22)</sup>

La administración de radio fármacos por vía sistémica posibilita su distribución por todo el cuerpo. Sus concentraciones en los órganos y tejidos dependen de las propiedades farmacocinéticas del radiofármaco específico. Y las dosis a administrar, de la actividad del radionúclido utilizado, la distribución del marcador, su tasa de eliminación, y las relaciones entre el tiempo y la actividad.<sup>(19,22)</sup>

Las dosis para los órganos, y las dosis efectivas para los pacientes, generalmente se estiman mediante modelos biocinéticos matemáticos que cuantifican la distribución y el metabolismo de los radiofármacos en el cuerpo. La cuantificación de las dosis administradas es un descriptor de la exposición a la radiación de los pacientes. No obstante, las evidencias caracterizadoras de las dosis de radiación para los trabajadores de cardiología nuclear, son más limitadas. Por ello, es vital asegurarse que sus dosis de exposición sean las más bajas posibles.<sup>(4,5,14)</sup>

En la literatura<sup>(3,9,15)</sup> se describen dos clases fundamentales de efectos biológicos de las radiaciones ionizantes, según su mecanismo de acción: hísticos (anteriormente conocidos como efectos determinísticos), y estocásticos.



Los efectos hísticos dependen de las dosis; se producen si se supera un umbral de exposición específico.<sup>(7,10,23)</sup> La lesión de la piel es la reacción hística más frecuente, observada en las imágenes cardiovasculares; pero también se describen cataratas,<sup>(24)</sup> necrosis ósea, y caída del cabello. En el corazón se identifican daños en el miocardio, las válvulas cardíacas y arterias coronarias. Estos efectos, crónicos o agudos, aparecen en dependencia de la exposición acumulativa (dosis umbral de radiación), como se observa en los casos de cataratas o síndrome agudo por radiación.<sup>(3,4,7)</sup>

Los efectos estocásticos son eventos probabilísticos; por tanto, no existe una dosis umbral para su desarrollo. Las probabilidades de inducirlos –no su gravedad–, pueden aumentar según las dosis, pero son diferentes para cada individuo.<sup>(1,20,21)</sup> La radiación daña el material genético de las células, y sus ADN se reprograman de manera disfuncional. En consecuencia, es posible que un determinado tiempo de exposición dañe el ADN, y años después el paciente presente cáncer, como efecto estocástico.<sup>(3,7,23)</sup>

Los efectos biológicos estocásticos causados por dosis bajas de radiación en los estudios imagenológicos, son inciertos. Las asociaciones entre la exposición a la radiación y el desarrollo de cánceres se basan, principalmente, en poblaciones expuestas a niveles relativamente altos de radiaciones ionizantes, como los sobrevivientes de las bombas atómicas.<sup>(1,5,24)</sup> Sin embargo, la imposibilidad de cuantificar el riesgo no significa que sea leve o no exista.

Otro elemento importante es la posible aparición de efectos estocásticos sin relación con el cáncer, cada vez más probables. La exposición a más de 500 mSv de radiación contribuiría al desarrollo de aterosclerosis y otras enfermedades cardiovasculares o cerebrovasculares, a 10 años de ese evento.<sup>(25)</sup> Por tanto, la realización justificada de estudios y tratamientos radiológicos requiere valorar los beneficios y riesgos de cada procedimiento.

En ocasiones, los beneficios superan los riesgos inherentes a las dosis muy altas de radiación; es el caso de los procedimientos intervencionistas determinantes de conductas definitivas. No obstante, las decisiones siempre se han de tomar de acuerdo al principio de que la exposición sea lo más razonablemente baja posible.<sup>(11,20)</sup> De ahí que la perspectiva rectora de la protección radiológica se fundamente en los principios básicos de justificación, optimización y limitación. Y en su práctica se tengan en cuenta diferentes conceptos interdependientes: ciencia, ética, y experiencia.<sup>(14)</sup>

Desde el punto de vista ético, la teoría y práctica de la protección radiológica se derivan de las principales corrientes teóricas de la filosofía moral, y las éticas de la virtud, utilitaria, y deontológica. Sus bases

éticas se remiten al *Informe Belmont. Principios éticos y directrices para la protección de sujetos humanos de investigación*,<sup>(26)</sup> publicado en 1979, y a los cuatro principios básicos de la ética biomédica planteados por Tom L. Beauchamp y James F. Childress en 1979, de no maleficencia, beneficencia, autonomía, y justicia.<sup>(12,27)</sup>

En el 2018, la ICRP<sup>(15)</sup> definió cuatro valores éticos fundamentales de la protección radiológica: beneficencia y no maleficencia, prudencia, justicia y dignidad. La beneficencia y no maleficencia – incluidas en este informe como un solo valor–tienen como objetivo evitar los efectos negativos de las radiaciones. El deseo de hacer el bien es la beneficencia; el deseo de no hacer daño es la no maleficencia, y significa evitar aquello que daña.<sup>(11,27)</sup>

El empleo de medios diagnósticos y tratamientos radioactivos se justifica, y es relativamente seguro, si se tienen en cuenta estos valores éticos. Siempre se deben identificar los beneficios directos y los riesgos (daños probables), así como asegurarse que –junto a la consecución de los resultados esperados–los efectos hísticos y estocásticos sean mínimos; esto es lo que se considera una optimización buena.

Según Lozano-Zalce,<sup>(28)</sup> cualquier procedimiento diagnóstico por imagen tiene riesgos y beneficios. Los riesgos primordiales son inherentes a la técnica o el procedimiento (sobre todo si se usan radiaciones ionizantes). Los beneficios son la precisión diagnóstica y, consecuentemente, terapéutica.

La beneficencia y la no maleficencia son acciones separadas, pero en muchas ocasiones se concretan en una acción; la prevención del daño entraña, a la vez, un beneficio. No obstante, el beneficio no siempre se traduce en un resultado bueno; incluso puede ocasionar daños (maleficencia). Por ello, siempre que sea posible, se deben equilibrar las acciones.<sup>(29)</sup>

Otro principio básico establecido por la ICRP<sup>(14)</sup> es la prudencia; se debe tener en cuenta la incertidumbre alrededor de los posibles efectos de las radiaciones sobre las personas y el medio ambiente. Aunque el uso de las radiaciones ionizantes se basa en pruebas científicas sólidas, no se conocen del todo sus efectos cuando los niveles de exposición son bajos. De ahí que, con frecuencia, se requieran análisis y juicios de valor al respecto.<sup>(27)</sup>

El término prudencia aparece en las recomendaciones de la ICRP<sup>(11)</sup> sobre el modelo lineal sin umbral. Este modelo, presentado en el VII informe de los efectos biológicos de las radiaciones ionizantes, es una base prudente para la protección radiológica. Se basa en el desconocimiento de los niveles de riesgos asociados a dosis muy bajas.<sup>(14)</sup> Según estas consideraciones, la prudencia es la capacidad de tomar

decisiones informadas, qué hacer o no dentro de un ámbito de conocimientos incompletos sobre los alcances y consecuencias de las acciones. Desde el punto de vista ético, ante el desconocimiento parcial o total de las consecuencias, las decisiones deben regirse ante todo por la prudencia.

A la prudencia se vincula fuertemente la precaución, descrita por Zölzer<sup>(30)</sup> como una derivación de la no maleficencia. No obstante, aclara que por la prudencia se consideran tanto los riesgos del individuo, como los beneficios para el conjunto en general; por lo cual es un concepto más amplio que el de precaución. El riesgo potencial siempre debe considerarse en el contexto del beneficio; así, los implicados se protegen razonablemente con prudencia y precaución.<sup>(11,28)</sup>

La justicia es otro valor básico, por el cual se garantiza la equidad social en las decisiones relativas a la protección radiológica. La dignidad es un atributo de la condición humana;<sup>(14)</sup> por ella se considera y garantiza el respeto a las personas.<sup>(29)</sup> Se concreta en el consentimiento informado, como expresión del derecho de las personas a aceptar voluntariamente los riesgos inherentes a procedimientos médicos en los que se usan radiaciones ionizantes.<sup>(14)</sup> Ambos valores se basan en el principio de que todos los individuos merecen respeto incondicional, independientemente de sus atributos personales o circunstancias sociales.<sup>(13,30)</sup>

Malone y Zölzer<sup>(31)</sup> consideran que el respeto por la autonomía (principio básico de la bioética), se basa en parte en la dignidad humana. Cuando se habla de protección radiológica este valor debe tenerse en cuenta. Por tanto, el consentimiento informado debe ser amplio y explicitar tanto los riesgos del procedimiento en sí, como los derivados de las radiaciones a que se someterá el paciente. En la práctica, la falta de consentimiento de los pacientes –porque no se les informa– es una violación ética y moral grave.<sup>(32)</sup>

La empatía es un elemento importante, en cuanto capacidad de sumergirse en las experiencias y perspectivas de los demás. Es un requisito previo, esencial tanto durante la realización de cualquier exploración radiológica como en el momento de informar a los pacientes de sus posibles efectos negativos sobre la salud.<sup>(33)</sup>

La ICRP en sus anales,<sup>(13,27)</sup> menciona otros requisitos imprescindibles en la protección radiológica: rendición de cuentas, transparencia, y participación de las partes interesadas. Conviene precisar que las acciones protectoras deben tener un basamento razonable –acorde al cúmulo de conocimientos y

experiencias–; y el personal sanitario debe regirse por los principios de beneficencia y no maleficencia, evitar los riesgos, ser prudentes en sus decisiones, ser equitativos, y respetar a todas las personas.

### Uso de las radiaciones ionizantes en cardiología nuclear

Los cardiólogos nucleares emplean dos medios diagnósticos de imagen fundamentales: la SPECT y la tomografía por emisión de positrones. En ambos, se usan fármacos radiactivos. En el caso de la tomografía por emisión de positrones, las dosis de radiación emitidas son menores; pero los escáneres y algunos radiofármacos necesarios son más caros y, por tanto, menos accesibles.<sup>(34)</sup>

A diferencia de los estudios imagenológicos por rayos X (externos), las técnicas internas requieren la administración de radiofármacos. Ello implica diferencias entre las dosis radiactivas a que se exponen los pacientes en estudios hechos con unas u otras. En la actualidad se utilizan equipos híbridos, que aúnan la SPECT o la tomografía por emisión de positrones con la tomografía computarizada. Con estos avances, la evaluación imagenológica de las enfermedades cardiovasculares es más precisa; la corrección de atenuación de las imágenes nucleares mejoró, e incluye tanto los elementos anatómicos detallados como su valoración funcional. No obstante, los pacientes reciben dosis bajas de rayos X, además de las radiaciones emitidas por los radiofármacos.<sup>(17,21)</sup>

En el estudio INCAPS,<sup>(8)</sup> se recopilaron datos de 7911 pacientes sometidos a estudios de perfusión miocárdica en 308 laboratorios de 65 países. Su objetivo fue caracterizar las dosis de radiación recibidas por los pacientes, y analizar las mejoras prácticas posibles para optimizar el uso estas técnicas en el mundo. Se constató la dosis de radiación efectiva media era de 10,9 mSv, pero menos de un tercio de los laboratorios lograron una mediana inferior a 9mSv, según lo recomendado en las pautas radiológicas.

En la actualidad los especialistas investigan las formas de optimización de las dosis de radiaciones ionizantes. Pero esta búsqueda depende de múltiples factores, como la elección del tipo de estudio, a partir de las indicaciones apropiadas. Para la realización de un estudio cardiológico nuclear, se deben tener en cuenta la disponibilidad y alcance de las técnicas a usar, sus ventajas y desventajas; estos detalles posibilitan al médico optimizar su uso y evitar las indicaciones inadecuadas.

Las recomendaciones para la realización de estudios imagenológicos nucleares en la especialidad de cardiología,<sup>(35)</sup> posibilitan el balance de las dosis a usar en cada caso, según los resultados esperados.<sup>(36)</sup> Srivastava y cols.<sup>(37)</sup> investigaron los pacientes de un centro de atención terciaria en la India; entre ellos, a algunos se les estudió mediante la técnica de gammagrafía de perfusión miocárdica. Los investigadores

verificaron la pertinencia de esos estudios imagenológicos según el consenso estadounidense *Pragmatic ethical basis for radiation protection in diagnostic radiology*,<sup>(31)</sup> y determinaron que las indicaciones fueron apropiadas en 77,2%, inapropiadas en 12%, e inciertas en 10,8% de los enfermos.

Fundora-Sarraff y cols.,<sup>(38)</sup> apuntaron que en ocasiones se indica la realización de estudios nucleares muy anticipadamente, sin otras pruebas que posibiliten al especialista definir mejor el estado del paciente; incluso, sin que sea apropiado recomendarlos. Por tanto, antes de hacerlos, se deben revisar los resultados de otros exámenes, incluidos aquellos en los cuales no se definió un diagnóstico. También, se debe tener presente siempre que el uso de las radiaciones ionizantes sólo se justifica en beneficio del paciente, por los aportes de los resultados al diagnóstico certero. El respeto a los principios de beneficencia y prudencia, es vital para evitar la indicación de este tipo de estudios sin tener todos los elementos que los justifiquen.

En los estudios imagenológicos de cardiología nuclear, la calidad de la imagen depende en parte de la cantidad de radiación que reciben los detectores. Por ello, el equilibrio entre las dosis requeridas por el paciente y el equipo es definitorio para obtener imágenes de calidad sin daños a la salud. En la actualidad, los detectores más modernos admiten más conteos con menos radiación. No obstante, en algunos estudios se precisa corregir la atenuación, para lo cual es necesario usar los rayos X en dosis mínimas; en este caso, se trata de los equipos de tomografía por emisión de positrones, y los híbridos de SPECT con tomografía computarizada.<sup>(7)</sup>

Los radiofármacos marcados con tecnecio metaestable como el  $^{99m}\text{Tc}$ -MIBI o el  $^{99m}\text{Tc}$ -tetrofosmina, son los más utilizados en los estudios por SPECT. La dosis efectiva para un estudio de estrés y reposo de un día con  $^{99m}\text{Tc}$ -MIBI puede variar entre 9,8mSv a 16,3 mSv como promedio.<sup>(36)</sup>

Por otro lado, uno de los agentes más utilizados en los estudios por tomografía por emisión de positrones es el rubidio ( $\text{Rb-82}$ ), cuya vida media física es de 75 segundos. En estudios de estrés y reposo, proporciona dosis de radiación que oscilan entre 3,3mSv y 3,8 mSv, inferiores a las recibidas con el empleo del tecnecio. Su descomposición física rápida posibilita tasas de conteo altas, con disminución sustancial de las dosis de exposición. No obstante, este radiofármaco debe administrarse inmediatamente después de que se genera el estrés, y seguidamente obtenerse la imagen; lo cual constituye un reto operacional para el especialista encargado de su realización.<sup>(7)</sup>

En el estudio INCAPS,<sup>(8)</sup> un comité de expertos identificó ocho mejores prácticas relacionadas con la exposición a la radiación; entre las cuales se destacan: administrar dosis bajas de isótopos, evitar el empleo de los isótopos que se requieran en dosis más altas, y usar las tecnologías más recientes para optimizar la irradiación.

Se debe tener en cuenta que la optimización de la dosis se relaciona con la elección del protocolo de imagen; los equipos más modernos disponen de varios, de modo que es posible seleccionar el adecuado a cada paciente. Un protocolo de dosis bajas de estrés y altas de reposo, es ventajoso; en un porcentaje significativo de los pacientes las imágenes de estrés serán normales, y se evitará exponerlos a dosis de radiación adicionales. Al respecto, la Sociedad Americana de Cardiología Nuclear<sup>(36)</sup> sugiere aplicar esta óptica en los pacientes, aun cuando las probabilidades de resultados positivos sean bajas.

Vallejo-Venegas<sup>(39)</sup> demostró que si se seleccionan los protocolos de estrés de acuerdo con las características de los pacientes (en específico en aquellos con riesgo bajo o intermedio para la enfermedad arterial coronaria), el tiempo de obtención de las imágenes se reduce de 180 minutos a 57+5 minutos ( $p < 0,0001$ ), y los costos del estudio en 40%.

Otros factores, relacionados con el instrumental disponible, conforman un conjunto de buenas prácticas para disminuir y optimizar las dosis a los pacientes. Por ejemplo, corregir la atenuación de la imagen, usar programas de reconstrucción iterativa, recuperar la resolución a la par que reducir el ruido, utilizar equipos de alta tecnología como los tomógrafos por emisión de positrones o una cámara SPECT de estado sólido de alta eficiencia. Cada uno de estos enfoques reduce las dosis de radiación necesarias, pero no siempre se dispone de ellos por su alto costo.<sup>(5,7)</sup>

El futuro de la cardiología nuclear estriba en una práctica más personalizada de la medicina. Los resultados terapéuticos positivos asociados al empleo de dosis de radiación reducidas son posibles si los especialistas en imagenología mantienen un grado alto de comunicación con sus colegas clínicos. De ese modo pueden seleccionar el examen más adecuado según la disponibilidad de recursos, optimizar el tipo de protocolo, elegir la prueba de esfuerzo adecuada, y garantizar la comodidad de los pacientes durante el estudio. Todos estos elementos son expresiones prácticas de los principios éticos analizados.<sup>(40,41)</sup>

El diagnóstico imagenológico nuclear entraña un dilema ético, debido a que no es posible prescindir del uso de sustancias radiactivas peligrosas para la salud. Para equilibrar las decisiones en este campo, y



asumir sólo los riesgos justificados, es fundamental que las elecciones de una u otras técnicas se basen ante todo en los principios bioéticos.

Durante los estudios diagnósticos nucleares es fundamental respetar los principios bioéticos de justificación, optimización, y limitación del uso de las radiaciones, lo cual no siempre se hace estrictamente. El cardiólogo nuclear debe revisar la historia clínica, los exámenes realizados, y determinar si el enfermo aún cumple con los criterios de idoneidad, para que el examen a realizar represente para él un bien con riesgos mínimos. En ocasiones los pacientes no reciben información detallada de los peligros que conlleva la exposición a radiaciones durante los estudios de cardiología nuclear. Por ello, los autores del presente artículo concuerdan con otros<sup>(29,31,32,38)</sup> en la importancia del consentimiento informado.

Se debe tener en cuenta que durante la realización de estudios imagenológicos radiactivos, el personal sanitario también se expone a las radiaciones. Las fuentes fundamentales de exposición son: la manipulación de radiofármacos, la radiación ambiental que emite el paciente inoculado, y la irradiación por contaminación o derrames desconocidos.<sup>(7)</sup> Se debe tener en cuenta, además, que los radiofármacos son fuentes de actividad continua, por lo que los cuerpos de los pacientes y sus fluidos son radiactivos. Los fotones emitidos por los pacientes inoculados con radiofármacos, generalmente contienen más energía que los rayos X. Por tanto, los dispositivos de protección personal (delantales y gafas de plomo) son menos efectivos y, en consecuencia, se utilizan pocas veces.<sup>(33,35)</sup> A partir de estudios de seguridad, se infiere que la medida de protección más efectiva para el personal sanitario es minimizar el tiempo de exposición y mantener distancia prudencial de los pacientes inyectados o los utensilios con preparaciones de materiales radiactivos.<sup>(8)</sup>

Las prácticas para la protección de los derrames deben ser rigurosas, así como los protocolos que rigen las conductas personales en áreas calientes y superficies de trabajo. Las consecuencias de la contaminación o el derrame pueden ser graves. Es por ello que la ICRP<sup>(4)</sup> recomienda la capacitación formal en protección radiológica para todos los profesionales involucrados en estudios de medicina nuclear, independientemente de sus especialidades. La superación profesional obligatoria en estos servicios, garantiza que el personal sanitario posea conocimientos actualizados, asuma prácticas de protección radiológica adecuadas, y seleccione los estudios a realizar a los pacientes según criterios seguros para unos y otros.



En Cuba, en 1985 se fundó el Centro de Protección e Higiene de las Radiaciones para propugnar la aplicación segura de las tecnologías nucleares en el país. Como parte de sus servicios, en él se capacitan sistemáticamente los trabajadores ocupacionalmente expuestos, mediante cursos de alcance nacional. Hasta el año 2020, se prepararon más de 1000 trabajadores de las diferentes categorías ocupacionales relacionadas con el uso de radiaciones, incluido el personal clínico de medicina nuclear.<sup>(42)</sup>

El sistema nacional de salud pública cubano apoya el desarrollo de la cardiología nuclear desde sus inicios en el país. En los últimos años, mediante el proyecto de cooperación técnica para el fortalecimiento de la cardiología nuclear en el diagnóstico y tratamiento de pacientes con enfermedad coronaria, ejecutado en conjunto con el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA). La mayoría de los estudios realizados en el país tienen como objetivo, fundamentalmente, el diagnóstico de la enfermedad arterial coronaria mediante la SPECT.<sup>(43)</sup>

De ahí la importancia de la investigación centrada en este tema; y la necesidad de que las personas involucradas en la realización de estudios nucleares con pacientes, se aseguren de respetar los principios éticos. En este sentido, es fundamental que los estudios sean aprobados por los comités de ética institucionales y los investigadores asuman plenamente sus responsabilidades en cuanto a la protección radiológica desde un prisma bioético. También, el uso de espacios de reflexión y la vinculación de los ejercicios docentes al análisis de los fundamentos éticos, contribuyen a formar y mantener la conciencia moral y la conducta ética en situaciones diversas.

La elección adecuada de un estudio cardiológico nuclear debe basarse, siempre, en el equilibrio de sus riesgos y beneficios. Dentro de esta perspectiva, el especialista que indica un procedimiento determinado, debe conocer los efectos de las radiaciones a las que someterá a su paciente; de modo que el resultado sea el mejor a la par que los daños sean los menores posibles. Las decisiones deben estar precedidas de un análisis centrado en la prudencia de pensamiento y acción, el respeto la dignidad, y los actos de beneficencia y no maleficencia.

## CONCLUSIONES

La protección radiológica y sus aspectos éticos son consustanciales al uso de radiaciones ionizantes en estudios o tratamientos médicos. En la especialidad de cardiología, la realización frecuente de exámenes

imagenológicos nucleares y procedimientos médicos, entraña riesgos radiológicos para los pacientes y el personal sanitario. Por ello, las decisiones deben partir de los principios bioéticos básicos de justificación, optimización, y limitación. El presente artículo contribuye al conocimiento de estos aspectos entre los especialistas (particularmente los cardiólogos), y a la adopción de prácticas seguras y éticas.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Puerta-Ortiz JA, Morales-Aramburo J. Efectos biológicos de las radiaciones ionizantes. RevColombCardiol [Internet]. Mar 2020 [citado 12 Abr 2024];27Sup 1:61-71. Disponible en: [https://rccardiologia.com/previos/RCC%202020%20Vol.%2027/RCC\\_2020\\_27\\_S1/RCC\\_2020\\_27\\_S1\\_061-071.pdf](https://rccardiologia.com/previos/RCC%202020%20Vol.%2027/RCC_2020_27_S1/RCC_2020_27_S1_061-071.pdf)
2. Verfaillie G, Franck C, De Crop A, Beels L, D'Asseler Y, Bacher K. A systematic review and meta-analysis on the radiation dose of computed tomography in hybrid nuclear medicine imaging. EJNMMI Phys [Internet]. Dic 2023 [citado 12 Abr 2024];10(1):32. Disponible en: [https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC10212852/pdf/40658\\_2023\\_Article\\_553.pdf](https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC10212852/pdf/40658_2023_Article_553.pdf)
3. Kozuma K, Chikamori T, Hashimoto J, Honye J, Ikeda T, Ishiwata S, et al. JCS 2021 Guideline on radiation safety in cardiology. Circ J [Internet]. 2022 [citado 12 Abr 2024];86(7):1148-203. Disponible en: [https://www.jstage.jst.go.jp/article/circj/86/7/86\\_CJ-21-0379/\\_pdf/-char/en](https://www.jstage.jst.go.jp/article/circj/86/7/86_CJ-21-0379/_pdf/-char/en)
4. Cousins C, Miller DL, Bernardi G, Rehani MM, Schofield P, Vañó E, et al. ICRP Publication 120: Radiological protection in cardiology. Ann ICRP [Internet]. Feb 2013 [citado 12 Abr 2024];42(1):1-125. Disponible en: <https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1016/j.icrp.2012.09.001>
5. Hirschfeld CB, Dondi M, Pascual TNB, Mercuri M, Vitola J, Karthikeyan G, et al. Worldwide diagnostic reference levels for single-photon emission computed tomography myocardial perfusion imaging: findings from INCAPS. JACC J [Internet]. Mar 2021 [citado 12 Abr 2024];14(3):657-65. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1936878X20306057>
6. Sharkey AR, Gambhir P, Saraskani S, Walker R, Hajilou A, Bassett P, et al. Occupational radiation exposure in doctors: an analysis of exposure rates over 25 years. Br J Radiol [Internet]. Nov 2021 [cited



2024 Feb 16];94(1127):20210602. Disponible en:

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8553192/pdf/bjr.20210602.pdf>

7. Al-Mallah MH, Bateman TM, Branch KR, Crean A, Gingold EL, Thompson RC, et al. 2022 ASNC/AAPM/SCCT/SNMMI guideline for the use of CT in hybrid nuclear/CT cardiac imaging. J NuclCardiol [Internet]. Dic 2022 [citado 12 Abr 2024];29(6):3491-535. Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1071358123007274/pdf?md5=48370c40bc48214efa1196404b5f1f99&pid=1-s2.0-S1071358123007274-main.pdf>

8. Vitola JV, Mut F, Alexánderson E, Pascual TNB, Mercuri M, Karthikeyan G, et al. Opportunities for improvement on current nuclear cardiology practices and radiation exposure in Latin America: Findings from the 65-country IAEA Nuclear Cardiology Protocols cross-sectional Study (INCAPS). J NuclCardiol [Internet]. Jun 2017 [citado 12 Abr 2024];24(3):851-9. Disponible en:

[https://www.researchgate.net/profile/Mathew-Mercuri/publication/295681765\\_Opportunities\\_for\\_improvement\\_on\\_current\\_nuclear\\_cardiology\\_practices\\_and\\_radiation\\_exposure\\_in\\_Latin\\_America\\_Findings\\_from\\_the\\_65-country\\_IAEA\\_Nuclear\\_Cardiology\\_Protocols\\_cross-sectional\\_Study\\_INCAP/links/56e8036008aec65cb45e78a4/Opportunities-for-improvement-on-current-nuclear-cardiology-practices-and-radiation-exposure-in-Latin-America-Findings-from-the-65-country-IAEA-Nuclear-Cardiology-Protocols-cross-sectional-Study-INCAP.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Mathew-Mercuri/publication/295681765_Opportunities_for_improvement_on_current_nuclear_cardiology_practices_and_radiation_exposure_in_Latin_America_Findings_from_the_65-country_IAEA_Nuclear_Cardiology_Protocols_cross-sectional_Study_INCAP/links/56e8036008aec65cb45e78a4/Opportunities-for-improvement-on-current-nuclear-cardiology-practices-and-radiation-exposure-in-Latin-America-Findings-from-the-65-country-IAEA-Nuclear-Cardiology-Protocols-cross-sectional-Study-INCAP.pdf)

9. Jaschke W, Bartal G, Martin CJ, Vano E. Unintended and accidental exposures, significant dose events and trigger levels in interventional radiology. Cardiovasc Intervent Radiol [Internet]. Ago 2020 [citado 12 Abr 2024];43(8):1114-21. Disponible en:

[https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7369256/pdf/270\\_2020\\_Article\\_2517.pdf](https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7369256/pdf/270_2020_Article_2517.pdf)

10. Frane N, Bitterman A. Radiation safety and protection. En: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): Stat Pearls Publishing; 2023 [citado 12 Abr 2024]. Disponible en:

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK557499/>

11. Bochud F, Cantone MC, Applegate K, Coffey M, Damilakis J, Del Rosario-Pérez M, et al. Ethical aspects in the use of radiation in medicine: update from ICRP Task Group 109. Ann ICRP [Internet]. Dic 2020 [citado 12 Abr 2024];49(1Supl):143-53. Disponible en:

<https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/0146645320929630>





12. Kang KW. History and organizations for radiological protection. J Korean Med Sci [Internet]. Feb 2016 [citado 12 Abr 2024];31 Supl1:S4-5. Disponible en: <https://pdfs.semanticscholar.org/35f6/413fdacedca9a98cd3d010889c38e0a11908.pdf>
13. Malone J. X-rays for medical imaging: Radiation protection, governance and ethics over 125 years. Physica Medica [Internet]. 2020 [citado 12 Abr 2024];79:47-64. Disponible en: [https://www.physicamedica.com/article/S1120-1797\(20\)30228-3/pdf](https://www.physicamedica.com/article/S1120-1797(20)30228-3/pdf)
14. Cho KW. Ethical foundations of the radiological protection system. Ann ICRP [Internet]. Jun 2016 [citado 12 Abr 2024];45(1Supl):297-308. Disponible en: <https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/0146645316631207>
15. Cho KW, Cantone MC, Kurihara-Saio C, Le Guen B, Martinez N, Oughton D, et al. ICRP Publication 138: Ethical foundations of the system of radiological protection. Ann ICRP [Internet]. Feb 2018 [citado 12 Abr 2024];47(1):1-65. Disponible en: <https://www.academia.edu/download/86281994/0146645317746010.pdf>
16. Averbeck D, Candéias SM, Chandna S, Foray N, Friedl AA, Haghdoost S, et al. Establishing mechanisms affecting the individual response to ionizing radiation. Int. J. Radiat. Biol [Internet]. Mar 2020 [citado 12 Abr 2024];96(3):297-323. Disponible en: <https://hal.science/hal-02431625v1/file/Establishing%20mechanisms%20affecting%20the%20individual%20response%20to%20ionizing%20radiation.pdf>
17. Morales-Aramburo J, Puerta JA. Bases físicas de la radiación ionizante. Rev Colomb Cardiol [Internet]. Mar 2020 [citado 12 Abr 2024];27Supl 1:32-40. Disponible en: [https://www.rccardiologia.com/previos/RCC%202020%20Vol.%2027/RCC\\_2020\\_27\\_S1/RCC\\_2020\\_27\\_S1\\_032-040.pdf](https://www.rccardiologia.com/previos/RCC%202020%20Vol.%2027/RCC_2020_27_S1/RCC_2020_27_S1_032-040.pdf)
18. Crişan G, Moldovean-Cioroianu NS, Timaru DG, Andrieş G, Căinap C, Chiş V. Radiopharmaceuticals for PET and SPECT imaging: A literature review over the last decade. Int J Mol Sci [Internet]. May 2022 [citado 12 Abr 2024];23(9):5023. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC9103893/pdf/ijms-23-05023.pdf>
19. Williams MC, Stewart C, Weir NW, Newby DE. Using radiation safely in cardiology: what imagers need to know. Heart [Internet]. May 2019 [citado 12 Abr 2024];105(10):798-806. Disponible en: <https://heart.bmj.com/content/heartjnl/105/10/798.full.pdf>



20. Camoni L, Santos A, Attard M, Mada MO, Pietrzak AK, Rac S, et al. Best practice for the nuclear medicine technologist in CT-based attenuation correction and calcium score for nuclear cardiology. *Eur J HybridImaging* [Internet]. Dic 2020 [citado 12 Abr 2024];4(1):11. Disponible en: [https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8218053/pdf/41824\\_2020\\_Article\\_80.pdf](https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8218053/pdf/41824_2020_Article_80.pdf)
21. Loose R, Wucherer M. How to measure/calculate radiation dose in patients? *Cardiovasc Intervent Radiol* [Internet]. Jun 2021 [citado 12 Abr 2024];44(6):835-41. Disponible en: [https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8172405/pdf/270\\_2021\\_Article\\_2772.pdf](https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8172405/pdf/270_2021_Article_2772.pdf)
22. Munjal A, Gupta N. Radiopharmaceuticals. En: *Stat Pearls* [Internet]. Treasure Island (FL): Stat Pearls Publishing; 2024 [citado 12 Abr 2024]. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK554440/?report=reader>
23. Rajaraman P, Hauptmann M, Bouffler S, Wojcik A. Human individual radiation sensitivity and prospects for prediction. *Ann ICRP* [Internet]. Oct 2018 [citado 12 Abr 2024];47(3-4):126-41. Disponible en: <https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/0146645318764091>
24. Ainsbury EA, Dalke C, Hamada N, Benadjaoud MA, Chumak V, Ginjaume M, et al. Radiation-induced lens opacities: Epidemiological, clinical and experimental evidence, methodological issues, research gaps and strategy. *Environ. Int.* [Internet]. Ene 2021 [citado 12 Abr 2024];146:106213. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412020321681/pdf?md5=a561accda57631ae2df4167e214bbf6a&pid=1-s2.0-S0160412020321681-main.pdf>
25. Yamamoto Y, Minami M, Yoshida K, Nagata M, Miyata T, Yang T, et al. Irradiation accelerates plaque formation and cellular senescence in flow-altered carotid arteries of apolipoprotein e knock-out mice. *J Am Heart Assoc* [Internet]. Jul 2021 [citado 12 Abr 2024];10(14):e020712. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8483483/pdf/JAH3-10-e020712.pdf>
26. Comisión Nacional para la Protección de Sujetos Humanos de Investigación Biomédica y de Comportamiento. Informe Belmont. Principios Éticos y Directrices para la Protección de Sujetos Humanos de Investigación. Reporte de la Comisión Nacional para la Protección de Sujetos Humanos de Investigación Biomédica y de Comportamiento. [Internet]. Washington: Departamento de Salud, Educación y Bienestar de los Estados Unidos;1979 [citado 12 Abr 2024]. Disponible en: <https://www.hhs.gov/sites/default/files/informe-belmont-spanish.pdf>

27. Úbeda-De la Cerda C, Soffía-Sánchez P, Inzulza-Contardo A, Miranda-González P, Aragón-Caqueo G, Aragón-Caqueo D. Valores éticos de la protección radiológica en procedimientos de radiodiagnóstico e intervencionismo radiológico. Rev. chil. radiol. [Internet]. Dic 2021 [citado 12 Abr 2024];27(4):164-9. Disponible en: <https://www.scielo.cl/pdf/rchradiol/v27n4/0717-9308-rchrad-27-4-164.pdf>
28. Lozano-Zalce H. Ética médica e imagenología. Acta méd. Grupo Ángeles [Internet]. Feb 2017 [citado 12 Abr 2024];15(1):5-7. Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/amga/v15n1/1870-7203-amga-15-01-00005.pdf>
29. Varkey B. Principles of clinical ethics and their application to practice. Med Princ Pract [Internet]. Feb 2021 [citado 12 Abr 2024];30(1):17-28. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7923912/pdf/mpp-0030-0017.pdf>
30. Zölzer F. Ethics of radiological protection-recent developments. J Pub Health [Internet]. Mar 2020 [citado 12 Abr 2024];42(1):183-7. Disponible en: <https://academic.oup.com/jpubhealth/article-pdf/42/1/183/32650688/fdy069.pdf>
31. Malone J, Zölzer F. Pragmatic ethical basis for radiation protection in diagnostic radiology. Br J Radiol [Internet]. Mar 2016 [citado 12 Abr 2024];89(1059):20150713. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4986491/pdf/bjr.20150713.pdf>
32. Davies EM, Bridges AJ, Chung EM. Does radiology require informed consent for radiation risk? Br J Radiol [Internet]. Nov 2021 [citado 12 Abr 2024];94(1127):20210620. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8553186/pdf/bjr.20210620.pdf>
33. Zölzer F, Zölzer N. The role of empathy in ethics of radiological protection. J Radiol Prot [Internet]. Mar 2022 [citado 12 Abr 2024];42(1):014002. Disponible en: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1361-6498/ac3ccb/pdf#back-to-top-target>
34. Hirschfeld CB, Mercuri M, Pascual TNB, Karthikeyan G, Vitola JV, Mahmarian JJ, et al. Worldwide variation in the use of nuclear cardiology camera technology, reconstruction software, and imaging protocols. J Am Coll Cardiol Img [Internet]. Sep 2021 [citado 12 Abr 2024];14(9):1819-28. Disponible en: <https://www.jacc.org/doi/pdf/10.1016/j.jcmg.2020.11.011?download=true>
35. Hendel RC, Berman DS, Di Carli MF, Heidenreich PA, Henkin RE, Pellikka PA, et al. ACCF/ASNC/ACR/AHA/ASE/SCCT/SCMR/SNM 2009 appropriate use criteria for cardiac



- radionuclide imaging. *Circulation* [Internet]. Jun 2009 [citado 12 Abr 2024];119(22):e561-87. Disponible en: <https://cccvi.org/wp-content/uploads/pdf/AUC-for-Cardiac-Radionuclide-Imaging.pdf>
36. Al Badarin FJ, Spertus JA, Bateman TM, Patel KK, Burgett EV, Kennedy KF, et al. Drivers of radiation dose reduction with myocardial perfusion imaging: A large health care system experience. *J Nucl Cardiol* [Internet]. Jun 2020 [citado 12 Abr 2024];27(3):785-94. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6669103/pdf/nihms-1520472.pdf>
37. Srivastava MK, Pagala RM, Kendarla V, Nallapareddy K. Appropriate use criteria in myocardial perfusion imaging in a tertiary care hospital in South India: An audit. *World J Nucl Med* [Internet]. Sep 2020 [citado 12 Abr 2024];20(3):281-5. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8488887/pdf/WJNM-20-281.pdf>
38. Fundora-Sarraf TA, Fernández-Delgado ND, Hernández-Reyes LH, Macía-Pérez I, Medina-León MC. Ética y protección radiológica en la medicina nuclear en hematología. *Rev Cubana Hematol Inmunol Hemoter* [Internet]. Dic 2014 [citado 12 Abr 2024];30(4):319-31. Disponible en: <http://scielo.sld.cu/pdf/hih/v30n4/hih04414.pdf>
39. Vallejo-Venegas E. Optimización de los recursos en cardiología nuclear. *Arch. Cardiol. Mex* [Internet]. Jun 2003 [citado 12 Abr 2024];73(1):150-52. Disponible en: <https://www.medigraphic.com/pdfs/archi/ac-2003/acs031ag.pdf>
40. Picano E. Economic, ethical, and environmental sustainability of cardiac imaging. *Eur HeartJ* [Internet]. Dic 2023 [citado 12 Abr 2024];44(45):4748-51. Disponible en: <https://academic.oup.com/eurheartj/article-abstract/44/45/4748/6881411?redirectedFrom=fulltext&login=true>
41. Peix A, Mesquita CT, Gutiérrez C, Puente A, Dueñas-C KA, Massardo T, et al. Current status of nuclear cardiology practice in Latin America and the Caribbean, in the era of multimodality cardiac imaging approach: 2022 update. *Nucl Med Commun* [Internet]. Dic 2022 [citado 12 Abr 2024];43(12):1163-70. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC9645550/pdf/nmc-43-1163.pdf>
42. Walwyn-Salas G, González-Mesa JE, Molina-Pérez D, Ramos-Machado D, López-Bejerano GM, Fernández-Gómez IM, et al. CPHR: 35 años al servicio de la protección radiológica, la salud y el medio



ambiente. Nucleus [Internet]. Jun 2020 [citado 12 de abril de 2024];(67):6-13. Disponible en: <http://scielo.sld.cu/pdf/nuc/n67/2075-5635-nuc-67-6.pdf>

43. Feng A, Peña Y, Li W. Estudios cubanos sobre la técnica de perfusión miocárdica para la detección de cardiopatía isquémica. CorSalud [Internet]. Abr 2018 [citado 12 Abr 2024];10(2):138-45. Disponible en: [http://scielo.sld.cu/pdf/cs/v10n2/en\\_cs05218.pdf](http://scielo.sld.cu/pdf/cs/v10n2/en_cs05218.pdf)

### Conflictos de intereses

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses.

### Contribución de los autores

Denia Bonilla-Padrón: conceptualización, análisis formal, investigación, metodología, administración del proyecto, recursos, *software*, superación, validación, y redacción del borrador original.

Roberto León-Castellón: metodología, recursos, supervisión, redacción, revisión y edición.

Lisette Mejías-Pérez: análisis formal, recursos, supervisión, redacción, revisión y edición.

### Financiación

Hospital Clínico Quirúrgico “Hermanos Ameijeiras”. La Habana, Cuba.